

PROCEEDINGS AGRICULTURE METEOROLOGY SYMPOSIUM VII

Increasing National Capacity of Adaptation for Climate Change through Cross Sectoral and Regional Cooperation

Jakarta, January 15-16th 2008



Indonesia Agriculture Meteorology Society (PERHIMPI)

Collaborated with

WASAP-World Bank, United Nation Development Program-CO Jakarta (UNDP),
GTZ, Oxfam, Government of West Java Province, Asia Pasific Network CAPaBLE,
Ministry of Agriculture, National Agency for Space and
Aviation (LAPAN), National Agency for Meteorology and Geophysics, Bogor
Agricultural University, Ministry of Environment



KATA PENGANTAR

Prosiding ini merupakan kumpulan makalah ilmiah yang dibahas pada acara Simposium Meteorologi Pertanian VII dan Kongres PERHIMPI VI yang diselenggarakan pada tanggal 15-16 Januari 2008 dengan mengangkat tema tentang Peningkatan Kapasitas Adaptasi Nasional terhadap Perubahan Iklim melalui Kerjasama Lintas Sektor dan Daerah.

Diharapkan prosiding ini menjadi salah satu acuan pengambil keputusan dalam peran aktifnya membantu pemerintah dan bangsa Indonesia menghadapi tantangan pemanasan global dan perubahan iklim di masa datang.

Penghargaan dan apresiasi yang tinggi dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Water and Sanitation Program (WASAP)-World Bank, United National Development Program-CO Jakarta (UNDP), GTZ-ProLH, Oxfam, CAPaBLE-APN (Asia Pacific Network), Departemen Pertanian, Kantor Kementerian Lingkungan Hidup, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMG), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Pemerintah Propinsi Jawa Barat, Institut Pertanian Bogor (IPB), dan pemerhati masalah lingkungan dan iklim, Bapak Bob Hasan atas kerjasama dan dukungan finansial yang telah diberikan sehingga kegiatan ini dapat diselenggarakan dengan baik.

Selanjutnya kami mengucapkan terima kasih pula kepada seluruh panitia dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu atas segala usaha, kerja keras, dukungan moril dan pemikiran untuk suksesnya Simposium dan Kongres ini. Semoga Allah SWT memberikan rahmat serta menjadikan prosiding ini memiliki nilai tambah dan bermanfaat bagi kita semua, Amien.

Bogor, 6 Februari 2008



(Dr. Ir. Rizaldi Boer)

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
PIDATO PEMBUKAAN KONGRES VI PERHIMPI DAN SIMPOSIUM METEOROLOGI PERTANIAN VII	vii
HASIL RUMUSAN	ix
KEYNOTE SPEECH	
Integrasi Perubahan Iklim Ke Dalam Agenda Pembangunan Nasional	
<i>Penny Lukito-Firdaus</i>	1
Peningkatan Kapasitas Adaptasi Nasional Terhadap Perubahan Iklim Melalui Kerjasama Lintas Sektor dan Daerah	
<i>Masnellyarti Hilman</i>	17
Indonesia's Climate Change Adaptation Programme	
<i>Alex Heiken</i>	23
Peran BMG Untuk Medukung Sektor-Sektor Dalam Mengelola Risiko Iklim Saat Ini dan Mendatang	
<i>P. J. Pirih Harjadi</i>	39
MAKALAH UTAMA	
Pengalaman Daerah Dalam Pelaksanaan Program Pengelolaan Risiko Iklim	
<i>Dicky Saromi</i>	47
Human Impact of Climate Change and the Need for Adaptation in Indonesia	
<i>Rully Prayoga</i>	55
WOC 2009 : Laut dan Perubahan Iklim	
<i>P. Astony Angmalisang, J. Rino Rogi, dan Markus T. Lasut</i>	65
Kebijakan dan Program Sektor Sumber Daya Air Dalam Menghadapi Perubahan Iklim	
<i>Iwan Nursyirwan</i>	69
Program Pemantauan Bumi dan Atmosfer Untuk Mengkaji Perubahan Global	
<i>Thomas Djamaludin</i>	75
<hr/>	
Increasing National Capacity of Adaptation for Climate Change through Cross Sectoral and Regional Cooperation	iii

Kebijakan dan Program untuk Mengurangi Tingkat Kerentanan Sektor Kelautan, Perikanan dan Pulau-Pulau Kecil Terhadap Perubahan Iklim <i>Soebandono Diposaptono</i>	79
Nairobi Work Program on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change <i>Heiner von Luepke dan Dadang Hilman</i>	93
Implication of Extreme Climate Events and Climate Change on Sector <i>Rizaldi Boer, Yonny Koesmaryono, dan Irsal Las</i>	95

MAKALAH PENUNJANG

Kelompok I : Sistem Informasi Iklim dan Aplikasinya Untuk Manajemen Risiko

Sistem Informasi Bencana Alam Longsoran Dalam Mengantisipasi Pengaruh Perubahan Iklim Global di Daerah Perbukitan <i>Sri Hartati Sunarmo dan Endri Saptohartono</i>	111
Variabilitas Curah Hujan dan Musim di Zona Musim Banten, Jakarta dan Jawa Barat <i>Nuryadi</i>	121
Pemanfaatan Prediksi Curah Hujan Dalam Rangka Adaptasi Pertanaman Padi di Sentra Produksi Padi <i>Aris Pramudia, Yonny Koesmaryono, dan Irsal Las</i>	135
Perbandingan Skenario Perubahan Iklim Untuk Wilayah Indonesia <i>Edison Kurniawan, Bayong Tjasyono H. K., dan Mezak A. Ratag</i>	145
Pemanfaatan Informasi Prakiraan Iklim Untuk Mendukung Usaha Tambak Udang dan Garam di Indramayu <i>Kiki Kartikasari dan Rizaldi Boer</i>	159
Identifikasi Kebutuhan Teknologi Dalam Upaya Antisipasi Kejadian Iklim Ekstrem (Banjir dan Kekeringan) di Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur <i>A. Kedang, M. B. de Rozari, M. Ratnada, B. Murdolelono, Haruna, A. Geru, dan Rizaldi Boer</i>	171
Pengkajian Risiko Iklim Pada Sistem Usaha Tani Desa Sei Balai Kabupaten Asahan Sumatera Utara <i>Ali Jamil Harahap, Melanthon Haloho, Khatijah El Ramija, dan Rizaldi Boer</i>	187

Validasi Model ARIMA, ANFIS dan WAVELET Untuk Prakiraan di Kabupaten Pacitan Jawa Timur <i>Antoyo Setyadipratikto, Suhartono, Dhenok Sulistyorini, Anung Suprayitno, Retno Wulandari, Joko Budi Utomo, dan Ahmad Luthfie</i>	201
Farming System and Climate Related Problem at Pacitan District, East Java <i>Moch. Ismail Wahab, Antoyo, dan Rizaldi Boer</i>	217
Climate Risk for Rice-Based Farming System at Bandung District <i>Elza Surmaini dan Rizaldi Boer</i>	219
Penggunaan Metode <i>Nearest Neighborhood</i> Untuk Prakiraan Curah Hujan Dasarian : Studi Kasus Kabupaten Subang <i>Woro Estiningtyas</i>	233
<i>Statistical Downscaling</i> Untuk Prediksi Curah Hujan Menggunakan <i>Multivariate Adaptive Regression Splines</i> <i>Popi Rejekiningrum</i>	243
Kelompok II : Perkembangan Penelitian Terkait Iklim	
Pengaruh Iklim Ditinjau Dari Soil Heat Flux Pada Berbagai Jenis Penutup Lahan (Studi Kasus : Denpasar, Bali) <i>Laras Tursilowati</i>	261
Pengaruh Siklus Lima Tahunan Terhadap Estimasi Kekeringan di Indonesia Berbasis Hasil Analisis Data ESPI, GPCP dan Siklus Ke-24 Matahari <i>Eddy Hermawan</i>	273
Pengaruh IODM dan ENSO Terhadap Awal dan Masa Tanam di Indonesia <i>Ruminta dan Joko Wiratmo</i>	281
Aplikasi Model Simulasi Tanaman Untuk Pendugaan Hasil Tanaman <i>Fadjry Djufry</i>	299
Kontribusi Parameter Iklim Terhadap Luas Serangan Wereng Batang Coklat <i>Erni Susanti</i>	305

Kelompok III : Sistem Kebijakan dan Institusional Untuk Implementasi Manajemen Risiko Iklim

Manajemen dan Rancangan Sistem Informasi Dampak Perubahan Iklim <i>Mahmud</i>	319
Pengaruh Interaksi Kopel Atmosfer-Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan di Indonesia <i>Bayong Tjasyono, H.K. Sri Woro Budiarti Harijono, Ina Juaeni, dan Ruminta</i>	333
Implementasi Sekolah Lapang Iklim Dalam Penanganan Risiko Iklim : Masalah dan Tantangan <i>Widjatmiko dan Endang Titi Purwani</i>	343
Analisa Hidrologis Dari Berbagai Penutupan Permukaan Tanah Sebagai Metode Evaluasi Kondisi Daerah Tangkapan Air <i>Tumiar Katarina Damanik</i>	351
Simulasi Iklim Regional Untuk Mendukung Aksi Adaptasi Sektoral Menghadapi Perubahan Iklim <i>Dodo Gunawan dan Mezak A. Ratag</i>	361
Kajian Kontribusi Ruang Terbuka Hijau (RTH), Kepadatan Populasi, Ruang Terbangun (RTB) dan Kepadatan Kendaraan Terhadap Urban Heat Island JABOTABEK <i>Sobri Effendy dan Imam Santosa</i>	377
Strategi Adaptasi Kelangkaan Air Akibat Perubahan Iklim Melalui Peningkatan Produktivitas Air dan Modifikasi Budidaya Padi Sawah <i>Didiek Setiobudi</i>	393
DAFTAR PESERTA	409
JADWAL ACARA	

**Pidato Pembukaan
KONGRES VI PERHIMPI dan
SIMPOSIUM METEOROLOGI PERTANIAN VII**

Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, MSc

Rektor IPB

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Selamat pagi dan salam sejahtera untuk kita semua.

Ketua Umum PERHIMPI yang saya hormati,

Para undangan dari World Bank, UNDP, GTZ, OXFAM, PERHIMPI, juga senior saya Prof. Syarifuddin Baharsyah dan Prof. Justika Baharsyah.

Para peserta simposium dari berbagai instansi Departemen Pertanian, LAPAN, BMG, IPB, Pemda Jawa Barat, dan Kantor Menteri Lingkungan Hidup.

Sungguh suatu kebahagiaan bagi saya pribadi berkesempatan untuk berada bersama-sama dengan Bapak-Ibu sekalian pada pagi hari ini untuk sebuah acara yang sangat baik, sangat didambakan kita semua.

Mengapa? Karena kita saksikan akhir-akhir ini perubahan iklim dalam bentuk frekuensi dan intensitas yang ekstrim itu sudah makin sering kita saksikan. Dan bencana alam yang terjadi akibat dampaknya sudah terbukti menimbulkan kerugian yang sangat besar. Dan bahkan kerugian itu barangkali jauh lebih besar daripada biaya yang mungkin harus kita keluarkan, kalau kita bersungguh-sungguh untuk menjaga lingkungan hidup kita.

Persoalan-persoalan siklus hidrologi, peran pertanian, peran lingkungan hidup dalam menjaga kualitas lingkungan hidup saya kira sangat kita ketahui betul selama ini. Tetapi akankah itu benar-benar kita jadikan landasan dalam pengambilan keputusan program pemerintah maupun program pembinaan pendidikan masyarakat, itu saya kira masih jauh dari yang diharapkan. Karena itu maka persoalan-persoalan struktural, institusi kelembagaan dan juga partisipasi masyarakat dalam mengatasi berbagai persoalan perubahan iklim dan bencana yang terjadi akibat salah kita mengelola lingkungan adalah hal-hal yang harus menjadi perhatian kita bersama.

Kita seringkali sangat lambat merespon bencana, yang kita lakukan lebih banyak bersifat antisipatif bahkan yang reaktifpun kita seringkali terlambat. Oleh karena itu Bapak-Ibu sekalian pada hari ini lakukan sebuah acara yang sangat berharga dengan tujuan yang sangat mulia untuk bersama-sama memikirkan bagaimana Indonesia, bagaimana

bangsa kita, negara kita bisa membangun sistem adaptif nasional yang lebih tepat, lebih berkelanjutan dan lebih luas agar segala persoalan yang terkait dengan bencana maupun persoalan-persoalan perubahan iklim yang berkaitan dengan produksi pangan kita dan lingkungan hidup, bisa ditangani dengan sebaik-baiknya.

Atas nama pimpinan IPB saya menyambut baik dan menyampaikan penghargaan. IPB sebagai perguruan tinggi pertanian sangat berkepentingan dengan diselenggarakannya acara semacam ini. Dan ini juga nantinya bahan simposium materi simposium ini saya harapkan sangat berharga bagi mahasiswa IPB untuk mempelajari bidang keilmuan pertanian secara luas termasuk didalamnya dimensi lingkungan hidup yang sangat kental dalam kegiatan pertanian.

Saya ingin menyampaikan selamat kepada PERHIMPI- Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia- sebuah asosiasi masyarakat ilmiah yang sangat aktif, diantara sekian banyak masyarakat ilmiah di tanah air yang terus menerus juga menerbitkan jurnal ilmiah dan melaksanakan simposium semacam ini. Dan pada hari ini dan besok akan menyelenggarakan kongresnya, ini adalah salah satu pertanda bahwa organisasi profesi ini sehat dan terus berkembang.

Persolan perubahan iklim ke depan adalah persoalan yang hampir pasti akan terjadi terus. Tetapi seberapa jauhantisipasi ini bisa dilakukan dan konsisten terus dilakukan adalah sebuah pertanyaan besar. Kongres dan simposium ini tepatlah dilakukan pada waktunya dan saya berharap juga dihasilkan rumusan-rumusan yang sangat operasional. Sehingga persoalan-persoalan koordinasi antar sektor dan juga antar daerah yang sesungguhnya kalau sudah bicara bencana tidak lagi terkait dengan daerah administratif. Persoalannya sudah lintas sektor. Maka koordinasi sebuah kata yang sering kita bicarakan dan sangat sulit implementasikan. Hendaknya bisa dicarikan formulasinya sehingga dihasilkan konsep - konsep yang efektif di dalam membangun sistem operasional yang adaptif terhadap risiko perubahan iklim.

Oleh karena itulah mari kita bersama-sama membuka Kongres VI PERHIMPI dan Simposium Meteorologi Pertanian VII pada hari ini dengan tema "Peningkatan Kapasitas Adaptasi Rasional terhadap Perubahan Iklim dalam Kerjasama Lintas Sektor dan Daerah" dengan resmi dibuka.

Bismillahirrahmanirrahim.

Sekian dan terima kasih.

RUMUSAN

Simposium Meteorologi Pertanian VII

Dengan Tema:

**Peningkatan Kapasitas Adaptasi Nasional terhadap Perubahan Iklim melalui Kerjasama Lintas Sektor dan Daerah
Jakarta, 15-16 Januari 2008**

Latar Belakang

Peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem berupa badai, kekeringan, banjir dan longsor, serta bencana terkait iklim lainnya di Indonesia disinyalir diakibatkan oleh pemanasan iklim global dengan terjadinya gejala perubahan iklim, yang sampai saat ini belum dapat diatasi dengan baik. Pengelolaan risiko bencana akibat perubahan iklim sebagai bagian dari proses pembangunan nasional perlu dilakukan pada tingkat lokal secara berkesinambungan dan terintegrasi pada seluruh tingkatan fungsi pemerintahan, bekerjasama dengan komunitas dan organisasi serta mendapat dukungan masyarakat luas. Untuk menjamin pembangunan secara berkelanjutan dan meningkatkan daya tahan terhadap risiko iklim ekstrem, dibutuhkan pendekatan yang bersifat investasi jangka panjang yang dirancang sesuai dengan risiko perubahan dan variabilitas iklim. Rancangan baku dan strategi pengelolaan harus memperhitungkan perubahan daur hidrologi dan iklim ke masa yang akan datang. Untuk ini perubahan iklim harus disikapi dengan serius dan dipertimbangkan dalam setiap perencanaan pembangunan dengan koordinasi lintas sektor dan daerah. Untuk ini Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI) pada Simposiumnya yang ke tujuh mengangkat tema **“Peningkatan Kapasitas Adaptasi Nasional terhadap Perubahan Iklim melalui Kerjasama Lintas Sektor dan Daerah”** yang telah dilaksanakan pada tanggal 15-16 Januari 2008 di Jakarta, bekerja sama dengan WASAP-World Bank, UNDP-CO Jakarta, GTZ, Oxfam, Pemda Provinsi Jawa Barat, APN, Departemen Pertanian, LAPAN, BMG, Men-LH, dan IPB-Bogor.

Simposium ini dibuka oleh Rektor Institut Pertanian Bogor, Dr. Ir. Herry Suhardiyanto, MSc dengan dihadiri 115 orang peserta yang terdiri dari para wakil dari 23 cabang, para peneliti dari berbagai bidang, praktisi pertanian, para pejabat dari berbagai Departemen dan Pemerintah Daerah, wartawan media cetak dan elektronik, dosen dan mahasiswa dari Perguruan Tinggi Negeri dan Swasta, serta para pemerhati bidang meteorologi pertanian.

PERHIMPI memprakarsai simposium ini untuk ikut berperanserta dalam upaya sosialisasi dan turut memberikan sumbangan pemikiran dari para pakar, akademisi, praktisi dan kalangan terkait meteorologi pertanian lainnya, dalam upaya meningkatkan kapasitas adaptasi nasional terhadap perubahan iklim melalui kerjasama lintas sektor dan daerah.

Acara Seminar

Seminar dibuka dan diawali dengan Keynote Speeches dari sejumlah narasumber mengenai integrasi perubahan iklim ke dalam agenda pembangunan nasional (BAPPENAS), Rancangan aksi nasional untuk mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim (RAN-MAPI/Deputi II Men LH), Program Adaptasi Perubahan Iklim (UNDP-CO Jakarta), dan dilanjutkan dengan penyajian mengenai kebijakan sektoral dari Deptan, Dirjen SD Air PU, Dirjen Kelautan, Pesisir dan Pulau Kecil-DKP, dan pengalaman dan program adaptasi perubahan iklim dari pemda Jawa Barat dan Sulawesi Utara, serta masukan substantif lainnya dari BMG, Oxfam, LAPAN, GTZ Pro LH, dan PERHIMPI. Sidang paralel yang dibagi ke dalam empat kelompok menyajikan dan membahas 24 makalah, masing-masing dengan subtema:

- Sistem informasi iklim dan aplikasinya untuk manajemen risiko.
- Perkembangan penelitian terkait iklim.
- Sistem kebijakan dan kelembagaan untuk implementasi manajemen risiko iklim.
- Program adaptasi perubahan iklim (ICCAP).

Sidang Sesi I mendapat kehormatan dengan Moderator Bapak Prof. Dr. Syarifuddin Baharsyah.

Rumusan

Dari penyajian dan diskusi Sesi I dengan keynote speeches dari BAPPENAS, Meneg LH, dan UNDP-CO Jakarta dapat dirumuskan beberapa hal berikut:

Integrasi Perubahan Iklim ke Dalam Agenda Pembangunan Nasional

Sosialisasi pengetahuan tentang perubahan iklim ke semua sektor atau lini dan stakeholder agar terjadi opini yang sama bagi semua pihak. Beberapa usulan aksi perlu ditindaklanjuti atau dilengkapi dengan rancangan yang bersifat teknis agar memudahkan dalam implementasi.

Perlunya peningkatan kepedulian setiap sektor untuk memperhatikan risiko perubahan iklim dalam perencanaan dan implementasi pembangunan nasional.

Perkaya kebijakan untuk mendorong pemerintah daerah memperhatikan pengelolaan sumberdaya alam yang ramah lingkungan dan mampu beradaptasi dengan perubahan iklim.

Rancangan Aksi Nasional untuk Mitigasi dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim (RANMAPI)

- Inventarisasi berbagai bencana akibat perubahan iklim, agar dapat dianalisis dan dipelajari secara cermat dalam rangka mencari solusi terbaik dan penanganan segala dampak bencana akibat perubahan iklim jauh lebih baik dari sebelumnya. Sebagai contoh bencana banjir dan kekeringan setiap tahun pasti terjadi tetapi tetap saja kita belum mampu berbuat banyak.
- Perlu peningkatan diseminasi informasi terhadap RANMAPI kepada lembaga pemerintah terkait dan masyarakat.
- Langkah langkah operasional penyelenggaraan mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim harus dijadikan sebagai kegiatan pokok dan prioritas pembangunan baik skala nasional maupun lokal.
- Pendekatan lintas sektor, bersifat sinergi dan terintegrasi dengan agenda perencanaan pembangunan nasional dan regional sudah merupakan satu kebutuhan yang harus segera dilakukan. Ketahanan adaptasi terhadap perubahan iklim dapat dilakukan melalui kerjasama lintas sektor dan daerah, dimana dalam pelaksanaannya harus bergerak pada satu luasan areal yang disepakati bersama (Desa, Kota, Cathment area, dll). Kini saatnya untuk mengatakan ” *No for Sectoral Ego, Yes for Together*” .

Program Adaptasi Perubahan Iklim

Inisiatif Indonesia menghadapi hambatan iklim ditunjukkan a.l. oleh persiapan Perpres mengenai Perubahan Iklim, RANPI dan ICCAP. Aspek kunci yang disorot adalah: sumber daya air, pertanian, infrastruktur, keanekaragaman hayati, kehutanan, perikanan, pengelolaan daerah pesisir, dan kesehatan. Sumber daya air dipandang sebagai sektor inti yang memberi pengaruh berantai terhadap sektor lainnya. Indonesia dinilai telah melakukan kemajuan dalam merespon perubahan iklim yang ditunjukkan dari berbagai inisiatif yang telah dilakukan.

Peran BMG dalam mendukung sektor mengelola risiko iklim:

- Meningkatkan kemampuan teknis dalam penyiapan dan penyajian data.
- Sosialisasi atau distribusi informasi tentang iklim dapat mendekati *real time*.
- Memperluas jejaring AWS agar lebih rapat lagi sumber informasi data iklimnya.
- Di masa datang ketersediaan informasi iklim yang akurat dan *terupdate* secara rutin sangat diperlukan untuk mendukung sektor-sektor dan daerah dalam mengelola risiko iklim saat ini dan yang akan datang.

Program Pemantauan Bumi dan Atmosfer

Pemantauan bumi dan atmosfer untuk mengkaji perubahan global tidak sederhana karena perlu cakupan spasial yang luas dan skala waktu lama, padahal kemampuan pengamatan untuk menghasilkan data dan informasi yang dibutuhkan terbatas. Pengamatan masih bersifat lokal yang terkadang digunakan untuk menyimpulkan gejala global. Perlu dibedakan perubahan global dari perubahan lokal yang dipicu oleh faktor lokal, sedang perubahan global lebih gradual dengan variasi lebih kecil. Dengan fasilitas yang dimiliki (jaringan radar, pengukuran in-situ, penginderaan jauh satelit, pengamatan kosmogenik), LAPAN telah berupaya mengkaji perubahan global dengan memanfaatkan kerjasama nasional dan internasional.

Kebijakan Sektor: Pertanian

Perubahan iklim perlu dipandang sebagai tantangan dan peluang dalam peningkatan produksi pertanian Indonesia. Tantangan karena perubahan iklim akan mendorong pengembangan teknologi sebagai upaya mitigasi dan adaptasi. Upaya adaptasi berupa peningkatan kelembagaan termasuk koordinasi antar lembaga, sosialisasi/diseminasi hasil prakiraan musim, cetak biru pengelolaan banjir dan kekeringan partisipatif, teknologi benih tahan kekeringan, kalender tanam, dan kapasitas petani dengan sekolah lapang iklim (SLI) dan konservasi air.

Kebijakan Sektor: Sumber Daya Air PU

- Sektor air menerima perubahan iklim berupa peningkatan intensitas hujan, musim hujan lebih singkat dengan jumlah berkurang, bencana banjir dan longsor. Perubahan musim menuntut perlunya penyesuaian pola tanam serta rusaknya infrastruktur irigasi. Untuk itu PU telah merancang Rencana Aksi Nasional Menghadapi Perubahan Iklim (RAN-PI) yang memuat pokok-pokok upaya jangka pendek, menengah, dan panjang dalam mitigasi dan adaptasi.
- Sektor air, upaya difokuskan pada program adaptasi, yang meliputi program peningkatan kapasitas, transfer teknologi, penyusunan standar dan kriteria untuk merencanakan sarana dan prasarana, serta perencanaan tata ruang. Rencana dan prakter adaptasi ditekankan pada pembangunan waduk-waduk kecil dan menengah untuk menambah kapasitas tampungan air, melaksanakan teknik pemanenan air, memperbaiki daya dukung daerah tangkapan air, serta mengintensifkan program efisiensi penggunaan air, misalnya dengan metode SRI (*System of Rice Intensification*), teknologi 3R, dan sebagainya.
- Upaya mengurangi kerentanan masyarakat pedesaan terhadap perubahan iklim dan bencana dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor internal dan eksternal rumah tangga pedesaan dengan uji coba pembentukan "Garda Pemuda".

Kebijakan Sektor: Kelautan, Perikanan dan Pulau Kecil

Dampak perubahan iklim/pemanasan global sangat terasa/nyata pada sektor kelautan, perikanan, pesisir, dan pulau kecil. Kebijakan dan program adaptasi meliputi program-program penguatan seperti terhadap *humant system*, ekonomi dan sosial, dsb. Perencanaan pengelolaan dan mitigasi meliputi rencana strategis, zonasi pengelolaan dan aksi dengan 6 prinsip pengelolaan dan 6 prinsip aksi

Pengalaman Daerah: Jawa Barat

- Pemda Jawa Barat masih membutuhkan informasi yang lebih cepat dan akurat tentang iklim dari BMG.
- Masih perlu memisahkan bencana akibat iklim dan akibat yang lain.
- Pemda Jawa Barat membuka diri untuk masukan dari berbagai pihak dalam hal penanganan dampak bencana.
- Pemda Jawa Barat telah memiliki program pengelolaan lingkungan yang masih memerlukan sosialisasi ke masyarakat.

Nairobi Work Program (NWP) GTZ Indonesia – Pro LH/ Meneg LH

NWP merupakan salah satu dari dua jalur adaptasi yang dibawah UNFCCC sebagai kerangka kerja internasional yang dapat diimplementasikan oleh negara, organisasi pemerintahan, atau non pemerintahan termasuk sektor swasta, masyarakat, dan *stake holders* lainnya.

NWP bertujuan :

- 1) membantu negara-negara meningkatkan pemahaman mengenai dampak dan kerentanan terhadap perubahan iklim.
- 2) Meningkatkan kemampuan mengambil keputusan cerdas bagaimana mengadaptasi dengan berhasil.

NWP menyediakan metode, *tools* (alat), pengalaman praktek, dan sebagainya tingkat dunia yang bermanfaat pada tingkat lokal yang lebih baik jika lebih ramah pengguna.

Indonesia mempunyai pengalaman memanfaatkan NWP pada sektor air "Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan for the water sector in Indonesia untuk memulai dampak ekonomi dari risiko iklim kini dan masa depan meningkatkan knowledge base untuk pengambil keputusan mengenai kebutuhan adaptasi dan pilihan untuk sektor air sampai memperkuat kerjasama kelembagaan untuk adaptasi.

Rumusan Sidang Kelompok:

- **Kelompok 1: Sistem Informasi Iklim dan Aplikasinya untuk Manajemen Risiko**

Pada kelompok ini disajikan dan dibahas delapan makalah dengan penyaji dari BMG, ITB, IPB, Balitklimat, APN- CAPaBLE NTT, dan APN-CAPaBLE Sumut. Materi yang dibahas bervariasi dari sistem informasi bencana alam longsor, variabilitas curah hujan dan musim, prediksi curah hujan di sentra produksi padi, skenario perubahan iklim, pemanfaatan informasi prakiraan iklim untuk usaha tambak udang dan garam, identifikasi kebutuhan teknologi dalam upaya antisipasi kejadian iklim ekstrim, assessment of climate risks in farming system, dan validasi model ARIMA, ANFIS dan WAVELET untuk Prediksi musim.

Hasil diskusi menghasilkan beberapa hal yaitu:

- Sistem informasi untuk peringatan dini bencana alam (longsor) dapat dirasakan langsung oleh masyarakat sebagai pengguna/objek/sasaran.
- Prediksi curah hujan untuk adaptasi pertanaman padi di sentra produksi sebagai opsi penentuan waktu tanam padi dapat dilakukan atau tidak berdasarkan potensi hasil yang menurun.
- Variabilitas curah hujan dan musim di zona monsunal sebagai upaya untuk melihat pergeseran musim diaplikasikan untuk jangka panjang sebagai informasi telah terjadi perubahan musim.
- Integrasi model-model skenario perubahan iklim IPCC (6 model) di wilayah Indonesia dengan dua peubah yaitu suhu dan curah hujan menghasilkan informasi tentang perubahan suhu dan curah hujan pada empat musim (hujan, kemarau, 2 peralihan) di wilayah Belahan Bumi Utara (BBU), ekuator, dan Belahan Bumi Selatan (BBS).
- Teknologi perkiraan iklim sangat diperlukan dalam berbagai kegiatan ekonomi di pedesaan seperti usaha budidaya tanaman, tambak udang maupun petani garam.
- Tingkat ketepatan dan kecepatan prakiraan perlu terus ditingkatkan dan disampaikan dengan bahasa yang mudah dipakai dan tepat waktu.

- **Kelompok 2: Perkembangan Penelitian Terkait Iklim**

Pada kelompok ini disajikan dan dibahas enam makalah dari delapan makalah yang dijadwalkan dengan penyaji dari LAPAN- Bandung, Unpad, ITB, IPB, UNHAS, UNTAD, BPTP Kalsel, dan PERHIMPI Riau. Materi yang dibahas bervariasi dari analisis data ESPI, GPCP dan siklus matahari untuk estimasi kekeringan di Indonesia; *soil heat flux* pada berbagai jenis

penutup lahan; pengaruh IODM dan El Nino terhadap awal dan masa tanam di Indonesia; model simulasi tanaman; analisis iklim mikro; serta dinamika masa dan energi pada hutan tropika basah : studi kasus taman nasional Lore Lindu.

Hasil diskusi menghasilkan beberapa hal yaitu:

- Beberapa pengukuran dan estimasi soil heat flux telah banyak dikembangkan antara lain melalui estimasi data satelit dengan prinsip dasar kesetimbangan energi permukaan, *soil heat flux* tertinggi ditemukan di lahan pemukiman, industri dan lahan terbuka, *soil heat flux* berpengaruh nyata pada suhu tanah.
- Penggunaan ESPI, GPCP, dan siklus matahari dapat digunakan untuk memprediksi tahun terjadinya musim panas yang berkepanjangan sehingga dapat mengidentifikasi adanya kekeringan.
- Fenomena IODM dan El Nino berpengaruh terhadap awal dan masa tanam, serta curah hujan. IODM positif kuat dan El Nino dapat mengurangi curah hujan dan memperpendek masa tanam, dan sebaliknya IODM negatif kuat dan La Nina dapat meningkatkan curah hujan dan memperpanjang masa tanam.
- Model simulasi tanaman dapat digunakan sebagai alat bantu dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan pertanaman.
- Fenomena perubahan energi radiasi surya yang sampai di bumi, kekeringan, banjir, distribusi dan jumlah curah hujan telah dikaji terutama terkait dengan dampaknya bagi kehidupan manusia dan produksi pertanian.
- Hutan memiliki peranan strategis terhadap siklus air dan iklim global serta siklus karbon. Kedua peranan ini memposisikan deforestasi sebagai pemicu perubahan iklim global.

Sidang Paralel 3: Sistem Kebijakan dan Kelembagaan untuk Implementasi Manajemen Risiko Iklim

Pada kelompok ini disajikan dan dibahas delapan makalah dengan penyaji dari LAPAN-Bandung, pemerhati kebijakan publik, DITLIN, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, UNILA, BMG, IPB, dan Balitpa. Materi yang dibahas bervariasi dari Manajemen dan Rancangan Sistem Informasi Dampak Perubahan Iklim, Penguatan Tanggungjawab Kelembagaan, Kemampuan dan Kapasitas Antara Kementerian LH dan Pemerintah Dalam Menangani Masalah Iklim, Implementasi Sekolah Lapang Iklim untuk Penanganan Risiko Iklim, Kebijakan Riset Kerentanan Pesisir Terhadap Perubahan Muka Air Laut, Analisa hidrologis dari berbagai penutupan permukaan tanah, Simulasi Iklim Regional Untuk Mendukung Aksi Adaptasi Sektoral, Kontribusi Ruang Terbuka Hijau Terhadap *Urban Heat Island*, dan Peningkatan Produktifitas Air dan Modifikasi Budidaya Padi sawah.

Hasil diskusi menghasilkan beberapa hal yaitu:

- Tersedianya informasi dampak perubahan iklim yang dapat diakses dengan mudah dan cepat guna menunjang proses pengambilan keputusan berkaitan dengan strategi adaptasi.
- Penguatan tanggung jawab kelembagaan yang berkaitan langsung perubahan iklim perlu ditingkatkan termasuk koordinasi dengan instansi terkait.
- Pengukuran data iklim yang baik akan menghasilkan model yang baik.
- Sekolah Lapang Iklim (SLI) sudah mulai dirasakan hasilnya oleh sebagian masyarakat tani, untuk itu SLI akan terus dikembangkan dan disosialisasikan kepada Pemda dan Perguruan Tinggi. Diusulkan untuk mengikutsertakan Kelompok Tani Andalan sebagai petugas SLI.
- Kondisi perekonomian masyarakat yang masih kekurangan mengakibatkan banyaknya alat-alat pengukuran data iklim yang dicuri. Selain itu sering terjadi penggusuran stasiun iklim/hujan karena areal yang ditempati alat tersebut milik instansi lain, sehingga Pemda diharapkan memberi perhatian yang lebih besar terhadap peralatan iklim dan pengamatnya.

Sidang Paralel 4: Program Adaptasi Perubahan Iklim (ICCAP)

- Tujuan ICCAP adalah membuat program payung dengan menggunakan enam output yaitu: (1) *A National Consortium and research grant facility for C-ROM*, (2) *Guidance for climate smart spatial planning, settlement design and infrastructure systems in key sectors and priority areas*, (3) *Education, awareness and training programs to enhance C-ROM in seasonal/inter-annual and multi-decadal time scales*, (4) *Community, private, and government institutional capacities strengthened to undertake C-ROM*, (5) *Policy, legal and regulations framework for C-ROM in the seasonal / inter-annual and multi-decadal time scales*, dan (6) *Climate and development information exchange systems established in a number of priority sectors and vulnerable regions*, dengan beberapa aktivitas, yang sasaran akhirnya adalah bagaimana kita dapat membuat *lessons learned*, atau *good practices* dalam menjawab permasalahan iklim ini, baik dari sisi kebijakan Pemerintah Daerah, atau pembangunan infrastruktur, atau program pemberdayaan masyarakat (ekonomi masyarakat). Bagaimana masyarakat mampu menghadapi masalah bencana yang tidak hanya bersifat respon saja, tetapi lebih pro-aktif. Hal ini yang dikemas dalam ICCAP. Pelaksanaan penyusunan program untuk mendukung RAN-PI, lalu membuat *pilot project*. Hasil dari kegiatan ini digunakan untuk penyempurnaan RAN-PI sehingga nanti proses meng-integrasi-kan dengan RPJ bisa berlangsung secara baik.

- Keragaman-kerentanan sangat beragam dari satu tempat ke tempat lain. Diambil prioritas, dengan enam indikator. Dalam output-1 kita akan melakukan *research grant*. Departemen Pertanian, PU, BMG sudah punya peta kerentanan, longsor, banjir. Dalam konsorsium diharapkan kita dapat memecahkan masalah bersama. Hasil analisis awal ada, kita punya peta kemiskinan. Dengan menggunakan indikator-indikator tertentu, kita bisa menggunakan indikator tersebut, untuk menentukan wilayah prioritas.
- *Vulnerability* dari setiap daerah yang bervariasi dalam membangun suatu program tidak dapat diabaikan. Keanekaragaman tersebut menjadi *consideration*. Mengingat bahwa Indonesia memiliki keragaman dalam *climate change vulnerability*, maka program-program yang dikembangkan perlu mempertimbangkan keragaman/perbedaan antar daerah dalam *vulnerability*, baik aspek biofisik maupun sosial ekonomi, serta pertimbangan sektor yang akan dituju. Supaya program ini bermanfaat untuk daerah dalam menghadapi perubahan iklim baik dari segi pertanian, kehutanan, dll.
- Konsorsium Nasional ini merupakan wadah yang bisa kita gunakan. Karena ide dari Konsorsium Nasional ini adalah bagaimana kita dapat mengetahui apa yang dikerjakan lembaga lain, sehingga kita tahu apa yang perlu dikoordinasikan. Hanya bentuk/formulasi dari koordinasi masih perlu didiskusikan.
- ICCAP perlu memperhatikan program-program pemerintah yang besar-besaran yang memberikan *opportunity* untuk mempengaruhi program-program tersebut agar dapat memasukkan CCA.

Rekomendasi

- a. Beberapa tindakan yang perlu dilakukan adalah:
 - *Solid Institutional Framework is Essential*
 - *Active participation of stakeholders needs to be strengthened*
- b. Meminimalkan dampak perubahan iklim melalui *sustainable re-development* :
 - upaya reforestasi
 - memperketat regulasi yang telah dibuat
 - mengurangi/menghilangkan gas-gas yang menyebabkan perubahan iklim/ pemanasan global dan lubang ozonosfer
- c. Untuk memenuhi kebutuhan pangan, maka disarankan untuk melaksanakan diversifikasi pangan. Para pemimpin diharapkan memulai gerakan diversifikasi pemeragaman pangan kepada anak Balita yang dimulai dengan pemberian makanan tambahan (PMT) selain beras.

Tindak Lanjut

Para pakar meteorologi pertanian yang tergabung dalam organisasi Himpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI) menyadari akan perannya yang sangat strategis dalam mendukung usaha peningkatan kapasitas adaptasi terhadap perubahan iklim melalui kerjasama lintas sektor dan daerah. Untuk itu, PERHIMPI akan bekerjasama dengan instansi-instansi terkait dalam memfasilitasi berbagai kajian dan pembahasan yang terkait dengan program adaptasi nasional perubahan iklim.

Sebagai tindak lanjut dari Simposium yang telah dilaksanakan, PERHIMPI akan berpartisipasi aktif dan turut memberikan kontribusi menurut kepakarannya dalam mengorganisir pertemuan dan kegiatan terkait untuk menindaklanjuti hasil rumusan tercantum di atas.

Dengan program diversifikasi pangan diharapkan agar Departemen Pertanian meluncurkan “Gerakan Nasional Diversifikasi Pangan (GNDP)”, dimana PERHIMPI dapat berperan aktif dimulai dari pelayanaan komoditas.

Jakarta, 16 Januari 2008

Tim Perumus Simposium Meteorologi Pertanian VII :

1. Prof. Dr. Hidayat Pawitan
2. Prof. Dr. Syarifuddin Baharsyah
3. Prof. Dr. Justika S. Baharsyah
4. Dr. Le Istiqlal Amien
5. Dr. Rizaldi Boer
6. Prof. Dr. Yonny Koesmaryono
7. Prof. Dr. Irsal Las
8. Dr. Ngaloken Ginting
9. Dr. Haris Syahbuddin
10. Dr. Sobri Effendi
11. Prof. Dr. Bustomi Rosyadi
12. Drs. Soeroso Hadiyanto
13. Prof. Dr. Manshur Ma'shum
14. Prof. Dr. Bayong Tjasyono HK
15. Dr. Pasril Wahid, APU
16. Ir. Anjal Anie Asmara, MSi
17. Ir. Popi Rejekiningrum, MS

**KEYNOTE SPEECH
SIMPOSIUM VII – PERHIMPI**

INTEGRASI PERUBAHAN IKLIM KE DALAM AGENDA PEMBANGUNAN NASIONAL

Deputi Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup BAPPENAS

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan implikasi dari pemanasan global yang ditimbulkan oleh peningkatan yang berlebihan dari gas rumah kaca di lapisan atmosfer. Pada dasarnya, efek rumah kaca diperlukan untuk menjaga kestabilan suhu rata-rata bumi untuk menopang kehidupan makhluk dan ekosistem yang ada di dalamnya. Namun demikian, akibat peningkatan aktifitas sosial dan ekonomi manusia berdampak pada peningkatan jumlah konsentrasi gas carbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) di udara melebihi kemampuan asimilasi dan stabilisasi alam. Hal ini pada akhirnya menimbulkan dampak yang merugikan terhadap ekosistem secara luas.

Bagi Indonesia, perubahan iklim akibat peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) akan menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata global sebesar 2,8 °C dari tahun 2000 ke tahun 2100 (UNEP/GRID-ARENDA, 2005 dalam PEACE, 2007). Dampak utama dari perubahan iklim adalah terjadinya gangguan terhadap siklus hidrologi dalam bentuk perubahan pola dan intensitas curah hujan, kenaikan permukaan air laut, peningkatan frekuensi dan intensitas bencana yang dapat menyebabkan terjadinya krisis ketersediaan dan bencana terkait air (kekeringan dan banjir), penurunan hasil panen pertanian dan perikanan, serta perubahan keanekaragaman hayati.

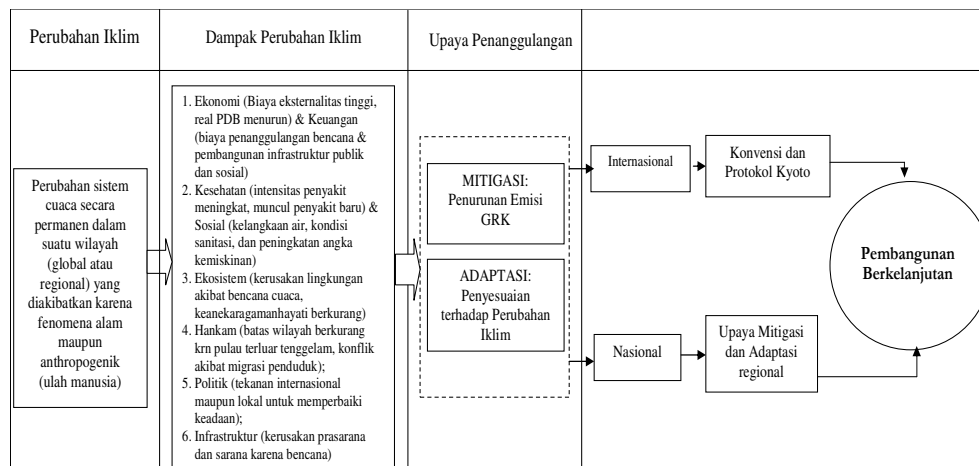
Berbagai upaya untuk mengantisipasi dampak dari perubahan iklim baik dalam skala lokal maupun regional semakin intensif dikembangkan dewasa ini. Sebagai negara yang sangat rentan terhadap dampak dari perubahan iklim tersebut, upaya mitigasi, adaptasi dan pengelolaan risiko menjadi sangat esensial untuk diintegrasikan dalam strategi perencanaan pembangunan nasional. Kecenderungan meningkatnya dampak serius yang ditimbulkan oleh perubahan iklim, maka pendekatan perencanaan pembangunan nasional memerlukan langkah penyesuaian yang antisipatif. Hal ini perlu dilakukan untuk menjamin tercapainya target-target pembangunan untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang berkualitas, dan keberlanjutan pembangunan.

Perencanaan pembangunan nasional harus sudah bergeser dari sekadar memasukkan jargon pengarusutamaan pembangunan berkelanjutan tanpa program-program spesifik yang prioritas, ke upaya integrasi masalah-masalah lingkungan seperti masalah pemanasan global dan perubahan iklim ke dalam rencana pembangunan yang terkoordinasi secara lintas sektor/bidang baik secara horizontal maupun vertikal. Hal

ini menjadi sangat penting karena masalah perubahan iklim tidak mungkin bisa dipisahkan dari pembangunan ekonomi, *energy security*, kebijakan dan strategi pengendalian pencemaran, khususnya pencemaran udara ambien.

PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN & PERUBAHAN IKLIM

Pembangunan berkelanjutan merupakan acuan keseluruhan upaya menghadapi dampak perubahan iklim. Menurut *World Commissions on Environmental and Development* (WCED) merupakan pembangunan yang memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa mengganggu kemampuan dari generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pada Gambar 1 di bawah ini, dapat dilihat kerangka dampak perubahan iklim bagi Indonesia dan upaya atau strategi untuk penanggulangannya dalam bentuk mitigasi dan adaptasi.



Gambar 1. Perubahan Iklim dan Pembangunan Berkelanjutan

Dampak perubahan iklim berdasarkan Gambar 1 digambarkan berpengaruh sangat luas ke seluruh sektor kehidupan, yaitu ekonomi, kesehatan, pertahanan dan keamanan, ekosistem, politik, dan infrastruktur. Beberapa dampak terhadap sektor-sektor tersebut adalah:

- a. Pada sektor ekonomi berdampak pada biaya ekonomi yang tinggi terutama apabila terjadi bencana yang menyebabkan kehancuran infrastruktur. Gangguan iklim sudah terbukti bisa melumpuhkan aktifitas ekonomi dan sosial masyarakat. Selain itu juga perlu diperhitungkan biaya yang timbul dari meningkatnya masalah yang ditimbulkan dari migrasi penduduk dan konflik yang meluas, meningkatnya kebutuhan biaya untuk mengurangi emisi karbon termasuk harga energi dan biaya investasi yang semakin besar. Di sisi lain kondisi-kondisi tersebut berpotensi menurunkan kemampuan fiskal dengan berkurangnya potensi pajak dan meningkatnya

kebutuhan dana untuk program menghadapi perubahan iklim. Potensi melemahnya neraca pembayaran dengan berkurangnya kemampuan ekspor hasil pertanian tertentu dan meningkatnya impor akibat peningkatan kebutuhan pangan dan menurunnya hasil sumber daya alam lainnya.

- b. Pada sektor kesehatan dampak yang ditimbulkannya adalah banyaknya berbagai penyakit yang diakibatkan oleh perubahan iklim seperti penyakit tenggorokan, kulit, dan munculnya penyakit-penyakit baru lainnya (*emerging diseases*) seperti SARS dan *Avian Influenza*. Meningkatnya wabah penyakit akibat kondisi sanitasi yang semakin buruk bersamaan dengan terjadinya kelangkaan air bersih yang semakin serius.
- c. Perubahan iklim berdampak pada ekosistem terutama pada perubahan pola ekosistem sebagai akibat peningkatan suhu, misalnya 1) terjadinya perubahan habitat di laut sebagai akibat rusaknya terumbu karang dan berkurangnya jumlah plankton, padahal plankton merupakan salah satu sumber O₂ potensial bagi kehidupan di bumi selain hutan dan 2) kebakaran hutan yang dapat menyebabkan peningkatan emisi GRK dan hilangnya paru-paru dunia serta potensi musnahnya banyak satwa-satwa, termasuk satwa langka, yang tidak mempunyai ekosistem lagi.
- d. Sektor pertahanan dan keamanan yang potensi menimbulkan konflik antara negara/wilayah terutama terkait dengan naiknya permukaan air laut yang menyebabkan banyak pulau-pulau kecil yang hilang padahal pulau-pulau tersebut dijadikan sebagai titik batas wilayah negara. Dampaknya akan terjadi pengurangan wilayah suatu negara sebagai akibat tenggelamnya pulau-pulau tersebut.
- e. Pada sektor politik, perubahan iklim bisa berdampak pada tekanan global maupun lokal yang dapat mempengaruhi kebijakan ekonomi dan kestabilan dalam suatu negara.
- f. Perubahan iklim yang menyebabkan meningkatnya intensitas dan frekuensi bencana (*disaster*), seperti banjir dan tanah longsor dapat mengakibatkan kerusakan pada sarana dan prasarana ekonomi dan sosial yang ada.

Perubahan iklim menyebabkan peningkatan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), dan penurunan produktivitas tanaman. Perubahan pola hujan dan musim mengakibatkan gangguan terhadap siklus hidrologi dan sumber daya air, kerusakan dan degradasi lahan, dan perubahan kapasitas irigasi pertanian. Anomali iklim yang ekstrim dapat mengakibatkan kegagalan panen (puso), penurunan produksi yang drastis, dan peningkatan gangguan OPT. Semua dampak tersebut dapat menyebabkan sistem ketahanan pangan menjadi rawan dan berdampak pada peningkatan angka kemiskinan dan kelaparan.

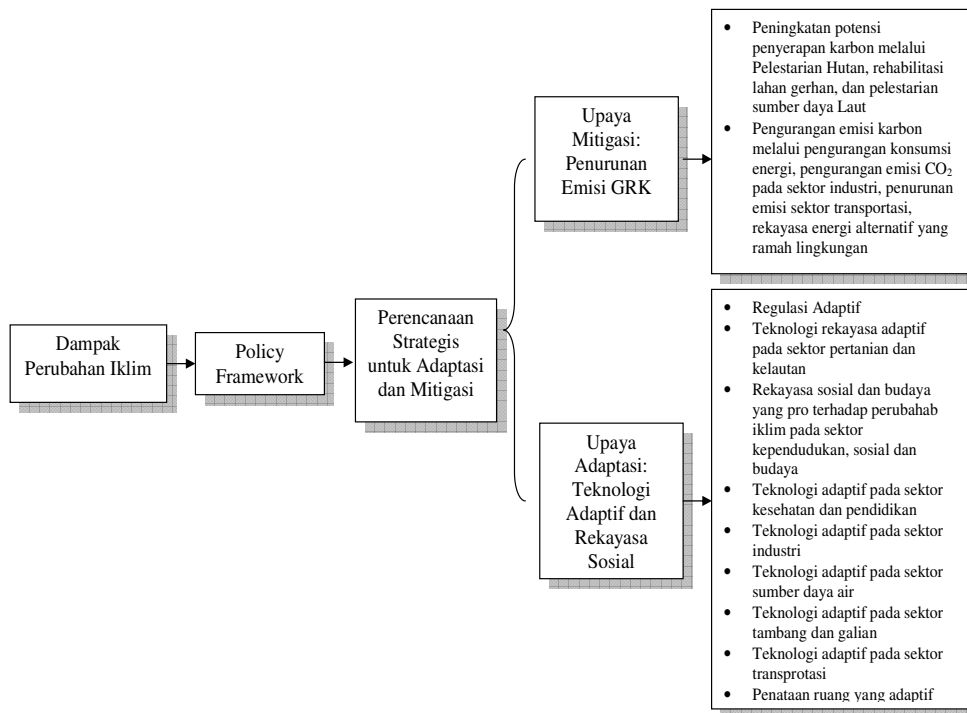
KEBIJAKAN PEMBANGUNAN NASIONAL

Berbicara tentang Protokol Kyoto, tentunya tidak terlepas dari upaya untuk menangani dampak dari perubahan iklim yang memiliki kaitan erat dengan rencana pembangunan nasional. Dalam *artikel 3 paragraf 4 Konvensi Perubahan Iklim PBB*, dijelaskan bahwa upaya penanganan dampak perubahan iklim harus terintegrasi dengan program pembangunan nasional dengan mempertimbangkan kondisi ekonomi dan sosial dari masing-masing negara.

Pentingnya mengintegrasikan isu perubahan iklim ke dalam prioritas perencanaan pembangunan nasional ditekankan di dalam artikel 3 para 4 konvensi Perubahan Iklim PBB yang telah diratifikasi oleh Indonesia pada tahun 1994. Di dalam konvensi telah disebutkan bahwa *“Kebijakan dan penanganan perlindungan sistem iklim akibat tingkah laku manusia hendaknya disesuaikan dengan kondisi spesifik dan diintegrasikan dengan program-program pembangunan nasional; pembangunan ekonomi juga dapat berperan penting dalam mempertimbangkan penanganan perubahan iklim”*. Walaupun upaya pengintegrasian kebijakan penanganan dampak perubahan iklim dan kebijakan pembangunan yang berkelanjutan merupakan hal yang tidak mudah, terlebih lagi bagi negara dengan jutaan penduduk miskin dan banyak perebutan sumberdaya oleh berbagai sektor, namun tantangan berat ini perlu dilaksanakan bersama.

Terkait dengan hal tersebut, perencanaan pembangunan nasional telah menyiapkan antisipasi atau respon terhadap dampak dari perubahan iklim dalam bentuk penyusunan strategi mitigasi dan adaptasi yang akan diintegrasikan dalam kebijakan perencanaan pembangunan melalui program:

- a. Mitigasi Plan.** Perencanaan pembangunan yang terkait dengan perubahan iklim yang dilakukan melalui kegiatan atau program yang dimaksudkan untuk memperlambat atau memperkecil terjadinya perubahan iklim lebih lanjut, berupa program pembangunan yang mengedepankan prinsip pelestarian sumber daya alam dan lingkungan, termasuk kehutanan, pertambangan dan energi, pertanian, dan kelautan serta kegiatan-kegiatan pengurangan emisi gas rumah kaca.
- b. Adaptation Plan.** Perencanaan pembangunan yang terkait dengan perubahan iklim yang dilakukan melalui kegiatan penyesuaian atau adaptasi dengan kondisi perubahan iklim yang terjadi, berupa upaya sektor-sektor terkait untuk mengantisipasi perubahan iklim melalui teknologi adaptif dan rekayasa sosial.



Gambar 2. Strategi dan Kerangka Kebijakan Perubahan Iklim di Indonesia

Gambar 2 menjelaskan kerangka upaya antisipasi bencana perubahan iklim melalui perencanaan pembangunan didasarkan pada mitigasi dan adaptasi. Selain upaya mitigasi dan adaptasi, upaya lain yang harus diperhatikan adalah memperhatikan manajemen risiko dan ketidakpastian dalam perubahan iklim. Hal ini sangat terkait dengan perubahan iklim itu sendiri yang kejadiannya bisa diukur namun juga bisa terjadi secara tidak pasti atau sulit diukur.

Pengarusutamaan Perubahan Iklim ke Dalam Kebijakan Perencanaan Pembangunan Nasional

Apabila kita terus melakukan kegiatan *business as usual*, maka negara-negara di dunia akan menanggung 1% dari PDB global untuk upaya mitigasi dampak perubahan iklim (Stern, 2006, *The Economics of Climate Change*). Hal ini tentu akan sangat memberatkan bagi negara berkembang dan negara kepulauan seperti Indonesia yang sangat rentan terhadap perubahan iklim. Untuk itu, sangat ditekankan pentingnya integrasi tidak saja upaya mitigasi tetapi terlebih upaya adaptasi perubahan iklim ke dalam rencana pembangunan, dengan disertai

kerjasama penuh antara Menteri bidang Lingkungan dengan Menteri yang menangani masalah perencanaan pembangunan dan perekonomian. Dengan kata lain, sudah saatnya isu perubahan iklim diperlakukan sebagai isu pembangunan dan bukan hanya isu lingkungan hidup semata. Selain itu, dinyatakan pula bahwa tantangan perubahan iklim secara global masuk dalam kategori *risk and uncertainty* (risiko dan ketidakpastian). Risiko berarti dampak perubahan iklim bisa diukur dan diprediksikan, sedangkan ketidakpastian merupakan suatu kejadian yang tidak dapat diperkirakan dan diukur besaran skala dampaknya, seperti gempa bumi dan bencana tsunami.

Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya penanggulangan yang harus terus dilakukan secara simultan oleh seluruh negara di dunia dalam rangkaantisipasi terhadap dampak perubahan iklim yang lebih buruk lagi. Upaya-upaya yang dapat dilakukan terbagi dalam dua kegiatan, yaitu upaya mitigasi (melalui upaya penurunan faktor penyebabnya) dan adaptasi (penyesuaian terhadap perubahan iklim). Upaya mitigasi dan adaptasi yang dilakukan di tingkat internasional diupayakan melalui konvensi seperti Protokol Kyoto. Sedangkan di tingkat nasional suatu negara adalah upaya mitigasi dan adaptasi yang disesuaikan dengan kondisi spesifik lokal dalam kegiatan pembangunan dan aktivitas masyarakatnya.

Upaya-upaya yang terintegrasi, baik di tingkat internasional maupun nasional diupayakan dalam rangka pengendalian perubahan iklim secara global dalam upaya pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Selain itu, upaya-upaya tersebut harus memasukkan agendaantisipasi perubahan iklim dari aspek perkiraan risiko dan ketidakpastian yang bisa mengukur berapa besar biaya yang diperlukan apabila terdapat kejadian bencana yang disebabkan oleh perubahan iklim.

Dalam Undang-undang No. 25 Tahun 2004 tentang Perencanaan Pembangunan Nasional dinyatakan bahwa perencanaan adalah suatu proses untuk menentukan tindakan masa depan yang tepat melalui urutan pilihan dengan memperhitungkan potensi sumber daya yang tersedia. Perencanaan pembangunan merupakan suatu bagian proses yang penting dalam keseluruhan lingkup pembangunan nasional untuk mencapai tujuan bernegara. Dengan demikian, merupakan suatu keharusan untuk memasukkan isu perubahan iklim dalam meletakkan dasar-dasar asumsi, pertimbangan, faktor, dan variabel yang berpengaruh dalam proses perencanaan.

Apalagi, akibat dari bencana terkait perubahan iklim akan memberikan implikasi dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat dengan *magnitude* dan sebaran yang cukup signifikan, sehingga perlu diantisipasi dengan pendekatan yang tidak lagi konvensional. Pendekatan yang mengedepankan pembangunan tiap (ego) sektor sebagai *entity* yang berdiri sendiri dengan perencanaan yang lebih berorientasi pada pemenuhan kebutuhan individual sektor sudah harus ditinggalkan. Terutama dalam kondisi keterbatasan sumber daya, perubahan iklim

harus ditangani dengan secara sadar sebagai suatu permasalahan yang hanya dapat ditanggulangi dengan mensinergikan semua sektor yang terkait. Untuk itu perencanaan pembangunan yang dapat menggambarkan unsur koordinasi, integrasi, serta sinergi dari setiap sektor harus menjadi basis dalamantisipasi risiko dampak dari perubahan iklim.

Menyadari akan pentingnya mengintegrasikan aspek perubahan iklim dalam lingkup perencanaan pembangunan dengan sifat penanganan yang lintas sektor dan lintas wilayah, maka prinsip dasar yang harus menjadi pijakan dalam perencanaan pembangunan ke depan diantaranya adalah:

- a. Keterpaduan antar sektor dan antar wilayah, dengan demikian tidak ada lagi perencanaan yang mengetengahkan keinginan atau ego sektoral.
- b. Keseimbangan antara eksploitasi dan konservasi dalam memanfaatkan sumber daya alam yang berwawasan lingkungan, sehingga tidak ada pemanfaatan sumber daya alam yang melampaui batas ambang kemampuan dan daya dukung yang ada.
- c. Partisipasi dari semua *stake holder*, sehingga proses perencanaan, pelaksanaan dan pemanfaatan hasil pembangunan memiliki daya guna dan manfaat yang tinggi dengan risiko biaya sosial yang sekecil mungkin.

Perencanaan dan Mekanisme Pembiayaan

Perencanaan pembangunan yang berkelanjutan dan antisipatif terhadap risiko perubahan iklim perlu didukung melalui mekanisme implementasi pembangunan yang tepat. Perencanaan dan implementasi pembangunan dapat dilaksanakan dalam berbagai kerangka instrumen perencanaan dan penganggaran untuk mendukung sinergi dan koordinasi yang perlu dilakukan lintas sektor secara horisontal dan lintas wilayah secara vertikal:

1. Penegakkan Instrumen Perencanaan Penataan Ruang

Untuk memastikan bahwa kegiatan pembangunan berjalan sesuai dengan daya dukung lingkungan dan tidak menimbulkan eksternalitas, aspek tata ruang perlu ditegakkan. Perencanaan tata ruang mengukur kemampuan daya dukung lingkungan untuk mampu menopang eksploitasi sumber daya alam tanpa merusak fungsi lingkungan hidup. Melalui pendekatan penataan ruang pula, dapat dihindari perbenturan kepentingan antar sektor, sehingga perencanaan pembangunan dapat diimplementasikan secara harmonis dan berwawasan lingkungan.

2. Meningkatkan Alokasi Anggaran Daerah yang Mendukung Pembangunan yang Berkelanjutan.

Sejalan dengan era otonomi daerah, diperlukan juga komitmen pemerintah daerah untuk menjalankan pembangunan yang berkelanjutan. Termasuk didalamnya mengelola sumber daya alam yang ada secara lestari. Selain dari pada itu juga untuk mencari sumber-sumber pembiayaan pembangunan alternatif lainnya selain dari eksploitasi sumber daya alam. Untuk mendukung hal tersebut, pemerintah perlu meningkatkan instrumen Dana Alokasi Khusus bidang Lingkungan Hidup untuk mengalokasikan program/kegiatan di daerah yang bermuatan antisipasi terhadap dampak dari perubahan iklim. Alokasi pendanaan dapat diberikan berdasarkan kriteria eligibility yang disesuaikan dengan tingkat kerentanan suatu daerah terhadap implikasi perubahan iklim. Bantuan anggaran untuk pelaksanaan program terkait perubahan iklim juga dapat dilakukan melalui instrumen subsidi dengan menggunakan mekanisme insentif/disinsentif. Yaitu dimana pemerintah daerah dapat menerima transfer anggaran pusat/subsidi berdasarkan pemenuhan suatu kondisi yang tertentu.

STRATEGI PEMBANGUNAN NASIONAL TERKAIT PERUBAHAN IKLIM

Dalam kaitannya dengan strategi untuk menindaklanjuti hasil UNFCCC 2007 di Nusa Dua, Bali bulan Desember lalu, khususnya aspek perencanaan pembiayaan untuk mitigasi dan adaptasi, BAPPENAS menyiapkan dokumen yang disebut "*National Development Planning Response to Climate Change.*" Dokumen tersebut dimaksudkan untuk menjembatani Buku Rencana Aksi Nasional (RAN) dalam Menghadapi Perubahan Iklim yang telah disusun oleh Kementerian Negara LH, dan RAN yang dipresentasikan oleh Kementerian Kesejahteraan Rakyat dalam sidang kabinet pada bulan Nopember 2007, menjadi terintegrasi dengan perencanaan pembangunan nasional dan potensi pendanaannya. Dokumen ini menjadi sangat penting dan strategis karena diperlukan suatu arahan program-program pembangunan nasional di dalam mengantisipasi perubahan iklim yang sejalan dengan *time frame* program pembangunan yang dilaksanakan oleh pemerintah selama ini yaitu Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP), Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) serta berbagai kebijakan fiskal.

Upaya tersebut tentunya harus didukung dengan perencanaan pembangunan yang tepat, terpadu, terukur dari program-program pembangunan yang terkait dengan perubahan iklim untuk setiap sektor sehingga arah kebijakan dan sasaran dari perencanaan pembangunan tersebut semakin jelas mengarah pada upaya antisipatif menghadapi tantangan perubahan iklim dunia. Tantangan yang paling berat bagi Indonesia adalah menformulasikan setiap usulan program strategis dalam bentuk dokumen perencanaan yang menjamin tercapainya upaya mitigasi dan adaptasi secara efektif, efisien dan berkelanjutan.

Secara operasional, diperlukan langkah awal untuk mengintegrasikan kebijakan penanganan dampak perubahan iklim ke dalam perencanaan pembangunan nasional, yaitu peningkatan *awareness* bagi para *stake holder* perencanaan dan pengambil keputusan dalam sistem perencanaan pembangunan nasional. Untuk itu diperlukan upaya untuk meningkatkan kesadaran, mengembangkan kapasitas teknis dan membangun komitmen diantara institusi pemerintah dalam upaya meningkatkan pengelolaan lingkungan sebagai pondasi dasar bagi pembangunan jangka panjang.

Untuk merespon hal tersebut di atas Indonesia telah memasukkan isu perubahan iklim ke dalam RPJMN 2004-2009, khususnya dalam Bab 32 Perbaikan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Pelestarian Fungsi Lingkungan Hidup, yaitu di dalam Program Peningkatan Kualitas dan Akses Informasi SDA LH, dan Program Pengendalian Pencemaran dan Perusakan Lingkungan Hidup. Fokus utama yang diprioritaskan adalah pengarusutamaan penanganan dampak perubahan iklim ke dalam prioritas pembangunan lintas sektoral. Hal ini dimaksudkan agar dampak perubahan iklim dapat secara nyata dipelajari dan ditangani oleh tiap sektor (*mitigation action*). Selain itu diharapkan pula bahwa investasi pemerintah secara terkoordinasi dapat difokuskan pada upaya adaptasi terhadap perubahan iklim yang tidak dapat dihindari lagi.

Selain itu, isu perubahan iklim juga telah diidentifikasi sebagai tantangan yang harus kita hadapi dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005-2025. Hal ini didasarkan kepada telah terjadinya berbagai bencana yang diakibatkan oleh iklim ekstrim di Indonesia seperti bencana banjir dan kekeringan yang sangat merugikan perekonomian nasional. Bencana tersebut diperkirakan akan makin sering terjadi di masa yang akan datang mengingat data-data telah menunjukkan bahwa frekuensi kecenderungan potensi bencana akibat perubahan iklim makin meningkat (misalnya *El-Nino* dan *La-Nina* yang frekuensinya makin singkat).

Dalam Rencana Kerja Pemerintah (RKP) tahun 2008, Pemerintah juga telah menyusun Program yang berkaitan dengan isu perubahan iklim, yaitu Program Penurunan Risiko Bencana (termasuk bencana meteorologi) yang merupakan salah satu program di antara delapan program prioritas dalam RKP 2008. Konsekuensi dari program prioritas tersebut, alokasi pendanaan untuk program *Meteorological Early Warning System (MEWS)* di BMG telah ditingkatkan untuk memperbaiki sistem deteksi dini nasional terhadap variabilitas iklim di Indonesia.

Table 1 memperlihatkan prioritas pembangunan nasional pada RPJP (2005-2025) dan RPJM (2005-2009), dan beberapa sektor terkait secara langsung maupun tidak langsung terkait dengan upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Di dalam RPJP, arah pembangunan yang secara langsung terkait dengan upaya mitigasi dan adaptasi adalah pada misi pembangunan untuk mewujudkan Indonesia yang Asri dan Lestari. Upaya ini selanjutnya dijabarkan dalam RPJM 2004-2009 Bab 19

tentang Revitalisasi Pertanian, Bab 28 Peningkatan Akses Masyarakat terhadap Pelayanan Kesehatan yang Berkualitas, Bab 32 tentang Perbaikan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Pelestarian Fungsi Lingkungan Hidup, dan Bab 33 tentang Percepatan Pembangunan Infrastruktur.

Tabel 1. Beberapa Program Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim dalam RPJP 2005-2025 dan RPJM 2004-2009

Target Prioritas RPJP 2005-2025	Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2004-2009		
	Prioritas Pembangunan	Sektor	Program-program Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
Terwujudnya Indonesia yang asri dan lestari	Revitalisasi Pertanian, Perikanan, Kehutanan, dan Pengembangan Perdesaan	Pertanian, Kelautan dan Perikanan, Kehutanan,	1. Program Pemantapan Pemanfaatan Potensi Sumber Daya Hutan ; 2. Program Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Daya Kelautan;
		Pertambangan dan SDM,	3. Program Perlindungan dan Konservasi Sumber Daya Alam;
		Lingkungan	4. Program Rehabilitasi dan Pemulihan Cadangan Sumber Daya Alam; 5. Program Pengembangan Kapasitas Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan; 6. Program Peningkatan Kualitas Dan Akses Informasi Sumber Daya Alam Dan Lingkungan Hidup ; 7. Program Pengendalian Pencemaran dan Pembinaan Metereologi dan Geofisika.
		Penataan Ruang	1. Program Penataan Ruang 2. Program Pengembangan wilayah Perbatasan
	Peningkatan Akses dan Kualitas Pendidikan dan Kesehatan	Kesehatan	1. Program promosi kesehatan dan pemberdayaan masyarakat 2. Program lingkungan sehat dan upaya kesehatan masyarakat 3. Program pencegahan dan pemberantasan penyakit terkait perubahan iklim. 4. Program perbaikan gizi masyarakat 5. Program obat dan perbekalan kesehatan

Target Prioritas RPJP 2005-2025	Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2004-2009		
	Prioritas Pembangunan	Sektor	Program-program Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
		Pendidikan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Program Pendidikan Wajar 9 Tahun 2. Program Pendidikan Menengah 3. Program Pendidikan Tinggi. 4. Program Penelitian dan Pengembangan Pendidikan.
	Percepatan Pembangunan Infrastruktur dan Peningkatan Pengelolaan Energi	Sumber Daya Air	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengembangan, pengelolaan, dan konservasi sungai, danau, dan sumber air lainnya 2. Program pengembangan dan pengelolaan jaringan irigasi, rawa, dan jaringan pengairan lainnya 3. Program penyediaan dan pengelolaan air baku secara terpadu dan berkelanjutan. 4. Program Terpadu Pengendalian Banjir dan Pengamanan pantai.
		Transportasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Program Pengembangan Sistem Transportasi Masal Aman dan Nyaman. 2. Program pengembangan dan pembinaan meteorologi dan geofisika untuk keperluan Navigasi. 3. Program Kebijakan Pembatasan Kendaran Pribadi Secara Bertahap di Daerah Perkotaan. 4. Program Penataan Sistem Transportasi Publik yang Aman, Nyaman dan Terjangkau. 5. Program Pengendalian Kemacetan dan Pencemaran Udara Akibat Sarana Transportasi.
		Energi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Program Konservasi Energi 2. Program Diversifikasi Energi 3. Program Pengendalian Lingkungan Hidup
		Ketenagalistrikan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Program penguasaan dan pengembangan aplikasi serta teknologi ketenagalistrikan 2. Program pengembangan sumber energi diperbarukan

Target Prioritas RPJP 2005-2025	Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2004-2009		
	Prioritas Pembangunan	Sektor	Program-program Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
		Perumahan dan permukiman	<ol style="list-style-type: none"> 1. Program Pengembangan Perumahan 2. Program Pemberdayaan Komunitas Perumahan Berwawasan Lingkungan 3. Program Pembangunan Sistem Penyediaan Air Minum dan Pengolahan Limbah Cair 4. Program Pembangunan Sistem Pengelolaan Persampahan dan Jaringan Drainase Perkotaan. 5. Program Pengembangan Teknologi Pengolahan untuk Daur Ulang Limbah Cair untuk Alternatif Sumber Air Baku di Daerah Perkotaan.

PENUTUP

Berdasarkan uraian di atas, pada dasarnya kebijakan perencanaan pembangunan nasional telah secara eksplisit mengakomodir upaya antisipasi perubahan iklim untuk lingkup nasional di dalam program-program yang terkait baik secara langsung maupun tidak langsung. Beberapa kegiatan yang terkait dengan perubahan iklim yang terdapat di dalam RPJM 2004 - 2009. Walaupun upaya antisipasi berupa program-program yang terkait secara langsung maupun tidak langsung dengan upaya mitigasi dan adaptasi telah masuk dalam rencana pembangunan, namun kegiatan atau program pembangunan tersebut belum menjadi bagian yang penting atau utama dimana secara khusus mendapat alokasi pendanaan yang prioritas dan signifikan untuk mengantisipasi perubahan iklim. Untuk itu, diperlukan penajaman terhadap program-program tersebut secara khusus sehingga mengarah pada upaya antisipasi terhadap perubahan iklim.

Dalam kaitannya dengan Simposium VII Meteorologi Pertanian yang diprakarsai oleh Pengurus Pusat Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI) ini, karena sektor pertanian merupakan sektor yang mempunyai ketergantungan pada kondisi iklim dan merupakan sektor yang akan terkena dampak serius akibat perubahan iklim tersebut, maka sangat diharapkan sekali bahwa kegiatan strategis yang menghimpun para ahli, peneliti, pemerhati dan praktisi dalam bidang meteorologi akan dapat menghasilkan rumusan-rumusan strategis yang dapat mengurangi kerentanan sektor pertanian terkait dengan ketahanan pangan dan ekonomi nasional.

Tabel 2. Integrasi Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim dalam Kegiatan Rencana Kerja Pemerintah Tahunan (RKP)

Rencana Kerja Pemerintah Tahunan		
Prioritas Pembangunan	Sektor Terkait	Kegiatan Pokok/Prioritas Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
Revitalisasi Pertanian, Perikanan, Kehutanan, dan Pembangunan Perdesaan	Pertanian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Peningkatan Iptek Pertanian dan pengembangan penelitian pertanian dan pemanfaatan teknologi tepat guna yang ramah lingkungan. 2. Pembukaan atau penyiapan lahan pertanian tanpa pembakaran. 3. Rehabilitasi lahan kritis di sekitar area perkebunan. 4. Penerapan pertanian organik (organic farming).
	Kelautan dan Perikanan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penanaman hutan bakau dan penghijauan wilayah pantai 2. Rehabilitasi ekosistem laut (terumbu karang). 3. Penelitian dan pengembangan dampak perubahan iklim terhadap area penangkapan ikan, potensi pembiakan rumput laut dan terumbu karang 4. Pengembangan database dan informasi kerentanan dan risiko perubahan iklim pada daerah pantai dan pulau-pulau kecil. 5. Megendalikan pencemaran dan perusakan lingkungan hidup di wilayah pesisir, laut, perairan tawar, dan pulau-pulau kecil.
	Kehutanan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rehabilitasi kawasan hutan dan lahan 2. Pembentukan Forest Management Unit (FMU) untuk mitigasi terhadap perubahan iklim 3. Moratorium di kawasan hutan tertentu dan peningkatan kapasitas implementasi kebijakan REDD. 4. Pengendalian ilegal logging dan pencegahan kebakaran hutan. 5. Penatagunaan hutan dan pengendalian alih fungsi dan status kawasan hutan
	Lingkungan Hidup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengendalian dan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dari berbagai aktifitas antropogenik. 2. Peningkatan kapasitas pengelolaan risiko akibat perubahan iklim. 3. Pengembangan dan pengelolaan lahan gambut yang berkelanjutan 4. Peningkatan kapasitas pemerintah daerah dalam upaya mereduksi emisi GRK. 5. Pengembangan Program Adipura dalam upaya reduksi emisi GRK dari TPA sampah organik. 6. Perluasan pelaksanaan program PROPER dalam kaitannya dengan reduksi emisi GRK dari sektor industri. 7. Pengembangan program penurunan tingkat konsentrasi bahan pencemar udara akibat pembakaran bahan bakar fosil melalui kegiatan langit biru dan hari tanpa kendaraan

Rencana Kerja Pemerintah Tahunan		
Prioritas Pembangunan	Sektor Terkait	Kegiatan Pokok/Prioritas Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
		bermotor di daerah perkotaan. 8. Pengembangan dan peningkatan jumlah proyek CDM dalam upaya reduksi emisi GRK. 9. Pengembangan program Menuju Indonesia Hijau dalam upaya perbaikan lahan kritis. 10. Pengendalian pencemaran dan perusakan lingkungan hidup.
	Pertambangan dan Sumber Daya Mineral	1. Rehabilitasi kawasan kritis bekas tambang dan produksi migas yang berwawasan lingkungan. 2. Konservasi dan optimalisasi pemanfaatan air tanah di daerah Perkotaan. 3. Eksplorasi dan eksploitasi pertambangan dengan mempertimbangkan fungsi dan daya dukung lingkungan
	Penataan Ruang	1. Penguatan kapasitas kelembagaan dan koordinasi penataan ruang di tingkat nasional dan daerah untuk pemanfaatan ruang serta pengendalian alih fungsi ruang. 2. Penyusunan tata ruang dan zonasi wilayah yang rentan terhadap dampak bencana akibat perubahan iklim (banjir, longsor, dan kekeringan). 3. Peningkatan kualitas pemanfaatan dan pengendalian ruang wilayah yang berbasis mitigasi bencana, daya dukung lingkungan, dan pengembangan kawasan.
Penanganan Bencana, Pengurangan Risiko Bencana dan Peningkatan Pemberantasan Penyakit Menular	Meteorologi dan Geofisika	1. Pembangunan sistem dan informasi peringatan dini meteorologis 2. Pengembangan dan pemanfaatan teknologi Meteorologi dan Geofisika untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. 3. Pengembangan dan pembinaan bidang meteorologi dan geofisika untuk keperluan navigasi darat, laut dan udara. 4. Penelitian dan pengembangan bidang meteorologi dan geofisika yang bermanfaat untuk meningkatkan produksi pertanian/pangan dan penanggulangan bencana terkait perubahan iklim.
Peningkatan Akses dan Kualitas Pendidikan dan Kesehatan	Kesehatan	1. Pengembangan penelitian untuk indentifikasi penyakit-penyakit terkait perubahan iklim 2. Peningkatan pengawasan penyakit dan perlindungan kesehatan. 3. Pengembangan sistem perintan dini untuk mengantisipasi bencana dan wabah penyakit. 4. Penyebaran informasi dan pendidikan masyarakat terhadap dampak perubahan iklim pada kesehatan 5. Pelatihan kesehatan preventif untuk perbaikan sanitasi lingkungan. 6. Pencegahan dan pemberantasan penyakit terkait perubahan iklim.

Rencana Kerja Pemerintah Tahunan		
Prioritas Pembangunan	Sektor Terkait	Kegiatan Pokok/Prioritas Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim
	Pendidikan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengembangan kurikulum dengan mengintegrasikan permasalahan lingkungan, khususnya perubahan iklim dalam kurikulum pendidikan nasional dalam semua level. 2. Pengembangan kerjasama penelitian dan pemanfaatan hasil penelitian tentang perubahan iklim antara institusi pendidikan dan pemerintah yang bersifat lintas sektor dan wilayah.
Percepatan Pembangunan Infrastruktur dan Peningkatan Pengelolaan Energi	Sumber Daya Air	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengembangan, pengelolaan, dan konservasi sungai, danau, dan sumber air lainnya 2. Pengembangan dan pengelolaan jaringan irigasi, rawa, dan jaringan pengairan lainnya 3. Penyediaan dan pengelolaan air baku secara terpadu dan berkelanjutan. 4. Program terpadu pengendalian banjir dan pengamanan daerah pantai.
	Transportasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengembangan sistem transportasi publik perkotaan masal aman, nyaman, dan terjangkau. 2. Kebijakan pembatasan penambahan kendaraan, khususnya kendaraan pribadi secara bertahap di daerah perkotaan. 3. Pembangunan jalan tol dengan pemanfaatan lahan secara ramah lingkungan. 4. Penyediaan dan pengembangan jalur khusus untuk sepeda dalam rangka mendorong alternatif transportasi tanpa emisi. 5. Program pengendalian kemacetan dan pencemaran udara akibat sarana transportasi.
	Perumahan dan permukiman	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemberdayaan komunitas perumahan berwawasan lingkungan. 2. Pengembangan dan pembangunan sistem penyediaan air minum dan pengolahan limbah cair. 3. Pengembangan dan pembangunan sistem pengelolaan persampahan (TPA) dan jaringan drainase perkotaan. 4. Pengembangan teknologi pengolahan untuk daur ulang limbah cair untuk alternatif sumber air baku di daerah perkotaan.
	Energi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kegiatan konservasi energi 2. Diversifikasi energi menuju energi terbarukan 3. Program pengendalian emisi GRK dari aktifitas pembangkit dan pemanfaatan energi.

PENINGKATAN KAPASITAS ADAPTASI NASIONAL TERHADAP PERUBAHAN IKLIM MELALUI KERJASAMA LINTAS SEKTOR DAN DAERAH

Masnellyarti Hilman

DEPUTI Bidang Peningkatan Konservasi Sumberdaya Alam dan
Pengendalian Kerusakan Lingkungan
MENEG LINGKUNGAN HIDUP

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Distinguished Participant,

Ladies and gentleman,

Pertama-tama saya ingin menyampaikan salam hangat dan selamat datang kepada semua peserta kongres dan simposium ini.

Kedua, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung sehingga acara penting seperti ini dapat diselenggarakan dengan baik.

Hadirin yang saya hormati,

Secara umum perubahan iklim akan membawa perubahan kepada parameter-parameter cuaca seperti curah hujan, tekanan, kelembaban udara, laju serta arah angin, kondisi awan, radiasi matahari. Perubahan pada curah hujan akan berdampak pada sektor-sektor yang terkait dengan air yaitu sumber daya air, pertanian, infrastruktur (termasuk pemukiman), transportasi, pembangkit listrik tenaga air dan penataan ruang, perikanan, rawa dan lahan gambut serta pantai.

Dampak perubahan iklim terhadap sektor-sektor terkait sumber daya air antara lain:

- Meningkatnya kejadian cuaca dan iklim ekstrim yang berpotensi menimbulkan banjir, tanah longsor dan kekeringan. Hal ini akan meningkatkan kerusakan prasarana dan sarana, menurunnya produksi pangan serta kerugian harta benda perorangan dan korban jiwa manusia, termasuk juga ancaman terjadi badai dan gelombang yang tinggi sehingga mengancam keselamatan pelayaran. Ancaman badai ini juga dapat menyebabkan terjadinya pengungsian penduduk yang tinggal pada dataran rendah pantai dan pulau-pulau kecil.
- Meningkatnya ancaman intrusi air laut yang selanjutnya dapat menimbulkan berbagai masalah sosial, ekonomi dan lingkungan pada daerah yang terkena dampak.
- Terganggunya transportasi air di darat pada pedalaman Kalimantan akibat menyusutnya muka air sungai di musim kemarau sehingga sungai tidak dapat dilalui oleh kapal besar.

- Meningkatnya kerentanan kebakaran pada lahan gambut akibat peningkatan suhu dan berkurangnya curah hujan di musim kemarau.
- Ancaman kerusakan habitat mangrove dan *coral reef* dan populasi ikan di perairan Indonesia.
- Meningkatnya ancaman atas keanekaragaman hayati akibat perubahan tata guna dan tutupan lahan dan tekanan akibat meningkatnya jumlah penduduk.
- Di sektor kesehatan, meningkatnya ancaman terjadinya peledakan penyakit seperti malaria, demam berdarah, kolera dan lain-lain.

Hadirin yang saya hormati,

Sebagai negara kepulauan, Indonesia sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Dengan kondisi sebagai negara berkembang, kemampuan Indonesia dalam melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim belumlah sebaik negara-negara maju. Oleh karena itu dikhawatirkan bahwa pembangunan yang sedang dilaksanakan oleh pemerintah bisa terhambat karena dampak perubahan iklim. Dengan kata lain, program pengentasan kemiskinan (*Millenium Development Goals*) program pembangunan berkelanjutan lainnya menjadi terancam.

Selain itu, saya ingin menggarisbawahi bahwa golongan (masyarakat) yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim adalah masyarakat dengan pendapatan rendah, yang juga merupakan golongan yang paling rentan terhadap dampak perubahan iklim. Dampak perubahan iklim akan lebih memperburuk keadaan mereka. Secara sosial, perkembangan pembangunan sosial dan ekonomi mungkin menjadi langkah mundur, alih-alih perbaikan kondisi mereka. Sehingga program adaptasi perubahan iklim harus memberikan perhatian khusus kepada saudara-saudara kita tersebut.

Semua yang telah disebutkan di atas, memberikan indikasi kepada kita bahwa sudah saatnya memberikan perhatian yang lebih terhadap adaptasi perubahan iklim. Saya yakin acara yang digelar oleh PERHIMPI ini merupakan perwujudan perhatian tersebut dan perlu ditiru oleh kelompok pakar yang terkait dengan isu perubahan iklim untuk melakukan hal yang serupa secara periodik.

Para peserta sekalian,

Kita beruntung bulan lalu kita diberi kepercayaan sekaligus memiliki kesempatan untuk menjadi tuan rumah Konvensi Perubahan Iklim di Nusa Dua Bali dan dinilai telah berhasil. Salah satu hikmah yang dapat kita rasakan adalah berupa terpacunya semua pemangku kepentingan berusaha secara proaktif untuk mendapatkan informasi dan memahami isu perubahan iklim. Dan secara khusus Bapak Presiden telah meminta Kementerian Negara Lingkungan Hidup untuk mempersiapkan rencana aksi nasional yang dikembangkan selama tahun anggaran 2007

dan berhasil kita selesaikan sebelum Konferensi Perubahan Iklim berlangsung. Untuk adaptasi, kemudian dikembangkan juga strategi adaptasi nasional.

Strategi nasional menghadapi perubahan iklim juga diarahkan pada pengembangan rekayasa sosial agar masyarakat dapat mengalami perubahan sosial secara terencana, sistematis dan menyeluruh yang dapat memberikan manfaat bagi kelangsungan kehidupan sosial dan ekologi.

Adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan aspek kunci yang harus menjadi agenda pembangunan nasional dalam rangka mengembangkan pola pembangunan yang tahan terhadap dampak perubahan iklim dan gangguan anomali cuaca yang terjadi saat ini akanantisipasi dampaknya ke depan. Tujuan jangka panjang dari agenda adaptasi perubahan iklim di Indonesia adalah terintegrasinya adaptasi perubahan iklim ke dalam perencanaan pembangunan nasional.

Hadirin sekalian,

Upaya adaptasi harus dilakukan melalui beberapa pendekatan: (1) Mengintegrasikan agenda adaptasi perubahan iklim ke dalam rencana pembangunan nasional seperti Rencana Pembangunan Jangka Menengah dan Jangka Panjang, (2) Meninjau kembali dan menyesuaikan inisiatif atau program yang ada sehingga menjadi tahan (*resilience*) terhadap perubahan iklim, (3) melembagakan pemanfaatan informasi iklim sehingga mampu mengelola risiko iklim, (4) Mendorong daerah otonom untuk mengintegrasikan pertimbangan risiko iklim ke dalam perencanaan pembangunan daerah, (5) Memperkuat informasi dan pengetahuan untuk mengurangi risiko iklim sekarang dan masa yang akan datang, (6) Memastikan tersedianya sumber daya dan pendanaan yang berasal dari dalam negeri untuk kegiatan adaptasi serta memanfaatkan semaksimal mungkin bantuan pendanaan internasional, (7) Memilih opsi *no-regrets* (tanpa penyesalan), yakni mengambil tindakan adaptasi, meski misalnya perubahan iklim tidak terjadi, sehingga manfaat yang diperoleh selain dapat mengurangi kerentanan terhadap perubahan iklim sekaligus mendatangkan manfaat bagi pembangunan nasional, dan (8) Mendorong terbentuknya dialog nasional sehingga dapat mempercepat proses pengimplementasian agenda adaptasi perubahan iklim di Indonesia.

Agenda adaptasi perubahan iklim difokuskan pada area yang rentan terhadap perubahan iklim, yakni: sumber daya air, pertanian, perikanan, pesisir dan laut, infrastruktur dan pemukiman, kesehatan dan *biodiversity*. Untuk mencapai pembangunan yang tahan terhadap risiko iklim, pada masing-masing area fokus perlu untuk diketahui: (1) Tujuan agenda perubahan iklim yang ingin dicapai terkait erat dengan tujuan pembangunan nasional, yang dapat juga diselaraskan dengan pencapaian *Millenium Development Goals* (MDGs) Indonesia, (2) Kondisi yang ada pada masing-masing area fokus saat ini baik biofisik, program dan inisiatif yang ada serta institusi yang bertanggung jawab terhadap dampak perubahan

iklim, (3) Perubahan kunci yang diperlukan pada program, investasi atau rencana yang sudah ada, dan (4) Investasi dan kegiatan tambahan atau baru yang diperlukan.

Agenda adaptasi dalam strategi pembangunan untuk menghadapi anomali iklim atau variabilitas iklim saat ini, antara lain dengan cara:

1. Program pengurangan risiko bencana terkait iklim melalui program penghutanan kembali, penghijauan terutama di kawasan hutan/lahan yang kritis, baik di hulu maupun di hilir (kawasan pesisir) dengan keterlibatan masyarakat
2. Peningkatan kesadaran dan penyebarluasan informasi perubahan iklim dan informasi adaptasi pada berbagai tingkat masyarakat terutama untuk masyarakat yang rentan sebagai tindakan kesiapsiagaan dini dan peningkatan kesadaran tentang bencana iklim yang semakin meningkat
3. Peningkatan kapasitas pengkajian ilmiah tentang perubahan iklim dan dampaknya serta upaya pengendaliannya serta mengembangkan model proyeksi perubahan iklim jangka pendek, menengah dan panjang untuk skala lokal atau regional yang diperlukan untuk menilai kerentanan dan dampak iklim serta menyusun rencana dan strategi kebijakan adaptasi terhadap perubahan iklim untuk jangka pendek, menengah dan panjang
4. Peninjauan kembali kebijakan-kebijakan inti yang secara langsung maupun tidak langsung akan dipengaruhi oleh perubahan iklim. Kemudian mengidentifikasi penyesuaian seperti apa yang harus dilakukan terhadap program-program yang didisain dengan kebijakan-kebijakan itu dengan mempertimbangkan arah perubahan iklim dan kenaikan muka air laut serta perubahan kondisi sosial ekonomi untuk mendapatkan kebijakan dan program yang lebih tahan terhadap perubahan iklim
5. Peningkatan kapasitas untuk mengintegrasikan perubahan iklim dengan pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim ke dalam perencanaan, perancangan infrastruktur, pengelolaan konflik dan pembagian kawasan air tanah untuk institusi pengelolaan air
6. Pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim ke dalam kebijakan dan program di berbagai sektor (dengan fokus pada penanggulangan bencana, pengelolaan sumber daya air, pertanian, kesehatan dan industri)
7. Pengembangan isu perubahan iklim dalam kurikulum sekolah menengah dan perguruan tinggi
8. Pengembangan sistem pengamatan cuaca, iklim dan hidrologi khususnya di luar Jawa dan peningkatan kapasitas BMG dalam membuat ramalan cuaca dan iklim yang lebih akurat mencakup seluruh Indonesia
9. Pengembangan sistem infrastruktur dan tata ruang serta sektor-sektor yang tahan dan tanggap terhadap guncangan dan perubahan iklim, dan pengembangan serta penataan kembali tata ruang wilayah, khususnya pada kawasan pantai

Para peserta yang saya hormati,

Selain apa yang telah saya uraikan di atas berdasarkan RAN-PI yang telah kita miliki saat ini, saya ingin berbagi pandangan berdasarkan perkembangan terakhir untuk pengembangan strategi dan langkah aksi ke depan, sesuai dengan semangat untuk selalu memutakhirkan data dan informasi seperti juga tertuang di dalam dokumen RAN-PI kita.

Kita perlu juga memanfaatkan semaksimal mungkin apa yang telah diputuskan pada COP-12 di Nairobi tahun 2006, yaitu *Nairobi Work Programme* (NWP), yang bertujuan untuk menyediakan panduan bagi pemangku kepentingan adaptasi, khususnya sektor dalam mengembangkan program adaptasinya terutama dalam meningkatkan pemahaman dan dalam melakukan pengkajian dampak, kerentanan dan adaptasi dan untuk membuat para pengambil keputusan terinformasikan mengenai aksi-aksi dan praktek-praktek adaptasi untuk merespon perubahan iklim yang berbasis ilmiah, teknis, dan sosio-ekonomis dengan mempertimbangkan perubahan iklim dan variabilitas iklim pada saat ini dan masa yang akan datang.

Hadirin yang saya hormati,

Salah satu area kerja NWP yang sangat terkait dengan judul kongres dan simposium ini adalah *Adaptation Planning, Practices* yang meliputi: pengumpulan, analisis dan diseminasi informasi mengenai aksi dan tindakan adaptasi yang praktis, termasuk proyek-proyek strategi, pengetahuan lokal dan adat (*indigenous*). Serta memfasilitasi komunikasi dan kerjasama diantara organisasi, pelaku bisnis, masyarakat sipil, pengambil keputusan dan para pemangku kepentingan lainnya.

Karena isu perubahan iklim adalah isu global maka kita pun perlu mengenal implikasinya (khususnya disini pada sektor pertanian) untuk kita waspadai di tingkat nasional, seperti:

- Hasil panen yang akan menurun di daerah lintang rendah (dan meningkat di lintang tinggi).
- Meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian ekstrim, seperti: kekeringan, kebakaran, banjir dengan konsekuensi ketidakamanan pangan, baik secara kronis maupun transitori (sementara).
- Kehilangan area-area pembibitan untuk perikanan dikarenakan penggenangan dan erosi kawasan pantai di daerah-daerah rendah di kawasan tropis.
- Musnahnya secara lokal spesies ikan komersial.
- Hilangnya lahan-lahan pertanian di kawasan pesisir/estuaria karena intrusi air laut.
- Kebutuhan untuk memperbaiki ketersediaan air dan penggunaan yang lebih efisien.
- Meningkatnya penyakit-penyakit ternak dan transfer patogen dari binatang ke manusia.

Selain itu kita pun perlu memahami mengenai kesenjangan (gap) dan hambatan yang ada, diantaranya:

- Sistem observasi nasional yang sistematis (*systematic national observing systems*) untuk lahan, air, atmosfer telah menurun khususnya di negara-negara miskin. Mudah-mudahan di Indonesia tidak. Berbagi mengenai keberadaan data umumnya menjadi masalah.
- Miskinnya pengalaman dalam pendekatan adaptasi dan mitigasi yang terintegrasi ada yang berhasil.
- Apakah struktur institusi dan kapasitas sudah mencukupi untuk memenuhi tantangan yang dihadapi?
- Berdasarkan pengalaman dan pembelajaran dari masa lalu maka kita perlu memperhitungkan hal-hal berikut:
 - Pembangunan kapasitas memerlukan jangka waktu yang lama
 - Investasi jangka panjang tidak selamanya dapat menjamin keberlanjutan (*sustainability*)
 - Walaupun data yang digunakan merupakan data terbaik, informasi dan perencanaan tidak lantas langsung dapat menghasilkan kebijakan atau praktek-praktek yang baik
 - Institusi sumber daya manusia, hubungan antar-institusi adalah kunci-kunci untuk selayaknya mendapat perhatian
 - Fokus pada aksi-aksi yang dapat mempengaruhi masyarakat yang paling terkena dampak

Hadirin yang saya hormati,

Demikian arahan ataupun informasi yang dapat kami sampaikan. Semoga dapat menjadi bahan diskusi yang berguna bagi saudara sekalian, untuk selanjutnya dapat menjadi *feed back* bagi kami dalam upaya penyempurnaan dokumen RAN-PI yang sudah kita miliki. Selamat bersimposium.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Jakarta 15 Januari 2008

INDONESIA'S CLIMATE CHANGE ADAPTATION PROGRAMME

Alex Heikens

UNDP Indonesia Country Office

Background

Whether changes in the climate that we are now experiencing are due to natural variability or from global warming, or some interaction of the two, it is clear that communities in Indonesia are already experiencing more frequent and severe climate related disasters. Combined with unsustainable spatial development and environmental degradation, the impacts of climate hazards are becoming more severe. There is however sometimes a tendency to blame climate change to be the main factor causing such developmental problems without proper analysis and justification. This is unscientific and quite misleading and may result in the adoption of wrong policies. For example, climate change is often cited to be the key reason for water shortages for irrigation and resulting crop failures in the northern coastal area of West Java, the Pantura. However, investigations have revealed that the main cause has been irrational spatial development. This has resulted in allowing many industries and housing projects developing on irrigated lands. Much of the water is now used by the industries and new settlements, leaving less and less water for the rice fields. Careful analysis of all factors including climate involved in development issues is therefore essential.

Climate change is not only a serious threat to Indonesia's socio-economic development, but also, the impacts of climate change are further exacerbated by current policies and patterns of unsustainable development. Adaptation to climate change hence requires a process of strengthening and building anticipation strategies in order to reduce the negative impacts and to benefit from variability and changes. It requires to be pursued in the context of a sustainable development framework. The integration of the three pillars of sustainable development – economy, social, and ecology – in developing climate change adaptation agenda is hence crucial. This shall be effectively achieved through optimizing the use of existing national resources and infrastructures to address urgent priorities for social economic growth, environmental sustainability and poverty alleviation efforts.

While adaptation is vital across a whole range of development activities it is particularly important for agriculture, coastal zones, water supply, health sector and settlements and infrastructure.

What are the gaps?

Based on National Action Plan to Address Climate Change (RAN-PI) and Indonesian Country Report on Climate Change have identified substantial gaps that need to be addressed to strengthen Indonesia's capacity to adapt to climate change. These include:

- 1) The society's inability to address the issue of climate change is due to large uncertainties surrounding the likely effects of climate change on sectors. However, ignoring climate change in developing strategies and plans may lead to approaches that do not have the capacity to adapt to climate change in the future. This would exacerbate vulnerabilities to climate risks. Developing the essential knowledge demands well-coordinated multidisciplinary research activities is essential.
- 2) The limited awareness among stakeholders about climate risks and opportunities prevents the society to anticipate and respond effectively to climate change. A programme that facilitates public consultation and active participation in sharing knowledge and lessons learned on addressing climate variability and climate change between organizations, business, civil society, decision makers, parliament members, media, and other stakeholders is required.
- 3) The capacity of stakeholders to utilize the climate prediction and climate information products into the decision making processes is rather limited. Lack of intermediate interpretation of long-range forecasts into locally usable information has proven to be a formidable barrier in incorporating probabilistic climate information into the decision-making process at policy and grass-roots level.
- 4) Implementation of policy and regulation related to climate change needs to be advanced. The GOI has recently issued a number of national policies and regulations that provide directly or indirectly opportunities to create end-to-end system in managing climate risks and getting benefit from climate variability and climate change. However, local governments and other stakeholders are not much aware of these. The policies and regulation should be translated into local regulations that facilitate the implementation of '*climate smart*' development.
- 5) The lack of regionalized information on climate change and hydrological systems is hampering better anticipation of climate variability and changes. Development of a regional climate model for Indonesia is not easy but a start must be made. At present, the level of data availability from Java is much better than in many other regions. A serious attempt will be necessary to fill in important gaps in present data sets. Many of the present and anticipated impacts of climate change and climate variability are directly or indirectly related to water. To deal with these, a sound basis of hydrological knowledge is essential. It will therefore be necessary to strengthen the data collection and knowledge base on hydrological and meteorological phenomena.

Especially river run off, groundwater resources, water and land use, and rainfall data are critical.

- 6) Poor reflection of risks associated with climate variability and change in spatial plans and infrastructure investment is caused by a lack of guidance on how to utilize climate information in the planning and designing process. An evaluation of current policy frameworks for spatial planning with an eye towards climate smart spatial development is urgently required.

What are the Objectives and Principles of Climate Change Adaptation in Indonesia?

The RAN-PI considers climate change adaptation as a development issue, closely linked to poverty eradication and achieving the Millennium Development Goals. It states that climate change adaptation should be integrated into national development planning. This would include the Medium Term Development Process (RPJM) and Long Term Development Plan (RPJP). Integrating climate change adaptation agenda into national development decision making is important to promote the discrete institutions and policies to assess priorities, direct resources and focus efforts. This will eventually result in sustainability and cost effective implementation of climate change adaptation concerns and priorities.

Based on the RAN-PI, a 25 year - vision of climate change adaptation in Indonesia can be formulated as: “Indonesia’s national development will be climate smart”. Climate smart means the ability and capacity to cope with the adverse impacts of climate change and make better use of opportunities, while checking sectoral activities on possible counter-productivity in terms of the climate problem (Climate Risk and Opportunity Management: C-ROM).

RAN-PI has laid down a number of principles that should be taken into account when developing the climate change agenda. These key-principles are elaborated on below:

- *Opting for no-regrets measures and addressing climate variability as the starting point*

A no-regrets strategy is based on the precautionary principle: where there are threats of serious or irreversible damage to the environment, lack of full scientific certainty should not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation. A no-regrets adaptation strategy therefore provides benefits to communities whether anticipated climate changes materialize or not in the expected time frame. Also, since adaptation will involve costs, deriving of benefits based on a “no regrets option” will be justified on economic grounds. Some examples of no-regrets strategies include: better land use planning, avoiding building

in low-lying or regularly flooded areas, housing which is more able to withstand climate hazards, and strengthening building codes for vulnerable areas.

Furthermore, although the connection between global warming and climate variability is not clear yet, climate variability is significantly affecting Indonesia's economy irrespective of whether climate changes occur or not. For instance, whenever El-Nino occurred, the rice productions loss due to drought increased significantly. No-regrets strategies should start with addressing the issues of climate variability. Raising capacity of farmers on how to manage the climate risks and opportunities posed by climate variability in their farming activities is one good example. This includes enabling farmers to consider the average rainy and dry seasons in their activities to restrict the impact of climate shocks and create benefits of good climate conditions among communities that depend on climate-sensitive assets.

- *Ensuring participatory approach in developing the climate change adaptation agenda*

To ensure the sound and sustainable implementation of the climate change adaptation agenda, all stakeholders have to be engaged. Therefore, a participatory approach, which integrates the views and knowledge of all interested parties into decision making process, should be applied in developing climate change adaptation agenda. A common platform such as a national dialogue can facilitate the process by bringing together all elements of the nation including the Government of Indonesia, public sectors, private sectors and the civil society. The climate change adaptation agenda should be also designed involving the local people. This will ensure that the adaptation measures address broader social concerns more effectively since these measures link local knowledge, culture, social and equity concerns.

Furthermore, the solid knowledge base for climate change should also be made available in support to the national dialogue. This will bring all the stakeholders at the same understanding level and encourages public debate and public consultation process. Recent experiences in Indonesian have shown that public debate and consultation resulted in highly participative policy making and public engagement to move forward and execute policies. Domestic violence and high exposure to disasters, for instance, have been effectively addressed at the policy level triggered by civil society debates.

- *Adjusting the on-going and planned initiatives and programs for possible adaptation measures to the climate risks*

Enhancing climate change adaptation requires the integration of risk management considerations in current and planned programs and initiatives at all levels throughout society. This would enable communities in climate sensitive sectors to moderate potential damages, to take advantage of opportunities, or to cope with the consequences of climate risks from seasonal and interannual variability as well as from longer term changes. Adjustment to climate change first requires a formal understanding of climate variability and change and their impacts to sectors and communities. Assessments of vulnerability, resilience, and coping range of stakeholders and geographical areas from impacts of climate variability and change together with current and planned developmental initiatives and policies are required. Such assessments will assist decision makers to understand the impacts on the achievement of the development goals. Following the assessment, the existing programs, plans, and investment require investigation to identify “no regrets” options and processes required to better manage climate risks. The formalization of such a process would also help in developing tools and processes that are required for screening all major new development programs and project for their climate risk implications.

- *Institutionalizing and utilizing effectively the knowledge base on climate variability to better manage current and future risks*

Decision makers have to institutionalize the use of reliable climate information, on seasonal, interannual and longer time scales. This will enhance the ability of communities and the society to plan and respond to climate risks. Accurate data and interpretation of climate and environmental factors as well as climate impacts is an important pre-requisite. The policy makers and decision makers at national and local levels as well as the communities need to determine the manner and content of required information that is defined, framed, packaged, and transmitted.

Ensuring effective utilization of the information on climate change and climate variability by decision makers is critical. Building the capacity of policy maker and decision makers to interpret on climate variability data and climate change projections and to use probabilistic time ahead climate information in short and long term development policy and planning is necessary. Managing climate risks across sectors and climate sensitive geographic areas requires becoming part of the regular management process, with full integration into the core policy, legal and institutional framework of development.

At the community level, local people continue to generate local knowledge on various coping strategy, which results in rich indigenous knowledge. These indigenous coping strategies rely on systematic observation of natural phenomena. Understanding local knowledge in climate change adaptation is essential for effectively communicating new strategies on climate change adaptation. Indigenous communication channels also increase the rate of dissemination and utilization of adaptation strategies.

- *Harmonizing policies and programs in decentralized and multi-sectoral setting*

Following massive decentralization process in Indonesia, the responsibilities to deliver most of public services have been devolved to the district (Kabupaten/Kota) level. The disparity between districts in Indonesia in delivering public services varies greatly due to different levels of capacity and resources. Particularly related to climate change adaptation, each district faces different risks and opportunities. Some regions are more vulnerable compared to the other because of their geographical location and socio-economic condition. In Nusa Tenggara Timur, West Timor, East Sumba and the islands east of Flores, for instance, many communities are already acutely vulnerable to climate variations – with poor soils that degrade during the erratic rainfall and longer droughts of El Niño years. The change of climate can lead to crops failure and eventually malnutrition. The local strategy and action plan on climate change adaptation is therefore required to be developed taking into account specific biophysical, geographical, and socio-economic conditions. The local governments, who understand the local needs and capacity, are in the best position to develop strategies and programmes on climate change adaptation at the local level. This will also provide flexibility for the local government to prioritize the available local resources, address the pressing needs, and reach the most vulnerable groups in the society.

Climate change adaptation requires a cross-sectoral coordination between different players, especially among different Ministries. The adaptation challenge cuts across many sectors and the impacts of climate change do not simply affect one sector at a time. Therefore, policy integration and identification of linkages between sectors and key issues is a must. A strategic anticipatory approach to increasing climate risks must reach into every sector including economic, agricultural, infrastructure, natural resources management, and others. Integrating adaptation policies and measures between different sectors and with existing policies and measures is crucial to build synergy. This will ensure overlaps and intersections between adaptation and existing policies and measures are coordinated to the benefit of all. With integration, potential conflicts between adaptations in different sectors, and between proposed adaptations and existing sectors, and measures, can be avoided or minimized. For example, preparing adaptation strategies for agriculture needs to carefully synergize with those for the water sector and infrastructure.

What is Indonesia's Climate Change Adaptation Programme (ICCAP)

ICCAP Approach

Indonesia's Climate Change Adaptation Programme (ICCAP) will contribute to embedding climate risk and opportunity management (C-ROM) into development planning within the framework of the Millennium Development Goals. ICCAP will ensure the consideration of climate risks and opportunities in development decisions and investments to improve the socio-economic resiliency of sectors and communities to climate variability and climate change. By focusing on both the risks and opportunities, ICCAP aims to enhance the socio-economic well being of current and future generation of Indonesians.

Figure 2 illustrates the proposed policy framework situating ICCAP. As discussed above, several initiatives have been put in place by the GOI to strengthen the nation's capacity to adapt to climate change. The draft Presidential Regulation on Climate Change will be issued shortly to provide a legal basis for the implementation of National Action Plan on Climate Change (RAN-PI). RAN-PI lays down strategic approaches, principles and priorities for climate change adaptation. Based on these, ICCAP has been developed to support the implementation of the adaptation agenda in the RAN-PI. ICCAP hence aims to become the umbrella programmatic adaptation framework for Indonesia. A range of projects and research activities will be further designed and developed under ICCAP. Lesson learnt, best practices, and advanced knowledge will be used in the process of revising the medium and long-term action plans in the RAN-PI as well as enriching the knowledge-base on climate change.

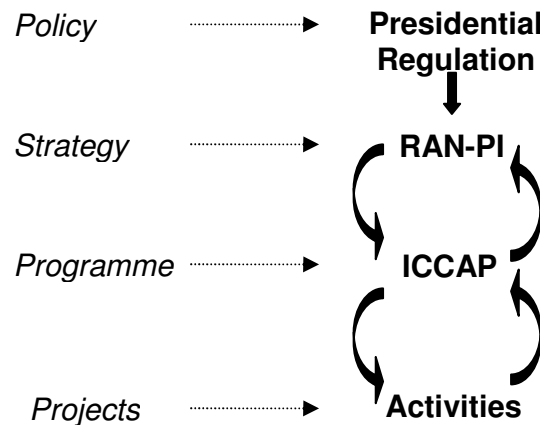


Figure 2. Proposed policy framework situating ICCAP

Outputs and Activities of ICCAP

Based on the guidance provided by the RAN-PI, the identified knowledge and gaps, a team of National Experts has prepared ICCAP in close consultation with all relevant ministries and other stakeholders, and supported by UNDP. The outputs and activities are designed to enable stakeholders to systematically integrate climate risks and opportunities into the decision making process. This will increase their coping range to climate variability and change.

To achieve the above objective, ICCAP is designed to produce the following six outputs.

1. National Consortium and Grant Facility for C-ROM

Most climate-sensitive sectors currently have limited programs to help realize the benefits of good climate conditions and to manage the negative risks associated with climate anomalies. This situation is largely due to limited understanding and knowledge of climate opportunities and risks. The inability of climate sensitive asset managers and policy makers to translate awareness of climate change impacts into action may be also due to the uncertainties associated with forecasting climate and socio-economic conditions. A few research consortia have begun to address issues of climate risk management. However, their efforts are often not coordinated. The establishment of a national consortium on climate risks and opportunities is required to facilitate research efforts on strategic areas with high societal benefit, to link existing research efforts and ensure coordination across disciplines and to enable cross sectoral synergy investigations. It would be a platform to provide governments, private sector and communities with clear and reliable information to assess climate risks and opportunities across time scales and knowledge on the required tools, strategies and approaches. A Research Grant Facility will be strategically used to stimulate interdisciplinary research.

The national consortium will consist of representatives from sectoral ministries, local government, private sectors, NGOs, and financing organizations. The consortium decides on policy areas and needs, where research activities are required. The Program Committee led by prominent research leaders will then ensure that the needs are properly addressed. The Consortium will be provided with feedback by the Program Committee on progress made and gaps identified.

2. Guidance for climate smart spatial planning, settlement design and infrastructure systems in key sectors and priority areas

To achieve this, guidance for sectors and local governments on the implementation of integrated approaches to managing climate risks and opportunities will be developed. The guidance materials need to be developed from the successful testing of suite(s) of tools, models and

approaches in specific action research and demonstration projects in various sectors and priority geographic areas. Addressing climatic issues in the context of development entails effective management of seasonal climatic variability, and at the same time to comprehensively anticipate the longer term impacts of global climate change. The first issue often requires effective responses to immediate development challenges such as food production, water resources management and dealing with flood and drought hazards. The latter necessitates long term adaptation measures in order to maintain key-ecological functions and services and to provide the highest probability of enhancing ecosystem resilience in the face of long term development and climate change. To effectively respond to immediate climate anomalies and longer term climate change impacts to human settlements and infrastructure, best practices on spatial planning and infrastructure designing process have to be developed, tested and collated. The information should be further packaged in the form of guidance materials and user friendly manuals.

3. Education, awareness and training programs to enhance C-ROM in seasonal/inter-annual and multi-decadal time scales

Establishing and strengthening education and awareness raising programs are required to make climate risks, opportunities and development linkages understood. This needs to go hand in hand with a better understanding of what adaptation measures entail and how to respond effectively to climate information. This, for example, includes: 1) developing education and awareness materials to change the way communities, sectors and politicians think about C-ROM, and 2) developing programs that empower communities to promote effective C-ROM. Activities that facilitate sharing lessons learned on addressing climate variability and climate change between organizations, business, civil society, decision makers, and other stakeholders are required. These need to be closely linked to knowledge and experience gained under Output 1.

4. Community, private, and government institutional capacities strengthened to undertake C-ROM

The capacity of communities, private sectors, and government institutions in C-ROM will be advanced through specific pilot projects undertaken in key climate-sensitive sectors and priority areas. This will build resilience to anticipated climate change impacts by putting in place necessary institutional and policy systems. The projects would develop and test much needed C-ROM tools (learning by doing), models and institutional processes that demonstrate under diverse risk and management conditions better management of impacts from a changing climate. The projects would need to be undertaken in a variety of geographic areas and development contexts. The challenge will be to build

the capacity necessary for local governments to implement C-ROM, and most importantly, empower communities to take matters in their own hands.

The pilot projects would be implemented in:

- Representative vulnerable districts (integrating current climate risks across sectors).
 - Selected high risk sectors such as food security, forest fires, health (integrating across spatial scales).
 - Selected river basins where competition for land, water and forest resources is severe and where shortages already occur (integrated water and land resources risk management for short and medium term).
 - Selected urban and tourist destination areas that are fast growing and critical for national/regional development (medium term risks).
 - Selected representative investment plans for key infrastructure (such as transportation, water supply and sanitation and power infrastructure aqua-culture, urban and industrial investments).
 - Medium term high risk coastal areas (by simulating sea level rise and storm surge impacts on coastal livelihoods/areas).
5. Policy, legal and regulations framework for C-ROM in the seasonal/ inter-annual and multi-decadal time scales

Integrating climate risk management into decision-making process at all levels is very important. This will enable communities and sectoral stakeholders to effectively manage risks and create benefits in response to current and potential future climate conditions. To ensure the integration, an appropriate policy, legal and regulatory framework needs to be established. C-ROM needs to be integrated into the next National Medium-Term Development Plan.

The GOI, general public, and the international community recognize that the negative impacts of climate variability and change can be minimized by adaptation measures. For example, the Ministry of Environment is drawing up regulations to help implement the RAN-PI. Meanwhile, a legal framework for disaster risk reduction to integrate it into the development process was put in place in April 2007 (as Act no.24 of 2007). This stipulates the responsibilities of local governments to assess disaster risks in their jurisdictions and to prepare disaster management plans. These efforts can serve as an example and linked to implementing climate change adaptation measures in various risk reduction and preparedness programmes to cope with the increased hazard of extreme climatic events.

6. Climate and development information exchange systems established in a number of priority sectors and vulnerable regions

Climate information will have little socio-economic value if it does not lead to the development of effective C-ROM amongst communities and sectors that are routinely impacted by climate risks and opportunities. Climate information (such as forecasts) and advisories require to be translated into local languages to allow participation of diversity of asset managers. The information must be localized in terms of spatial and temporal scales for relevance in specific risk and opportunity contexts. Based on localized climate information combined with indigenous knowledge, C-ROM can be developed at local level. Furthermore, the climate information should be made available to all stakeholders to empower them in developing and implementing C-ROM.

Examples of sectoral approaches under ICCAP

Activities under ICCAP are developed based on on-going and planned initiatives and programs within and across climate sensitive sectors with special focus on no-regrets measures. Prioritization of ICCAP activities at local and national level will be conducted through a participatory process. Synergy between activities is ensured through the establishment of better vertical (between national and local stakeholders) and horizontal (between sectors) coordination. The activities are directed to institutionalize the use of climate information to better manage current and future climate risks and to optimize benefits from climate variability and climate change.

Below some examples of activities in seven thematic areas are given that meet the objectives, principles and strategic elements of the ICCAP. The seven thematic areas include water, agriculture, infrastructure, biodiversity and forestry, fisheries, coastal zone management, and health. Water is seen as the critical core sector which has a cascading effect to the other sectors including agriculture (increased demand for irrigation), health (worsened water quality leads to diseases occurrence), fisheries, and biodiversity.

Water Resources

Several positive measures have been initiated in the water sector as a response to the increase of pressure to water resources due to population growth, industrialization, urbanization, groundwater overuse and inadequate supply in some regions. A National Partnership on Saving the Water was set up declared in April 2005. Actions initiated on the ground among others following the declaration are the rehabilitation of 133 water basins in Indonesia and increasing the water use efficiency. The main challenges are: (i) to understand how the rehabilitation of the basins will affect sustainability of water supply under current and future climate, in particularly during extreme drought years, and (ii) to ensure the equitable water distribution under extreme drought year by optimizing the

water allocation. The proposed intervention to address such challenge is: 1) to develop the capacity of water managers to interpret climate change projections, probabilistic climate forecasts; 2) to implement integrated water resources management principles in the context of climate variability (e.g. capacity to use climate forecast information to improve current planning operations); 3) to capacitate the institution to incorporate climate information in master planning for the river basin; and 4) to develop decision support tools that incorporate climate forecast and climate change projection scenarios for the water manager agencies.

Agriculture

One of the main programs in the agriculture sector aims at increasing farmers' per capita income to USD 2,500/year in 2025. The achievement of this goal will be severely compromised by the increase of production loss due to extreme climate events posed by climate change. Data of historical impacts of El-Nino events on national rice production indicate that the national rice production system is vulnerable to extreme climate events. Whenever El-Nino occurred, the rice productions loss due to drought increased significantly. On average, the production loss due to drought in the period 1991-2000 was three times higher than that, occurring in the period of 1980-1990 (Boer and Las, 2003). The proposed intervention to address such challenge is to raise the capacity of farmers on how to manage the climate risks and opportunities posed by climate change and climate variability in their farming activities. The communities that depend on climate-sensitive assets should also be able to create benefits of good climate conditions. Several proposed activities include: (i) enabling local authorities to develop climate impact outlook using seasonal climate forecast and to translate options for managing the possible climate risks, (ii) establishing institutional system for disseminating the information (impact outlook and options for managing the risks), (iii) enabling farmers to tailor their cropping strategies to seasonal climate forecast and assess the potential economic benefit of using the forecast.

Forestry

The Department of Forestry has included combating forest fires as one of their main programs. It is expected that the fired areas are reduced to half of the average in the period of 1987-2007. The extent of land and forest fires in Indonesia is closely related to ENSO events. In El-Nino years, the total area of land and forest being burnt by fires increased significantly. In El-Nino 1997, the total area of fire-damaged peat land in Indonesia was estimated at 11.6 million ha. In order to prevent the climate change and climate variability from impeding the completion of the above mentioned goal, it is crucial to institutionalize climate forecast information in mobilization of resources for managing the likely increase fire risk in

particular season. This can be further elaborated by (i) establishing mechanism for providing incentive or compensation system in particular season for applying zero burning system, (ii) developing forest fire vulnerability index that can be used as a basis for determining the compensation or incentive, (iii) establishing institutional mechanism for distribution of the compensation etc.

Health

Climate change poses risks to the human health such as the increase of mosquito-borne infections i.e. malaria and dengue fever and other vector-borne infections i.e. diarrhea and cholera. It is therefore crucial to ensure the integration of climate change considerations into the development of the health sector in Indonesia as it will severely impede the achievement of goals in health sector. The vision of health development in Indonesia is to achieve “Indonesia Healthy 2010.” In 2010, Indonesian people are expected to achieve certain health level qualified by the following indicators: 1) people live in a healthy environment, 2) practice healthy and clean behavior, and 3) are able to provide and afford the high quality health service, so that 4) the people will have a high degree of health. In order to achieve this vision, six programs have been initiated including: 1) healthy environment and behavior as well as people empowerment program, 2) health services improvement program, 3) nutrition improvement program, 4) health resources program, 5) drugs, foods, and dangerous substance program 6) policies and management of development in health sector.

Indonesia Sehat 2010 aims at reducing the incidence rate of dengue to 2 cases per 100,000 people. The achievement of this goal can be severely compromised by climate change. Based on historical data, the incidence rate of some of the above human diseases increased consistently from year to year. Dengue for example, the incidence rate increased in most of big cities in Java at a rate of between 9 to 24 cases/100,000 people. A significant increase in incidence rate was usually occurred in La-Nina years, when rainfall in the transitional season was above normal. As skill of climate forecast may be high in this particular season, there will be a good opportunity to develop better early warning system for dengue outbreak using climate forecasting and to identify areas that may be exposed to higher risk of dengue outbreak.

Infrastructure and Shelter

The long term objective to be achieved by the infrastructure sector are described as follows: (i) to develop a reliable and integrated transportation infrastructure; (ii) to provide an efficient and reliable electrical power supply to respond to the demand , which includes fulfillment of domestic electrification and rural electric power; (iii) to provide an efficient and modern post and telematics services to create the

Indonesian information society; (iv) to create water resource conservation which can ensure the sustainability of its functions.

The adaptation agenda in the infrastructure sector is expected to build resiliency to the nation's infrastructure to climate change. Impact of the climate change on infrastructure is described as follows. Transport infrastructure as well as housing areas located in lowlands and coastal areas are vulnerable to sea level rise as well as extreme rainfall, where flood and inundation can put the infrastructure out of function. Severe drought can also affect infrastructure needing fresh water for its operation, such as airports and sea harbors, as well as inland waterways through the reduction of its navigable section lengths. Extreme atmospheric event such as storm can also affect the operation of the transport infrastructures as it will compromise the operational safety of the infrastructure

Several possible activities under ICCAP to strengthen the infrastructure sector may include: (i) strengthening monitoring systems for hydrology and improving the hydrological data as well as the weather forecasting for better preparing the infrastructure (planning, design, rehabilitation and retrofitting); (ii) identifying and assessing the vulnerability of existing infrastructure at risk to climate change (transport, energy, telecommunication, etc), and preparing strategy to respond to the assessed risk and develop relevant action plans; (iii) developing policy to ensure that climate change adaptation measures are put in place during the planning, design and implementation of new infrastructure; (iv) developing guidelines and manuals to take into account climate change impact in the planning, design and construction of new infrastructure; (v) conducting research on infrastructure technologies that adapt better to the new climate pattern, such as road pavement technology that resist better to higher rainfall intensity as well as long and severe drought; (vi) strengthening and enhancing existing strategy to develop renewable energy resources that are not affected by climate change impact as well as not contributing to the global warming process; (vii) strengthening the information exchange network on climate change and climate change adaptation between various infrastructure sector stakeholders as well as with climate monitoring and weather information service, for better informed decisions regarding the infrastructure development and operation.

Fisheries

The Climate change agenda in fisheries sector aims at supporting the Indonesia's vision on fisheries management, which is "to manage the marine resources and fisheries in sustainable way and responsible to the nation's unity and the welfare of Indonesian people." The vision will be achieved through the following: (i) improving the welfare of fishermen and coastal community, (ii) increase the role of marine and fisheries as source of economic growth, (iii) maintain and improve the supporting system and

environmental quality of marine, sea, small islands, and fresh waters, (iv) improve the intelligence and health level of the nation through fish consumption, (v) increase the role of marine to unite the nation and increase the culture.

Change of the climate and sea level rise will likely affect the fisheries activities due to increasing ocean temperatures, changes in ocean currents, wind patterns and nutrients. The increase of water salinity in dry season and flood in rainy season may also have serious impact on aquaculture system in the coastal area such as shrimp and fish culture. When water salinity increases, production of shrimp and fish normally decreases as a result of increasing diseases incidence and fish resistance. During wet years, farmers fail to harvest their fish as floods flush their fish in their ponds to ocean. The potential activities could be to institutionalize the process of disseminating climate forecast information to farmers in timely manner to allow them to take actions for anticipating the possible climate risk. One example is to harvest shrimp/fish earlier when high probability of flood is expected or to reduce shrimp/fish planting when extended dry seasons is likely to occur. In the research areas, the potential activities may include: (i) assessing possible change in potential fishing areas due to changes in seasons and sea surface temperature, (ii) identifying and introducing special type of fish that are capable to adapt to changing environment; (iii) diversifying aquaculture biota that is tolerance to changing environment.

Coastal Zone Management

The Indonesian total population is 230 million with land area about 1,900,000 km². About 140 million or 60% of the total population lives inside the radius of 50 km from the shoreline (96% in 100 km radius) in 42 cities (kota) and 182 districts (kabupaten). About 48 million or about 23% of the population lives below the poverty line particularly lived in the under developed region and the cities. The main strategic development framework of Indonesia's coastal spatial zone plan include: 1) establish global/national development axis; 2) accelerate the development of the mainstay axis of rapid growth development region; 3) support the development of borders area and the outer small islands; 4) develop the social economic relation between region particularly development of national transportation network to port along development axis; 5) develop Sea Port infrastructure by establishing international port especially international hub, establish navigational route which compatible with international navigational route and development of ship building industry/dry dock; 6) support other infrastructure development particularly in development axis region; 7) strengthen and develop water resource service at economic potential zone, small islands, borders region, conservation and management of rivers and lakes; 8) develop human

settlement infrastructure at development axis and border regions; 9) develop electric power and other source of energy to increase development competitiveness.

Sea level at Jakarta Bay, Semarang and Jepara is reported rising at the speed of 8 mm/year according to the analysis of tidal data in the period of 1984-2002 (Sutisna and Purbo in Meliana, 2005). This will obviously require adjustment of the current coastal spatial zone plan to ensure the areas are safe for living and working. Several potential areas of interventions to improve the resilience of Indonesia's coastal areas are: (i) to revisit and review the existing policies on coastal zone management and coastal spatial zone plan to be climate resilience; (ii) to develop technique for restoring mangrove and expanding mangrove area to ocean which have low slope, (iii) to develop houses design for coastal area which are exposed to frequent high tide risk, (iv) to strengthen monitoring system for coastal erosion/abrasion, weather forecasting and channeling the information to the coastal community and fishermen.

PERAN BMG UNTUK MENDUKUNG SEKTOR-SEKTOR DALAM MENGELOLA RISIKO IKLIM SAAT INI DAN MENDATANG

Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Salam sejahtera untuk kita semua;

Bapak/Ibu/Saudara peserta simposium yang Saya hormati.

Indikasi akan adanya kaitan erat antara pemanasan global dengan perubahan iklim telah marak dibahas oleh Badan-Badan Dunia, Negara-Negara Maju maupun Negara-Negara Sedang Berkembang di dalam acara Konferensi Tingkat Tinggi XIII (*Conference of Parties*, COP13) yang diadakan di Nusa Dua, Bali, pada tanggal 3-14 Desember 2007 yang lalu. Kondisi ini diperkuat oleh hasil kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) yang menunjukkan bahwa perubahan iklim memang telah terjadi dan tidak dapat dihindari lagi.

Terkait dengan kenyataan adanya perubahan iklim tersebut di atas, maka upaya untuk meminimalkan terhadap dampak yang ditimbulkannya menjadi sangat diharapkan. Karena hal ini berkaitan dengan proses terus-menerus dan berkelanjutan atas kegiatan manusia modern dalam mengeksplorasi bumi dan isinya. Eksplorasi yang dilakukan oleh manusia modern ini berlangsung dalam jangka waktu relatif lama dan berlebihan sehingga pada gilirannya mengakibatkan terlampauinya daya dukung alamiah. Keadaan ini selanjutnya mengakibatkan kerusakan terhadap mahluk hidup beserta lingkungannya. Untuk itu Pemerintah dan Para Pakar telah memikirkan upaya adaptasi yang bertujuan meminimalkan dampak perubahan iklim ini. Mengingat perubahan iklim ini menjadi ancaman yang serius terhadap eksistensi mahluk hidup beserta lingkungannya.

Di Indonesia, tindakan adaptasi untuk meminimalkan dampak akan adanya perubahan iklim sebaiknya dilakukan secara serentak berkesinambungan di berbagai sektor. Sektor-sektor tersebut utamanya adalah seperti berikut:

- (1) pertanian,
- (2) infrastruktur,
- (3) daerah pesisir,
- (4) kesehatan,
- (5) perikanan,
- (6) transportasi,
- (7) air, dan
- (8) energi.

Selanjutnya dalam kesempatan ini, Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) sebagai salah satu badan pemerintah yang memiliki tugas pokok dan fungsi yang terkait erat dengan minimalisasi akan adanya dampak perubahan iklim berperanserta aktif dalam mendukung sektor-sektor tersebut di atas. Caranya adalah dengan melayani sektor-sektor terkait tersebut dengan produk-produk BMG yang diharapkan mampu mendukung dan memperlancar kegiatan operasional sektor-sektor tersebut.

Dalam sektor pertanian, Rencana Aksi Nasional (RAN)/ Mitigasi Adaptasi Perubahan Iklim (MAPI) adalah:

1. Menyediakan bibit unggul yang tahan akan perubahan iklim, maka BMG menyediakan informasi tentang adanya pergeseran musim (baik untuk musim hujan maupun musim kemarau), serta hasil analisis anomali iklim;
2. Mewujudkan diversifikasi pangan, maka BMG menyediakan informasi tentang kesesuaian iklim untuk pelayakan tanaman pangan;
3. Melakukan intensifikasi lahan basah saat *El Nino* dan lahan kritis saat *La Nina*, maka BMG menyediakan informasi tentang hasil prediksi kondisi *El Nino* dan *La Nina*;
4. Penyesuaian waktu tanam dan varietas tanaman, maka BMG menyediakan informasi prediksi curah hujan dasarian;
5. Pemodelan lokasi tanam, maka BMG menyediakan data iklim, peta kesesuaian agroklimat;
6. Perbaikan manajemen lahan, pemantauan erosi dan perlindungan tanah pertanian, maka BMG menyediakan informasi curah hujan dasarian, bulanan, musiman.

Dalam sektor infrastruktur, RAN/ MAPI adalah:

1. Menyiapkan infrastruktur sumber daya air, maka BMG menyediakan informasi tentang prediksi musim;
2. Melakukan pembuatan jalan, sistem drainase, sumur resapan, tampungan air di bawah badan jalan, maka BMG menyediakan informasi tentang prediksi awal musim kemarau beserta sifat curah hujannya (kemarau normal, kemarau basah, kemarau bawah normal, kemarau atas normal);
3. Melakukan desain gedung terkait ketahanan terhadap badai tropis, intensitas curah hujan tinggi, maka BMG menyediakan informasi berupa peta lokasi potensi badai tropis, potensi curah hujan tinggi/ rawan banjir;
4. Melakukan pembuatan jalan di daerah pantai, maka BMG menyediakan informasi tentang pola trend kenaikan muka air laut.

Dalam sektor infrastruktur daerah pesisir, RAN/ MAPI adalah:

1. Melakukan relokasi pemukiman dan infrastruktur ke daerah yang lebih aman, maka BMG menyediakan informasi tentang tempat-tempat yang memiliki ketinggian aman;
2. Membuat perlindungan, bangunan, tanggul, pemulihan wilayah pesisir, penanaman berbagai varietas vegetasi, maka BMG menyediakan informasi tentang kondisi-kondisi ekstrim meteorologi maritim;
3. Melakukan penyesuaian dengan kondisi iklim yang berubah, maka BMG menyediakan informasi berupa sistem peringatan dini cuaca ekstrim;
4. Relokasi penghalang badai dan gelombang tinggi, penguatan bukit pasir di pesisir, pembuatan rawa dan lahan basah sebagai penyangga banjir dan kenaikan muka laut, maka BMG menyediakan informasi cuaca/iklim wilayah pesisir.

Dalam sektor kesehatan, RAN/ MAPI adalah:

1. Penyuluhan kesehatan untuk masyarakat terkait penyakit malaria, DBD, penyakit tropis lainnya, maka BMG menyediakan informasi tentang pola perubahan musim dan prediksi awal musim hujan dikaitkan dengan masa perkembangan (*out-break*) dari nyamuk malaria dan dengue;
2. Penyesuaian terhadap kondisi iklim yang berubah, maka BMG menyediakan sistem peringatan dini '*heat stress index*' (suhu udara – tekanan udara – kelembapan udara);
3. Layanan kesehatan emergensi, maka BMG menyediakan informasi cuaca ekstrim;
4. Perbaikan pengawasan penyakit rentan terhadap perubahan iklim, maka BMG menyediakan informasi '*heat stress index*';
5. Penanganan air bersih dan sanitasi, maka BMG menyediakan informasi cuaca harian, curah hujan.

Dalam sektor perikanan, RAN/ MAPI adalah:

1. Sosialisasi pada nelayan untuk memanfaatkan informasi cuaca dari BMG, maka BMG menyediakan informasi berupa prospek cuaca maritim 3 hari ke depan, prediksi tinggi gelombang 7 hari ke depan, dan hasil penelitian tentang perubahan iklim kelautan terkait populasi ikan;
2. Pembangunan pemukiman nelayan dengan desain antisipasi kenaikan muka air laut, maka BMG menyediakan informasi tentang *warning* tinggi gelombang, peta identifikasi lokasi titik yang memiliki gelombang tinggi.

Dalam sektor transportasi, RAN/ MAPI adalah:

1. Desain standar dan rencana rel kereta api, maka BMG menyediakan informasi tentang prakiraan hujan di daerah rawan banjir dan longsor, cuaca ekstrim;

2. Transportasi Air: Penjadualan transportasi laut mengacu pada peta tinggi gelombang laut, maka BMG menyediakan informasi *warning* tinggi gelombang, peta identifikasi lokasi titik gelombang tinggi;
3. Transportasi Udara: Aerodrom dan kondisi lapisan udara terhadap cuaca sepanjang rute penerbangan, maka BMG menyediakan *'flight document'* (cuaca bandar udara keberangkatan, cuaca sepanjang rute penerbangan, cuaca bandar udara tujuan);
4. Penyusunan/relokasi standar desain dan perencanaan jalan, rel, dan infrastruktur lain untuk mengatasi pemanasan dan drainase, maka BMG menyediakan informasi berupa peta daerah rawan banjir dan longsor, informasi cuaca ekstrim.

Dalam sektor air, RAN/ MAPI adalah:

1. Perluasan pemanenan air, maka BMG menyediakan informasi tentang prediksi, distribusi, dan pola curah hujan;
2. Teknik penyimpanan dan konservasi air, maka BMG menyediakan informasi tentang unsur-unsur meteorologi (suhu udara, kelembapan udara, dll.);
3. Efisiensi pengurangan air dan irigasi, maka BMG menyediakan informasi tentang prediksi, distribusi, dan pola curah hujan;
4. Daur ulang air, pengolahan air laut, maka BMG menyediakan informasi berupa prediksi curah hujan harian, bulanan, musiman.

Dalam sektor energi, RAN/MAPI adalah:

1. Pemanfaatan energi terbarukan, maka BMG menyediakan informasi tentang cuaca/iklim terkait (angin, tutupan awan, insolasi);
2. Penguatan biaya infrastruktur transmisi dan distribusi, kabel *utility* bawah tanah, efisiensi energi, energi terbarukan, mengurangi ketergantungan energi tunggal, maka BMG menyediakan informasi tentang daerah rawan bencana, cuaca/iklim ekstrim lokal seperti angin ribut, puting beliung; penyediaan informasi cuaca/iklim terkait (angin, tutupan awan, insolasi, radiasi matahari).

BMG sebagai satu-satunya instansi operasional pemerintah yang memiliki tugas pokok dan fungsi dalam bidang meteorologi, klimatologi, kualitas udara, dan geofisika, maka melalui layanan penyediaan produk-produk informasi dan gawar dini yang dimiliki berkewajiban dan mampu melakukan 'support' tindakan adaptasi yang dilakukan oleh semua sektor tersebut di atas. Tentunya ke dalam, hal ini perlu ditunjang oleh ketersediaan data hasil pemantauan cuaca/iklim dan kualitas udara yang akurat, kontinyu, dan berjangka waktu panjang.

Isue-isue terakhir terkait perubahan iklim nampak memojokkan posisi Indonesia dalam hal emisi gas rumah kaca (*greenhouse gasses*). Dikatakan bahwa Indonesia memiliki posisi ketiga dalam mengemisi gas rumah kaca ke dalam atmosfer. Padahal bila dicermati dengan benar,

tidaklah demikian. Karena berdasarkan pada data hasil observasi di stasiun pengamatan global (GAW) Bukit Koto Tabang yang dibandingkan dengan hasil observasi stasiun pengamatan global di Hawaii, maka wilayah Indonesia bukan sebagai 'emitor' melainkan sebagai 'reseptor'. Penggunaan data yang tidak sesuai akan mengakibatkan terbitnya informasi yang tidak bisa dipertanggungjawabkan.

Upaya pengembangan struktur BMG ke depan dalam bidang iklim dan kualitas udara sedang dilakukan. Tentunya hal ini membawa konsekuensi terhadap organisasi BMG yang semakin besar. Namun demikian, dukungan terhadap pemerintah daerah sejalan dengan semangat otonomi daerah yang semakin peduli terhadap iklim sebagai sumber daya alam harus diperhitungkan. Hal ini hanya akan bisa dilakukan oleh organisasi yang memang cukup besar agar mampu melayani dan menangani kebutuhan seluruh pemerintah daerah dari tingkat Provinsi hingga tingkat Kabupaten/ Kota.

Wass. Wr. Wb.

Jakarta, 14 Januari 2008

Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika

Ir. Sri Woro B. Harijono, M.Sc.

MAKALAH UTAMA

PENGALAMAN JAWA BARAT DALAM PELAKSANAAN PROGRAM PENGELOLAAN RiSIKO IKLIM ANTISIPASI BENCANA ALAM DI JAWA BARAT

Dicky Saromi

Kepala Bidang Penataan Ruang dan Lingkungan Hidup
BADAN PERENCANAAN DAERAH PROVINSI JAWA BARAT

Potret Kejadian Bencana di Jawa Barat

Kondisi lingkungan di Jawa Barat sudah menunjukkan kondisi yang cukup memprihatinkan, diantaranya adalah Kehancuran Pantai Utara (Pantura), abrasi Pantai Eretan dan Pantai Tirtamaya, pendangkalan muara sungai, kerusakan hutan di Bandung Utara, penjarahan hutan di wilayah Garut, Cikepuh maupun di Gunung Simpang dan Gunung Tilu, penurunan air tanah di Cekungan Bandung, serta erosi di DAS Citanduy. Selain itu, berkaitan dengan peningkatan kegiatan industri dan transportasi mengakibatkan timbulnya polusi udara, seperti di sekitar pabrik kapur Padalarang maupun Jatiwangi, serta pencemaran akibat limbah industri di Citarum Hulu, pencemaran sawah di Rancaekek, dan sebagainya. Berbagai aktivitas penambangan juga turut mempengaruhi kondisi lingkungan di Jawa Barat seperti penambangan emas di Pongkor, penambangan pasir besi dan juga penambangan timbale tanpa ijin di Gunung Sawal. Disamping itu, permasalahan sampah juga menjadi hal yang turut mewarnai kondisi lingkungan hidup di Provinsi Jawa Barat ini.

Berbagai bencana pada akhirnya juga terjadi, seperti banjir di Pantai Utara serta Bogor, Depok dan Bekasi, longsor di beberapa tempat seperti di Cikalong Wetan, Kuningan serta di bagian selatan Jawa barat. Selain itu, kekeringan juga seringkali melanda beberapa daerah di Jawa barat terutama di Pantai Utara. Bencana penyakit yang kerap terjadi adalah demam berdarah, malaria, flu burung, anthrax, juga polio, yang kesemuanya dikaitkan dengan kondisi kebersihan dan sanitasi lingkungan. Bencana lain termasuk di dalamnya adalah terjadinya ledakan dan longsor di tempat pembuangan sampah akhir srta yang belum lekang dari ingatan masyarakat Jawa Barat adalah Tsunami di Pangandaran.

Kerawanan Beberapa Daerah di Jawa Barat Terhadap Bencana

Rawan terhadap Bencana Tsunami

Pada awalnya tidak pernah diduga bahwa daerah-daerah pantai terutama Pantai Selatan Jawa Barat ini merupakan daerah yang rawan terhadap bencana tsunami. Daerah pantai merupakan daerah yang potensial dalam menjaring pemasukan bagi pemerintah daerah melalui potensi wisatanya. Namun hal ini berubah setelah terjadinya bencana

tsunami yang melanda Pangandaran pada akhir tahun 2004 yang lalu. Gambar 1 dan 2 menunjukkan kondisi pantai Pangandaran sebelum dan setelah kejadian Tsunami tahun 2004.



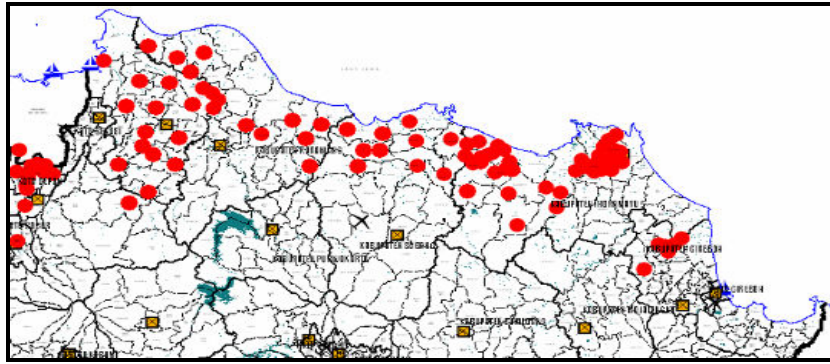
Gambar 1. Kawasan sekitar Pananjung sebelum tsunami 2004



Gambar 2. Kondisi sekitar Pananjung setelah tsunami 2004

Rawan terhadap Bencana Banjir

Beberapa daerah di Jawa Barat yang rawan terhadap banjir terutama di daerah Pantai Utara seperti tampak pada Gambar 3, yang menunjukkan titik titik lokasi genangan. Wilayah Jawa Barat yang rawan terkena musibah banjir adalah: Kabupaten Bogor, Kota Depok, Kabupaten Bekasi, Kota Bekasi, Kabupaten Karawang, Kabupaten Subang, Kabupaten Indramayu, Kabupaten Cirebon.



Gambar 3. Titik-titik lokasi genangan di Jawa Barat

Rawan terhadap Bencana Longsor

Kondisi tanah yang labil di beberapa daerah mengakibatkan kerawanan terhadap bencana longsor. Beberapa daerah yang mengalami longsor pada beberapa waktu lalu adalah Cikalongwetan (Kabupaten Bandung) yang mengakibatkan 13 orang meninggal dunia dan 7 rumah hancur, gerakan tanah di Cililin (Kabupaten Bandung) juga menelan belasan korban jiwa dan rumah yang hancur, serta gerakan tanah di daerah Cadas Pangeran.

Beberapa fakta dan kejadian bencana di Jawa Barat tahun 2006 dan 2007 (Januari – November 2007) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kejadian bencana di Jawa Barat tahun 2006 dan 2007 (Januari – November 2007)

No	DATA BENCANA	TAHUN	
		2006	JAN S/D NOP. 2007
FREKUENSI KEJADIAN BENCANA :			
1	Kebakaran	148 Kali	162 Kali
2	Banjir	38 Kali	67 Kali
3	Tanah longsor	44 Kali	140 Kali
4	Angin topan	125 Kali	56 Kali
5	Gempa bumi	4 Kali	3 Kali

KORBAN MANUSIA :			
1	Meninggal dunia	201 Org	549 Org
2	Luka-luka	58 Org	816 Org
3	Kepala keluarga	40.819 KK	60.171 KK
4	Jumlah jiwa	179.070 Jiwa	213.791 Jiwa
5	Hilang		31 Jiwa
KERUSAKAN RUMAH :			
5	Rusak ringan	2.994 Buah	1.520 Buah
6	Rusak berat	2.351 Buah	743 Buah
7	Hancur	606 Buah	1.816 Buah
8	Terancam	385 Buah	431 Buah
9	Terendam	24.349 Buah	79.324 Buah
SARANA DAN PRASARANA :			
10	Sekolah	91 Buah	52 Buah
11	Tempat ibadah	89 Buah	96 Buah
12	Sawah	20.863 ha	40.630 ha
13	Daratan	138 ha	8 ha
TAKSIRAN KERUGIAN Rp.		13.287.921.945	57.074.518.350

Sumber : Satkorlak AK PB Jabar

Pertimbangan Rawan Bencana Dalam Perencanaan Pembangunan

Karakteristik Fisik Dasar Jawa Barat

Ditinjau dari jenis tanah, di Jawa Barat ada beberapa daerah yang rentan terhadap erosi, terutama yang berjenis tanah latosol dan aluvial yang rawan erosi saat curah hujan tinggi. Selain di beberapa daerah di wilayah utara, tanah jenis ini cukup mendominasi jenis tanah di Jawa Barat bagian Selatan.

Kondisi iklim Jawa Barat menunjukkan curah hujan tinggi, yaitu rata-rata 2000 mm/th, serta beberapa spot 3000-5000 mm/th. Selain itu kemiringan lereng di beberapa daerah di Jawa Barat juga cukup curam

terutama Jawa barat bagian selatan kemiringan > 40% sehingga daerah pegunungan rentan terhadap bahaya banjir dan longsor. Daerah rawan longsor di Jawa Barat mencakup 12 kabupaten 71 kecamatan dan 218 desa.

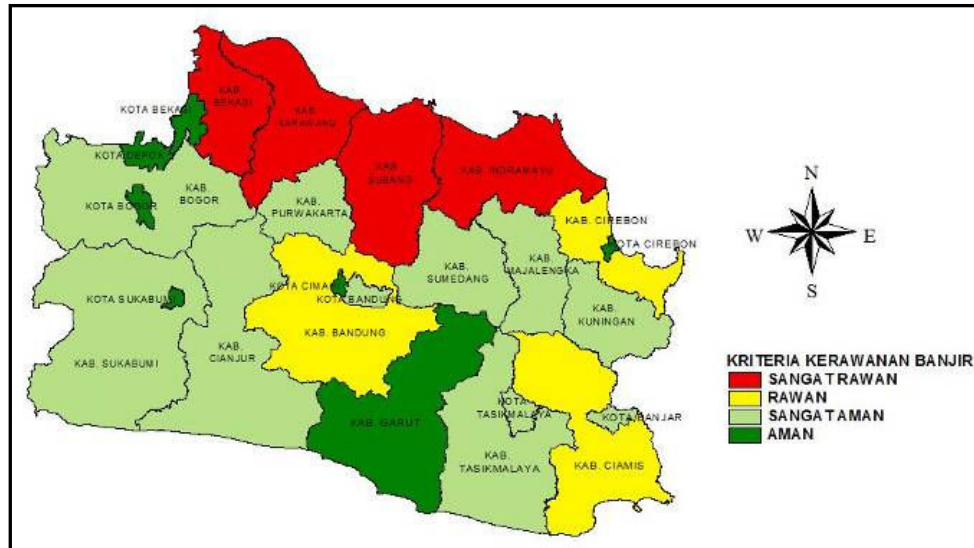
Beberapa daerah juga memiliki potensi gempa, terutama di bagian selatan Jawa Barat.

1. Kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Di Jawa Barat terdapat 40 DAS diantaranya 22 buah bermuara ke Utara, dan 18 bermuara ke Selatan. Sekitar 17 DAS yang bermuara ke Utara dalam kondisi kritis, sedangkan dari DAS yang bermuara ke Selatan 1 buah dalam kondisi kritis. Erosi rata-rata 407 ton/ha/tahun atau total sekitar 32.931.061 ton/tahun. Diperlukan upaya perlindungan terhadap daerah resapan air guna meningkatkan stabilitas **hidrologi DAS** secara **fisik** maupun secara **sistemik**.

2. Kerawanan terhadap Banjir dan Kekeringan

Beberapa daerah yang rawan terhadap banjir dapat dilihat pada Gambar 4, serta tingkat kerawanannya pada Tabel 2.

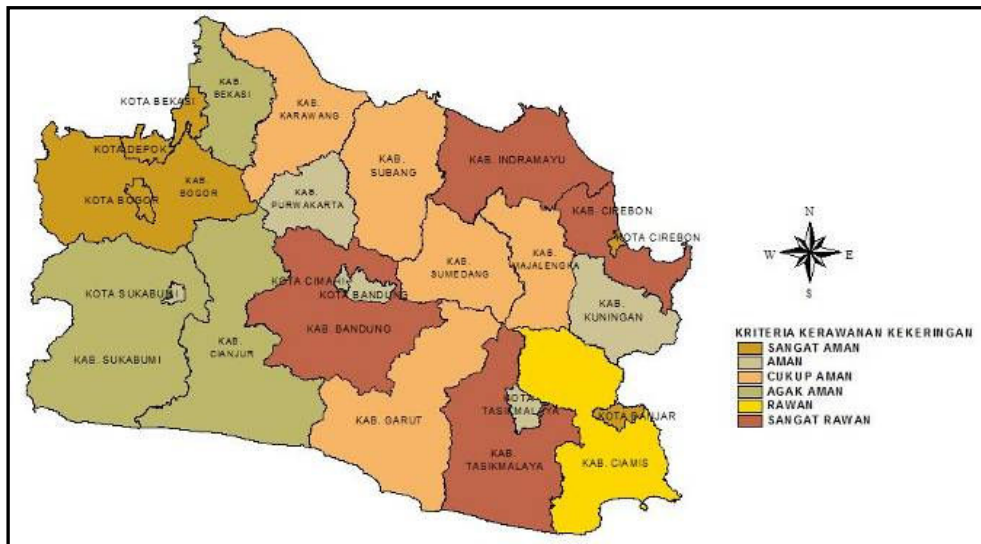


Gambar 4. Peta kerawanan banjir Provinsi Jawa Barat

Tabel 2. Tingkat kerawanan banjir di Provinsi Jawa Barat

No.	Kriteria	Penjelasan	Daerah
0	Sangat aman	Tidak pernah terkena banjir	
1	Aman	Berpeluang terkena banjir dengan tingkat kerusakan maksimum 7.500 ha per dekade	Kota Tasikmalaya, Kota Bandung, Kota Banjar, Purwakarta, Garut, Kuningan, Bogor, Tasikmalaya, Cianjur, Sumedang, Majalengka, Sukabumi
2	Cukup aman	Berpeluang terkena banjir dengan tingkat kerusakan maksimum 15.000 ha per dekade	-
3	Agak aman	Berpeluang terkena banjir dengan tingkat kerusakan maksimum 22.500 ha per dekade	-
4	Rawan	Berpeluang terkena banjir dengan tingkat kerusakan maksimum 37.500 ha per dekade	Cirebon, Ciamis, Bandung
5	Sangat rawan	Berpeluang terkena banjir dengan tingkat kerusakan maksimum 52.500 ha per dekade	Subang, Bekasi, Karawang, Indramayu

Rata-rata luas bencana alam banjir selama 10 tahun terakhir (97/98 - 06/07) seluas 48.550,5 ha. Luas banjir tertinggi terjadi pada tahun 2005/2006 seluas 100.371 ha dengan areal yang puso seluas 38.076 ha.



Gambar 5. Peta kerawanan terhadap kekeringan di Jawa Barat

No.	Kriteria	Penjelasan	Daerah
0	Sangat aman	Tidak pernah terkena kekeringan	
1	Aman	Berpeluang terkena kekeringan dengan tingkat kerusakan maksimum 13.875 ha per dekade	Kota Cimahi, Kota Sukabumi, Kota Banjar, Kota Bandung, Kota Tasikmalaya, Purwakarta, Kuningan
2	Cukup aman	Berpeluang terkena kekeringan dengan tingkat kerusakan maksimum 27.750 ha per dekade	Karawang, Sumedang, Bogor, Garut, Majalengka, Subang
3	Agak aman	Berpeluang terkena kekeringan dengan tingkat kerusakan maksimum 41.625 ha per dekade	Bekasi, Cianjur, Sukabumi
4	Rawan	Berpeluang terkena kekeringan dengan tingkat kerusakan maksimum 55.500 ha per dekade	Ciamis
5	Angat rawan	Berpeluang terkena kekeringan dengan tingkat kerusakan maksimum 69.375 ha per dekade	Bandung, Tasikmalaya, Cirebon, Indramayu

HUMAN IMPACT OF CLIMATE CHANGE AND THE NEED FOR ADAPTATION IN INDONESIA

Rully Prayoga

INTRODUCTION

The poorest developing countries will be hit earliest and hardest by climate change, even though they have contributed little to causing the problem. Their low incomes make it difficult to finance adaptation. The international community has an obligation to support them in adapting to climate change. Without such support there is a serious risk that development progress will be undermined.'

The Stern Review, 2006

Climate change is a challenge to current models of economic growth: all countries will have to find low-carbon paths to development, in order to keep global temperatures to less than 2 degrees Celsius above pre-industrial levels. But given their historic role in causing the problem, rich countries now have two extraordinarily clear obligations: to stop harming, by massively cutting their greenhouse-gas emissions, and to start helping, by providing compensatory finance so that poor countries can adapt, before they suffer the full impacts of climate change.

The IPCC report also stated that climate change impacts are now inevitable. Most mitigation scenarios show that even with deep emission cuts the lead-time for this to lead to GHG stabilisation is at least half a century.

The croplands, pastures and forests that occupy 60 percent of the Earth's surface are progressively being exposed to threats from increased climatic variability and, in the longer run, to climate change. Abnormal changes in air temperature and rainfall and resulting increases in frequency and intensity of drought and flood events have long-term implications for the viability of these ecosystems.

As climatic patterns change, so also do the spatial distribution of agro ecological zones, habitats, distribution patterns of plant diseases and pests, fish populations and ocean circulation patterns which can have significant impacts on agriculture and food production.

Given this irreversibility, it is realised that adaptation is almost as important as mitigation. For many observers, 'adaptation' is the key poverty issue surrounding climate change. Social groups are 'vulnerable' when their livelihood systems are sensitive to modest climate changes, and they lack supportive institutions or social networks.

Successful adaptation depends on such factors as local institutional arrangements, the availability of finance, information exchange and technological change.

FAO (2007) state that there are two main types of adaptation are autonomous and planned adaptation. Autonomous adaptation is the reaction of, for example, a farmer to changing precipitation patterns, in that s/he changes crops or uses different harvest and planting/sowing dates. Planned adaptation measures are conscious policy options or response strategies, often multi sectoral in nature, aimed at altering the adaptive capacity of the agricultural system or facilitating specific adaptations. In view of the above, a framework for climate change adaptation needs to be directed simultaneously along several interrelated lines:

1. Legal and institutional elements-decision making, institutional mechanisms, legislation, implementing human right norms, tenure and ownership, regulatory tools, legal principles, governance and coordination arrangements, resource allocation, networking civil society.
2. Policy and planning elements-risk assessment and monitoring, analysis, strategy formulation, sectoral measures.
3. Livelihood elements: food security, hunger, poverty, non-discriminatory access. Cropping, livestock, forestry, fisheries and integrated farming system elements – food crops, cash crops, growing season, crop suitability, livestock fodder and grazing management, non-timber forest products, agro forestry, aquaculture, integrated crop livestock, silvo-pastoral, water management, land use planning, soil fertility, soil organisms.
4. Ecosystem elements: species composition, biodiversity, resilience, ecosystem goods and services.
5. Linking climate change adaptation processes and technologies for promoting carbon sequestration, substitution of fossil fuels, promoting use of bio energy.

Human Impact and Climate Change: The Poor and Vulnerable

Poverty and vulnerability are closely related, they are not synonymous, however. Poverty reduction does not automatically reduce the vulnerability of the poor. Because not all types of climate-related adjustment will reduce the vulnerability of the poor; in some cases they could even increase the vulnerability of some groups. What is needed is consideration of the factors that affect vulnerability and measures targeted specifically at vulnerability of the poor.

This means that poor people's adaptive capacity and processes contributing to vulnerability of the poor need to be targeted by adaptation measures. Unless these linkages are considered, development projects could increase the vulnerability of the poor. Adaptation also has to be understood as a political process, besides technical process.

An adaptation measure, such as building dams and irrigation systems to stabilize water supply, may disadvantage some groups, such as those that, due to the new infrastructure, lose access to important water resources that they use in coping with drought. In order to achieve a broader type of adaptation, we focus on vulnerability reduction, which includes the social and environmental conditions that make people vulnerable to climate change in addition to all types of adjustments linked to specific changes in climatic conditions.

Vulnerability can sometimes lead to poverty. We have to understand that vulnerability also as the social and ecological contextual conditions that result in inability to cope or secure well-being in the face of climate variability and change. Vulnerability is generated by multiple factors and processes, such as social relations of resource access, political and economic marginalization, loss of employment opportunities, and weakening social networks. Vulnerability therefore varies between individuals and social groups as well as over time (Chambers 1989; Eriksen *et al.*, 2005).

Develop Strong Adaptation Policy Objectives

'We basically have three choices – mitigation, adaptation, and suffering. We're going to do some of each. The question is what the mix is going to be. The more mitigation we do, the less adaptation will be required, and the less suffering there will be.' (John Holdren, President of the American Association for the Advancement of Science.)

Climate change introduces a new challenge, not only because of the expected rise in temperature and sea-levels, but also due to the current context of failure to address the causes of poverty adequately. As a result, policy supporting adaptation has been cast as a necessary strategy for responding to both climate change and supporting development, making adaptation the focus of much recent policy research.

Poor people who are beginning to feel the effects of climate change are already seeking ways to adapt to it. In South Africa, for example, some farming communities are reporting less frequent and less predictable rains, and as a result their crops and animals are dying, leaving their families facing hunger, illness, and debt. Communities must be at the heart of efforts to build their resilience to climate change because adaptation is inherently local. But their efforts will only be effective if they are backed up by national strategies and policies, and by international financial support.

The National Adaptation Plan should ensure the success of adaptation requires the following :

1. Taking community-centred approaches, since adaptation is necessarily local, and is best tackled by putting the affected communities at the heart of the process;
2. Integrating adaptation into development planning processes, to ensure that adaptation needs are incorporated across sectoral plans, mainstreamed into national and local strategies, and backed up with the budgets needed;
3. Restructuring and strengthening institutions – within governments and within civil society - at local, national, and international levels, particularly to build their capacity to understand, and respond to, climate impacts;
4. Providing reliable information on the likely impacts of climate change, and on early warning and forecasts, delivered in ways that communities and policy makers can understand and respond to;
5. Promoting appropriate technology such as resilient crop varieties, irrigation schemes, and renewable energy sources, so that they are available and affordable for low-income communities;
6. Reducing vulnerability in people's livelihoods, such as through social-protection schemes which provide guaranteed employment in rural communities vulnerable to climate stress;
7. Protecting ecosystems and existing infrastructure so that they are resilient to the coming stress from climate change.

As quoted from National Development Board (Bappenas), the Environmental Policies for 2004-2009 as listed on Chapter 32 of Mid Term National Development Plan (Rencana Pembangunan Jangka Menengah) are aimed to:

1. Integrate the sustainable development principles into all development aspects;
2. Improve the coordination among environmental institutions in the national and local level;
3. Increase the law enforcement effort to the polluters;
4. Increase the capacity of environmental institutions in national and local level;
5. Improving the awareness of community on environmental issues and support community's active participation to monitor environmental quality

But mainstreaming will not be effective if existing development trajectories are inconsistent with the objectives of adaptation, i.e. if they explicitly contribute to vulnerability. This is particularly the case as adaptation remains seen as an outcome and an objective, rather than a process.

The promotion of sustainable social and economic development may be a less conceptually problematic way to achieve adaptation strategies and approach in the end, particularly as the policy frameworks for such development are more explicitly elaborated and less dependent on uncertainties regarding climate change than for adaptation.

This is also relevant as adaptation needs to confront the same constraints as those faced by development, and therefore an adaptation process is only possible if there is successful sustainable development to support it. However, for this to be successful, an awareness of climate change impacts and the needs for successful vulnerability reduction are imperative within the development process.

So vulnerability reduction that should be integrated into development policy, rather than the creation of explicit adaptation strategies. Watson and Ackermann underscore that the onset of climate change “does not call for a different or new strategy” for development, because the existing development problems will be the same as those problems created by climate change in general (2000: 24).

Adaptation as Development Paradigm

In the traditional view of adaptation, adaptive capacity would refer to the ability of a national government to develop and implement technology-based adaptation measures. However, one cannot assume that a technology that has been effective in reducing vulnerability to climate change in one location will have the same effect when transferred to another location without considering the differences between these locations and without complementing the technology transfer with training and capacity building.

The local context determines to what extent a technology would be suitable for a particular purpose. For example, new drought-resistant crop varieties may indeed be very resistant to drought, but their acceptance in a community also depends on their costs and availability, access to fertiliser and other inputs, storage constraints, ease of preparation, flavour and so on.

The vulnerability reduction approach appears more effective in impelling and facilitating a process of adjustment to climate change, because it avoids explicit adaptation measures that may be counteracted by parallel development processes.

Rather than be viewed as mainstreaming, this approach is described as a new development paradigm. Importantly, this approach also avoids seeing adaptation as an alternative to mitigation of greenhouse gases, because it focuses not on the specific impacts of climate change, but on the processes that are necessary to achieve sustainable adjustment to all factors contributing to risk. To this extent, adaptation incorporates an aspect of vulnerability reduction associated with greenhouse gas mitigation.

In this way, it represents a more holistic approach than is currently taken. Adaptation has been identified as a silver bullet, particularly within the climate policy community, but also to some extent in the development community for solving both development and climate change impact problems at once.

Adaptation as a development paradigm will avoid calls for separate policy provisions on adaptation, which have so far been shown to offer. Adaptation should therefore not be seen as a solution to existing development problems, or as an alternative path towards sustainable development.

Instead, adaptation is understood to guide development successfully in light of increased risk from global environmental, social and economic change. Climate change will alter existing climate risks, and therefore a process by which vulnerability to existing risks is reduced can be seen as a step toward adaptation to future changes as well.

Challenge and Opportunity

Adaptation could represent a new opportunity to revisit some long-standing problems of environment and development. However, there is a tendency in both the policy and theory discourses to perceive adaptation as something that is imposed, for instance through projects. This appears to contribute to taking focus away from the process of adaptation, and its building blocks, development and vulnerability reduction.

Such a view may be a consequence of the general isolation of the new adaptation discourse, and of the view to address climate change from a global perspective. At the same time, the desire for a new adaptation agenda demonstrates a lack of understanding of how to incorporate vulnerability and risk aspects into development planning.

The popularity of adaptation as a policy objective is evidence that desire to identify a mechanism to bridge environment and development remains appropriate. With the emergence of clear evidence of climate change, adaptation appears as a tool to approach the new global environmental change agenda.

On the process integrating climate scenarios with existing production technologies and development activities is not sufficient for reducing vulnerability to climate change. Since a number of environmental, economic, social and political changes affect people's livelihood strategies, adaptation also involves facilitating poor people's strategies to secure a decent life in the face of threats such as climate change, and addressing those processes that make people unable to do so.

Adaptation must also be able to deal with current and emerging development challenges, among which globalisation is of critical importance. Land access and market access is emerging pillar that should be fulfilled by the design. Therefore, promotion of adaptation by policymakers can be seen as an attempt to integrate flexibility required for facing a changing environment into more demanding development processes.

In Indonesia context the planned adaptation is urgent and should operational side by side with existing community adaptation strategy. Mainstreaming the National Adaptation Plan should become baseline for developing policy objective for sustainable development.

Past experiences of climate work in Indonesia have shown that it has been easier to get mitigation on the energy agendas than to get adaptation on the agenda. While mitigation involves fairly specific technological measures, adaptation is more complex and multi-dimensional. Non experts have trouble visualising and understanding adaptation, as well as concretising measures and therefore easily distance themselves from it instead. While CDM engage public-private partnership and 'photogenic' projects, initiatives such as NAPAs are seen as less informative and yielding less concrete output.

In order to identify our challenge for applying adaptation on national development processes, three main challenges are addressed. The first challenge is that, despite increasing recognition that adaptation to climate change and poverty are linked, the links have not been clearly articulated, and thus are difficult to address in practice. The immediate needs are local vulnerability mapping and process start on local adaptation.

The fact that adaptation has been mainly seen as an environmental issue is one of the main institutional barriers to mainstreaming within development agencies, where adaptation has been treated as an extension of mitigation. As a consequence of this, most agency personnel do not think of climate change as a development issue. Both in donor and recipient countries environment ministers, rather than finance and planning ministers have ownership of the climate change issue. This knowledge is fragmented, however, with little comprehensive assessment of how sectoral sensitivities, the distribution of vulnerability in a population, and responses to climate change affect the generation of poverty.

The second challenge is that, although it is becoming clear that development agencies need to integrate climate change concerns into their programs, it is not always clear how this can be done. The locating of adaptation institutionally within environmental departments as an add-on to mitigation of greenhouse gases has led to adaptation being isolated as an environmental problem rather than as a wider development issue with implications for practically all development activities. Several agencies like IPCC, UNDP, and UNEP have recently screened their project portfolios in relation to climate change. Reports have typically focused on the current lack of attention to climate change, the justification for integration, and possible tools for such integration, but it is less clear what development agencies currently focused on poverty reduction should be doing differently from what they are already doing.

Third challenge is how the APBD can integrate with National Adaptation Plan in this circumstance while the policy built on a weak base and leak of option. Beside the central approach on development paradigm, the institutional governance also has more challenge. Each department should have capacity to involve in the adaptation project as a comprehensive strategy between department it self.

In short, there has as yet been no synthesis of the lessons from these and the practical implications in terms of how to integrate climate change adaptation. The institutional opportunities and barriers to integrating climate change concerns in poverty reduction also need to be identified. Financing mechanism on the adaptation plan should be built on the basis of locals need.

Checklists for adaptation in development projects allow learning by doing, which has been found to be effective. Less attention has been paid so far to how coping and adaptive capacity at a village level and the factors causing vulnerability can be addressed. These largely emphasise climate risk, and there is a need to also develop checklists that include the multiple stressors generating vulnerability.

Raising awareness and understanding of the poverty-adaptation linkages within a development cooperation organisation, in particularly among government department, development NGO and those dealing directly with project management, may enable placing pro-poor adaptation on the agenda in developing strategic and comprehensive National Adaptation Plan.

Reference

Adger, W. N. 2000. Social and ecological resilience: are they related?
Progress in Human Geography 24(3):347-364

- Adger, W.N., S. Huq, K. Brown, D. Conway, M. Hulme. 2003. Adaptation to Climate Change in the Developing World. *Progress in Development Studies* 3(3): 179-195.
- Adger, W., N. Brooks. 2003. Does Global Environmental Change Cause Vulnerability to Disaster? in Pelling, M. (ed.) *Natural Disasters and Development in a Globalising World*, Routledge: London
- Chambers, R. 1995. Poverty and livelihoods: whose reality counts? *Environment and Urbanization*, 7 (1): 173-204.
- Eriksen, S. E. H. 2005. The role of indigenous plants in household adaptation to climate change: the Kenyan experience. In *Climate Change and Africa*, edited by Sum Low, P. Cambridge University Press, pp. 248-259
- Huq, S., I. Burton. 2003. Funding adaptation to climate change: What, who and how to fund? Sustainable Development opinion paper, IIED: London.
- Huq, S., A. Rahman, M. Konate, Y. Sokona, H. Reid. 2003. Mainstreaming Adaptation to Climate Change in Least Developed Countries IIED: London.
- Keys, D. 1999. *Catastrophe: an investigation into the origins of the modern world*. Arrow Books, London, UK
- McEntire, D. 2000. Sustainability or Invulnerable Development? Proposals for the Current Shift in Paradigms. *Australian Journal of Emergency Management*, 15 (1): 58-61.
- Schipper, E. Lisa F. Climate Change Adaptation and Development: Exploring the Linkages
Working Paper Tyndall Research No 107 July 2007. Tyndall Center for Climate change Research
- Schipper, E.L., Huq, S., Khan, M. 2003. An Exploration of "Mainstreaming" Adaptation to Climate Change. Brief prepared for Adaptation Research Workshop, 9-12 November, New Dehli
- Smithers, J., B. Smit. 1997. Human Adaptation to Climatic Variability and Change. *Global Environmental Change*, 7 (2): 129-146.
- Tompkins, E. L. and W. N. Adger. 2004. Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecology and Society* 9(2): 10.
- Watson, R.T. and R.O. Ackermann. 2000. Poverty and Climate Change. *Environment Matters at the World Bank: Annual Review 2000*. World Bank, Washington, D.C.

WOC 2009: LAUT DAN PERUBAHAN IKLIM

P. Astony Angmalisang^{1*)}, J. Rino Rogi^{2*)}, dan Markus T. Lasut^{1*)}

1 Fakultas Perikanan & Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado

2 Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi, Manado

* Panitia Daerah Pelaksana World Ocean Conference 2009; Pengurus PERHIMPI Cabang Sulawesi Utara

Ringkasan

World Ocean Conference 2009 (WOC 2009) adalah konferensi kelautan tingkat dunia yang melibatkan kepala pemerintahan yang memiliki wilayah laut dan pantai, para ilmuwan, peneliti, pemangku kepentingan (*stake holder*) dan organisasi non pemerintah (LSM). Konferensi ini diprakarsai oleh Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara dan ditindaklanjuti oleh pemerintah nasional dalam hal ini Bapak Presiden dengan dikeluarkannya Keppres Nomor 23 Tahun 2007 tanggal 15 November 2007 tentang Panitia Penyelenggaraan Konferensi Kelautan Dunia (*World Ocean Conference*) Tahun 2009. Tema konferensi ini adalah Laut dan Perubahan Iklim (*Ocean and Climate Change*). Dampak Perubahan Iklim terhadap Laut dan Peran Laut terhadap Perubahan Iklim.

I. Latar Belakang

Kebesaran dan keajaiban Tuhan menciptakan bumi dan segala isinya adalah menjadikan laut bagian terbesar (76%) jika dibandingkan dengan daratan (24%) dengan keadaan seimbang yang alami. Ini adalah suatu anugerah bagi umat manusia yang mendiami planet bumi ini dengan suatu hak mengusahakannya dan kewajiban memeliharanya.

Pemanfaatan sumberdaya alam (laut, hutan, tanah dan air, dll) yang tidak bijaksana dengan pendekatan yang tidak terpadu menyebabkan kuantitas dan kualitasnya menurun. Akibatnya, keseimbangan alami itu terganggu dan menimbulkan ancaman bagi makhluk hidup yang mendiami planet bumi ini, diantaranya terjadi perubahan iklim secara global yang mempengaruhi penurunan sumberdaya kelautan dan perikanan serta masalah geopolitik kelautan.

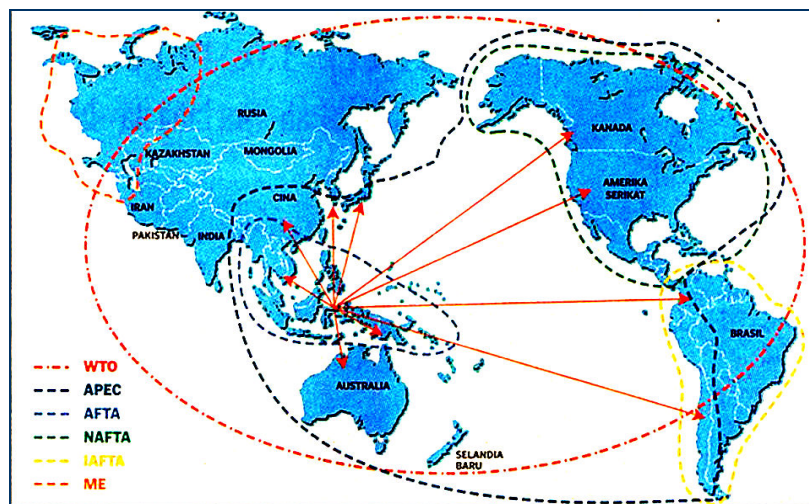
Untuk itu, perlu adanya komitmen dunia (Internasional) dalam mengatasi masalah ini dan rencana aksi yang nyata, terpadu dan terukur dari masyarakat dunia dalam mengurangi dampak perubahan iklim terhadap ekosistem laut, memaksimalkan peran laut dalam upaya adaptasi dan mitigasi serta mencari terobosan baru untuk mengakselerasi pembangunan kelautan dan perikanan secara terpadu dan berkelanjutan.

Akhir tahun 2005 Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara (Pemprov Sulut) berinisiatif untuk melaksanakan konferensi kelautan tingkat dunia

pada tahun 2009. Bersama dengan akademisi dan para pakar daerah Sulut yang berkompeten di bidang kelautan dan perikanan. Pemprov Sulut telah berdiskusi dan berusaha membawa ide lokal ini ke Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Sulut (DPRD Sulut) dan Pemerintah pusat (nasional). Hasilnya diterbitkannya Lembaran Daerah dalam bentuk Peraturan Gubernur Sulawesi Utara Nomor : 02 Tahun 2007 tanggal 17 September 2007 tentang Konferensi Kelautan Dunia (*World Ocean Conference*) di Propinsi Sulawesi Utara dan Keputusan Presiden Nomor 23 Tahun 2007 tanggal 15 November 2007 tentang Panitia Penyelenggaraan Konferensi Kelautan Dunia (*World Ocean Conference*) Tahun 2009.

II. Potensi Sulawesi Utara

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki geoposisi yang strategis di daerah tropis yang dapat menjangkau secara luas ke berbagai belahan bumi. Sulawesi Utara (SULUT) memiliki akses ke komunitas perdagangan dunia (Gambar 1), berhadapan langsung dengan Samudera Pasifik, mempunyai luas perairan teritorial 161.540 km² dan perairan ZEE seluas 190.000 km², dengan panjang garis pantai 1.837 km, mempunyai 11 pulau terluar (diantaranya Pulau Miangans dan Marore).



Gambar 1. Geoposisi Strategis Propinsi Sulawesi Utara

Sulawesi Utara memiliki laut dengan biodiversitas tinggi dengan biota-biota langka, seperti Ikan Raja Laut (*Coelacanth/ Latimeria menadoensis*) yang merupakan satu-satunya ikan purba dari Ordo *Coelacanthiformes* yang diperkirakan muncul pertama kali dalam kehidupannya sekitar 380 juta tahun yang lalu. Ikan ini tidak pernah

ditemukan lagi selama ± 65 juta tahun sehingga diperkirakan sudah punah. Sampai kemudian ikan ini ditemukan kembali tertangkap hidup di lepas Pantai Afrika Selatan pada tahun 1938. Penemuan ini kemudian memberi predikat *Coelacanth* sebagai fosil hidup. Pada tahun 1952, sekitar 200 ikan *Coelacanth* berhasil ditangkap di Kepulauan Komoro dan kemudian dinamakan *Latimeria chalumnae*.

Sulawesi Utara terletak di Wallacean Bioregion dan Marine Ecoregion Sulu-Sulawesi dan merupakan daerah lintasan dari ikan yang bermigrasi antar negara (*High Migratory Species*). Perairan Pulau Biaro merupakan tempat pemijahan mamalia laut (paus). Dengan tingginya potensi Perikanan dan Kelautannya, maka Sulawesi Utara diusulkan ke Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa sebagai *World Heritage Marine Site* (Kawasan Bunaken-Likupang-Lembeh).

III. World Ocean Conference

World Ocean Conference Tahun 2009 (WOC 2009) merupakan konferensi tingkat tinggi kepala pemerintahan yang memiliki wilayah laut dan pantai, yang juga melibatkan para ilmuwan, peneliti, pemangku kepentingan (*stake holder*) dan organisasi non pemerintah (LSM). Tema konferensi ini adalah Laut dan Perubahan Iklim (*Ocean and Climate Change*), Dampak Perubahan Iklim terhadap Laut dan Peran Laut terhadap Perubahan Iklim.

Tujuan dari konferensi ini adalah menggalang komitmen masyarakat dunia dalam memelihara fungsi laut sebagai upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim melalui :

1. *MANADO DECLARATION ON OCEAN* yang berisi kesepakatan untuk menegaskan mengenai peran laut dalam mengatur perubahan iklim dan pengaruh perubahan iklim terhadap bidang kelautan
2. Penetapan rencana aksi dan lokasi pelestarian terumbu karang dalam kerangka CTI (*Coral Triangle Initiatives*).
3. Penguatan kerjasama konservasi ekosistem laut melalui kerangka SSME (*Sulu Sulawesi Marine Ecoregion*).
4. Pembentukan *World Ocean Forum* (WOF)
5. Penetapan Bunaken sebagai *World Natural Heritage*.
6. Penguatan riset dan informasi diskusi ilmiah membahas topik-topik kelautan.
7. Dukungan sektor swasta dalam Pameran Kelautan Internasional

Sasaran dari konferensi ini adalah :

1. Meningkatnya kerjasama antar negara untuk mengelola bidang kelautan dalam menyikapi perubahan iklim.
2. Meningkatnya pemahaman masyarakat dunia akan pentingnya fungsi laut dalam mengatur perubahan iklim dunia.

3. Meningkatnya kepedulian dunia akan perlunya menyelamatkan pulau-pulau kecil dan wilayah pesisir dalam menghadapi perubahan iklim global.
4. Meningkatnya komitmen berbagai pihak untuk menjaga dan melestarikan sumberdaya ikan demi ketahanan pangan.
5. Meningkatnya upaya mitigasi bencana akibat perubahan iklim.
6. Meningkatnya kemampuan masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil untuk beradaptasi menyikapi perubahan iklim.

Hasil yang ingin dicapai dari konferensi ini adalah :

1. Dokumen *Manado Ocean Declaration*, untuk ditindaklanjuti dengan rencana aksi (*Plan of Action*)
2. *World Ocean Forum*, sebagai wahana penyusunan *Plan of Action*.
3. Rencana aksi dan penetapan lokasi CTI
4. Terselenggaranya pameran sebagai ajang pertukaran informasi tentang pembangunan kelautan dunia.

Manfaat yang diharapkan dari konferensi ini adalah :

1. Indonesia menjadi *center of excellence* untuk penelitian kelautan.
2. Indonesia dapat menjadi tuan rumah *World Summit Rio + 20 = 2012*.
3. Menjadikan Sulawesi Utara, Indonesia sebagai tempat pertemuan kelautan tingkat internasional, Pasca 2009
4. Sulawesi Utara dan provinsi sekitarnya (Gorontalo, Sulawesi Tengah, Maluku, Maluku Utara dan Irian Jaya Barat) dikenal dunia dan nasional sebagai tujuan wisata bahari.
5. Peningkatan industri pariwisata sebagai salah satu sektor penggerak perekonomian daerah dan nasional melalui MICE (*Meeting, Incentive, Convention, and Exhibition*) yang dapat MEMBERIKAN KESEJAHTERAAN BAGI MASYARAKAT SULAWESI UTARA.

IV. Penutup

Konferensi kelautan dunia (*World Ocean Conference*) sudah ditetapkan dan akan dilaksanakan pada tanggal 11 – 15 Mei 2009 di Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Melalui kesempatan ini diharapkan kepada semua pihak yang peduli terhadap penyelamatan bumi dari ancaman perubahan iklim global dapat memberi saran dan masukan untuk dibawa ke konferensi kelautan tingkat dunia ini.

V. Ucapan Terima Kasih

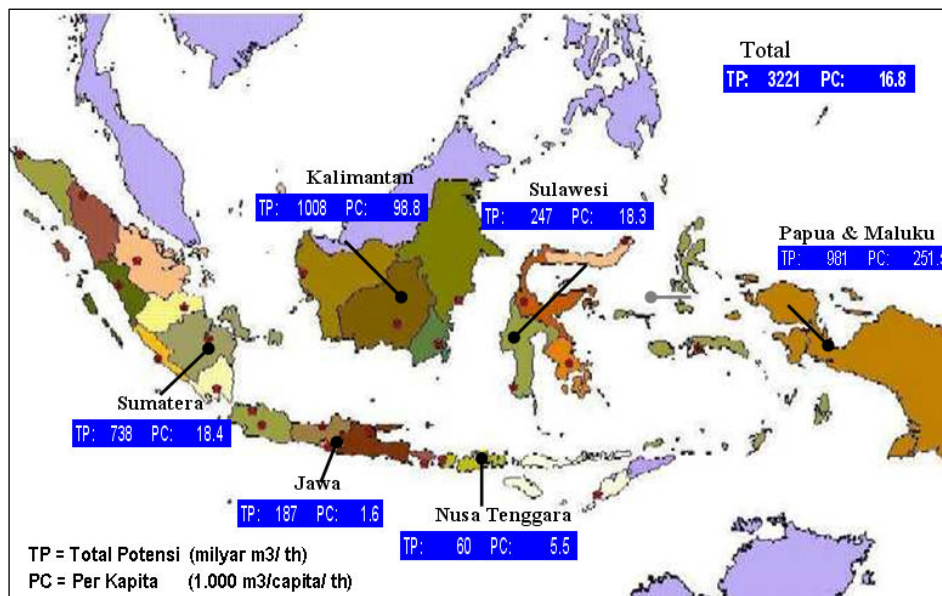
Kami menyampaikan terima kasih kepada Pengurus Pusat PERHIMPI yang telah mengikutsertakan Panitia Daerah Pelaksana WOC 2009 dalam Simposium VII PERHIMPI.

KEBIJAKAN DAN PROGRAM SEKTOR SUMBER DAYA AIR DALAM MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM

Iwan Nursyirwan
Direktur Jenderal Sumber Daya Air

Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya esensial bagi kehidupan mahluk hidup utamanya manusia. Keberadaannya sangat dibutuhkan dalam segala sisi kehidupan. Negara Indonesia dikaruniai dengan berkelimpahan atas sumber daya ini, tercatat bahwa total potensi yang ada 3.221 milyar m³/th atau sebanding dengan ketersediaan per kapita sebesar 16,8 ribu m³/th. Hanya saja dengan kondisi wilayah Indonesia yang luas dan negara kepulauan serta adanya variabilitas iklim antar daerah mempertajam dampak pada distribusi potensi air untuk masing masing daerah tersebut. Pulau Jawa merupakan pulau yang memiliki tekanan potensi air terbesar, hal ini disebabkan oleh potensi air yang dimilikinya tidak terlalu besar (187 milyar m³/th), tetapi di lain pihak harus menopang 65% dari penduduk seluruh Indonesia atau sebanding dengan ketersediaan per kapita 1,6 ribu m³/th jika dibandingkan Pulau Papua dan Maluku yang memiliki potensi air sebesar 981 milyar m³/th atau ketersediaan per kapita 251,5 ribu m³/th (Gambar 1).



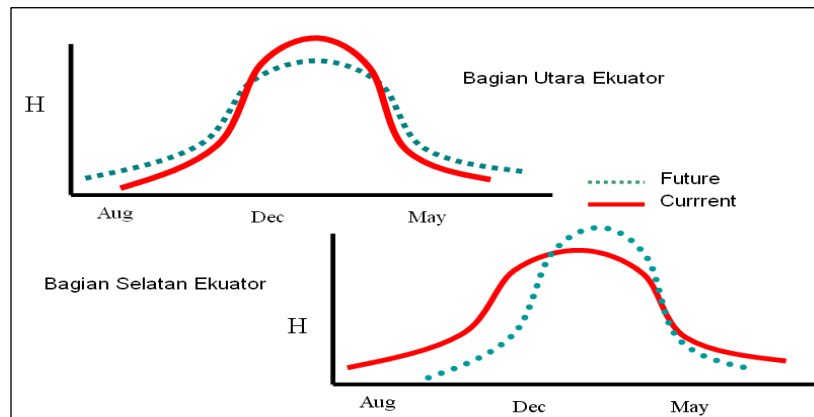
Gambar 1. Potensi air dan potensi air per kapita

Posisi geografi Indonesia yang menyebabkan memiliki iklim monsoon, yaitu adanya periode musim penghujan dan musim kemarau yang jelas, dimana secara umum 80% dari total hujan tahunan jatuh pada musim hujan dan hanya 20% sisanya jatuh pada musim kemarau. Tentunya hal ini memiliki keuntungan dan kerugian tersendiri. Dampak *climate change* yang disebabkan oleh *global warming* yang mengakibatkan semakin sering terjadi iklim/cuaca yang ekstrim, terkait dengan gejala *El Nino* dan *La Nina*. Dua gejala alam ekstrim tersebutlah yang berhubungan dengan bencana kekeringan dan banjir yang terjadi di beberapa daerah di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir ini yang merupakan tantangan nyata yang harus disikapi dengan bijak dengan melakukan upaya pengelolaan Sumber Daya Air secara terpadu dan berkelanjutan.

Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Sumber Daya Air

Kenyataannya dampak perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global, beberapa tahun belakangan ini mulai dapat dirasakan dampaknya pada segala sektor. Sektor-sektor yang rentan terhadap bencana yang disebabkan oleh iklim antara lain sektor kesehatan, pertanian, ketenagaan/kelistrikan, begitu juga sektor sumber daya air. Diantara sektor-sektor yang rentan tersebut, sektor SDA dipandang sebagai sektor yang paling signifikan merasakan dampaknya (paling rentan), mengingat air merupakan sumber daya esensial bagi kehidupan makhluk hidup di dunia ini.

Secara klimatologis, perubahan iklim di Indonesia akan berimplikasi pada kecenderungan peningkatan/penurunan curah hujan tahunan dan pola hujan di belahan bumi utara dan selatan. Pada bumi belahan utara akan terjadi kecenderungan penurunan curah hujan dan kejadian periode musim kemarau lebih panjang, sedangkan pada bumi belahan selatan akan terjadi sebaliknya (Gambar 2).



Gambar 2. Perubahan pola hujan di Indonesia (Neelin, *et al.*, 2006)

Berdasarkan pada kondisi tersebut, tentunya akan berdampak serius pada semua sektor khususnya pada sektor yang terkait dengan air. Untuk bumi belahan utara tentunya akan membawa konsekuensi pada semakin panjangnya musim kemarau yang dapat menyebabkan menurunkan kemampuan/keandalan pasokan air serta mengakibatkan terjadinya peningkatan konsumsi air sehingga dapat memicu terjadinya bencana kekeringan, intrusi air laut serta peningkatan kemungkinan frekuensi kebakaran hutan dan lahan gambut yang pada akhirnya akan menjadi ancaman atas persediaan produksi pangan nasional.

Untuk di bumi belahan selatan akan terjadi semakin tinggi intensitas hujannya yang dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan bahaya erosi, sedimentasi, bencana banjir dan longsor sehingga dapat mengakibatkan kerusakan serta tidak berfungsinya sarana prasarana SDA yang telah ada/yang telah dibangun.

Tantangan Sektor SDA

Tantangan sektor SDA dalam menghadapi perubahan iklim adalah sebagai berikut :

1. Menurunnya kuantitas dan kualitas sumber air karena kondisi lingkungan yang semakin rusak.
2. Meningkatnya *trend* kebutuhan akan air baik untuk irigasi maupun air baku untuk air minum dan industri yang terus meningkat dari tahun ke tahun.
3. Kerusakan sarana prasana SDA akibat bencana banjir, longsor & air pasang/abrasi air laut.
4. Bertambahnya jumlah DAS yang mengalami kerusakan/kritis, dari 22 DAS tahun 1984, 39 DAS tahun 1992, 59 DAS tahun 1998, dan menjadi 62 DAS saat ini dari total 470 DAS di seluruh Indonesia.
5. Meningkatnya pengrusakan kawasan hutan yang berfungsi sebagai daerah resapan air, puncaknya terjadi pada tahun 1997 hingga 2000 yang mencapai laju 2,83 juta ha/tahun, sedangkan pada saat ini telah mengalami penurunan hingga 1,09 juta ha/tahun dan total kawasan hutan yang terdegradasi hingga 2006 mencapai 59,62 juta hektar (Dep. Kehutanan, 2007).
6. Terjadinya alih fungsi lahan pertanian beririgasi dengan laju rata-rata 35 ribu ha/tahun.
7. Rendahnya kesadaran masyarakat dalam menjaga lingkungan.

Kebijakan dan Strategi Ditjen SDA dalam Menghadapi Perubahan Iklim

Pengelolaan SDA dalam menghadapi perubahan iklim dilakukan dengan pendekatan komprehensif dalam kesatuan konsep Wilayah Sungai

dengan berpijak pada 3 (tiga) pilar utama UU No. 7 tahun 2004. Ketiga pilar utama tersebut adalah :

1. Konservasi sumber daya air.
2. Pendayagunaan sumber daya air.
3. Pengendalian daya rusak.

Ditambah dua pilar tambahan, yaitu pemberdayaan dan peningkatan peran masyarakat dalam pengelolaan SDA dan keterbukaan data & informasi.

Pengelolaan sumber daya air dilakukan berdasarkan konsep pengelolaan secara utuh dan terpadu dalam kesatuan wilayah sungai dari hulu sampai ke hilir melalui prinsip “*satu sungai, satu rencana terpadu dan satu sistem pengelolaan yang terkordinasikan*”. Kebijakan sektor SDA dalam menghadapi perubahan iklim dilakukan melalui upaya non-struktural dan struktural serta peningkatan kesadaran dan keswadayaan masyarakat dalam menghadapi bencana terkait dengan air, guna mengamankan daerah permukiman, industri, perdagangan dan daerah produksi pangan serta memulihkan ekosistem dari kerusakan akibat bencana yang terkait dengan air.

Berdasarkan pada kebijakan tersebut, maka Ditjen SDA menetapkan strategi-strategi antara lain :

1. Merubah prioritas kegiatan *forecasting* dan *warning* menjadi yang utama daripada membangun bangunan fisik.
2. Mengupayakan agar masyarakat lebih tanggap terhadap perubahan iklim melalui pelaksanaan kegiatan *public awareness campaign* harus lebih digiatkan.
3. Air makin langka harus lebih dihemat penggunaannya.
4. Peningkatan cadangan air di musim kemarau, dengan membangun waduk, embung, konstruksi resapan air dan rehabilitasi hutan.

Program Adaptasi Sektor SDA

Iklim saat ini beserta dampak yang menyertainya merupakan hasil “campur tangan” dari generasi sebelumnya. Oleh karena perubahan tersebut tidak dapat diperbaiki lagi, maka diperlukan adanya upaya-upaya adaptasi agar dapat menyesuaikan dengan kondisi iklim yang sudah berubah saat ini.

Program-program adaptasi yang dilakukan Ditjen SDA dalam menghadapi perubahan iklim, antara lain :

- a. Pengelolaan Air.
 - Mencegah dan memperbaiki/meningkatkan daya dukung DAS sebagai daerah resapan air.

- Mencegah pengrusakan lahan rawa dan lahan gambut dan melakukan konservasi.
- Melakukan optimalisasi penggunaan air di waduk/sungai.
- Melaksanakan efisiensi penggunaan air. Khusus untuk sektor pertanian, efisiensi penggunaan air dapat dilakukan melalui optimalisasi sistem pergiliran dalam penggunaan air dan teknologi irigasi hemat air.
- Meminimalkan kebocoran air di sepanjang jaringan irigasi.
- Melaksanakan pengawasan intensif atas terjadinya kebocoran pada jaringan irigasi, serta mencegah terjadinya pengambilan air ilegal baik di sungai maupun di saluran.
- Melakukan kaji ulang terhadap pola tanam dan tata tanam oleh Panitia Irigasi Kabupaten.
- Dalam kondisi yang sangat kritis, melakukan modifikasi cuaca (hujan buatan) untuk pengisian waduk.

b. Pemberdayaan Masyarakat (termasuk petani)

- Penyesuaian pola tanam berdasarkan kalender tanam yang disepakati dan ditetapkan bagi pergiliran masa tanam dan jenis tanaman yang ditetapkan sebagai hasil kesepakatan dalam Komisi Irigasi agar untuk ditaati oleh petani.
- Penyuluhan Gerakan Hemat Air dan pengembangan SRI terhadap petani pemakai air (P3A, GP3A, IP3A).
- Perlu dibentuk garda pemuda untuk penanggulangan banjir dan kekeringan selain Tim Sar yang sudah ada dengan difasilitasi oleh Pemerintah.

c. Penyediaan Prasarana Sumber Daya Air

- Meningkatkan kapasitas penyediaan air dengan memperbaiki waduk atau embung, serta mengoptimalkan fungsi danau dan situ sebagai sumber air.
- Melakukan konservasi SDA dengan melaksanakan *rainfall* dan *runoff harvesting*.
- Menerapkan prinsip penggunaan air secara *conjunctive use* dan penggunaa berulang, misalnya di daerah irigasi yang saluran drainasenya masih terdapat air, dilakukan pemompaan ke lahan pertanian agar air tetap dapat dimanfaatkan.
- Membangun tampungan-tampungan air hujan (waduk lapangan) pada sebagian lahan pertanian, agar air hujan tidak terbuang percuma.
- Meningkatkan kesiapan prasarana dan sarana sumber daya air melalui kegiatan rehabilitasi dan *upgrading*, dan pemeliharaan yang konsisten dan mantap melalui penyediaan dana O&P yang memadai.

- Meningkatkan kapasitas resapan air pada beberapa wilayah yang kondisi tanahnya memungkinkan terjadinya resapan air, misalnya dengan membuat sumur-sumur resapan air hujan guna meningkatkan ketersediaan air tanah sekaligus mengurangi beban jaringan drainase.

Penutup

Dampak perubahan iklim merupakan hal yang tidak dapat dihindarkan lagi, maka sudah dirasakan sangat dibutuhkan adanya program-program adaptasi yang saling sinergi dan terpadu antar sektor agar lebih efektif dan efisien dalam mewujudkan cita-cita pembangunan yang berkelanjutan dalam rangka pencapaian tujuan nasional, yaitu masyarakat adil dan makmur.

PROGRAM PEMANTAUAN BUMI DAN ATMOSFER UNTUK MENGKAJI PERUBAHAN GLOBAL

T. Djamaluddin

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

PENDAHULUAN

Perubahan menggambarkan terjadinya perbedaan dari kondisi sebelumnya baik dalam skala ruang maupun waktu. Dalam skala ruang, perubahan dapat terjadi dalam luasan terbatas (lokal), regional maupun dalam skala global. Perubahan yang terjadi dalam skala global biasanya terjadi dalam waktu yang relatif lama.

Definisi Perubahan Global

Perubahan global dalam hal ini bermakna perubahan pada sistem bumi yang bersifat global (setidaknya dalam skala ruang hemisfer) dengan skala waktu yang panjang. Perubahan global mencakup perubahan suhu global (pemanasan global), perubahan iklim, dan perubahan lingkungan lainnya yang dipicu oleh emisi gas rumah kaca (GRK), perubahan tataguna lahan, polusi, penggunaan sumber daya alam berlebihan yang juga bersifat global.

Definisi Pemanasan Global

Pemanasan global adalah peningkatan secara gradual suhu permukaan global akibat efek emisi gas-gas rumah kaca (terutama CO₂) dari aktivitas manusia (antropogenik). Pemanasan global hanya diketahui dari data, bukan fenomena sesaat. Pemanasan global juga menggambarkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata atmosfer di dekat permukaan bumi dan laut selama beberapa dekade terakhir dan proyeksi untuk beberapa waktu yang akan datang. Pengamatan selama 157 tahun terakhir menunjukkan bahwa suhu permukaan bumi mengalami peningkatan sebesar 0,05°C/dekade. Selama 25 tahun terakhir peningkatan suhu semakin tajam, yaitu sebesar 0,18°C/dekade. Gejala pemanasan juga terlihat dari meningkatnya suhu lautan, naiknya permukaan laut, pencairan es dan berkurangnya salju di belahan bumi utara.

Pemanasan global merupakan salah satu indikator dari perubahan iklim yang terjadi. Pemanasan global terjadi akibat dari peningkatan efek rumah kaca yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Semakin tinggi konsentrasi gas rumah kaca maka semakin banyak radiasi panas dari bumi yang terperangkap di atmosfer

dan dipancarkan kembali ke bumi. Hal tersebut menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi. Peningkatan suhu iklim juga bisa dikarenakan peningkatan radiasi matahari, namun efeknya relatif sangat kecil.

Perubahan Iklim

Perubahan iklim adalah keadaan iklim yang rata-ratanya atau sifat lainnya menunjukkan perubahan yang bersifat tetap dalam jangka panjang, baik karena proses alami maupun dampak dari aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer maupun tataguna lahan. Perubahan iklim kadang dibedakan dengan variabilitas iklim. Perubahan iklim ditekankan faktor aktivitas manusia (antropogenik). Variabilitas iklim ditekankan pada faktor proses alami (misalnya faktor aktivitas matahari).

Namun memang sangat kecil kemungkinan bahwa pemanasan global yang juga mengakibatkan perubahan iklim hanya disebabkan oleh variasi alamiah. Model iklim yang hanya memperhitungkan variasi alam (terutama aktifitas matahari dan letusan gunung) tanpa mempertimbangkan efek gas rumah kaca gagal menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kenyataan/pengamatan. Hasil simulasi menjadi akurat setelah memasukkan efek gas rumah kaca ke dalam model.

Perlu dibedakan perubahan lokal dari perubahan global. Perubahan lokal dipicu oleh faktor lokal yang kadang perubahannya melebihi perubahan global. Misalnya, perubahan suhu kota (*heat island*) bisa melebihi perubahan suhu global yang dalam satu abad hanya berubah 0,7°C. Perubahan global variasinya lebih kecil dan perubahannya bersifat gradual. Maka pengamatan bumi dan atmosfer untuk mengkaji perubahan global masih lebih sulit untuk dilakukan. Dalam hal ini diperlukan skala spasial yang luas dan skala waktu yang panjang. Kesulitan terbesar yang ditemui adalah keterbatasan data. Untuk mengantisipasi hal tersebut, hal-hal yang dapat dilakukan diantaranya adalah :

- Perlu kerjasama internasional.
- Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat membantu pemantauan luas, tetapi skala waktunya masih terbatas.
- Pengamatan masih bersifat lokal, kadang dirancukan dengan penyimpulan indikasi perubahan global

PROGRAM PEMANTAUAN LAPAN

Bentuk kerjasama internasional yang dilakukan oleh LAPAN adalah Program pemantauan karakteristik atmosfer ekuator dalam kaitannya dengan sirkulasi atmosfer global dengan jaringan radar atmosfer yang

merupakan fasilitas kerjasama Indonesia – Jepang di Kototabang, Sumatera Barat. Kegiatan lain yang dilakukan adalah pemantauan karbon dioksida sebagai pemicu pemanasan global. Pusfat Satklm telah mengintensifkan pengukuran CO₂ di beberapa tempat di Indonesia mulai 2008, baik dengan stasiun tetap maupun pengukuran profil ketinggian dengan balun. Namun dalam hal ini perlu meminimalisasi faktor lokal untuk memberikan gambaran kondisi CO₂ regional Indonesia.

Pemantauan bumi dan atmosfer untuk mengkaji perubahan global tidak sederhana karena memerlukan banyak data dengan skala ruang yang luas (setidaknya skala hemisfer) dan skala waktu panjang. Dengan fasilitas yang ada (jaringan radar, pengukuran insitu, penginderaan jauh satelit, pengamatan kosmogenik) LAPAN berupaya mengkaji perubahan global dengan memanfaatkan kerjasama nasional dan internasional.

KEBIJAKAN DAN PROGRAM UNTUK MENGURANGI TINGKAT KERENTANAN KELAUTAN, PERIKANAN, DAN PULAU-PULAU KECIL TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

Subandono

Direktorat Kelautan dan Perikanan

Latar Belakang

Berdasarkan hasil kajian IPCC - *Inter-Governmental Panel on Climate Change* - (2007) menunjukkan bahwa kenaikan suhu bumi semakin terasa terutama pada kurun waktu 1990an s/d 2006. catatan menunjukkan adanya kenaikan suhu global sampai dengan 0,76° C sejak tahun 1800an. Secara bersamaan, ternyata muka air laut rata-rata global juga meningkat rata-rata 1,8 mm per tahun dalam kurun waktu 1961 s/d 2003. Apabila dikumulatifkan, maka diperkirakan muka air laut akan meningkat sampai 0,17 m pada abad ke-20.

Manusia selain akan menerima dampak perubahan iklim tersebut, juga pada dasarnya ikut berperan dalam pemanasan global sejak pertengahan abad ke-20. Pemanasan global tersebut akan terus meningkat dengan percepatan yang lebih tinggi pada abad ke-21 apabila tidak ada upaya menguranginya. Pemanasan global tersebut mengakibatkan perubahan iklim dan kenaikan frekuensi maupun intensitas iklim ekstrim.

Wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan salah satu wilayah yang berpotensi terkena dampak secara signifikan. Secara umum disepakati bahwa perubahan iklim akan bersinergi memperburuk permasalahan yang saat ini ada di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil seperti degradasi ekosistem, pencemaran, erosi, ketersediaan air bersih, dan keanekaragaman hayati. IPCC menyatakan pula bahwa pemanasan global dapat menyebabkan terjadi perubahan yang signifikan dalam sistem fisik dan biologis. Masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil yang pada umumnya memiliki keterbatasan sumberdaya, berprofesi sebagai nelayan atau pembudidaya ikan, terbatas pendidikan dan sarana prasarana, akan menderita dampak yang besar.

Kebijakan dan program nyata perlu dilakukan untuk mengurangi kerentanan dan meningkatkan kapasitas masyarakat (*human system*) serta ekosistem wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dalam mengantisipasi dampak negatif perubahan iklim.

Kerentanan dan Dampak Terhadap Wilayah Pesisir

Secara umum dampak pemanasan global untuk pesisir dan pulau-pulau kecil sebagaimana dalam Gambar 1. Dampak-dampak tersebut berupa:

Kenaikan Paras Muka Air Laut

Pemanasan global bukanlah satu-satunya penyebab terjadinya kenaikan paras muka air laut. Secara umum penyebab kenaikan paras muka air laut dapat digolongkan dalam 3 faktor, yaitu (i) global, (ii) regional, dan (iii) lokal. Perubahan paras muka air laut akibat faktor global adalah merupakan faktor utama yang sangat dikhawatirkan pada abad 21 karena dapat menyebabkan terendamnya dataran pantai rendah. Faktor regional pada umumnya ditimbulkan oleh aktivitas tektonik dalam suatu region. Sedangkan faktor lokal terjadi terutama oleh proses subsidensi akibat perubahan masa tanah dan perubahan fluida bawah tanah. Dampak ikutan dari kenaikan paras muka air laut ini antara lain:

1. Tersingkap/terbukanya Kawasan Pantai (*exposure of coastal zones*)

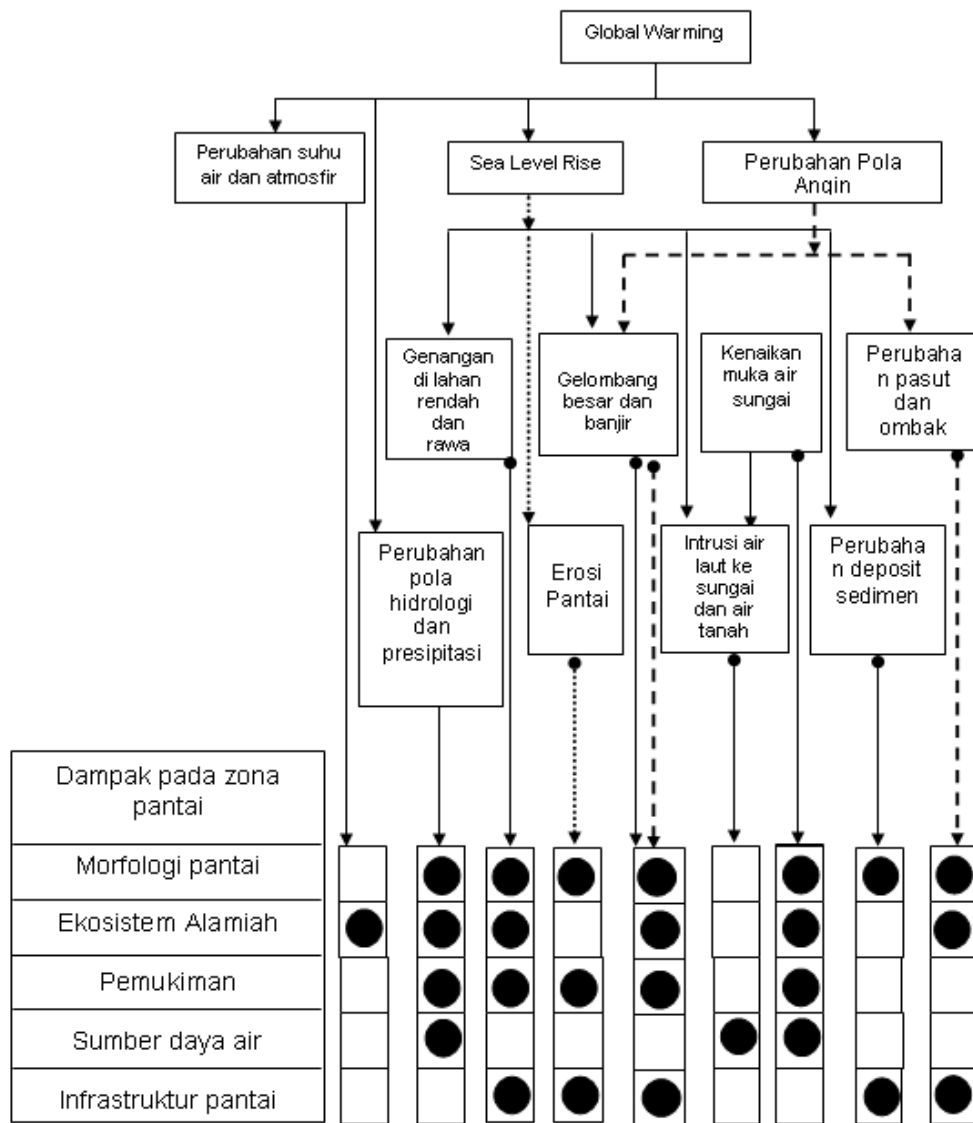
- Mempengaruhi bentuk lahan dan ekosistem seperti pantai berpasir, pantai berbatu, tebing (*cliffs*), dataran pasang surut, terumbu karang, dan mangrove.
- Meningkatkan genangan kawasan permukiman, pelabuhan, industri, pembangkit listrik, fasilitas wisata, dan fasilitas lainnya di wilayah pesisir.
- Dengan asumsi panjang garis pantai 81.000 km genangan pantai rerata akibat SLR 1m adalah selebar 50 m, maka berarti lahan pesisir (termasuk pulau-pulau kecil) yang tergenang dalam 100 tahun mencapai 405.000 ha atau 4.050 ha/tahun.
- Perubahan rejim hidraulik yang berpengaruh pada ekosistem mangrove .

2. Erosi Pantai

Dampak perubahan iklim dan kenaikan paras muka air laut akan bersuperposisi dengan kecenderungan erosi yang telah terjadi sekarang, sehingga nantinya Indonesia akan memerlukan usaha dan biaya yang sangat besar untuk menanggulangi erosi.

3. Banjir

Peningkatan frekuensi dan intensitas banjir dikarenakan efek pembendungan oleh adanya *Sea Level Rise* (SLR) yang mengurangi kecepatan aliran air dan meningkatkan laju sedimentasi di muara. Kota pantai seperti Jakarta akan semakin berat menghadapi banjir nantinya.



Gambar 1. Dampak pemanasan global terhadap lingkungan pesisir dan pulau-pulau kecil

4. Intrusi Air Laut

Sea Level Rise (SLR) juga mengakibatkan volume air laut yang masuk ke arah daratan melalui sungai akan semakin besar. Air laut yang mendesak masuk jauh ke darat ini merupakan masalah bagi kota-kota pantai yang menggantungkan air bakunya dari sungai.

5. Dampak terhadap Infrastruktur di Wilayah Pesisir

SLR juga mempengaruhi fungsi beberapa fasilitas seperti pelabuhan, pelabuhan perikanan, pulau buatan (*man made islands*), penimbunan tanah, struktur pelindung pantai, sistem drainasi serta infrastruktur lainnya.

Kenaikan Suhu Permukaan Laut

Kenaikan suhu permukaan air laut akan mengakibatkan terjadinya kematian terumbu karang dengan fenomena yang biasa disebut *coral bleaching* (Gambar 1). Hal ini disebabkan *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan binatang karang mati akibat kenaikan suhu permukaan laut. Dampak ikutannya akan mempengaruhi:

- kegiatan pariwisata untuk kawasan-kawasan wisata
- menurunnya produktivitas perairan dan perikanan
- terganggunya keseimbangan ekosistem pesisir

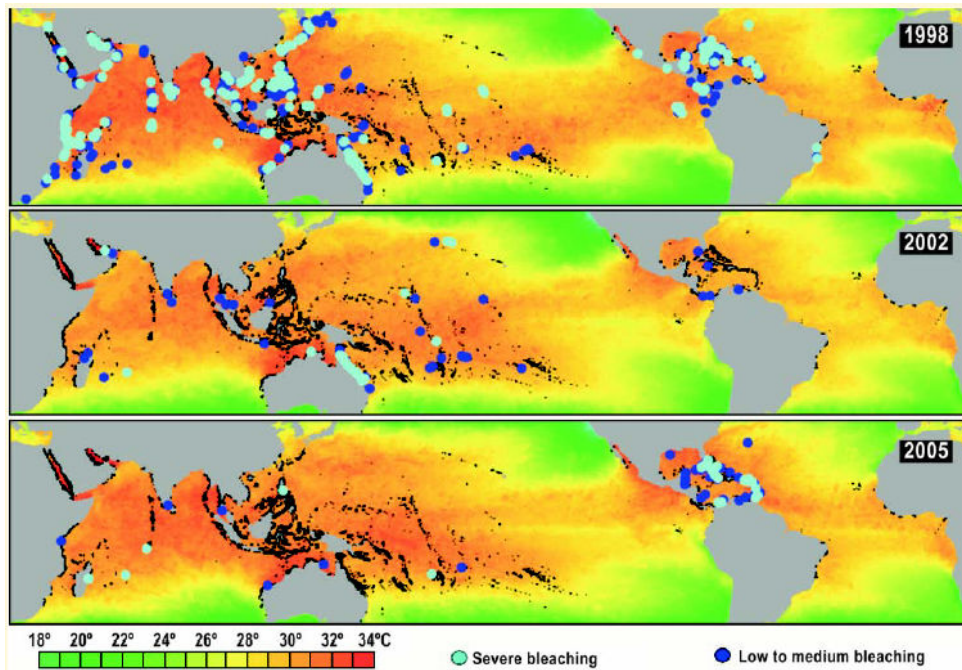
Perubahan Pola Cuaca

Pemanasan global akan mengakibatkan terjadinya perubahan pola cuaca seperti perubahan musim hujan dan kemarau. Fenomena ini sangat terasa pada kejadian *El Nino* dan *La Nina* dimana pada masa-masa tersebut kita mengalami musim kering yang panjang dan musim hujan yang lebih lama dari biasanya. Selain itu, perubahan pola cuaca ini juga memicu kecenderungan intensitas dan frekuensi badai tropis.

Kerentanan dan Dampak Terhadap Kegiatan Perikanan

Perikanan Budidaya

Kegiatan perikanan sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim karena lokasinya yang berada pada dataran rendah (*low lying area*). Untuk kegiatan budidaya, dampak utama berupa penggenangan kawasan budidaya, kehilangan aset ekonomi dan infrastruktur perikanan, meningkatnya erosi dan rusaknya lahan budaya di wilayah pesisir serta keanekaragaman hayati pesisir dan pulau-pulau kecil.



Gambar 2. Sebaran *coral bleaching* dan distribusi suhu permukaan laut (Sumber: www.reefbase.org)

Kerugian akan diderita oleh masyarakat pesisir dan nelayan tangkap serta pembudidaya dalam bentuk:

- menurunnya kualitas lingkungan pesisir dan pulau-pulau kecil akibat erosi pantai, intrusi air laut, dan pencemaran
- berkurangnya produktivitas perikanan karena rusaknya ekosistem mangrove dan terumbu karang akibat kenaikan suhu permukaan air laut dan perubahan rejim air tanah.
- Kerusakan lahan budidaya perikanan akibat penggenangan oleh air laut maupun banjir yang disebabkan kenaikan paras muka air laut
- Kerusakan rumah dan potensi kehilangan jiwa akibat kejadian ekstrim seperti badai tropis dan gelombang tinggi.

Untuk menghitung kerugian secara ekonomis masih memerlukan kajian lebih detail terkait dengan nilai ekonomi sumber daya, lahan produktif, kegiatan ekonomi, dan infrastruktur di wilayah pesisir. Sebagai gambaran umum, saat ini Indonesia memiliki \pm 400 ribu ha lahan budidaya tambak dan berbagai infrastruktur perikanan. Penggenangan

lahan tersebut tentu saja akan mengganggu produksi terutama udang yang merupakan komoditas ekspor strategis. Selain itu dampak perubahan iklim juga akan memperburuk kondisi sosial ekonomi dari ± 8,000 desa pesisir dengan populasi ± 16 juta jiwa dengan indeks kemiskinan mencapai 32%.

Perikanan Tangkap

Kegiatan perikanan tangkap utamanya akan terpengaruh oleh adanya perubahan suhu permukaan air laut yang mengakibatkan perubahan:

- Pola migrasi ikan akibat perubahan suhu permukaan air laut
- Stratifikasi kolom air yang mempengaruhi proses *upwelling*
- Perubahan kawasan penangkapan (*fishing ground*)
- Nelayan memerlukan waktu dan biaya yang lebih besar untuk melaut karena migrasi maupun rusaknya habitat perikanan dan *fishing ground*

Kerentanan dan Dampak Terhadap Pulau-Pulau Kecil

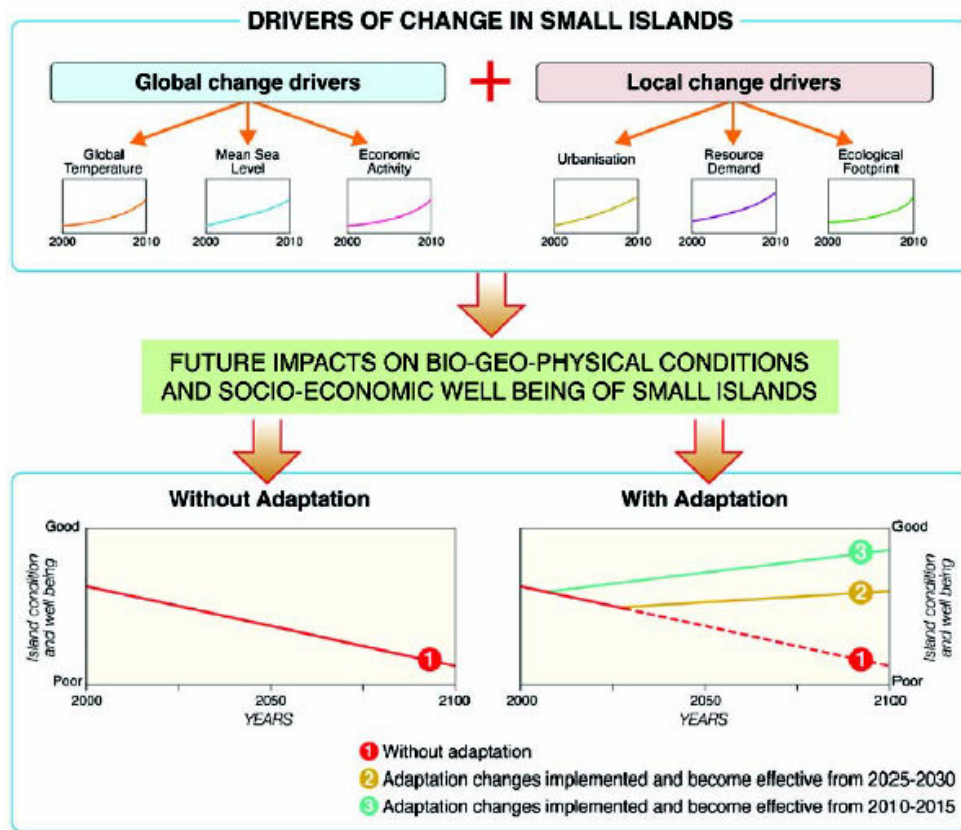
Dari keseluruhan potensi-potensi dampak tersebut, masyarakat dan ekosistem pulau-pulau kecil mempunyai kerentanan dan risiko yang paling besar terhadap perubahan iklim. Hal ini disebabkan karena :

- Kapasitas adaptasi masyarakat di pulau-pulau kecil relatif lebih lemah akibat keterbatasan sarana prasarana pendukung, tingkat pendidikan, jauh dari jangkauan layanan administrasi dan sosial sehingga kerentanannya menjadi lebih tinggi.
- Proyeksi kenaikan paras muka air laut akan meningkatkan erosi pulau-pulau kecil, kehilangan lahan produktif yang relatif terbatas, meningkatkan risiko badai, intrusi air laut yang akan mengganggu suplai air bersih di pulau.

Sektor-sektor yang rentan terhadap dampak perubahan iklim adalah:

- a. Sumber daya air
- b. Sumberdaya pulau-pulau kecil
- c. Pertanian, perikanan, dan ketahanan pangan
- d. Keanekaragaman hayati
- e. Permukiman
- f. Perekonomian dan kehidupan sosial masyarakat
- g. Infrastruktur dan transportasi

Tanpa adanya upaya secara nyata, maka diprediksikan dampak perubahan iklim akan semakin meningkatkan permasalahan sosial ekonomi khususnya tingkat kemiskinan masyarakat pulau-pulau kecil (Gambar 3).



Gambar 3. Perubahan iklim dan dampaknya terhadap sistem pulau-pulau kecil (IPCC, 2007).

Bagi pulau-pulau kecil yang berada dan atau berfungsi sebagai titik dasar batas teritorial, pemanasan global dengan segala dampaknya akan menjadi ancaman berupa:

- Secara fisik berupa hilangnya dan atau tenggelamnya pulau.
- Secara sosial adanya dislokasi/pindahnya masyarakat pulau akibat kondisi lingkungannya sudah tidak sesuai untuk menopang kehidupannya.

- Mengurangi ketahanan dan keamanan nasional di kawasan-kawasan tersebut sehingga rawan untuk tindakan-tindakan yang merugikan kepentingan nasional seperti penyelundupan, peredaran narkoba, perompakan, dan lain sebagainya.

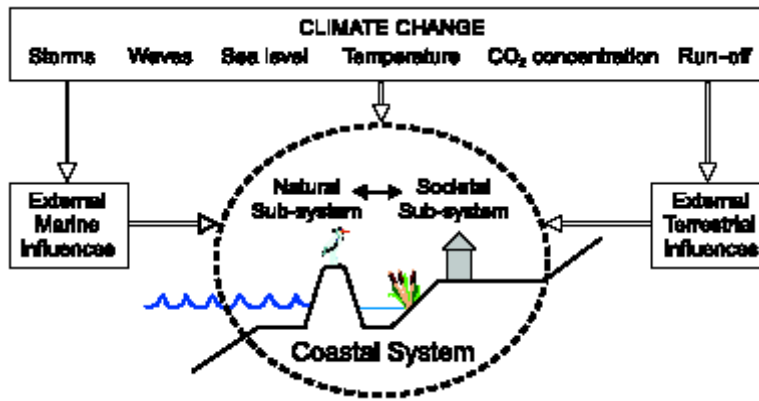
Kebijakan dan Program Pengurangan Dampak

Kebijakan Umum

Walaupun terdapat berbagai dampak maupun potensi dampak perubahan iklim dan kenaikan muka air laut sebagaimana tersebut di atas, belum banyak diupayakan kegiatan-kegiatan nyata untuk antisipasinya. Hal ini dapat dimengerti mengingat beberapa hal seperti: i) dampak perubahan iklim yang relatif belum terasa termasuk kepastian skenarionya, ii) kesadaran dan pengetahuan masyarakat yang masih kurang, dan iii) belum ada strategi dan program yang diakomodasikan dalam kegiatan pembangunan baik secara sektor maupun daerah. Di tingkat nasional pun saat ini belum ada kebijakan atau strategi khusus semacam rencana aksi nasional (*national action plan/NAP*) terkait dengan isu perubahan iklim.

Namun demikian, Pemerintah Daerah selayaknya dapat mengambil inisiatif untuk melakukan upaya adaptasi dan mitigasi. Berdasarkan Pasal 18 UU No. 32 Tahun 2004 pemerintah daerah mempunyai kewenangan dalam eksplorasi, eksploitasi, konservasi, pengelolaan sumber daya alam, dan tanggung jawab untuk melestarikannya. Dengan demikian, pemda juga bertanggung jawab dalam menjaga kelestarian wilayah pesisir termasuk dari dampak akibat perubahan iklim. Kewenangan daerah dalam pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil saat ini semakin nyata dan jelas dengan telah diundangkannya UU No. 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil.

Kebijakan dan program DKP terkait dengan perubahan iklim beserta dampaknya di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil ditujukan untuk mengurangi kerentanan masyarakat dan meningkatkan kapasitas ekosistem pesisir dan pulau-pulau kecil dalam penyerapan karbon dan fungsi alami untuk adaptasi terhadap perubahan iklim. Dalam hal ini intervensi yang akan dilakukan menyangkut sistem manusia (*human system*) mulai dari perencanaan pembangunan, penataan ruang, penguatan sosial ekonomi masyarakat, dan sistim alam (*natural system*) dengan rehabilitasi dan konservasi ekosistem. Gambar 4 memperlihatkan bagaimana dampak perubahan iklim dan sistem manusia dan alami terkait di dalamnya.



Gambar 4. Perubahan iklim dan dampaknya terhadap sistem alami dan manusia (IPCC, 2007).

Program Mitigasi dan Adaptasi yang Dilakukan

Secara prinsip, mitigasi dan adaptasi yang dilakukan untuk mengurangi dampak negatif, memaksimalkan peluang, dan mengantisipasi konsekuensi yang muncul dari perubahan iklim global khususnya kenaikan paras muka air laut. Pilihan-pilihan adaptasi akan efektif apabila disinergikan dengan perencanaan pembangunan baik nasional maupun daerah.

1. Penguatan *Human System*

Penguatan sistem dilakukan melalui upaya-upaya:

- a. Perencanaan pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil,
- b. Perencanaan mitigasi bencana di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil,
- c. Perencanaan tata ruang wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil,
- d. Penguatan sosial ekonomi masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil, dan
- e. Kolaborasi tingkat regional dan internasional.

1.1. Perencanaan Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil

Pasal 4 UU No.27/2007 menyatakan bahwa pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dilaksanakan dengan tujuan melindungi, mengkonservasi, merehabilitasi, dan memperkaya sumberdaya pesisir dan pulau-pulau kecil serta sistem ekologisnya. Dengan demikian, harus ada upaya dalam melindungi dampak perubahan iklim yang berpotensi merusak kelestarian dan keberlanjutan fungsi dan manfaat ekosistem pesisir dan pulau-pulau kecil. Secara perencanaan hal ini terangkum dalam keseluruhan dokumen perencanaan pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil sebagaimana diatur dalam Pasal 7 UU No.27/2007

yang terdiri dari rencana strategis, rencana zonasi, rencana pengelolaan, dan rencana aksi.

Saat ini program pengelolaan pesisir terpadu telah dimulai di 15 provinsi dan 4 kabupaten/kota. Program tersebut dipayungi oleh konsep pengelolaan pesisir terpadu, dimana melalui keterpaduan ini dapat diharmonisasikan kepentingan berbagai pihak, kepentingan ekonomi dan ekosistem, perlindungan terhadap bencana, dan menghindari konflik akibat perbedaan kepentingan.

1.2. Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil

Perubahan iklim beserta dampak-dampaknya akan meningkatkan risiko dampak terjadinya bencana di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. DKP terus mengupayakan mengupayakan fasilitasi dan pembinaan teknis kegiatan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di pesisir dan pulau-pulau kecil melalui beberapa alternatif berikut:

1. Secara struktural

Dalam hal ini upaya dilakukan secara protektif, yaitu dengan membuat bangunan pantai yang secara langsung melindungi infrastruktur pesisir dan pulau-pulau kecil dari kenaikan paras muka air laut. Kegiatannya bisa dengan struktur keras (*hard structure*) seperti pembuatan *seawall* atau dinding pantai dan struktur lunak (*soft structure*) dengan mangrove dan vegetasi pantai. Implementasi yang sudah dilakukan adalah: i) pembangunan rumah nelayan ramah bencana (banjir, rob akibat SLR, tsunami), dan ii) penanaman vegetasi pantai di kawasan-kawasan budidaya dan permukiman nelayan.

2. Secara non struktural

Upaya yang dilakukan bersifat perencanaan, pendidikan, penyadaran, dan penataan ruang dan sebagainya. Upaya ke arah tersebut perlu dilakukan oleh semua instansi/lembaga baik lembaga pemerintah maupun lembaga penelitian yang terkait dengan pesisir dan pulau-pulau kecil termasuk para pemangku kepentingan. Pemerintah perlu melakukan upaya-upaya antisipasi melalui penyusunan kebijakan dan program yang secara tidak langsung akan mendukung upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim dan kenaikan muka air laut. Dan ketiga pilihan tersebut di atas akan menjadi dasar dalam pelaksanaan mitigasi bencana wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di daerah.

Kewenangan dan kewajiban ini secara jelas diatur dalam UU No.27/2007 Bab X Mitigasi Bencana, Pasal 56 – 59. Adalah menjadi kewajiban semua pihak untuk memasukkan dan melaksanakan bagian yang memuat mitigasi bencana termasuk kenaikan paras muka air laut dalam rencana pengelolaan dan pemanfaatan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil.

Fasilitasi telah dilakukan dalam upaya mengembangkan rencana strategis mitigasi bencana di wilayah pesisir di Kota Padang, Denpasar, Kabupaten Serang, dan Lombok Tengah.

1.3. Penataan Ruang Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil

UU No. 26/2007 tentang Penataan Ruang mengatur bahwa penataan ruang wilayah darat, dan laut serta udara baik secara nasional, provinsi, dan kabupaten/kota dilakukan secara terpadu dan tidak dipisah-pisahkan. Dan dalam pasal 6 ayat 5 menyatakan bahwa ruang laut, pengelolaannya diatur dengan UU tersendiri.

Sejalan dengan pernyataan tersebut di atas, dalam Pasal 9 ayat 3 UU No.27/2007 dinyatakan bahwa rencana zonasi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil diserasikan, diselaraskan, dan diseimbangkan dengan rencana tata ruang wilayah pemerintah provinsi atau pemerintah kabupaten/kota. Dalam konteks ini, penataan ruang wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil bertujuan untuk mengantisipasi penggenangan dan meningkatnya erosi di wilayah pesisir akibat kenaikan paras muka air laut. Tata ruang yang adaptif atau mengantisipasi skenario perubahan iklim akan meminimalkan kerugian dan biaya yang diakibatkan dimasa datang.

Selain itu dalam Pasal 31 UU No.27/2007 ayat 2 (b) dan (c) dinyatakan bahwa penetapan batas sempadan pantai mengikuti ketentuan perlindungan pantai dari erosi atau abrasi dan perlindungan sumberdaya buatan dari badai, banjir, dan bencana alam lainnya dalam hal ini termasuk kenaikan paras muka air laut akibat perubahan iklim. Hal ini bersesuaian dengan hasil kajian dan rekomendasi IPCC, bahwa pembangunan di kawasan pesisir haruslah:

1. menghindari pengembangan di wilayah pesisir yang rawan dan rentan terhadap dampak kenaikan paras muka air laut.
2. mengusahakan agar sistem perlindungan alami pesisir dan pulau-pulau kecil seperti mangrove, terumbu karang, lamun, gumuk pasir, dll tetap berfungsi dengan baik,
3. melindungi keselamatan manusia, harta benda dan kegiatan ekonominya dari bahaya yang datang dari laut, dengan tetap memperhatikan aspek ekologi, kultur, sejarah, estetika dan kebutuhan manusia akan rasa aman serta kesejahteraan.

1.4. Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pesisir

Salah satu faktor kerentanan yang sangat dominan di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil adalah keterbatasan sarana prasarana sosial ekonomi. Mayoritas masyarakat menggantungkan hidupnya pada sumber daya dan hidup secara *subsistence* (sekedar menyambung hidup). Kondisi ini akan meningkatkan risiko terhadap dampak perubahan iklim.

DKP sedang dan terus mengupayakan pemberdayaan sosial ekonomi masyarakat pesisir melalui peningkatan akses modal, pasar dan teknologi, serta mengembangkan kelembagaan sosial ekonomi dan jejaring kerjasama kemitraan.

Untuk mencapai sasaran di atas dilakukan melalui Program Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pesisir (PEMP) dengan kegiatan sebagai berikut:

- (1) peningkatan kualitas sumber daya manusia;
- (2) pengembangan dan penguatan kelembagaan keuangan di pedesaan;
- (3) penguatan organisasi masyarakat;
- (4) pengembangan ekonomi produktif;
- (5) pengembangan jaringan usaha;
- (6) pengembangan sistem informasi; serta
- (7) perumusan kebijakan pemberdayaan masyarakat pesisir.

1.5. Kolaborasi Tingkat Regional dan Internasional

Mengingat perubahan iklim merupakan permasalahan global dan dampaknya juga bersifat lintas batas, maka kerjasama antar negara perlu dikembangkan. Khusus untuk wilayah pesisir hal ini sangat penting mengingat pengelolaan sumberdaya pesisir lebih bersifat *bio eco region* daripada administratif.

a. CTI (*Coral Triangle Initiative*)

Indonesia melalui DKP telah berhasil menggalang komitmen pengelolaan terumbu karang melalui CTI (*coral triangle initiative*) yang melibatkan berbagai negara di Asia dan Pasifik. Inisiatif ini sekaligus akan menggalang upaya penguatan human system dalam pengelolaan terumbu karang dan *natural system* dalam menjaga kelestarian ekosistem terumbu karang dalam mengantisipasi perubahan iklim.

b. MFF (*Mangrove for The Future*)

Kegiatan MFF merupakan upaya inisiatif berbagai pihak seperti UNEP, UNDP, WWF, dan beberapa negara di Asia (Thailand, Indonesia, India, Srilangka, Maldive, dan Seychelles). MFF bertujuan untuk meningkatkan kualitas ekosistem pesisir dengan *flag ship* nya mangrove, seperti estuaria, terumbu karang, padang lamun sebagai *coastal infrastructure* yang harus dijaga fungsi dan kelestariannya serta dianggap sebagai investasi. Tujuan dan lingkup kegiatan MFF sekaligus akan memperkuat *human system* dan *natural system* wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dalam mengantisipasi perubahan iklim.

Penguatan Natural System

Penguatan sistem alami dilakukan melalui upaya-upaya:

- a. Rehabilitasi habitat pesisir
- b. Penanaman vegetasi pantai
- c. Konservasi habitat

1. Rehabilitasi Habitat Pesisir

Sebagaimana disampaikan, bahwa habitat-habitat pesisir dan pulau-pulau kecil akan mengalami tekanan lebih besar akibat dampak perubahan iklim. Erosi akan menghilangkan banyak lahan pesisir, merusak mangrove, dan intrusi air laut. Kenaikan suhu permukaan laut akan memicu pemutihan karang.

Rehabilitasi dilakukan dalam rangka memperbaiki kerusakan yang ada, memulihkan fungsi dan kualitas habitat, dan meningkatkan kemampuan habitat dalam perubahan iklim. Dalam konteks perubahan iklim, kegiatan rehabilitasi dapat berfungsi sebagai upaya mitigasi sekaligus adaptasi. Upaya penyerapan karbon dapat dilakukan dalam bentuk reforestasi, aforestasi dengan mangrove dan vegetasi pantai, serta perbaikan ekosistem terumbu karang. Kegiatan adaptasi harus dilakukan dalam rangka mengantisipasi dampak negatif perubahan iklim di wilayah pesisir.

Kegiatan yang saat ini terus dikembangkan adalah:

- a. Rehabilitasi ekosistem mangrove
- b. rehabilitasi terumbu karang melalui transplantasi dan terumbu buatan
- c. Penyediaan *artificial wetland* untuk wilayah-wilayah pesisir yang mempunyai aktivitas dengan produksi limbah organik yang tinggi

2. Penanaman Vegetasi Pantai

Penanaman vegetasi pantai dilakukan dalam rangka stabilitas pantai dan menyediakan perlindungan pantai dari berbagai kejadian ekstrim yang akan semakin sering terjadi akibat perubahan iklim, antara lain badai dan angin puting beliung.

3. Konservasi Habitat

Konservasi dilakukan dalam rangka menjaga kelestarian fungsi habitat pesisir dan pulau-pulau kecil. Kawasan-kawasan konservasi juga menyediakan tempat bagi populasi biota laut untuk berkembang biak, menjaga keanekaragaman hayati, dan menjaga keberlanjutan fungsi-fungsi ekosistem.

Penutup

Perubahan iklim global telah menimbulkan dampak bagi sistem alami dan kehidupan manusia. Wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan salah satu kawasan yang secara signifikan mendapatkan dampak negatif perubahan iklim. Dampak tersebut akan semakin memperburuk tekanan dan permasalahan yang ada di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil mulai dari ketersediaan air, keterbatasan sarana prasarana, transportasi, kesehatan, dan ketahanan pangan.

Upaya mitigasi dan adaptasi harus dilakukan dan terintegrasi dalam keseluruhan proses perencanaan pembangunan dan kegiatan social ekonomi masyarakat. Penguatan kapasitas dan pengurangan kerentanan harus dilakukan terhadap system alami (habitat) dan sistem manusia (pembangunan, kehidupan sosial ekonomi).

NAIROBI WORK PROGRAM ON IMPACTS, VULNERABILITY AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Heiner von Lueke dan Dadang Hilman

Executive Summary

The Nairobi work programme (NWP) was mandated by the UNFCCC, in the presentation explain about : the objectives activities, access to information and how to contribute to the NWP and also in which way the work program is relevant to Indonesia after all.

The NWP has come a little bit of a way: originally agreed upon by parties in 2003 (COP 9), and changing names in 2004, when it was no longer known as the 5 yr Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA) work programme on adaptation, it is now referred to as the NWP. It is actually one of two tracks for adaptation under the UNFCCC: The Buenos Aires Program of Work (BA PoW) is rather about the actual implementation, such as pilot activities, strengthening research institutes etc. The NWP on the other hand is more about answering the question: "What actually can be done and how to come up with the best decision which adaptation activities to chose?" Meaning, the NWP is much rather research focussed. Any successful adaptation strategy needs to be based on sound scientific assessment. Following consideration of the IPCC Third Assessment Report and the acknowledgement that adaptation is a necessity for all countries, Parties in 2003 agreed to initiate work on the scientific, technical and socioeconomic aspects of adaptation to climate change. In 2004, in Buenos Aires, Parties decided to elaborate a five-year work programme under the SBSTA. After additional deliberations, in Montreal in 2005, Parties adopted the Five-year programme of work of the SBSTA on impacts, vulnerability and adaptation to climate change and specified its objective, expected outcomes and scope of work.

The Objectives of NPW are : assist countries to improve understanding of climate change impacts and vulnerability and increase ability to make informed decisions on how to adapt successfully. In order to meet both objectives 9 working areas were determined: Work in areas **Data and observations, Methods and tools, Climate modelling, Scenarios and downscaling; Socio-economic information and Research** addressing the first part of the objective; and **Climate related risks and extreme events, Adaptation planning and practices; Technologies for adaptation; and Economic diversification** mainly addressing its second part.

The implementation of the Nairobi work programme includes several components:

1. Activities mandated by the SBSTA, including organizing workshops, publishing documents, and producing the web-based interface.
2. Furthering the reach of the mandated activities, including generating expanded ownership, creating reader-friendly versions of UNFCCC products, and disseminating these outcomes as widely as possible.
3. Catalyzing new and innovative action in Parties and organizations through a number of actions, that include:
 - Engaging a wide range of organizations in the different activities of the Nairobi work programme;
 - Introducing Call for Action sheets and encouraging action pledges;
 - Enhancing cooperation among multiple partners.

For example

the Adaptation Learning Mechanism, which is a multi-collaborator effort implemented by UNDP-GEF that aims to create a common platform to capture, promote and share adaptation knowledge and expertise, and will also help build capacity for capturing these learning experiences at national level.

Status of work/achievements, first round of work to be concluded SBSTA 28, Submissions from Parties, organizations. Wealth of information, put into synthesis reports, workshop reports, compendium of tools and methods for adaptation.

Relevance for Indonesia Vulnerable sectors (particularly), such as : water, agriculture, coastal zones, fisheries and marine, infrastructure, and health. For these sectors the NWP provides methods, tools, adaptation practices according to the 9 working areas.

Example for application about Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan for the Water Sector in Indonesia. With specific objectives : to assist water sector in assessing economic impact of current and future climate risks; to improve knowledge base of policy makers on adaptation needs and options and process for prioritizing the adaptation options for water sectors; to provide inputs for policy makers in developing short, medium and long-term plan to address climate risks for water sector; and to strengthen institutional cooperation on adaptation.

IMPLICATION OF EXTREME CLIMATE EVENTS AND CLIMATE CHANGE ON SECTORS

Rizaldi Boer, Yonny Koesmaryono and Irsal Las

Indonesian Society on Agriculture Meteorology

INTRODUCTION

The increase in GHG emission due to human activities has led to climate change problems. The climate change is expected to be evident in both a change in average rainfall and temperature, as well as changes in the severity and frequency of extreme weather and climatic events, such as droughts, floods, frosts and heat waves (IPCC 2007). In Indonesia, of 46 massive drought events, about 30 events occurred between 1844 and 1960 (within 117 years), and 16 events occurred between 1961 and 2006 (within 46 years; Boer and Subbiah, 2005). Flood is also becoming a common hazard. In the period 2001-2004, about 530 floods have occurred in many provinces of Indonesia. A rising trend of flood occurrence was observed in this short period of observation (Boer *et al.*, 2007).

The above facts suggest that without developing coping capacity, climate change will slow down or turn back the development clock through loss of infrastructure, livelihoods and psychological stress. This paper highlights briefly implication of extreme climate events and climate change on sectors.

El-Nino-Southern Oscillation (ENSO) and Extreme Climate Events in Indonesia

In Indonesia, extreme climate events are normally associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomena. There is a strong link between ENSO and rainfall in Indonesia with drought in El Niño years and heavy rainfall in La Niña years. ENSO is likely influenced by climate change. Based on historical data, it is clear that the intensity and frequency of the El Nino phenomena increased as the global temperature increase. The top ten El-Nino events occurred just after 1940s (Figure 1). This means that climate change will have impact on the occurrence and strength of both drought and flood. Also the onset of the monsoon and the length of the dry and wet season are influenced.

Based on data collected by the OFDA/CRED International Disaster Database (2007) from 1907 to 2007, number of natural hazards occurred in Indonesia categorized as global hazards was 345 events and about 60% were climate-related hazards (Figure 1). The interesting finding is that the first climate hazards occurred in 1953 and then hazards occurrence

became more frequent after 1980s (Figure 2), and the top 10 natural hazards causing huge economic loss and human impact mostly occurred after 1980s suggesting increasing trend in hazards' intensity (Figure 3).

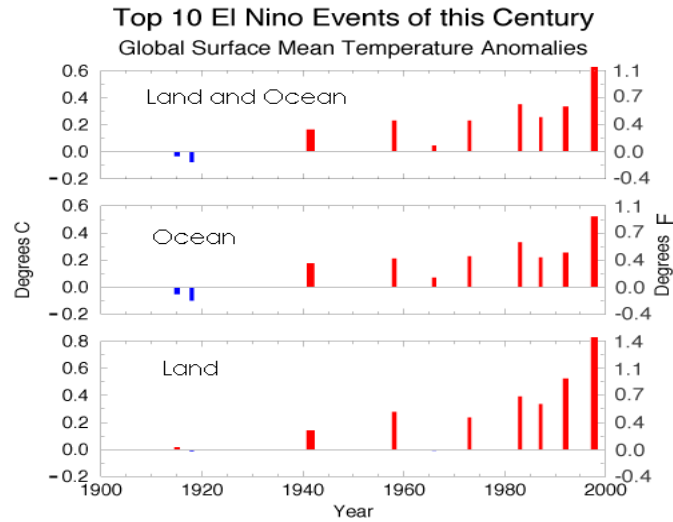


Figure 1. Global surface mean temperature anomalies during the top 10 El Niño events in this century (1914/15, 1917/18, 1940/41, 1957/58, 1965/66, 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1991/92, and 1997/98. Source: NCDC/NOAA)

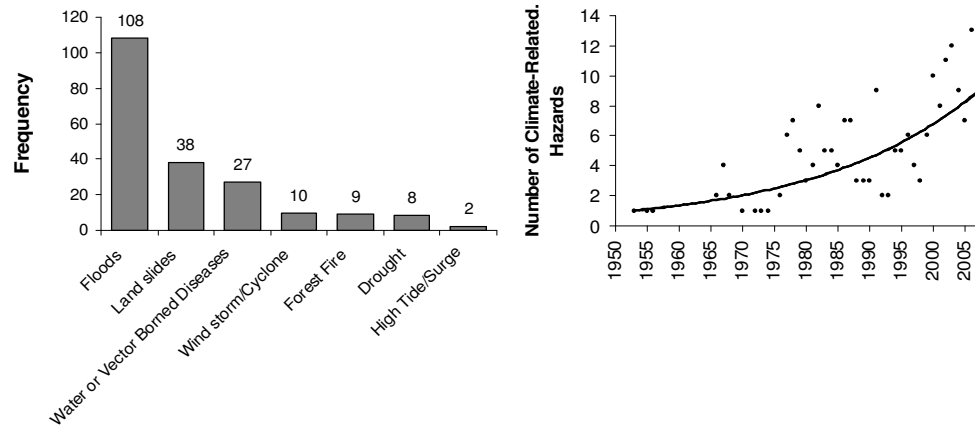


Figure 2. Number of climate hazards by type (left) and by year (right). Source: Boer and Perdinan, 2008, drawn based on data from OFDA/CRED International Disaster

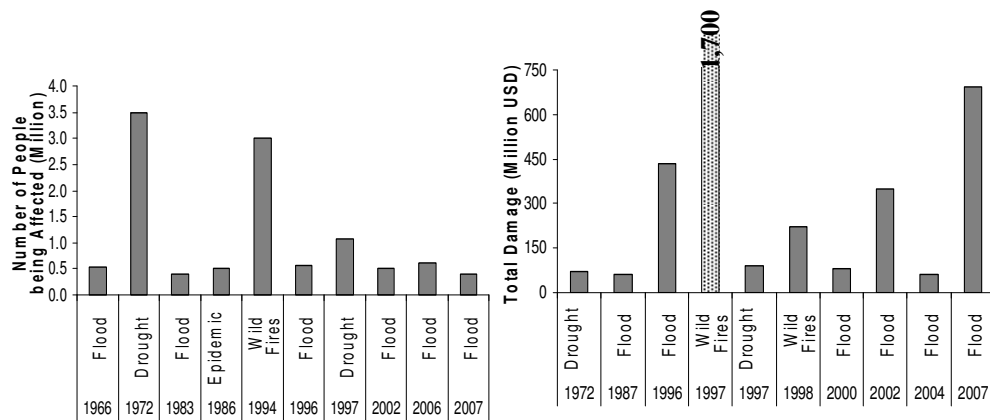


Figure 3. The top 10 climate hazards causing huge economic loss and number of people being affected. Source: Boer and Perdinan, 2008, drawn based on data from OFDA/CRED International Disaster

Implication of Extreme Climate Events and Climate Change on Sectors

The occurrence of extreme climate has serious impact on many sectors. As previously mentioned, the extreme climate events in Indonesia are normally associated with ENSO in which El Nino is associated with drought and La-Nina is associated with heavy rainfall (floods). As ENSO is likely influenced by climate change, understanding the impact of ENSO on sectors is important in order to assess the possible impact of climate change on the sectors.

In term of ENSO impact, El Nino events have more serious impact on sectors than La Nina. Significant decrease in rainfall, particularly during dry season has caused severe drought in most of Indonesia regions (Figure 4). Significant changes in water volume in the reservoirs (dams) occurred during dry seasons, in particular in dry season II (June-September; Figure 5). Many of these dams have functions for electricity generation and for providing irrigation water and drinking water. Data from Jatiluhur Dam from 1996-1999 (years that covering normal, El Nino and La Nina years) showed that the monthly electricity production decreased when El Nino developed and decrease when La Nina developed (Figure 6).

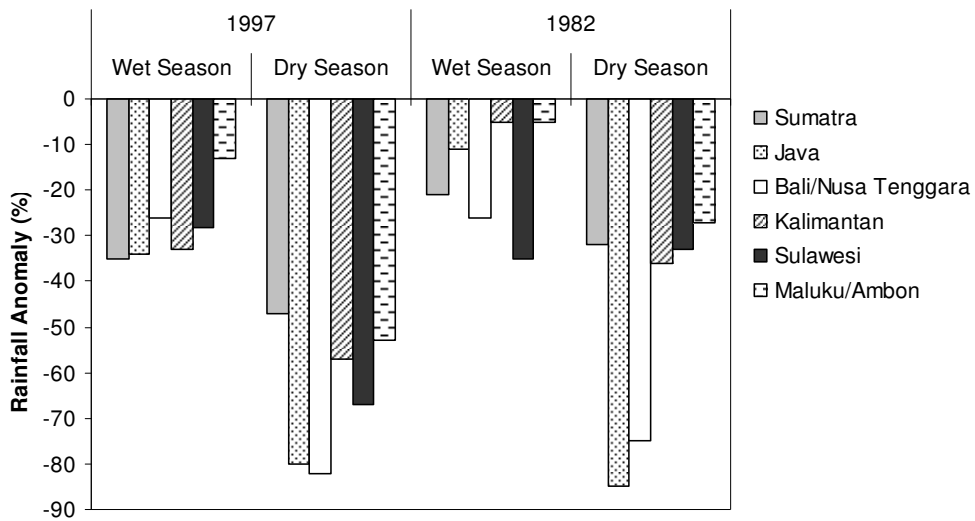


Figure 4. Percent decrease in seasonal rainfall from normal in two strong El Niño years (Irawan, 2002)

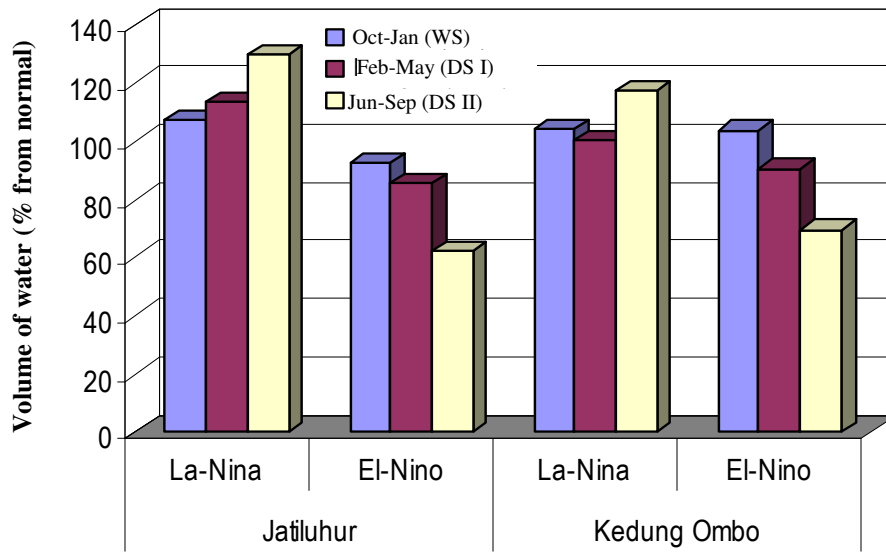


Figure 5. Average volume of water at the main water reservoirs in Java during La-Niña, El-Niño, and normal years. WS: wet season, DS: dry season Source: Las *et al.* (1999)

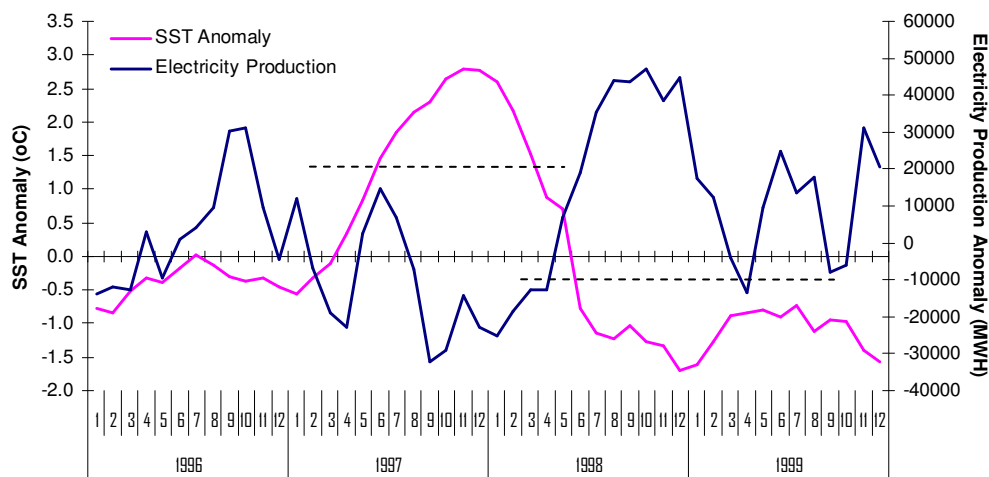


Figure 6. Anomaly of electricity production from 1996-1999 (Drawn from data provided by PLN., Electricity State Company, 2007). El Niño is indicated by SST Anomaly of more than +1°C, and La Niña by SST anomaly of less than -1°C

The shortage of water in the reservoirs and rivers during extreme dry years will also influence the availability of drinking water, especially in urban/metro areas. For example, Jakarta, the capital city of Indonesia, gets drinking water from the Citarum Dam. Under extreme dry years, the water level at Citarum Dam may go down to a level of less than 75 m. Under this condition, the water pump at the dam can not be operated and supply of water to the processing plant will stop. On the other hand, in extreme wet years, the flood will damage the processing plant and contaminate the water. Floods occurred in February 2007 have caused damage in the production installation which amounted to about 2.2 million USD. Heavy rainfall also increases the **turbidity** and this will increase the cost of water processing. Current technology for water processing is still conventional and it can tolerate the turbidity of between 500 and 2000 NTU. Under emergency, the plant still can be operated even though the turbidity has increased up to 8.000 NTU, but the cost for the processing will increase significantly. If the turbidity goes beyond 8,000 NTU, the plant can not be operated (Boer *et al.*, 2007).

Significant decrease in rainfall in dry seasons and/or delay in the onset of the rainy season due to El-Niño has significant impact on food crops production. It is suggested that a 30-day monsoon delay will reduce January-April rice production in West/Central Java by about 6.5%, and in East Java/Bali by about 11.0% (Naylor *et al.*, 2007). Based on data of historical impact of El-Niño events on national rice production, it is

indicated that the national rice production system is becoming more vulnerable to extreme climate events. Whenever El-Niño occurred, the rice production loss due to drought increased significantly, and the total loss also tended to increase. On average, the production loss due to drought in the period 1980-1990 was three times higher than those occurred in the period of 1991-2000 (Boer and Las, 2003).

In addition, El-Niño also has indirect effects on crops. For example, it was indicated that brown plant hopper (*wereng coklat*) population increased significantly in La-Niña years. A long dry season, that normally occurs in El-Niño years, destroys young plants. In the 1994 El-Niño year for example, many young plants were killed due to a long dry season such as:

1. Tea : death of 22% of plants at age of 0-2 years
2. Rubber : death of 4-9% of plants at age of 0-1 years
3. Cacao : caused death of 4% of plants at age of 0-2 years
4. Cashew nut : death of 1.5-11% of plants at age of 0-2 years
5. Coffee : death of 4% of young plants at age of 0-2 years
6. Coconut : caused death of 5-30% of plants at age of 0-2 years

The impact of severe drought on some plantation crops such as coconut and palm oil may not occur during the drought event itself but it may be observed a few months later. For example, the impact of a long dry spell on the production of palm oil is significant after 4-9 months (Hasan *et al.* 1998).

The extend of land and forest fires in Indonesia is during El-Niño years also increased. In El-Niño years of 1991, 1994 and 1997 the total area of land and forest being burnt by fires increased significantly (Ditjen PHKA in Rosalina *et al.*, 2003). These fires have a direct impact on the physical environment, namely on forest ecosystems as they disrupts forest function, pollute watershed areas and reduce biological diversity, while at the same time pollute the immediate atmosphere (MoE and UNDP, 1998). The increase in air pollution due to fires will have impacts on transportation and human health. Thick haze produced by fires reduces visibility, disrupting land, air and water traffic. Diseases or health problems caused by thick haze include acute respiratory infection (ARI), bronchial asthma, bronchitis, eyes and skin irritation. These caused huge economic loss. For example, fires in 1997 caused total economic loss nationally of between 662 and 1056 million USD.

The impacts of ENSO as one of consequences of Sea Surface Temperatures anomalies were also observed in coastal fishery. The impacts varied between west and east. The main impacts are caused by the change in upwelling patterns. The increase in sea temperature during the 1997 El-

Niño year also caused serious problems in the coral ecosystem. Wetland International (Burke *et al.*, 2002) reported that the 1997 El-Niño has damaged about 18% of the coral ecosystem in South East Asia. Coral bleaching was observed in many places such as in Eastern part of Sumatra, Java, Bali, and Lombok. In thousands island (north of Jakarta coast), about 90-95% of corals located 25 m from sea surface has been bleached.

ENSO (El-Niño-Southern Oscillation) also contributes to the outbreak of human diseases such as Malaria, Dengue, diarrhea, cholera and other vector borne diseases. Moji *et al.*, (2002) found that malaria disease outbreak was triggered by the occurrence of above normal rainfall. In Indonesia the increase in rainfall above normal levels occur specifically in La-Niña years. Dengue cases are also found to increase significantly in La-Niña years (Figure 7). Based on data of the dengue incidence rate from 1992 to 2005, it was found that in many big cities, especially in Java the incidence rate of dengue increased from year to year consistently. However, demographic and social factors as well as infrastructure such as lack of drainage etc, will also have contribution to this increasing trend.

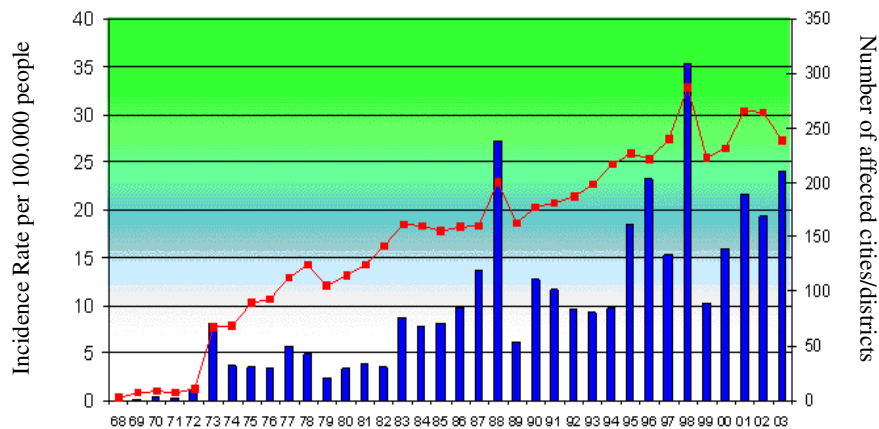


Figure 7. Number of incidence rate and affected cities and districts by dengue (Source: Depkes RI in www.tempointeraktif.com). Note: 1973, 1988 and 1998 are La-Niña years.

As already mentioned above, under warming atmosphere extreme climate events tends to become more often and intense, thus the climate pattern will also change. A study conducted by Naylor *et al.* (2007) showed that for one scenario the total AMJ rainfall in Java and Bali is expected to increase relative to the current pattern by about 10% on average, but decrease in JAS by about 10–25%. The decline in JAS rainfall could be up to 50% in West/Central Java and 75% in East Java/Bali in extreme situations. In East Java/Bali, some models projected that total rainfall

would drop close to zero for the JAS (Figure 8). Furthermore, the onset of the rainy season in Java and Bali may also delay under changing climate. However, the uncertainty is quite high as illustrated by the wide range of results from the different models for a given empirical downscaling model (EDM¹; Figure 9). Nevertheless, it is clear that a 30-day delay in monsoon onset is very likely to occur more frequently in 2050 than it does today. Based on these two findings, it is very likely that the rainfall pattern in Java and Bali will change in the future. The pattern of change is quite similar to what has happened in the past (Boer *et al.*, 2007). The onset of the rainy season will delay, while the onset of the rainy season will advance. This means that the length of the rainy season will shorten.

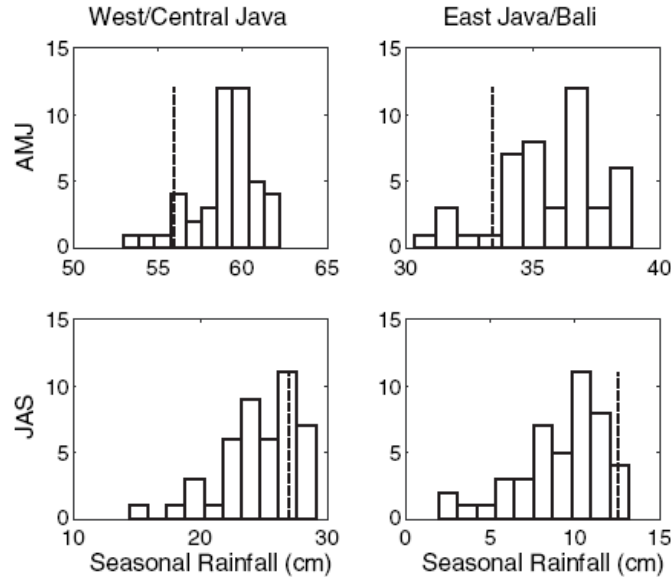


Figure 8. Summed precipitation for April–June (AMJ) and July–September (JAS) for the present climate (dashed line) and for the future predicted climate for one scenario (Naylor *et al.*, 2007)

¹Projections of rainfall change was done using 15 different GCMs and three empirical downscaling models (EDMs). Predictors used in the EDM1 were 850-mb specific humidity, EDM2 850-mb specific humidity and sea-level pressure and EDM3 [850-mb used specific humidity, upper (200-mb)- and lower (850-mb)-level zonal winds]. The 850-mb specific humidity represents possible changes in the hydrological cycle that arise as a result of mean warming. Sea level pressure variations are strongly related to the dynamical circulation in the tropics (e.g., ENSO and the Walker circulation) and the seasonal cycle. Zonal winds represent the monsoon shear line and therefore correspond very strongly to variations in monsoon onset date. As the monsoon sets in, the surface winds shift from easterly to westerly, and winds aloft shift from westerly to easterly. Thus, upper- and lower-level winds may capture changes in monsoon onset and retreat (Naylor *et al.*, 2007)

Based on the Naylor et al findings, it is very likely that the rainfall pattern in Java and Bali will be similar to what is seen in Figure 9. The length of rainy season will shorten and its rainfall depth may be higher than the current climate. This suggests that in the future most of the area in Java and Bali will be exposed to higher flood and drought risks.

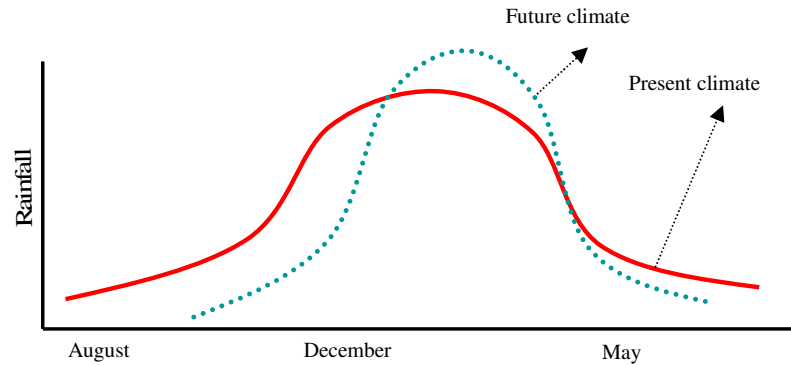


Figure 9. Likely rainfall pattern in East Java and Bali (Drawn based on finding of Naylor *et al.*, 2007)

The increase in temperature in the future will cause sea level rise as a result of the thermal expansion of the warming seawater and melting of ice sheets of Greenland and Antarctica. It was estimated that the volumes of the Greenland and Antarctic Ice Sheets are equivalent to approximately 7 m and 57 m of sea level rise, respectively (IPCC, 2007). In the period of 1961-2003, mass loss of glaciers and ice caps (excluding those around the ice sheets of Greenland and Antarctica) is estimated to be 0.50 ± 0.18 mm per year in sea level equivalent (SLE), and in the period of 1991-2003 it was about 0.77 ± 0.22 mm per year. These estimates have a high degree of confidence. Based on climate models, it was indicated that thermal expansion is expected to continue to contribute substantially to sea level rise over the next 100 years (IPCC, 2007).

Up to 2020 the rate of thermal expansion is projected to be 1.3 ± 0.7 mm per year, and is not significantly different between scenarios. These projected rates are within the uncertainty of the observed contribution of thermal expansion for 1993 to 2003 of 1.6 ± 0.6 mm per year (IPCC, 2007). Since deep ocean temperatures change only slowly, thermal expansion would continue for many centuries even if atmospheric concentrations of greenhouse gases were stabilized (IPCC, 2007).

Changes in rainfall pattern and length of the rainy season will have serious implications in the agriculture sector. The current cropping pattern might not be practicable anymore in the future. At present, the cropping

pattern used in most of the rice growing areas of Indonesia is rice-rice. The second planting depends heavily on irrigation water. In extreme drought years the availability of irrigation water is becoming very limited; this normally causes huge rice production loss. Under changing climate, the occurrence of extreme climate events (drought) will probably be more frequent than at present; there is a possibility that the dry season will persist longer. Keeping this cropping pattern in the future may expose our farmers into more frequent crop failures. Thus, in areas where the pattern of rainfall changes in this direction they should alter their cropping pattern from rice-rice to rice-non rice. If the rice-rice pattern is maintained, development or improvement of water storage and irrigation facilities will be required for balancing the increased rainfall in AMJ with decreased rainfall in JAS so that irrigation water is still available during the dry season. More efforts to create new short maturing rice varieties should also be in place to anticipate the shorter wet season.

The increase in CO₂ concentrations and temperatures will also affect rice yields. Some studies showed that for every 1°C increase in the minimum temperature, rice yields decrease by 10% (Peng *et al.*, 2004). At a global scale, increased CO₂ concentrations may have positive impact on crop yields. However, recent studies indicated that fertilization effect from elevated CO₂ on crop yields is significantly smaller than previously predicted (Long *et al.*, 2006). Global models that combine precipitation, temperature, and CO₂ effects generally show reduced yields in the Indonesia (Amien *et al.*, 1999).

The increase in temperature and the changes in rainfall pattern and length of seasons may also trigger the development of crop pests and diseases. For example, BPH (Brown Plant Hopper) population normally increases when rainfall in the transitional season increases compared to normal. The changes in cropping patterns as part of adaptation efforts to climate change may also alter crop pests and diseases problems in the regions. Invasion of new races of pests and diseases may likely occur in a changing climate. In addition, change in temperature and rainfall may also change the domination of certain crop pest and diseases (Wiyono, 2007). Field observations in a number of districts of Java such as Indramayu, Magelang, Semarang, Boyolali, Kulonprogo, and Ciamis provide the evidence of this phenomena.

Due to the increasing demand for water following population and economic development, the problem of water scarcity may also be more frequent in the future, especially in urban areas. Projection of water availability for drinking water from the Directorate General of Human Settlement indicates that in 2010-2015 many of districts in Indonesia may face problems of clean water shortage. It is likely that inter basin transfer of water may be one of the potential options to anticipate the scarcity of water in the future. In Indonesia many basins have a surplus of water even in the ultimate stage of development while others face serious shortages,

especially in extreme drought years. Creation of storages and inter-basin transfer of water from surplus to deficit regions could therefore be an option for achieving a more equitable distribution of our water wealth and a better utilization.

As a country with many islands, Indonesia has a very long coast line, i.e. about 81.000 km. Many industries also operate in these coastal areas such as oil and gas exploration, transportation, fisheries (approximately 400,000 ha of fish ponds), settlements, agriculture and tourism. These economic activities contribute to about 25% of the gross domestic product and absorb about 15% of employment (Dahuri dan Dutton, 2000). The increase in sea level will result in a devastating impact on socio-economic activities and sustainable development.

With a sea level rise of about 1 m, it was estimated that about 405,000 ha of coastal land, including small islands, will be flooded. The impacts might be severe in certain coastal areas such as the north coast of Java, the east coast of Sumatra, and the south coast of Sulawesi (Subandono, 2002). The disappearance of small islands due to sea level rise will also have serious implications for the Indonesian state border.

Sea level rise in combination with water flow reduction from upstream during the dry season will also accelerate the saline water intrusion. Coastal waters will become more saline and soil salinity will increase, even ground water aquifers will show salinity intrusion. The problem of salt water intrusion has been observed in a number of metro cities near to the coast such as Jakarta, Surabaya and Semarang. For example in Jakarta, such a problem is occurring since 1960s. The shallow groundwater of coastal areas was brackish before major groundwater development took place. The brackish water occurred under the aquifer less than 100 m deep, as a result of direct contact between the aquifer and the sea bottom. Saltwater intrusion in the shallow and deep aquifers had reached 10 – 15 km from the coastline in Jakarta. Over- exploitation of ground water, causing land subsidence, has exacerbated the problem. At present about 60% of the population and about 90% of industries, hotels and business centres rely on groundwater due to the limitations of the pipe water supply. Much of this is at risk from salinization.

Penetration of salt water in deeper aquifers (40 –140 m) has gone up to 5 – 13 km inland such as in the area of the Soekarno Hatta airport, and 8 – 10 km in the areas of Cengkareng, Grogol and Kelapa Gading. Over exploitation of deep ground water also causes land subsidence. In northern Jakarta, land subsidence occurs at a rate of about 6 cm per year. This is tenfold the expected rate of sea level rise.

Sea level rise in combination with land subsidence due to over exploitation of ground water will definitely move the coastline inland and will increase the risk of floods. A study conducted by Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut, Institut Teknologi Bandung (2007) showed that

the total area of north Jakarta being inundated by flood in 2050 with sea level rise of about 0.25, 0.57 and 1.00 cm per year would be about 40, 45 and 90 km² respectively, and these will increase further if land subsidence continues. A similar study conducted by Dasanto and Istanto (2007) also indicated that when the sea level rises by about 0.5 m and land subsidence continues, some of the area in the six sub-districts of North Jakarta and Bekasi will be permanently inundated. In North Jakarta the sub-districts include Kosambi, Penjaringan and Cilincing, and in Bekasi they are Muaragembong, Babelan and Tarumajaya.

Concluding Remark

Many findings have shown that global climate has change. In Indonesia, the pattern of change in climate may vary between regions. A number of studies suggest that regions located in the southern part of equator may have shorter rainy season but with more intense rainfall. Whereas regions located in the northern part of equator showed opposite pattern. In addition, the frequency of extreme climate events associated with the ENSO may also increase under global warming. Extreme regional weather and climate anomalies associated with El Niño are being exacerbated by increasingly higher temperatures.

The occurrences of extreme climate events have already caused serious impacts in many sectors. Current capacity to anticipate to such events is still low. In the future the intensity and the frequency of these extreme climate events may increase. If this capacity to adapt to such changes is not developed right away, Indonesia may not be able to achieve sustainable development Plans for adaptation to climate change need to be developed. Planned adaptation to future climate will be based on current individual, community and institutional behavior that, in part, have been developed as a response to current climate (Jones et al., 2004).

REFERENCES

- Amien, I., Redjekiningrum, P., Kartiwa, B and Estiningtyas, W. 1999. Simulated rice yields as affected by interannual climate variability and possible climate change in Java. *Climate Research* 12:145-152
- Boer, R. and Perdinan. 2008. Adaptation to climate variability and climate change: its socio-economic aspect. *Proceeding of Workshop on 'Climate Change: Impacts, Adaptation, and Policy in South East Asia*. Economy and Environmental Program for Southeast Asia. Bali.

- Boer, R. and Subbiah, A.R. 2005. Agriculture drought in Indonesia. In V.K. Boken, A.P. Cracknell and R.L. Heathcote (eds). *Monitoring and predicting agriculture drought: A global study*, pp: 330-344. Oxford University Press, New York.
- Boer, R., Sutardi, D. Hilman *et al.* 2007. *Indonesia Country Report: Climate Variability and Climate Change and Their Implication*. Government of Indonesia.
- Burke, L., E. Selig, M. Spalding. 2002. *Terumbu Karang Yang Terancam di Asia Tenggara, ringkasan untuk Indonesia*. World Resource Institute.
- Dahuri, R.dan I.M. Dutton, 2000. In Burke, L., E. Selig, M. Spalding. 2002. *Terumbu Karang Yang Terancam di Asia Tenggara, ringkasan untuk Indonesia*. World Resource Institute.
- Hasan, H., Pawitan, H., Boer, B dan Yahya, S. 1998. Model simulasi produksi kelapa sawit berdasarkan karakteristik kekeringan (*A simulation model of oil palm production based on drought characteristics*). *Jurnal Agromet* 13:41-54.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Jones, R., Boer, R., Magezi, S., and Mearns, L. 2004. Assessing current climate risks. In Bo Lim and Erika Spanger-Siegfried (eds). *Adaptation Policy Framework for Climate Change: Developing Strategies, Policies, and Measures*. pp:91-117. Cambridge University Press, London
- Long S.P., Ainsworth, E.A., Leakey, A.D.B., Nosberger, J and Ort, D.R. 2006. Food for Thought: Lower-Than-Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations. *Science* 312:1918 - 1921
- MoE and UNDP, 1998. *Forest and land fires in Indonesia: Impacts, factors and evaluation. Vol.1. The State Ministry of Environment and United National Development Programme*. Jakarta
- Moji K., Tsuyuoka, R., Makunike, B. and Tanaka, H. 2002. Meteorological factors influencing the intensity of malaria outbreak in Zimbabwe *Japanese Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 30:283-287
- Wiyono, S. 2007. Climate change and pests and diseases explosion. Paper presented in One day Seminar on Biodiversity in the middle of global warming. KEHATI Foundation, Jakarta 28 June 2007 (in Indonesian)
- Naylor, R.L., Battisti, D.S. Vimont, D.J., Falcon, W.P. and Burke, M.B. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for

- Indonesian rice agriculture. Proceeding of the National Academic of Science 114:7752-7757
- OFDA and CRED. 2007. EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net - Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium".
- Peng S, Huang J, Sheehy JE, Laza RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS, Cassman KG (2004) *Proc Natl Acad Sci USA* 101:9971-9975.
- Rosalina, U., Murdiyarso, D., Boer, R. *et al.* 2003. CDM eligible lands, portfolios and potential-CDM LULUCF projects in Indonesia. In Ministry of Environment. 2003. National Strategy Study on CDM in Forestry Sector. Jakarta.
- Subandono, D, 2002. *Pengaruh Pemanasan Global terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil di Indonesia*, Direktorat Bina Pesisir – Ditjen Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil – Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.

MAKALAH PENUNJANG
KELOMPOK I
Sistem Informasi Iklim dan Aplikasinya
Untuk Manajemen Risiko

SISTEM INFORMASI BENCANA ALAM LONGSORAN DALAM MENGANTISIPASI PENGARUH PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DI DAERAH PERBUKITAN

Sri Hartati Soenarmo dan Endri Saptohartono****

**Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeca 10 Bandung 40132
Email : sri_hartatis@yahoo.com

Abstract

In the rainy season, there are landslide disaster every where, broken out many physical building and also threatened life both for human being nor animal and crop. The consequence of that case is caused the sorrowfulness and economical decreasing. For a good handling the landslide disaster, is to build the information system of landslide disaster for early warning. Rainfall intensity, land slope and land texture are the factors which is trigger the slope stabilities. The study of them and Green-Ampt infiltration model will be estimated the time incident after the rain drops strike the slope. As we know, rainfall play two roles for studying the stabilities, first is striking the slope land and second is reducing the land shearing resistance. The paper conveying the result of the study and composing the information system of landslide disaster for early warning at Bandung regency, based on the global climate change issues.

Keywords : Information system, rainfall intensity, infiltration, slope stability, landslide disaster.

PENDAHULUAN

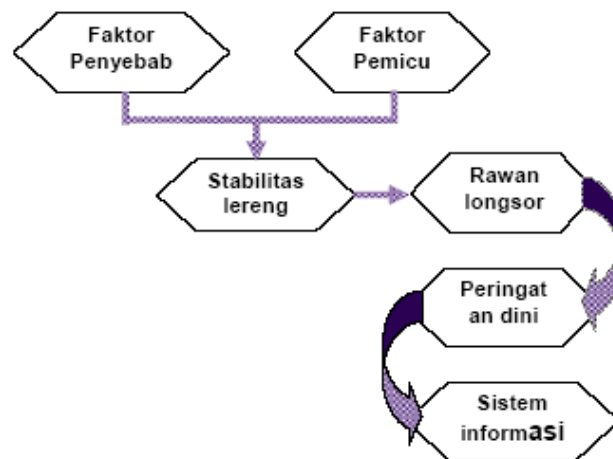
Benua Maritim Indonesia beriklim marin-monsoon-tropis dengan karakteristik curah hujan rata-rata tinggi. Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya bencana alam longsor di daerah perbukitan. Dari sisi ahli geologi, bencana alam longsor merupakan bencana geologi yang dapat menimbulkan kerugian yang tidak sedikit, mengapa? Beberapa faktor penyebab bencana alam longsor antara lain stabilitas lereng yang dipengaruhi oleh curah hujan, tutupan lahan, kemiringan lereng dan tekstur tanah. Akhir-akhir ini kecenderungan pembangunan pemukiman di daerah perbukitan tidak dapat dihindari lagi, sehingga terjadinya bencana alam longsor terasa makin sering dan bahkan makin hebat, hingga meresahkan kita semua. Akibat dari bencana ini menimbulkan kerusakan bangunan fisik dan bahkan mengancam jiwa

penduduk serta dapat mengganggu sistem perekonomian baik di daerah maupun pusat. Mengapa tidak, setiap terjadi bencana alam longsor, dimanapun dan kapanpun selalu menimbulkan kematian akibat tertimbun ataupun terseret tanah longsor.

METODE

Dalam pembangunan Sistem Informasi Bencana Alam Longsor, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mencari faktor penyebab dan faktor pemicu bencana alam longsor, dimana faktor penyebab antara lain tutupan lahan (terbuka, hutan), kemiringan lereng ($>20\%$), kondisi geologi (tekstur, struktur tanah) serta faktor pemicu dalam hal ini intensitas curah hujan tinggi. Kedua faktor tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi stabilitas lereng, menentukan daerah rawan lereng, selanjutnya dapat digunakan untuk peringatan dini dan sistem informasi bencana alam longsor (Gambar 1). Data berupa Peta Rupa Bumi, citra satelit, durasi dan intensitas hujan atau data curah hujan serta pemilihan lokasi penelitian yang tepat, yaitu daerah perbukitan yang terdapat tingkat kemiringan lereng $> 20\%$. Faktor pemicu berpengaruh pada besarnya laju infiltrasi dan infiltrasi kumulatif.



Gambar 1. Diagram pengumpulan data faktor penyebab dan pemacu longsor

2. Pengolahan data menggunakan diagram seperti terlihat pada Gambar 2. Estimasi durasi dan intensitas hujan dilakukan apabila tidak ditemui data insitu durasi dan intensitas hujan. Estimasi dilakukan berdasarkan data curah hujan harian berdasarkan persamaan Paulhus (persamaan 1 dan 2).

$$t = 0,475 \sqrt{\frac{R}{442}} \dots\dots\dots(1)$$

$$I = \frac{R}{t} \dots\dots\dots(2)$$

dimana: I = intensitas hujan (mm/jam), t = durasi curah hujan (jam) dan R = curah hujan (mm).



Gambar 2. Langkah pengolahan data untuk menentukan kestabilan lereng

Selanjutnya dilakukan modifikasi dari persamaan Paulhus, untuk memperoleh nilai durasi dan intensitas yang sesuai dengan karakter curah hujan untuk daerah penelitian, berdasarkan data stasiun pengamatan yang mempunyai data intensitas dan curah hujan, sehingga diperoleh persamaan hasil modifikasi persamaan Paulhus seperti terlihat pada persamaan 3 sampai 9.

$$R < 10 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{10}} \dots\dots\dots (3)$$

$$10 \leq R < 20 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{17}} \dots\dots\dots (4)$$

$$20 \leq R < 30 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{21}} \dots\dots\dots (5)$$

$$30 \leq R < 40 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{24}} \dots\dots\dots (6)$$

$$40 \leq R < 50 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{26}} \dots\dots\dots (7)$$

$$50 \leq R < 60 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{36}} \dots\dots\dots (8)$$

$$R \geq 60 \text{ mm} : t = \sqrt[0.475]{\frac{R}{51}} \dots\dots\dots (9)$$

3. Dari rupa bumi dikonversi menjadi DEM dan kelerengan. Untuk keperluan pengolahan spasial diperlukan data digital tata guna lahan yang diperoleh dari pemrosesan citra satelit. Dalam penelitian ini digunakan citra komposit band 542 dari satelit landsat.
4. Perhitungan infiltrasi dan laju infiltrasi digunakan model infiltrasi Green-Ampt (1911), berdasarkan persamaan Darcy dengan syarat batas kandungan air dianggap konstan dan masukan air dianggap konstan, menggunakan persamaan 10 dan 11

$$f = K_s \left(\frac{z_w + \psi_f}{z_w} \right) = \frac{dFF}{dT} \dots\dots\dots (10)$$

$$FF = z_w \nabla \theta_i = K_s t + \nabla \theta_i \psi_f \ln \left(1 + \frac{FF}{\nabla \theta_i \psi_f} \right) \dots\dots\dots (11)$$

dimana : f = Laju Infiltrasi (mm/jam), FF = kedalaman infiltrasi total (m), t = waktu (jam)

5. Perhitungan stabilitas lereng dinyatakan dalam faktor keamanan lereng (Safety Factor, FS), menggunakan persamaan 11.

$$FS = \frac{c' + (\gamma_{sat} z_w \cos \alpha - u_w) \tan \phi'}{\gamma_{sat} z_w \sin \alpha \cos \alpha} \dots\dots\dots (11)$$

dimana: = beda air tanah ($\text{mm}^3 / \text{mm}^3$), FF = kedalaman infiltrasi (m), = parameter penyerapan batas pembasahan tanah Green-Ampt (mm), = konduktivitas hidrolik jenuh tanah (mm/jam). Parameter tekstur tanah yang digunakan dalam model seperti terlihat pada Tabel 1 yaitu

contoh tabel properti hidrolik dan geomekanik untuk tanah pasir, lempung dan tanah liat (Green-Ampt 1999). Faktor keamanan FS dapat dihitung menggunakan persamaan 12.

Tabel 1. Properti hidrolik dan geomekanik untuk tanah pasir, lempung dan tanah liat

(Green-Ampt 1911).

Tekstur Tanah	C_u (kN/m ²)	γ_{sat} (kN/m ³)	∇_ϕ	ϕ	K_s (mm/jam)	ψ_f (mm)
Pasir	3	19	0,28	8	100	86,2
Lempung	10	16,1	0,22	6	7	438
Liat	90	14,2	0,17	5	2	538

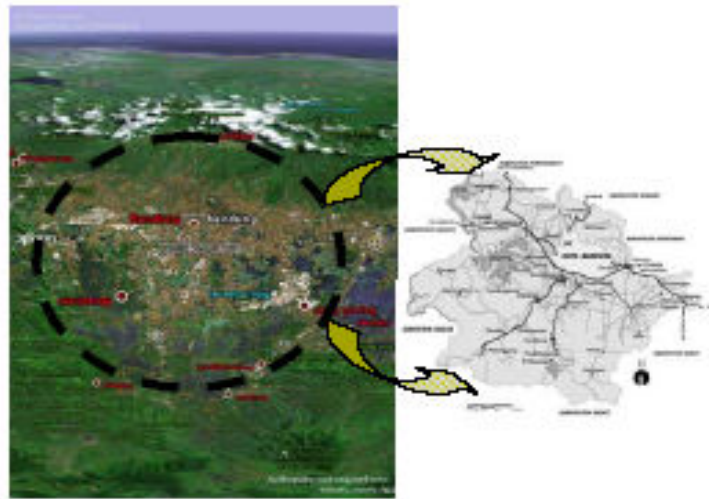
$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana : τ_f = rata-rata kuat geser tanah (Shear Strenght), τ_d = Rata-rata tegangan geser tanah (*Shear Stress*). Perbandingan antara tegangan geser sepanjang bidang gelincir terhadap kuat gesernya menentukan aman tidaknya tanah terhadap penambahan beban oleh curah hujan, dimana bila $FS > 1$, lereng aman dan bila $FS < 1$: lereng tidak aman.

- Berdasarkan seluruh hasil perhitungan komponen-komponen penyebab bencana alam longsor, beserta peta-peta tutupan lahan, kemiringan lereng, tekstur tanah maka dilakukan spasialisasi dengan berbagai skenario untuk memperoleh hasil yang selanjutnya dijadikan bahan untuk memberikan peringatan dini bencana alam longsor melalui sistem informasi atau SIM bencana alam longsor.

Sistem Infrmasi Bencana Alam Longsor

Dari hasil perhitungan, estimasi serta analisa spasial di Kabupaten Bandung (Gambar 3), dilakukan berbagai skenario berdasarkan variasi durasi hujan 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 1 jam; variasi intensitas hujan 10.4 mm, 20 mm, 40 mm, 80 mm dan 127.4 mm/jam (intensitas maksimum 127.4 mm/jam, minimum 10.4 mm/jam); tekstur tanah berupa tanah pasir, lempung dan tanah liat; serta kemiringan lereng 20%, 30% dan 40 %; maka beberapa hasil dapat ditampilkan dalam makalah ini.



Gambar 3. Daerah perbukitan Kabupaten Bandung (sumber: Peta Rupa Bumi)

Selanjutnya sistem informasi disajikan dalam bentuk spasial seperti terlihat pada gambar 6 yang dapat memberi informasi mengenai daerah mana di Kabupaten Bandung rawan longsor satu jam setelah hujan turun, dengan berbagai faktor keamanan $FS < 1$, $1 - 1.5$ dan $1.5 - 2.0$. Contoh informasi yang disampaikan disini adalah bahwa daerah berpotensi terjadi bencana longsoran di daerah perbukitan Malabar-Puntang, sekitar Pengalengan dan Gambung dengan faktor keamanan < 1 atau dengan stabilitas kecil dan diikuti dengan daerah pebukitan Lembang-Maribaya, Cicalengka, Pacet dan Ciwidey dengan faktor keamanan $1 - 1.5$ dan $1.5 - 2.0$, apabila intensitas hujan 20 mm/jam dimana bencana alam longsoran akan terjadi satu jam setelah hujan turun.

Tabel 2. Hasil estimasi durasi dan intensitas curah hujan stasiun Plengan (a) dan Estimasi waktu kritis tekstur tanah lempung karena hujan(b).

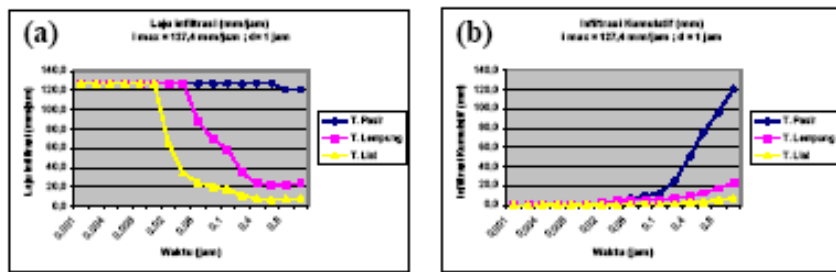
(a)

Bulan	Stasiun Plengan				
	C H (mm)	d (jam)	I (mm/jam)	d Prediksi	I Prediksi
Januari	52	1,25	41,60	2,17	23,98
Februari	12	0,42	28,57	0,48	24,98
Maret	32	1,83	17,49	1,89	17,46
April	37	2,00	18,50	2,49	14,87
Mai	60	1,33	45,11	1,41	42,61
Juni	4	0,17	23,53	0,15	27,53
Juli	50	4,33	11,55	2,00	25,04
Agustus	4	0,17	23,53	0,15	27,53
September	20	1,25	16,00	0,90	22,16
Oktober	16	0,75	21,33	0,88	18,18
November	14	1,17	11,97	0,66	21,07
Desember	30	2,08	14,42	1,60	18,75

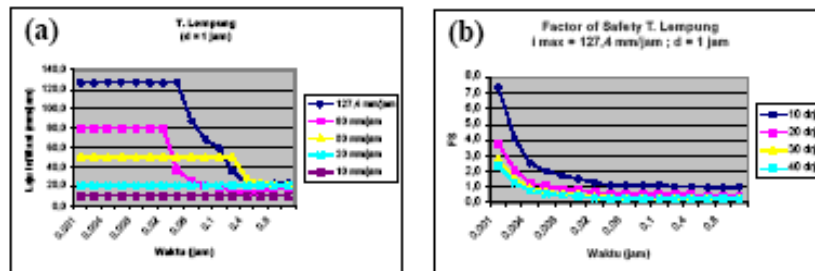
→ Koefisien korelasi 0.72

(b)

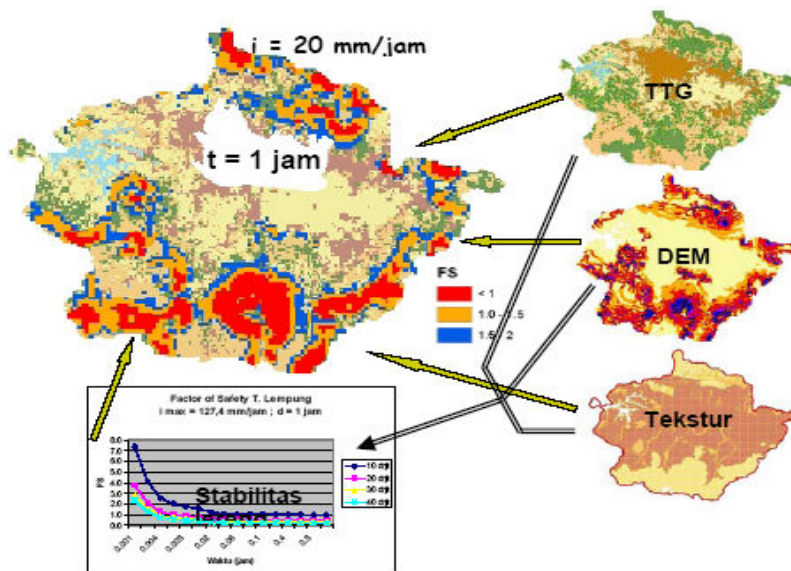
Tekstur tanah	Lempung			
	t kritis (jam)			
Intensitas	10	20	30	40
10.4	1.517	0.525	0.345	0.289
20	0.768	0.273	0.181	0.153
50	0.317	0.109	0.073	0.061
80	0.253	0.083	0.045	0.041
127.4	0.217	0.057	0.029	0.025



Gambar 4. Lengkungan estimasi laju infiltrasi (a) dan infiltrasi kumulatif (b), untuk tekstur tanah pasir, lempung dan tanah liat.



Gambar 5. Lengkungan estimasi infiltrasi kumulatif (a) dan stabilitas lereng berdasarkan faktor keselamatan FS (b) untuk berbagai kemiringan lereng.



Gambar 6. SIM yang disajikan dalam bentuk spasial

KESIMPULAN

1. Setiap daerah memiliki kondisi dan karakteristik wilayah yang berbeda-beda, untuk contoh kasus Kabupaten Bandung, faktor penyebab bencana alam longsor, antara lain tutupan lahan (terbuka, hutan), kemiringan lereng (>20%), dan kondisi geologi (tekstur, struktur tanah). Sedangkan faktor pemicunya adalah intensitas curah hujan tinggi.
2. Daerah yang berpotensi terjadi bencana longsor untuk Kabupaten Bandung adalah di daerah perbukitan Malabar-Puntang, sekitar Pengalengan dan Gambung dengan faktor keamanan <1 atau dengan stabilitas kecil dan diikuti dengan daerah perbukitan Lembang-Maribaya, Cicalengka, Pacet dan Ciwidey dengan faktor keamanan 1 – 1.5 dan 1.5 -2.0, apabila intensitas hujan 20 mm/jam dimana bencana alam longsor akan terjadi satu jam setelah hujan turun.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E. S. 2006. Dampak perubahan iklim dan perubahan penutupan lahan terhadap bahaya longsor: Studi kasus Kabupaten Garut, Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh, Lapan, 2006.
- Ajalloeian, R., Karami, R., M. Nikzad. 2000. Investigation of Land use in Relation to Landslide by using GIS, GISdevelopment.net, AARS, ACRS, 2000.
- Brabb E.E. 1984. Innovative approaches to landslide hazard mapping. Proceed. IV Int. Symp. Landslides, Toronto, Vol. 1, 307-324.
- Brahmantyo, B. 2006. Evaluasi Zona Kerentanan Longsor dengan Metoda Statistik Multivariate dan SIG, Riset Fakultas 2006.
- Cho, S.E., dan Lee, S.R. 2002. Evaluation of surficial stability for homogeneous slopes considering rainfall characteristics, J. Geotech Geoenv. ASCE 128(9) : 756 - 763.
- Crosta, G. 1998. Regionalization of rainfall thresholds: an aid to landslide hazard evaluation, Environ. Geol. 35 : 131 - 145.
- Cruden D. 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin IAEG. 43: 27-29.
- Green, W.H., Ampt, G.A. 1911. Studies of soil physics I. The flow of air and water through soils, J. Agric. Sci. 4 : 1 - 24.
- Hutchinson, J.N. 1995. Keynote paper: Landslide hazard assessment. In Landslides, Proc. Sixth Int. Symp. On Landslides, February, (Ed.

- D.H. Bell), Christchurch, New Zealand. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 3 : 1805 - 1841.
- Keller, E.A. 2000. Environmental Geology, 8th Edition, Prentice Hall.
- Leroi, E. 1996. Landslide hazard-Risk maps at different scales: objectives, tools and development. In Landslides, Proc. Int. Symp. On Landslides, Trondheim, 17-21 June (Ed. K. Senneset), 35-52.
- Soenarmo, Sri Hartati and Achmad, Rosita P. 2005. Estimating the Surface Run-off of Katulampa Catchment Area Using the Landsat 5 TM Image, Proceeding of International Conference on Instrumentation, Communication and Information (ICICI) Teknologi, Indonesia.
- Soenarmo, Sri Hartati; Sudradjat, Adjat and Asriani, Lisa. 2006. Landsat 5 TM Images for Calculating The Spatial Evapotranspiration, Based on The Penman's Method and GIS Analysis in Jakarta and its Surroundings , Proceeding of MapAsia Conference, Paper number 174, Bangkok, Thailand.
- Soenarmo, Sri Hartati. 2006. Study of the Appearance Characteristics of Surface Geology Arrangement in South Bandung, based on Remote Sensing Method, not publish.
- Soenarmo, Hartati, S. 2007. The Ecohydrogeometeorological Analysis for Bandung Basin Based on the Rainfall Characteristics and Satellite Image Processing, Groundwater Management and Water Resources Conference, MHI - Bali .
- Varnes, D.J. 1978. Abbreviated version of Varnes' classification of slope movements, National Research Council, Washington, D.C., Transportation Research Board, Special Report 176:11 - 33.
- Xie, M., Esaki, T., dan Cai, M. 2004. A time-space Based Approach for Mapping Rainfall-Induced Shallow Landslide Hazard, Environmental Geology 46 : 840 - 850

VARIABILITAS MUSIM DAN CURAH HUJAN DI ZONA MUSIM BANTEN, JAKARTA, DAN JAWA BARAT

Nuryadi

Sub Bidang Analisa Iklim dan Agroklimat, BMG

Abstrak

Curah hujan adalah salah satu unsur cuaca yang memiliki variabilitas cukup tinggi baik secara temporal maupun spasial. Beberapa tahun terakhir ini, curah hujan dan musim, baik musim kemarau maupun musim hujan variasinya sangat tinggi sehingga jauh lebih sulit untuk diprakirakan. Akurasi analisis variabilitas curah hujan dan musim perlu didukung oleh ketersediaan data yang cukup panjang dan kontinu. Wilayah Banten, Jakarta, dan Jawa Barat perkembangan pembangunannya sangat pesat serta pada beberapa daerah memiliki pengamatan curah hujan yang cukup panjang dan kontinu sejak tahun 1971 hingga sekarang atau sekitar 36 tahun. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah curah hujan dasarian selama periode 1971-2006 pada 31 Zona Musim (ZOM) di Banten, Jakarta, dan Jawa Barat. Nilai curah hujan merupakan rata-rata wilayah dari beberapa pos hujan yang mewakili setiap ZOM. Analisis menggunakan metode perbandingan grafik rata-rata curah hujan dasarian dan beberapa metode statistik untuk klimatologi yang umum digunakan sesuai ketentuan World Meteorological Organization (WMO). Periode rata-rata yang akan dibandingkan adalah normal 30 tahunan (1971-2000) dan rata-rata 2001-2006. Hasil analisis menunjukkan, rata-rata awal musim kemarau pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, berkisar antara dasarian I – III April sampai dasarian I – III Juni, rata-rata awal musim hujan berkisar antara dasarian I – III September sampai dasarian I – III Desember, dengan panjang musim umumnya antara 12 sampai 24 dasarian. Perbandingan rata-rata awal musim kemarau periode 2001-2006 terhadap periode 1971-2000 pada 15 ZOM tetap (tidak berubah), 9 ZOM maju antara 1 sampai 3 dasarian, dan 7 ZOM mundur antara 1 sampai 3 dasarian. Rata-rata awal musim hujan pada 18 ZOM tetap, 12 ZOM mundur antara 1 sampai 4 dasarian, dan 1 ZOM maju 2 dasarian. Uji perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April-September periode 2001-2006 terhadap 1971-2000 pada 16 ZOM, menunjukkan adanya perubahan pada 9 ZOM. Sementara itu, rata-rata curah hujan Oktober-Maret periode 2001-2006 terhadap 1971-2000, menunjukkan adanya perubahan pada 8 ZOM. Secara keseluruhan, dapat dikemukakan bahwa pergeseran perubahan awal musim kemarau maupun musim hujan serta perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April-September maupun Oktober-Maret hanya terjadi pada sebagian wilayah ZOM Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat.

Kata kunci: Curah hujan, variabilitas musim, zona musim

PENDAHULUAN

Pembahasan curah hujan dan musim mendapat perhatian yang lebih besar dibandingkan dengan unsur cuaca lainnya, karena variabilitasnya cukup tinggi dan pengaruh langsung yang cepat dirasakan oleh masyarakat. Laju pembangunan selama kurun waktu beberapa tahun terakhir ini, diperkirakan berdampak terhadap perubahan lingkungan yang selanjutnya akan mempengaruhi kondisi iklim. Peristiwa kekeringan dan banjir akhir-akhir ini dengan intensitas yang sukar diprediksi, memberikan trauma tersendiri terhadap berbagai sektor pembangunan, khususnya sektor pertanian. Salah satu langkah awal untuk mengantisipasi kejadian tersebut adalah dengan menginventarisasi dan mengidentifikasi potensi iklim suatu daerah berdasarkan curah hujan dan karakteristik musim. Informasi curah hujan dan musim secara spasial dan temporal pada suatu wilayah akan sangat bermanfaat dalam perencanaan dan pengelolaan berbagai sektor kegiatan.

Periode pengamatan curah hujan dasarian selama 36 tahun (1971-2006) sangat memadai untuk digunakan dalam keperluan analisis maupun penelitian. Satu hal yang cukup menarik adalah bagaimanakah karakteristik dan variabilitas dari data hasil pengamatan selama 36 tahun tersebut. Apakah ada pergeseran awal musim, atau perubahan rata-rata curah hujan.

Curah hujan dasarian yang dianalisis merupakan rata-rata dari dua periode, yaitu 1971-2000 (periode pertama) dan 2001-2006 (periode kedua). Rata-rata awal musim, baik musim kemarau maupun musim hujan periode kedua dibandingkan dengan periode pertama. Sementara itu, kumulatif curah hujan musiman, yaitu April-September (musim kemarau) dan Oktober-Maret (musim hujan) periode kedua akan diuji perubahan rata-ratanya terhadap periode pertama.

Data yang digunakan adalah curah hujan dasarian selama periode 1971-2006 pada 31 Zona Musim (ZOM) di Banten, Jakarta, dan Jawa Barat. Nilai curah hujan merupakan rata-rata wilayah dari beberapa pos hujan yang mewakili setiap ZOM. Analisis menggunakan metode perbandingan grafik rata-rata curah hujan dasarian dan beberapa metode statistik untuk klimatologi yang umum digunakan sesuai ketentuan *World Meteorological Organization (WMO)*.

METODE

Penentuan Awal Musim dan Sifat Hujan

Berdasarkan kriteria yang digunakan oleh BMG, awal musim ditentukan dengan menggunakan batas curah hujan per dasarian (10 hari) 50 mm. **Awal Musim Kemarau** ditetapkan berdasarkan curah hujan per dasarian kurang dari 50 mm dan diikuti oleh dasarian-dasarian

berikutnya. Sebaliknya, **Awal Musim Hujan** apabila curah hujan sama atau lebih dari 150 mm dan diikuti oleh dasarian-dasarian berikutnya.

Awal musim, baik musim kemarau maupun musim hujan, pada setiap tahunnya berfluktuasi terhadap rata-ratanya, bisa terjadi lebih awal (maju), lebih lambat (mundur), atau sama dengan rata-ratanya. Penentuan awal musim dalam kajian ini ditetapkan berdasarkan rata-rata curah hujan dasarian periode pertama (1971-2000) dan periode kedua (2001-2006).

Penentuan Rata-Rata Curah Hujan

Data curah hujan dasarian setiap ZOM selama periode pertama (1971-2000) dan periode kedua (2001-2006) dihitung rata-ratanya, menggunakan aritmatik biasa yaitu :

$$X_r = \frac{\sum X_i}{n}$$

X_r = Nilai rata-rata
X_i = Data pada periode ke-i
N = Banyaknya data

Uji Perubahan Rata-Rata

Pengujian terhadap perubahan rata-rata, dilakukan dengan metode *uji t-student*, yang rumus perhitungannya adalah :

$$I \text{ t-hitung} = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{N_1 (S_1)^2 + N_2 (S_2)^2 / (N_1 + N_2 - 2) (1/N_1 + 1/N_2)}}$$

dengan :

X₁ = Rata-rata periode pertama (sebelumnya)
X₂ = Rata-rata periode kedua (yang akan diuji)
N₁ = Jumlah pengamatan data periode pertama
N₂ = Jumlah pengamatan data periode kedua
S₁ = Simpangan baku periode pertama
S₂ = Simpangan baku periode kedua

t-tabel = t (α , N₁ + N₂ - 2)
α = Taraf signifikansi

Hipotesis :

Jika : t-hitung > t-tabel, maka “**ada perubahan rata-rata**”

Uji perubahan rata-rata ini dilakukan untuk curah hujan kumulatif April-September (musim kemarau) dan Oktober-Maret (musim hujan) periode kedua terhadap periode pertama.

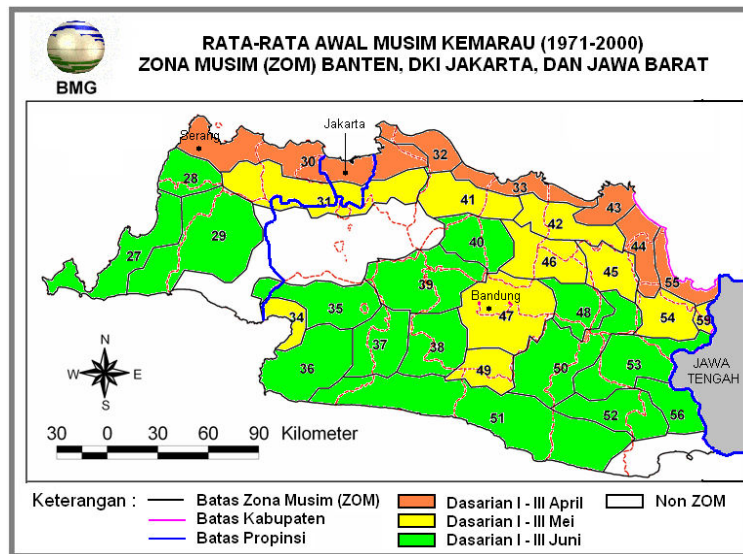
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rata-Rata Musim

Rata-Rata Awal Musim Kemarau

Rata-rata awal musim kemarau pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, berkisar antara dasarian I – III April sampai dasarian I – III Juni. Pada dasarian I – III April, terjadi di bagian utara Serang-Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang-Subang-Indramayu, dan Cirebon. Pada dasarian I – III Mei, terjadi di Serang bagian tenggara, bagian selatan Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang-Subang-Indramayu, bagian utara Sumedang-Majalengka-Kuningan, sebagian besar Bandung, dan sekitar Palabuhan Ratu. Pada dasarian I – III Juni, terjadi di sebagian besar Banten, dan sebagian besar Jawa Barat.

Peta rata-rata awal musim kemarau (1971-2000) di Zona Musim Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat disajikan pada Gambar 1.



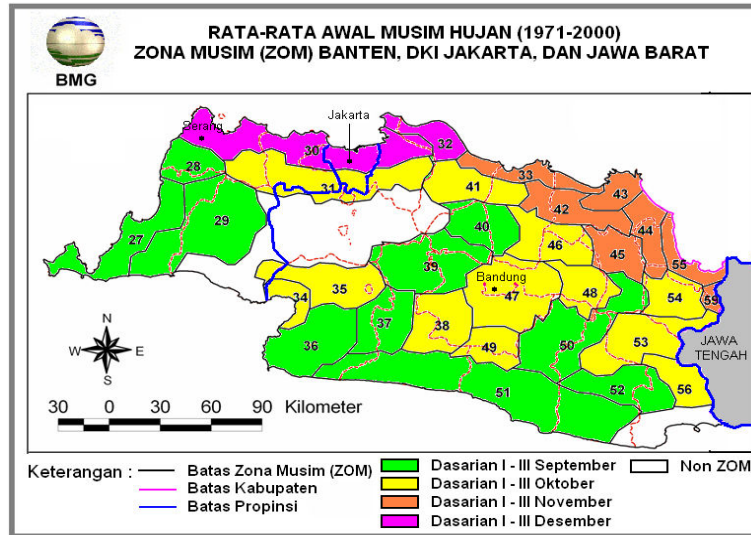
Gambar 1. Rata-rata awal musim kemarau

Rata-Rata Awal Musim Hujan

Rata-rata awal musim hujan pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, berkisar antara dasarian I – III September sampai dasarian I – III Desember. Pada dasarian I – III September, terjadi di sebagian besar Banten-Purwakarta-Cianjur-Garut-Tasikmalaya, bagian selatan Sukabumi-Majalengka, dan Bandung bagian tenggara. Pada dasarian I – III Oktober, terjadi di Serang bagian tenggara, bagian selatan Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang-Subang, bagian utara Sukabumi,

sebagian besar Bandung-Ciamis, Sumedang, dan Kuningan. Pada dasarian I – III Nopember, terjadi di bagian utara Subang-Majalengka, Indramayu, dan Cirebon. Pada dasarian I – III Desember, terjadi di bagian utara Serang-Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang.

Peta rata-rata awal musim hujan (1971-2000) di Zona Musim Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat disajikan pada Gambar 2.

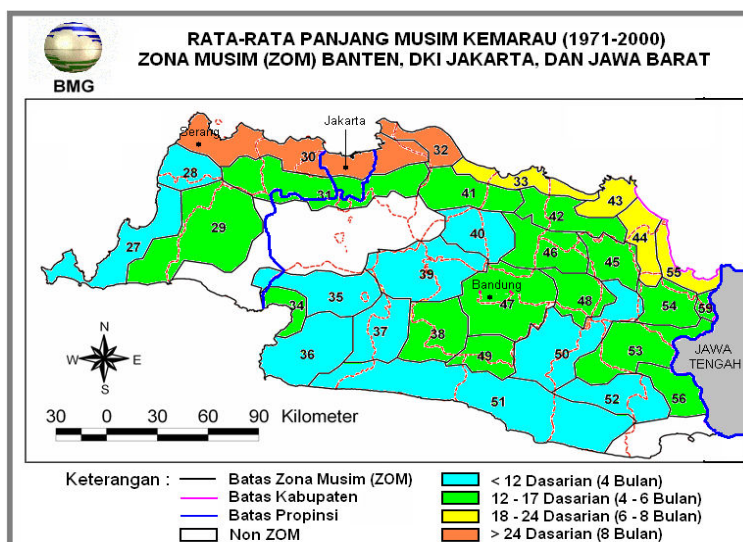


Gambar 2. Rata-rata awal musim hujan

Rata-Rata Panjang Musim Kemarau

Rata-rata panjang musim kemarau pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, umumnya berkisar antara 12 sampai 24 dasarian. Daerah yang panjang musimnya < 12 dasarian meliputi Pandeglang bagian barat, Serang bagian selatan, sebagian besar Sukabumi-Cianjur-Garut-Tasikmalaya, Purwakarta, Bandung bagian barat daya, dan Majalengka bagian selatan. Daerah yang panjang musimnya 12 - 17 dasarian meliputi Pandeglang bagian timur, Lebak, Serang bagian tenggara, bagian selatan Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang-Indramayu-Majalengka, sekitar Palabuhan Ratu, sebagian besar Bandung-Subang, Sumedang, Kuningan, Majalengka bagian utara, dan sebagian besar Ciamis. Daerah yang panjang musimnya 18 - 24 dasarian meliputi bagian utara Subang-Indramayu, dan Cirebon. Daerah yang panjang musimnya > 24 dasarian meliputi bagian utara Serang-Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang.

Peta rata-rata panjang musim kemarau (1971-2000) di Zona Musim Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat disajikan pada Gambar 3.

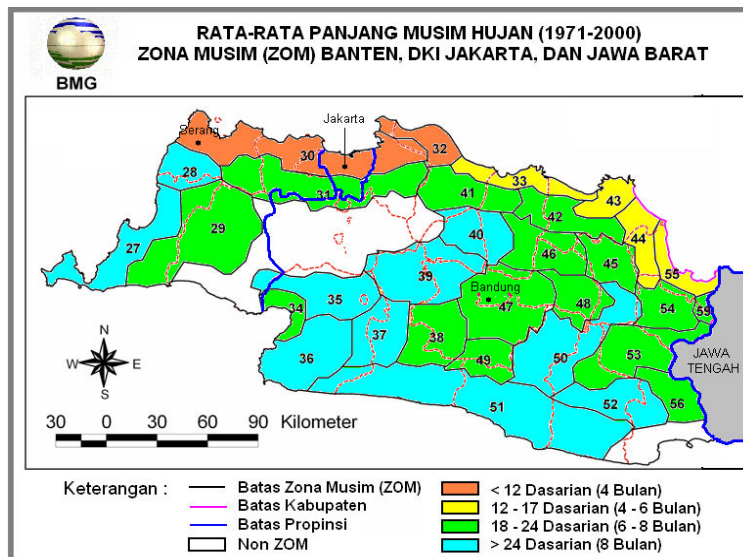


Gambar 3. Rata-rata panjang musim kemarau

Rata-Rata Panjang Musim Hujan

Rata-rata panjang musim hujan pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, umumnya berkisar antara 12 sampai 24 dasarian. Daerah yang panjang musimnya < 12 dasarian meliputi bagian utara Serang-Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang. Daerah yang panjang musimnya 12 - 17 dasarian meliputi bagian utara Subang-Indramayu, dan Cirebon. Daerah yang panjang musimnya 18 - 24 dasarian meliputi Pandeglang bagian timur, Lebak, Serang bagian tenggara, bagian selatan Tangerang-DKI Jakarta-Bekasi-Karawang-Indramayu-Majalengka, sekitar Palabuhan Ratu, sebagian besar Bandung-Subang, Sumedang, Kuningan, Majalengka bagian utara, dan sebagian besar Ciamis. Daerah yang panjang musimnya > 24 dasarian meliputi Pandeglang bagian barat, Serang bagian selatan, sebagian besar Sukabumi-Cianjur-Garut-Tasikmalaya, Purwakarta, Bandung bagian barat daya, dan Majalengka bagian selatan.

Peta rata-rata panjang musim hujan (1971-2000) di Zona Musim Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rata-Rata Panjang Musim Hujan

Perbandingan Rata-rata Awal Musim Periode Kedua (2001-2006) terhadap Periode Pertama (1971-2000)

Perbandingan Rata-rata Awal Musim Kemarau

Perbandingan rata-rata awal musim kemarau periode kedua terhadap periode pertama pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, sebanyak 9 ZOM lebih awal (maju) antara 1 sampai 3 dasarian, sebanyak 7 ZOM lebih lambat (mundur) antara 1 - 3 dasarian, dan sebanyak 15 ZOM tetap (tidak berubah).

Di wilayah ZOM Banten, rata-rata awal musim kemarau pada periode kedua di sebagian besar wilayah berubah dibandingkan periode pertama. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah maju 1 sampai 3 dasarian meliputi Pandeglang dan Lebak. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah mundur 1 sampai 3 dasarian meliputi sebagian besar Serang dan Tangerang bagian utara. Wilayah yang awal musim kemaraunya tetap atau tidak berubah meliputi Serang bagian barat daya dan Tangerang bagian selatan.

Di wilayah ZOM DKI Jakarta, rata-rata awal musim kemarau pada periode kedua di sebagian wilayah berubah dibandingkan periode pertama. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah mundur 1 sampai 3 dasarian meliputi bagian utara DKI Jakarta. Wilayah yang awal musim kemaraunya tetap atau tidak berubah meliputi bagian selatan DKI Jakarta.

Di wilayah ZOM Jawa Barat, rata-rata awal musim kemarau pada periode kedua di sebagian besar wilayah tetap atau tidak berubah dibandingkan periode pertama. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah maju 1 sampai 3 dasarian meliputi Sukabumi bagian utara, Indramayu bagian selatan, Majalengka bagian utara, dan sebagian besar Cirebon-Kuningan. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah mundur 1 sampai 3 dasarian meliputi bagian utara Bekasi-Subang-Indramayu, Karawang, dan Bandung bagian barat daya.

Perbandingan Rata-Rata Awal Musim Hujan

Perbandingan rata-rata awal musim hujan periode kedua terhadap periode pertama pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, sebanyak 1 ZOM lebih awal (maju) 2 dasarian, sebanyak 12 ZOM lebih lambat (mundur) antara 1 - 4 dasarian, dan sebanyak 18 ZOM tetap (tidak berubah).

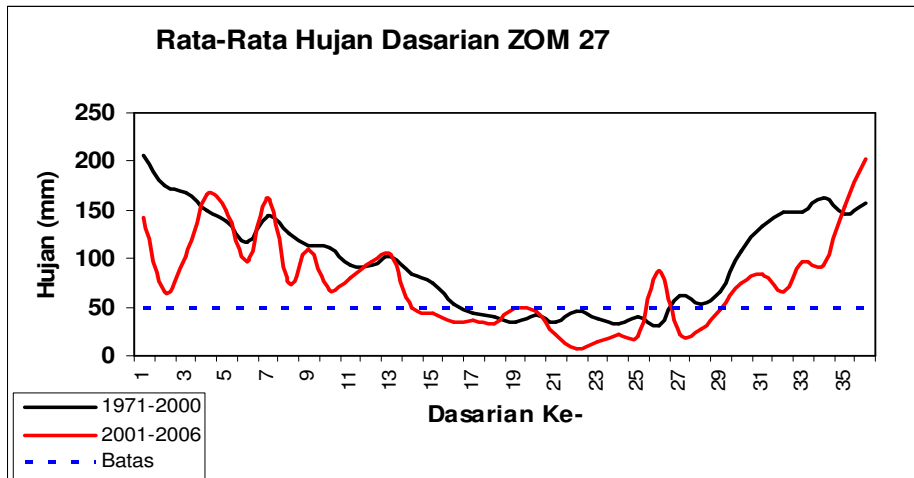
Di wilayah ZOM Banten, rata-rata awal musim kemarau pada periode kedua di sebagian besar wilayah berubah dibandingkan periode pertama. Wilayah yang awal musim hujannya berubah maju 1 sampai 3 dasarian meliputi Pandeglang dan Lebak. Wilayah yang awal musim hujannya berubah mundur 2 dasarian meliputi Serang bagian selatan. Wilayah yang awal musim hujannya tetap atau tidak berubah meliputi sebagian besar Serang dan Tangerang.

Di wilayah ZOM DKI Jakarta, rata-rata awal musim hujan pada periode kedua tetap (tidak berubah) dibandingkan dengan periode pertama.

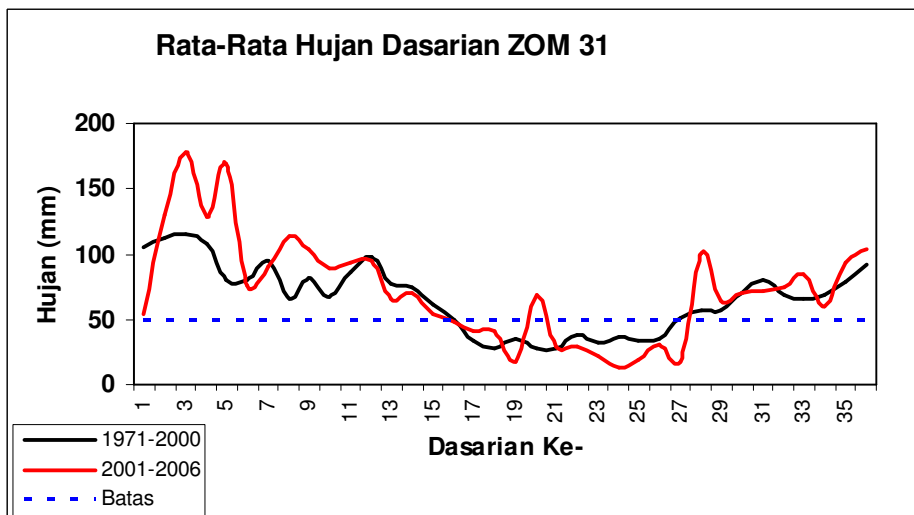
Di wilayah ZOM Jawa Barat, rata-rata awal musim hujan pada periode kedua di sebagian wilayah tetap (tidak berubah) dibandingkan periode pertama. Wilayah yang awal musim kemaraunya berubah mundur 1 sampai 3 dasarian meliputi bagian selatan Karawang-Indramayu-Sukabumi-Cianjur-Garut-Tasikmalaya, sebagian besar Bandung-Majalengka-Kuningan, dan sebagian Subang bagian utara.

Sebagai contoh, perbandingan rata-rata curah hujan dasarian periode 2001-2006 dengan periode 1971-2000 untuk ZOM 27 dan ZOM 31 disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Grafik yang disajikan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada ZOM 27 **terjadi** perubahan rata-rata awal musim, baik musim kemarau maupun musim hujan pada periode 2001-2006 terhadap periode 1971-2000. Demikian juga hasil uji menunjukkan adanya perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April-September dan Oktober-Maret. Sementara itu, pada grafik yang disajikan pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada ZOM 31 **tidak terjadi** perubahan rata-rata awal musim, namun dari hasil uji menunjukkan adanya perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April-September dan Oktober-Maret.

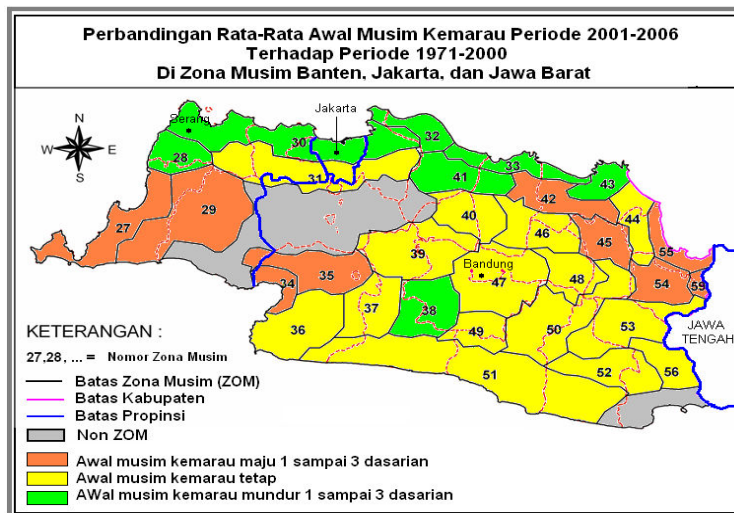


Gambar 5. Grafik rata-rata curah hujan dasarian ZOM 27

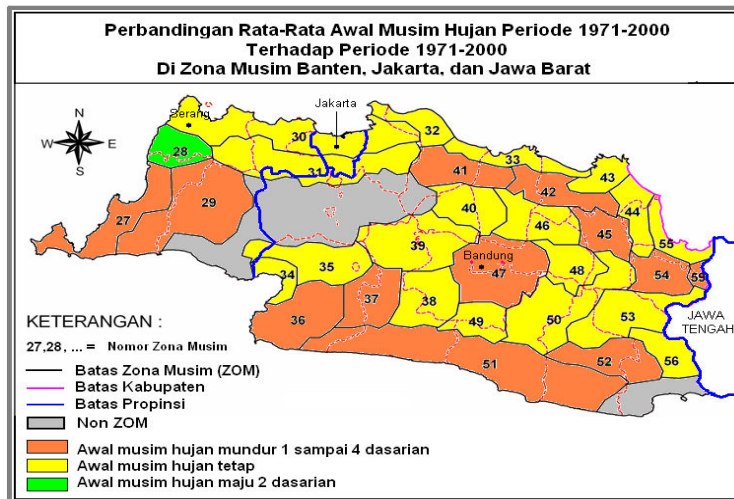


Gambar 6. Grafik rata-rata curah hujan dasarian ZOM 31

Peta perbandingan rata-rata awal musim kemarau periode 2001-2006 terhadap periode 1971-2000 di Zona Musim Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat disajikan pada Gambar 7, sedangkan untuk perbandingan rata-rata awal musim hujan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Perbandingan rata-rata awal musim kemarau



Gambar 8. Perbandingan rata-rata awal musim hujan

Uji Perubahan Rata-Rata

Populasi curah hujan pada satu periode tertentu memiliki pola diskontinuitas yang dapat dideteksi dengan menggunakan metode perubahan rata-rata. Seperti telah diuraikan sebelumnya, uji perubahan rata-rata dilakukan menggunakan uji t-student. Pengujian dilakukan terhadap curah hujan kumulatif periode April – September (musim kemarau) dan Oktober – Maret (musim hujan) periode kedua terhadap periode pertama.

Uji Perubahan Rata-Rata Periode April - September

Nilai statistik untuk masing-masing periode disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai statistik dan t-hitung periode kedua untuk April-September

No. ZOM	Periode	Parameter Statistik			t-hitung	Hipotesis
		X	SD	N		
27	Pertama (1971-2000)	1058	455	30		
	Kedua (2001-2006)	838	277	6	2.9595	Terima
28	Pertama (1971-2000)	933	361	30		
	Kedua (2001-2006)	1288	367	6	5.7209	Terima
30	Pertama (1971-2000)	459	146	30		
	Kedua (2001-2006)	364	130	6	3.8448	Terima
31	Pertama (1971-2000)	893	274	30		
	Kedua (2001-2006)	1265	328	6	7.6840	Terima
34	Pertama (1971-2000)	687	339	30		
	Kedua (2001-2006)	369	156	6	5.8142	Terima
36	Pertama (1971-2000)	1059	510	30		
	Kedua (2001-2006)	834	413	6	2.6401	Terima
38	Pertama (1971-2000)	1142	513	30		
	Kedua (2001-2006)	1033	745	6	1.1524	Tolak
40	Pertama (1971-2000)	1160	373	30		
	Kedua (2001-2006)	1086	321	6	1.1692	Tolak
42	Pertama (1971-2000)	474	203	30		
	Kedua (2001-2006)	436	76	6	1.1486	Tolak
43	Pertama (1971-2000)	411	173	30		
	Kedua (2001-2006)	353	85	6	2.0450	Tolak
44	Pertama (1971-2000)	412	172	30		
	Kedua (2001-2006)	375	183	6	1.2517	Tolak
46	Pertama (1971-2000)	625	237	30		
	Kedua (2001-2006)	487	195	6	3.4854	Terima
47	Pertama (1971-2000)	644	272	30		
	Kedua (2001-2006)	551	173	6	2.0875	Tolak
49	Pertama (1971-2000)	682	290	30		
	Kedua (2001-2006)	531	177	6	3.2034	Terima
53	Pertama (1971-2000)	807	326	30		
	Kedua (2001-2006)	582	547	6	3.5899	Terima
55	Pertama (1971-2000)	429	179	30		
	Kedua (2001-2006)	382	117	6	1.5874	Tolak

Pada selang kepercayaan 95% untuk periode kedua, berdasarkan tabel sebaran t-student, diperoleh nilai : **2.3500**

Hasil uji perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April – September dari 16 ZOM, menunjukkan bahwa sebanyak 9 ZOM (27, 28, 30, 31, 34, 36, 46, 49, dan 53) **terjadi perubahan rata-rata** pada periode kedua terhadap periode pertama, sedangkan sebanyak 7 ZOM (38, 40, 42, 43, 44, 47, dan 55) **tidak terjadi perubahan rata-rata**.

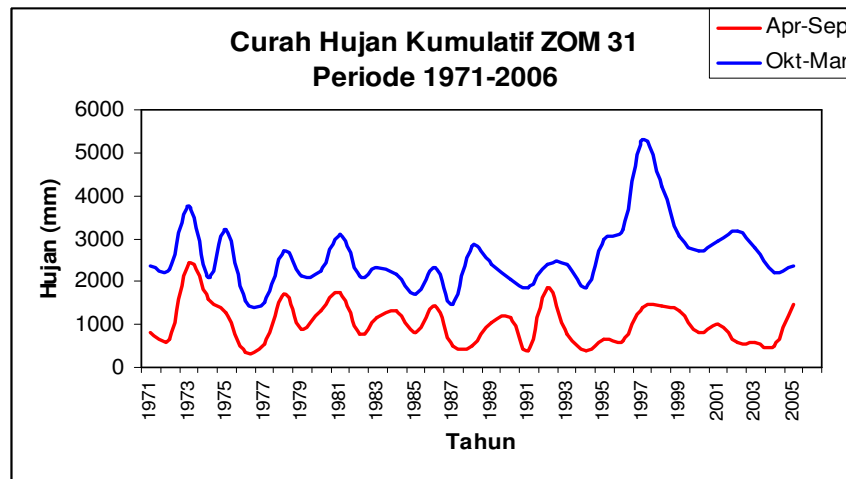
Uji Perubahan Rata-Rata Periode Oktober - Maret

Nilai statistik untuk masing-masing periode disajikan pada Tabel 2.

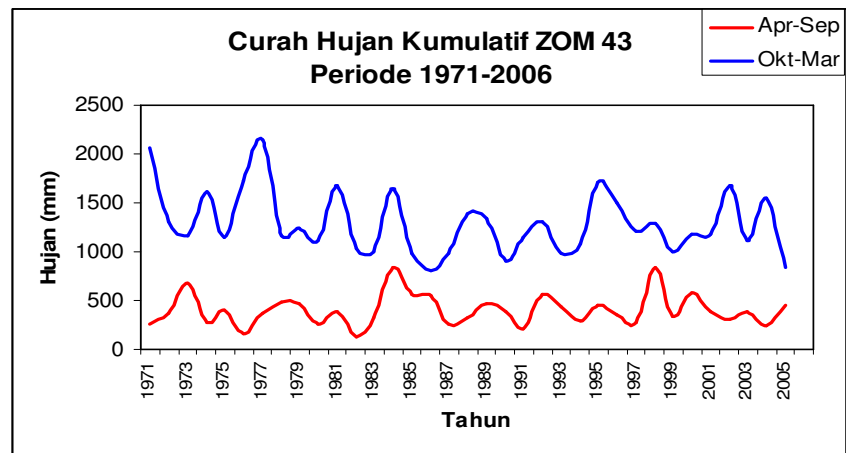
Tabel 2. Nilai statistik dan t-hitung periode kedua untuk Oktober-Maret

No. ZOM	Periode	Parameter Statistik			t-hitung	Hipotesis
		X	SD	N		
27	Pertama (1971-2000)	2460	528	30		
	Kedua (2001-2006)	1920	398	6	6.1570	Terima
28	Pertama (1971-2000)	1869	684	30		
	Kedua (2001-2006)	2412	644	6	4.6693	Terima
30	Pertama (1971-2000)	1274	274	30		
	Kedua (2001-2006)	1225	140	6	1.1195	Tolak
31	Pertama (1971-2000)	1482	225	30		
	Kedua (2001-2006)	1612	388	6	2.9845	Terima
34	Pertama (1971-2000)	1545	316	30		
	Kedua (2001-2006)	1546	428	6	0.0206	Tolak
36	Pertama (1971-2000)	2546	823	30		
	Kedua (2001-2006)	2686	403	6	1.0527	Tolak
38	Pertama (1971-2000)	2566	640	30		
	Kedua (2001-2006)	2560	1182	6	0.0428	Tolak
40	Pertama (1971-2000)	2421	440	30		
	Kedua (2001-2006)	2395	476	6	0.3408	Tolak
42	Pertama (1971-2000)	1525	385	30		
	Kedua (2001-2006)	1620	233	6	1.5131	Tolak
43	Pertama (1971-2000)	1295	333	30		
	Kedua (2001-2006)	1274	337	6	0.3747	Tolak
44	Pertama (1971-2000)	1439	345	30		
	Kedua (2001-2006)	1285	252	6	2.6959	Terima
46	Pertama (1971-2000)	1792	306	30		
	Kedua (2001-2006)	2075	424	6	5.0829	Terima
47	Pertama (1971-2000)	1394	376	30		
	Kedua (2001-2006)	1389	303	6	0.0810	Tolak
49	Pertama (1971-2000)	1739	359	30		
	Kedua (2001-2006)	1568	223	6	2.9102	Terima
53	Pertama (1971-2000)	2015	444	30		
	Kedua (2001-2006)	1327	693	6	8.2383	Terima
55	Pertama (1971-2000)	1181	264	30		
	Kedua (2001-2006)	1419	286	6	5.1940	Terima

Hasil uji perubahan rata-rata curah hujan kumulatif Oktober – Maret dari 16 ZOM, menunjukkan bahwa sebanyak 8 ZOM (27, 28, 31, 44, 46, 49, 53, dan 55) **terjadi perubahan rata-rata** pada periode kedua terhadap periode pertama, sedangkan sebanyak 8 ZOM (30,34, 36, 38, 40, 42, 43, dan 47) **tidak terjadi perubahan rata-rata**.



Gambar 9. Grafik rata-rata curah hujan kumulatif ZOM 31 (terjadi perubahan)



Gambar 10. Grafik rata-rata curah hujan kumulatif ZOM 43 (tidak terjadi perubahan)

KESIMPULAN

- a) Rata-rata awal musim kemarau pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, berkisar antara dasarian I – III April sampai dasarian I – III Juni, rata-rata awal musim hujan berkisar antara dasarian I – III September sampai dasarian I – III Desember, dengan panjang musim umumnya antara 12 sampai 24 dasarian.

- b) Perbandingan rata-rata awal musim kemarau periode kedua terhadap periode pertama pada 31 ZOM di Banten, DKI Jakarta, dan Jawa Barat, sebanyak 9 ZOM lebih awal (maju) antara 1 sampai 3 dasarian, sebanyak 7 ZOM lebih lambat (mundur) antara 1 - 3 dasarian, dan sebanyak 15 ZOM tetap (tidak berubah), sedangkan rata-rata awal musim hujan, sebanyak 1 ZOM lebih awal (maju) 2 dasarian, sebanyak 12 ZOM lebih lambat (mundur) antara 1 - 4 dasarian, dan sebanyak 18 ZOM tetap (tidak berubah).
- c) Uji perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April – September dari 16 ZOM, menunjukkan bahwa sebanyak 9 ZOM **terjadi perubahan rata-rata** pada periode kedua terhadap periode pertama, sedangkan sebanyak 7 ZOM **tidak terjadi perubahan rata-rata**. Sementara itu, rata-rata curah hujan kumulatif Oktober – Maret menunjukkan bahwa sebanyak 8 ZOM **terjadi perubahan rata-rata** pada periode kedua terhadap periode pertama, sedangkan sebanyak 8 ZOM **tidak terjadi perubahan rata-rata**.
- d) Berdasarkan hasil-hasil tersebut, menunjukkan bahwa adanya pergeseran awal musim dan perubahan rata-rata curah hujan kumulatif April – September (musim kemarau) dan Oktober – Maret (musim hujan) hanya terjadi pada sebagian wilayah ZOM Banten, DKI Jakarta dan Jawa Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Nuryadi. 1998. Tinjauan Curah Hujan di Jakarta Selama 131 Tahun (1866-1996). Laporan Tugas FMIPA IPB. Bogor.
- Nuryadi. 2007. Variabilitas Curah Hujan dan Musim DKI Jakarta. Bahan Lokakarya Peningkatan Akurasi Prakiraan Musim. 7 – 8 November 2007, Jakarta.
- Siregar, S. 2004. Statistik Terapan. PT Grasindo. Jakarta.
- Sudjana, S. 1983. Teknik Analisis Regresi dan Korelasi bagi Para Peneliti. PT Tarsito. Bandung.
- Sudjono. 1974. Analisa Statistik untuk Klimatologi. Pusat Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Wirjohamidjojo, S. 1983. Teknik dan Penggunaan Informasi Cuaca. Proceeding Lokarya Pertemuan Teknis Klimatologi Pertanian. Ditlin, 15 –17 Nopember 1983. Cisarua Bogor.
- WMO. Guide to Climatological Practices No. 100, TP-44.

PEMANFAATAN PREDIKSI CURAH HUJAN DALAM RANGKA ADAPTASI PERTANAMAN PADI DI SENTRA PRODUKSI PADI

Aris Pramudia¹, Yonny Koesmaryono², Irsal Las³

1. Peneliti Pertama pada Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian
2. Guru Besar pada Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor
3. Ahli Peneliti Utama pada Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian

Abstract

Rainfall prediction is an excellent effort of the early warning system development in crop agriculture, especially in paddy cropping system. This paper describes about the modeling and the rainfall prediction by using a neural network analysis, and the using of the predicted rainfall for adaptations in paddy cropping system. Rainfall data from Baros at Pantura Banten, from Karawang and Kasomalang Subang at Pantura Jabar, and from Tarogong at Garut, have been used in this study. Rainfall data recorded in the 1990-2002 period have been used for the training set of the model, and those in the 2003-2006 periods have been used for the model validation. The validated models have been used to predict the 2007-2008 condition. These best models are able to explain 83-91% of the data variability. In the period of November 2007 until February 2008, rainfall conditions at Serang, Karawang, Subang and Garut, are predicted to increase up to be Above-Normal, especially at Kasomalang Subang rainfall condition is predicted to be high until April 2008. Next, rainfall is predicted to be going to decrease and set to be lowest on June 2008, and then to be going to be increase up to be Above-Normal on December 2008. The losses analysis of paddy production showed that the rainfall decreasing at some periods would carry an inadequate of water availability and losses of paddy production. However, applying the well irrigation management and suitable growing periods could decrease and mitigate the losses of paddy production.

Key words: Rainfall prediction model, neural network analysis, paddy production.

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan pertumbuhan dan produksi tanaman, sehingga dalam banyak hal, perilaku budidaya tanaman perlu disesuaikan pada fluktuasi curah hujan. Namun karena fluktuasi curah hujan sangat beragam dan

acak, seringkali perilaku budidaya tanaman sulit menyesuaikan bahkan terlambat mengantisipasi perubahan yang terkesan tiba-tiba dan ekstrim. Dengan demikian, suatu sistem peringatan dini sangat diperlukan untuk menghindari keterbatasan tersebut. Salah satu cara adalah dengan membuat model prediksi curah hujan, dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran lebih awal kondisi curah hujan beberapa periode ke depan.

Terdapat beberapa teknik menyusun model prediksi curah hujan yang sudah umum digunakan, misalnya regresi, ARIMA, analisis Fourier, analisis Kalman Filter, dan sebagainya. Namun teknik-teknik tersebut hanya terkonsentrasi pada aspek analisis waktu atau analisis ruang saja. Lee, Cho dan Wong (1998) serta Halide dan Ridd (2000) memanfaatkan teknik analisis jaringan syaraf (*neural network analysis, NNA*) pada bidang hidrologi. Teknik ini mampu menggabungkan aspek analisis waktu dan ruang secara simultan. Apriyanti (2005) menggambarkan bahwa teknik analisis jaringan syaraf memungkinkan diterapkan pada model prediksi curah hujan yang memperhitungkan aspek skala waktu dan skala ruang secara bersamaan.

Tulisan ini menyajikan penyusunan model prediksi curah hujan dengan menggunakan analisis jaringan syaraf, memprediksi curah hujan beberapa periode ke depan dan memanfaatkan hasil prediksi tersebut untuk analisis adaptasi pertanaman padi. Sebagai studi kasus, digunakan data curah hujan dari stasiun-stasiun curah hujan yang terletak di sentra produksi padi, yaitu Stasiun Baros di Serang Banten, Stasiun Karawang dan Stasiun Kasomalang Subang di Pantura Jawa Barat.

METODOLOGI

Model prediksi curah hujan adalah model untuk memprediksi data curah hujan bulanan. Keluaran model adalah nilai curah hujan tiga bulan ke depan ($\mathbf{Y}=\mathbf{CH}_{t+3}$), sedangkan data masukan yang digunakan adalah nilai kode bulan ($\mathbf{X}_1=t$), nilai-nilai curah hujan pada bulan ini ($\mathbf{X}_2=\mathbf{CH}_t$), curah hujan bulan depan ($\mathbf{X}_3=\mathbf{CH}_{t+1}$) dan curah hujan dua bulan berikutnya ($\mathbf{X}_4=\mathbf{CH}_{t+2}$), nilai SOI pada bulan ini ($\mathbf{X}_5=\mathbf{SOI}_t$) dan nilai Anomali SST pada bulan ini ($\mathbf{X}_6=\mathbf{AnoSST}_t$). Data yang digunakan untuk *learning* atau *training set* adalah data pengamatan tahun 1990-2002, dan yang digunakan untuk validasi adalah data pengamatan tahun 2003-2006.

Model disusun menggunakan teknik analisis jaringan syaraf (*neural network analysis, NNA*). Aturan penyelesaian formal dalam penetapan bobot atau koefisien persamaan dapat dijelaskan sebagai berikut:

Langkah 1. Normalisasi data input X_i dan nilai target T_k ke dalam kisaran [0 ... 1].

Langkah 2. Penetapan nilai awal untuk semua pembobot w_{ij} untuk matriks \mathbf{X} dan v_{jk} untuk matrik \mathbf{H} , yaitu suatu matrik antara yang disembunyikan.

Langkah 3. Menghitung h_j dan y_k melalui persamaan berikut:

$$h_j = \frac{1}{1 + e^{-\sum w_{ij} x_i}}$$

$$y_k = \frac{1}{1 + e^{-\sum v_{jk} h_j}}$$

dimana:

$$\Sigma w_{ij} x_i = w_{0j} + w_{1j} * X_1 + w_{2j} * X_2 + w_{3j} * X_3 + w_{4j} * X_4 + w_{5j} * X_5 + w_{6j} * X_6$$

$$Y_k = X_{t+3}$$

subskrip j akan merujuk pada urutan dalam matrik H.

Langkah 4. Penentuan nilai galat E per tahun, sebagai berikut:

$$\forall E = \Sigma_p 0.5 (t_{kp} - y_{kp})^2$$

dimana t_{kp} = nilai target data ke-p dari *training set* node k, dan y_{kp} = nilai dugaan data ke-p dari *training set* node k.

Langkah 5. Proses *learning* atau *training set* untuk menentukan nilai bobot v_{jk} dan w_{ij} melalui iterasi. Target dari proses iterasi adalah menentukan nilai Y sedekat mungkin dengan nilai T sehingga menghasilkan galat yang mendekati nilai nol. Proses dihentikan jika galat pada iterasi ke-(m) dengan iterasi ke-(m-1) berselisih 0,00001.

Model yang terbentuk kemudian digunakan untuk prediksi nilai curah hujan tahun 2007-2008, dan kemudian digunakan untuk menganalisis potensi waktu tanam dan produksi padi di lokasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

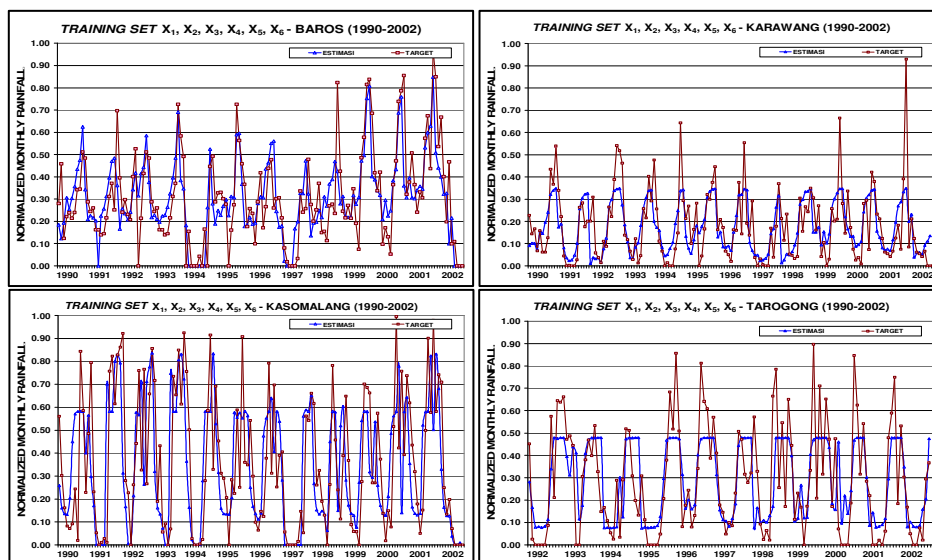
Proses coba-coba (*trial and error*) dilakukan dengan melibatkan berbagai kombinasi peubah masukan X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 dan X_6 . Pada keempat stasiun yang dianalisis, diperoleh bahwa model yang paling baik adalah model yang mengkombinasikan keenam peubah masukan. Di Stasiun Baros Serang, proses pembelajaran menghasilkan model yang memiliki sensitivitas prediksi pada kisaran 0,000-0,848 dan mampu menjelaskan 90% keragaman data dengan maksimum kesalahan prediksi sebesar 4 mm/bulan. Di Stasiun Karawang, model memiliki sensitivitas

prediksi pada kisaran 0,010-0,348 dan mampu menjelaskan 91% keragaman data dengan maksimum kesalahan prediksi sebesar 5 mm/bulan. Di Stasiun Kasomalang Subang, model memiliki sensitivitas prediksi pada kisaran 0,000-0,835 dan mampu menjelaskan 88% keragaman data dengan maksimum kesalahan prediksi sebesar 8 mm/bulan. Di Stasiun Tarogong Garut, model memiliki sensitivitas prediksi pada kisaran 0,075-0,479 dan mampu menjelaskan 83% keragaman data dengan maksimum kesalahan prediksi sebesar 7 mm/bulan (Tabel 1 dan Gambar 1).

Tabel 1. Laju penyelesaian, sensitivitas dan koefisien keragaman model prediksi curah hujan

No.	Stasiun/Lokasi	Data Masukan*)		Jumlah Iterasi	Sensitivitas Model*)	Koefisien Keragaman (%)	Kesalahan maksimum (mm)
		Rata-rata	Simpangan baku				
1.	Baros – Serang	0,309	0,210	934	0,000 – 0,848	90%	4,1
2.	Karawang	0,177	0,160	35	0,010 – 0,348	91%	5,1
3.	Kasomalang – Subang	0,360	0,291	450	0,000 – 0,835	88%	7,9
4.	Tarogong – Garut	0,289	0,242	73	0,075 – 0,479	83%	6,8

*) Dalam bentuk bilangan terstandarisasi dengan skala [0,1].



Gambar 1. Hasil training set pembentukan model prediksi curah hujan pada Stasiun Baros Serang, Stasiun Karawang dan Stasiun Kasomalang Subang, dan Stasiun Tarogong Garut

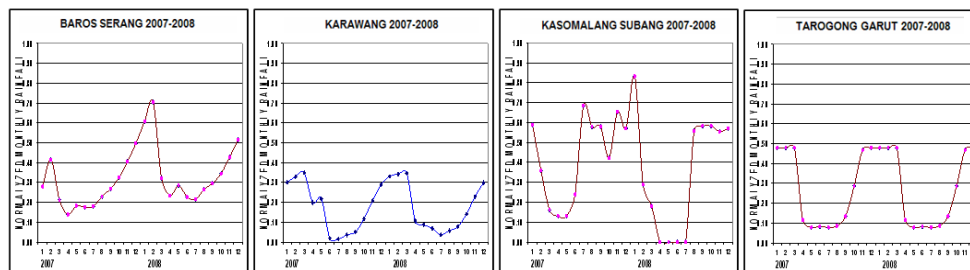
Gambar 1 menyajikan fluktuasi prediksi curah hujan hasil *training set* (garis biru) dan perbandingannya terhadap data aktual (garis coklat). Pada beberapa bulan yang memiliki nilai ekstrim tinggi, besaran curah hujan hasil prediksi terlihat lebih rendah dari data aktual, terutama di Stasiun Karawang dan Tarogong Garut. Hal ini menunjukkan bahwa model memiliki keterbatasan dalam memprediksi nilai ekstrim. Diduga salah satu alasan yang mengakibatkan hal tersebut adalah dari aspek matematika model menggunakan kombinasi resiprok (kebalikan) dan ordo negatif dari bilangan *napier* (e) sehingga menghasilkan prediksi yang berpola *sigmoid* dan memiliki nilai maksimum (*asymtoot*) pada besaran tertentu. Dengan demikian hasil prediksi yang merupakan nilai maksimum perlu dipertimbangkan dengan kemungkinan adanya besaran hujan yang lebih tinggi.

Hasil prediksi curah hujan memberikan gambaran bahwa curah hujan bulanan di Baros akan meningkat sejak akhir tahun 2007 akan mencapai titik tertinggi pada bulan Januari-Februari 2008 dengan intensitas kira-kira 302 mm (Atas Normal) dan 350 mm (Atas Normal), selanjutnya akan berfluktuasi lebih rendah dan mencapai titik terendah pada bulan Juli 2008 dengan intensitas 113 mm (Atas Normal), dan meningkat lagi hingga Desember 2008 mencapai intensitas 256 mm (Atas Normal). Di Karawang, curah hujan juga diprediksi akan semakin meningkat sejak akhir 2007 dan mencapai titik tertinggi pada bulan Januari dan Februari 2008 dengan intensitas 244 mm (Bawah Normal) dan 711 mm (Atas Normal), selanjutnya akan menurun hingga mencapai nilai terendah pada bulan Juni 2008 dengan intensitas 0 mm (Bawah Normal) dan meningkat kembali hingga bulan Desember 2008 dengan intensitas 191 mm (Atas Normal). Di Kasomalang Subang, curah hujan diprediksi akan meningkat dan berfluktuasi dalam intensitas yang tinggi pada periode Desember 2007 hingga April 2008. Beberapa bulan yang memiliki intensitas yang tinggi adalah Desember 2007 dengan intensitas 523 mm (Atas Normal), Februari dengan intensitas 559 mm (Atas Normal) dan April 2008 dengan intensitas 693 mm (Atas Normal). Selanjutnya curah hujan menurun hingga mencapai titik terendah pada Agustus 2008 dengan intensitas 0 mm (Bawah Normal), dan meningkat lagi hingga Desember 2008 dengan intensitas 523 mm (Atas Normal). Di Tarogong Garut, curah hujan juga diprediksi akan tinggi selama periode Desember 2007 – Maret 2008 dengan intensitas 227 mm (Normal – Atas Normal), selanjutnya akan menurun hingga mencapai nilai terendah pada bulan Juli 2008 dengan intensitas 37 mm (Atas Normal) dan meningkat kembali hingga bulan Desember 2008 dengan intensitas 227 mm (Normal) (Tabel 2 dan Gambar 2).

Tabel 2. Curah hujan dugaan pada periode Oktober 2007 hingga Desember 2008

No.	Stasiun/Lokasi	Parameter	Oct-07	Nov-07	Dec-07	Jan-08	Feb-08	Mar-08	Apr-08	May-08	Jun-08	Jul-08	Aug-08	Sep-08	Oct-08	Nov-08	Dec-08	
1.	Baros - Serang	CH dugaan	161	202	247	302	350	160	116	141	113	106	132	147	172	212	256	
		CH rata2	107	155	184	254	240	143	122	129	80	69	72	107	155	184		
		Prosentasi	151	130	134	119	146	112	96	110	140	133	190	206	160	137	139	
		Status	SA	AN	AN	AN	SA	N	N	N	SA	AN	SA	SA	SA	SA	SA	SA
2.	Karawang	CH dugaan	77	138	191	244	711	104	33	43	0	11	24	34	77	138	191	
		CH rata2	93	144	147	299	269	165	150	87	44	39	30	46	93	144	147	
		Prosentasi	83	95	130	82	264	63	22	49	0	27	81	73	83	95	130	
		Status	BN	N	AN	BN	SA	SB	SB	SB	SB	SB	BN	BN	BN	N	AN	
3.	Kasomalang - Subang	CH dugaan	33	129	523	414	559	448	693	234	35	54	0	3	33	129	523	
		CH rata2	202	424	446	495	389	482	464	251	134	68	58	76	202	424	446	
		Prosentasi	16	30	117	84	144	93	149	93	26	79	0	4	16	30	117	
		Status	SB	SB	AN	BN	SA	N	SA	N	SB	BN	SB	SB	AN	SB	SB	AN
4.	Tarogong - Garut	CH dugaan	136	222	227	227	227	227	55	37	39	37	41	64	136	222	227	
		CH rata2	110	240	224	288	184	270	194	84	69	23	47	41	110	240	224	
		Prosentasi	124	92	101	79	123	84	28	43	57	160	87	156	124	92	101	
		Status	AN	N	N	BN	AN	BN	SB	SB	SB	SA	N	SA	AN	N	N	

Catatan: SA = Jauh di atas normal.
 AN = Di atas normal
 N = Normal
 BN = Di bawah normal
 SB = Jauh di bawah normal



Gambar 2. Prediksi curah hujan tahun 2007-2008 di stasiun Baros Serang, stasiun Karawang, stasiun Kasomalang Subang, dan stasiun Tarogong Garut menggunakan model analisis jaringan syaraf

Nilai-nilai prediksi curah hujan bulanan periode Oktober 2007 – Desember 2008 kemudian diproyeksikan menjadi curah hujan sepuluh harian dan dilakukan analisis indeks kecukupan air untuk melihat potensi penurunan produksi padi di tiga lokasi, yaitu Serang, Karawang dan Subang. Analisis dan simulasi risiko penurunan produksi padi menggunakan dua skenario, kondisi dimana ketersediaan air tanah hanya dibatasi dengan hujan dan kondisi air tanah bisa didukung oleh irigasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada sepanjang tahun 2008 di Serang dapat dilakukan tanam, kecuali pada bulan Juni dan Juli 2008, pada lahan yang tidak memiliki pemberian dan pengelolaan air irigasi yang memadai maka tidak disarankan untuk dilakukan tanam karena risiko ketersediaan air yang rendah. Di Karawang, pada lahan-lahan yang tidak memiliki potensi irigasi yang memadai, maka tidak direkomendasikan untuk melakukan tanam selama periode April-Oktober 2008 mengingat risiko ketersediaan air yang terbatas. Namun apabila terdapat pemberian

dan pengelolaan air irigasi yang memadai, tanam padi dapat dilakukan selain bulan Juni-Agustus 2008. Di Subang, pada lahan-lahan yang tidak memiliki sarana pengelolaan irigasi yang memadai tidak disarankan melakukan tanam selama bulan Juni-Oktober 2008 karena alasan ketersediaan air yang terbatas. Namun apabila dilakukan pengelolaan air irigasi yang memadai maka tidak disarankan melakukan tanam hanya pada bulan Agustus-September 2008 (Tabel 3).

Tabel 3. Prediksi potensi penurunan produksi dan rekomendasi bulan tanam tahun 2007-2008 di Kabupaten Serang, Kabupaten Karawang dan Kabupaten Subang

No.	Stasiun/Lokasi	Potensi penurunan produksi padi (%)														
		2007			2008											
		Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des
Tanpa perlakuan irigasi																
1.	Baros Serang	16	0	0	0	0	0	14	16	29	35	23	24	4	0	0
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	**	**	TN	TN	TN	TN	
2.	Karawang	55	16	2	0	0	15	74	75	100	94	86	81	55	16	2
		**	TN	TN	TN	TN	TN	**	**	**	**	**	**	**	TN	
3.	Kasomalang Subang	84	21	0	0	0	0	0	0	50	64	99	98	81	23	0
		**	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	**	**	**	**	**	TN	
Dengan perlakuan irigasi																
1.	Baros Serang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN
2.	Karawang	0	0	0	0	0	0	0	24	30	0	29	0	0	0	0
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	**	**	**	TN	TN	TN	
3.	Kasomalang Subang	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	32	0	0	0
		TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	TN	**	**	TN	TN	

Catatan: Angka pada tabel adalah persentase potensi penurunan produksi padi, angka >25 tidak direkomendasikan sebagai bulan tanam; TN = bulan tanam yang direkomendasi, ** = bulan tanam yang harus dihindari.

KESIMPULAN

Di tiga stasiun yang dianalisis, model yang paling baik karena memiliki sensitivitas dan koefisien keragaman yang tinggi, serta memiliki maksimum kesalahan prediksi yang rendah adalah model yang mengkombinasikan keenam peubah masukan. Model prediksi curah hujan mampu menjelaskan 88-91% keragaman data dengan maksimum kesalahan prediksi antara 4-8 mm/bulan.

Hasil prediksi curah hujan menggambarkan bahwa pada akhir tahun 2007 hingga akhir 2008 curah hujan bulanan di Baros diperkirakan cenderung Normal hingga di Atas Normal. Di Karawang diprediksi akan mencapai titik tertinggi pada periode Januari-Februari 2008, sedangkan di Kasomalang periode curah hujan tinggi hingga April 2008. Selanjutnya curah hujan akan menurun hingga sekitar Oktober-November 2008, dan pada Desember 2008 curah hujan berada pada kondisi di Atas Normal.

Berdasarkan prediksi curah hujan 2008, maka hingga Maret 2008 tidak ada risiko ketersediaan air yang terbatas di ketiga lokasi. Di Serang, tidak disarankan tanam padi pada Juni-Juli 2008 kecuali apabila terdapat pengelolaan air irigasi yang memadai. Di Karawang, apabila tidak tersedia irigasi yang memadai tidak disarankan tanam padi selama periode April-Oktober 2008, namun apabila terdapat irigasi yang memadai dapat dilakukan tanam April-Mei dan September-November 2008. Di Subang, tidak disarankan tanam padi pada periode Juni-Oktober 2008 apabila tidak tersedia air irigasi yang memadai. Namun, tanam dapat dilakukan pada periode Juni-Juli dan Oktober-November 2008 apabila tersedia pengelolaan irigasi yang memadai.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanti N. 2005. Optimasi Jaringan Syaraf Tiruan dengan Algoritma Genetika untuk Peramalan Curah Hujan [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan. 2006a. Luas Banjir pada Tanaman Padi tahun 1998-2005. Jakarta: Direktorat Perlindungan Tanaman, Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan. [INDEX_BANJIR_KERING_PADI] http://www.deptan.go.id/ditlin-tp/BASISDATA/DATA_BA/BANJIR_KERING_PADI.html(12 Oktober 2007).
- Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan. 2006b. Luas Kekeringan pada Tanaman Padi tahun 1998-2004. Jakarta: Direktorat Perlindungan Tanaman, Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan. [KERING_PADI] http://www.deptan.go.id/ditlin-tp/BASISDATA/DATA_BA/KERING_PADI.html (12 Oktober 2007).
- Dupe ZL. 1999. Prediction Nino 3.4 SST anomaly using simple harmonic model. Paper presented at the Second International Conference on Science and Technology for the Assessment of Global Climate Change and Its Impact on Indonesian Maritime Continent, 29 November-1 December 1999.
- Halide H, and Ridd P. 2000. Modeling Inter-Annual Variation of Local Rainfall Data Using a Fuzzy Logic Technique. International Forum on Climate Prediction, Agriculture and Development, James Cook Univ. 26-28 April 2000. Australia: IRI, 2000.
- Haryanto U. 1999. Response to climate change: Simple rainfall prediction based on Southern Oscillation Index. Paper presented at the Second International Conference on Science and Technology for the Assessment of Global Climate Change and Its Impact on Indonesian Maritime Continent, 29 November-1 December 1999.

- Lee S, Cho S, and Wong PM. 1998. Rainfall prediction using artificial neural networks. *J. of Geographic Information and Decision Analysis* 2(2):233-242.
- Pramudia A. 2002. Analisis Sensitivitas Tingkat Kerawanan Produksi padi di pantai Utara Jawa Barat terhadap Kekeringan dan El-Nino [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

PERBANDINGAN SKENARIO PERUBAHAN IKLIM UNTUK WILAYAH INDONESIA

Edison Kurniawan¹, Bayong Tjasyono H.K², dan Mezak A. Ratag³

1. Mahasiswa Program Magister Sains Kebumihan ITB
2. Institut Teknologi Bandung
3. Puslitbang Badan Meteorologi dan Geofisika

Abstrak

Untuk mengetahui serta menggambarkan perilaku iklim secara global, hingga saat ini para ahli di berbagai belahan bumi telah mengembangkan beberapa model iklim berbasis fisis dan matematis untuk membantu membuat prediksi perubahan iklim di masa mendatang. Setiap model menggunakan beberapa asumsi yang berbeda untuk memprediksi bagaimana konsentrasi karbondioksida di atmosfer dan pengaruhnya terhadap kecenderungan suhu yang terus berubah. Beberapa variabel dalam setiap model memperhitungkan antara lain laju pertumbuhan populasi, pertumbuhan ekonomi, penggunaan sumber energi, efisiensi penggunaan energi dan perpaduan dari pengembangan teknologi energi yang telah diperbaharui. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengkaji serta membandingkan beberapa model skenario perubahan iklim yang telah direkomendasi oleh IPCC terhadap pola perubahan curah hujan yang terjadi di wilayah kepulauan Indonesia hingga tahun 2100. Skenario IPCC ini berdasarkan asumsi SRES (Special Report on Emmissions Scenarios) yang meliputi perubahan kondisi populasi, ekonomi dan teknologi di masa depan. Di dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah salah satu dari metode statistik yang dikenal sebagai Ellipse Error Detection atau Metode Elips. Metode ini sangat membantu terutama untuk menentukan data skenario perubahan iklim yang bersifat signifikan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa performa dari beberapa model yang diuji menunjukkan inkonsistensi dan memiliki karakteristik yang beragam. Selain itu dikarenakan hasilnya bersifat divergen, maka akan mengakibatkan munculnya beragam persepsi serta pendapat yang berbeda untuk menentukan model mana yang sesuai digunakan khususnya bagi wilayah tropis Indonesia.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aktivitas manusia, khususnya dalam hal produksi dan konsumsi energi untuk menciptakan berbagai sarana yang menunjang kemudahan dan kenyamanan hidup telah membuat atmosfer bumi seperti bejana raksasa yang berisi gas-gas buangan dengan volume yang sangat besar.

Para ahli menyebut gas-gas buangan tersebut sebagai gas-gas rumah kaca (GRK), yang terdiri dari berbagai jenis gas, antara lain, metana (CH₄), nitrogen oksida (NO) dan karbon dioksida (CO₂). Berdasarkan hasil penelitian lama usia tiap satu kilogram gas tersebut bertahan di dalam atmosfer dapat mencapai 50-200 tahun untuk karbon dioksida, 12 tahun untuk metana dan 114 tahun untuk nitrogen oksida. Yang selanjutnya, GRK tersebut akan membentuk semacam selubung virtual yang semakin tebal dan membuat suhu permukaan bumi akan mengalami kenaikan. Kenaikan suhu ini diyakini akan berpotensi mengubah pola cuaca secara ekstrim.

Beberapa gejala perubahan iklim tersebut memang sudah tampak. Diantaranya banjir yang makin hebat, kekeringan yang cukup ekstrim, ledakan berbagai macam penyakit yang timbul melalui vektor hewan seperti malaria, demam berdarah dan flu burung, rusaknya ekosistem laut dan punahnya beberapa spesies keragaman hayati yang mendukung keberlanjutan kehidupan.

Untuk mengetahui serta menggambarkan perilaku iklim secara global, hingga saat ini, para ahli di berbagai belahan bumi telah mengembangkan beberapa model iklim berbasis matematis untuk membantu membuat prediksi perubahan iklim di masa mendatang (A.J. Thorpe, 2005).

IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) yang didirikan oleh WMO (*World Meteorological Organization*) dan UNEP (*United Nations Environmental Program*) merupakan dua badan dunia yang bertugas untuk menaksir berbagai informasi ilmiah yang berkaitan dengan perubahan iklim. Selain itu IPCC juga bertugas untuk mengintegrasikan beberapa model skenario perubahan iklim yang telah dibuat oleh beberapa lembaga iklim yang berkompeten. Model-model tersebut diantaranya HadCM3 (Inggris), CSIRO (Australia), ECHAM4 (Jerman), CGM2 (Canada), GFDL (AS) dan CCSRNIES (Jepang).

Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis beberapa model skenario perubahan iklim yang direkomendasi oleh IPCC untuk menentukan pola perubahan iklim Indonesia hingga tahun 2100. Skenario IPCC ini berdasarkan asumsi SRES (*Special Report on Emmissions Scenarios*) yang meliputi perubahan kondisi populasi, ekonomi dan teknologi di masa depan (IPCC, 2000).

Metode pemilihan model skenario perubahan iklim ini akan menggunakan metode statistik *Ellipse Error Detection*. Metode ini sangat bermanfaat terutama untuk menentukan *confidence intervals* (interval keyakinan) dari data yang diamati. (Montgomery, 1996) serta menunjukkan kecenderungan dari parameter suhu dan curah hujan yang diamati (Ratag, 2006).

Batasan Masalah

Di dalam penelitian ini, pembahasan masalah hanya dibatasi untuk melihat kecenderungan perubahan parameter iklim yakni suhu udara dan curah hujan di wilayah Indonesia hingga tahun 2100 dengan menggunakan model skenario perubahan iklim yang telah direkomendasi IPCC. Model tersebut antara lain: HadCM3 (Inggris), CSIRO (Australia), ECHAM4 (Jerman), CGM2 (Canada), GFDL (AS) dan CCSRNIES (Jepang).

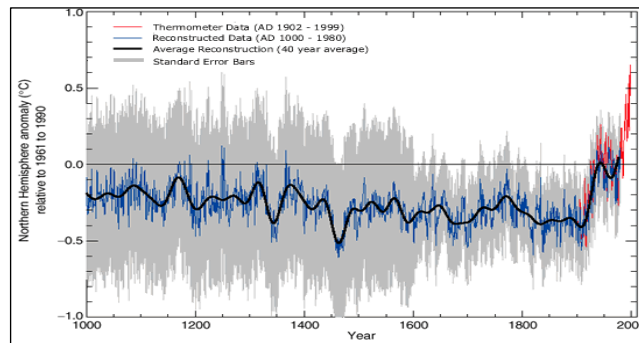
TEORI DASAR

Teori Perubahan Iklim

Iklim memiliki kecenderungan yang berubah, diantaranya disebabkan oleh dua faktor. Yang pertama adalah akibat dari aktivitas manusia seperti urbanisasi, penebangan hutan dan industrialisasi. Sedangkan faktor yang kedua adalah akibat dari aktivitas alam seperti adanya pergeseran kontinen, letusan gunung api, perubahan orbit bumi terhadap matahari, noda matahari dan peristiwa *El Nino* (Tjasyono, 2004).

Sejak sekitar 140 tahun yang lalu, pengukuran suhu global secara langsung telah direkam. Untuk memperkuat keakuratan data sebelumnya maka para ahli juga telah melakukan berbagai upaya penelitian diantaranya dengan mengambil beberapa sampel diantaranya sampel bongkahan es pada sungai yang telah membeku, sampel sedimen pada dasar danau, sampel dari terumbu karang yang terdapat di lautan dan sampel kambium lingkaran pohon. Usaha ini bertujuan agar para ahli tersebut dapat mengestimasi dan merekonstruksi suhu global hingga ribuan tahun ke belakang.

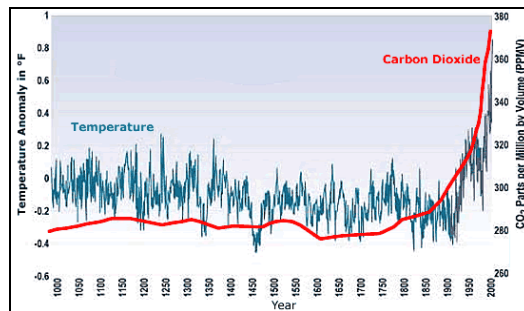
Grafik di bawah menunjukkan jejak suhu yang telah direkonstruksi di Belahan Bumi Utara selama 1000 tahun ke belakang.



Gambar 2.1. Rekonstruksi anomali suhu selama 1000 tahun ke belakang di Belahan Bumi Utara (Sumber: IPCC, 2001)

Seiring dengan adanya kecenderungan peningkatan suhu di permukaan bumi, di bagian lain, para ahli juga mengamati tentang perubahan konsentrasi CO₂ yang cukup signifikan di atmosfer. Seperti diketahui, CO₂ memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap peningkatan suhu di atas permukaan bumi. Beberapa hal penting yang berkaitan tentang keberadaan CO₂ yakni adanya indikasi peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer sebesar 31% sejak tahun 1750 (IPCC, 2001).

Pada sebuah laporan yang diterbitkan IPCC pada tahun 2001, disebutkan bahwa adanya kepastian secara virtual (*virtually certain*) bahwa emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab utama dari peningkatan CO₂ di atmosfer selama abad 21.



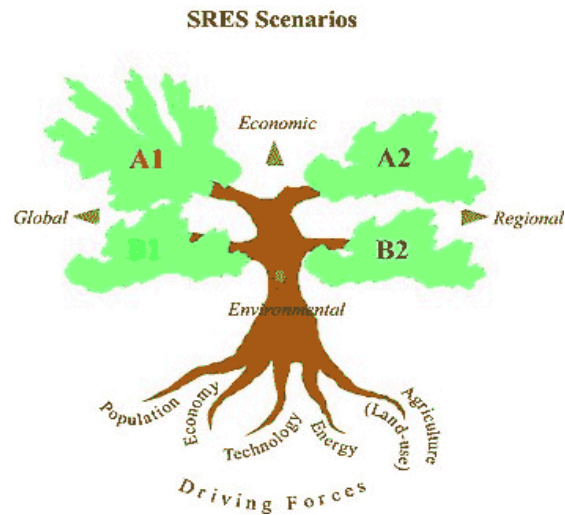
Gambar 2.2. Grafik komposit dari anomali suhu dan karbon dioksida selama 1000 tahun ke belakang (Sumber: IPCC, 2001)

DATA DAN METODOLOGI

Skenario *Special Report on Emission Scenario (SRES)*

Hingga tahun 1996, IPCC telah mulai mengembangkan skenario baru untuk memperbaharui dan mengganti skenario sebelumnya yakni IS92 (1990 dan 1992). Evaluasi tersebut merekomendasikan bahwa adanya perubahan yang signifikan (sejak 1992) di dalam memahami gaya-gaya pengendali dari emisi dan metode yang digunakan perlu dimasukkan. Perubahan ini perlu dilakukan untuk memahami segala hal yang saling berkaitan diantaranya intensitas karbon dari suplai energi, adanya gap pendapatan antara negara-negara maju dan negara berkembang dan juga pada emisi sulfur. Skenario baru ini dikenal sebagai *Special Report on Emission Scenario (SRES)*. Skenario SRES lebih menggambarkan ketidakpastian dari ketersediaan sumber energi di masa depan serta kaitannya terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Adanya ketidakpastian tentang ketersediaan sumber energi diasumsikan dengan adanya perubahan penggunaan energi fosil menjadi energi non-fosil. Sedangkan gaya-gaya pengendali dimasukkan ke dalam skenario

SRES yang tidak hanya mempengaruhi emisi CO₂, tetapi juga GRK lain seperti SO₂, metan dan lain sebagainya. Faktor lain yang turut dimasukkan sebagai faktor pengendali yaitu pertumbuhan demografi, ekonomi dan teknologi.



Gambar 3.1. Skema ilustrasi skenario SRES (Sumber: IPCC, 2001)

Berdasarkan skema di atas (Gambar 3.1) menunjukkan bahwa skenario SRES dibentuk oleh faktor *Driving Forces* yaitu lingkungan yang meliputi populasi penduduk, ekonomi, teknologi, sumber daya energi, penggunaan lahan dan pertanian. Sedangkan empat famili skenario diilustrasikan secara sederhana bagaikan sebuah “pohon” dua dimensi yang memiliki 2 cabang yaitu model skenario A1 dan B1 (bersifat Global) dan model skenario A2 dan B2 (bersifat Regional).

Data Distribution Centre (DDC) IPCC

Data model yang digunakan adalah data suhu dan presipitasi 3 bulanan (Desember-Februari, Maret-Mei, Juni-Agustus, dan September-November) di wilayah Indonesia (pada lokasi astronomis 6° LU-11° LS dan 95°-141° BT) dengan menggunakan skenario model perubahan iklim yang direkomendasi oleh IPCC yaitu HadCM3 (Inggris), CSIRO (Australia), ECHAM4 (Jerman), CGM2 (Canada), GFDL (AS) dan CCSRNIES (Jepang) tahun 2070-2099.

Data tersebut dapat diakses melalui *Data Distribution Centre* (DDC) yang telah direkomendasi oleh IPCC untuk dapat digunakan oleh berbagai pihak yang peduli terhadap perubahan iklim di masa depan.

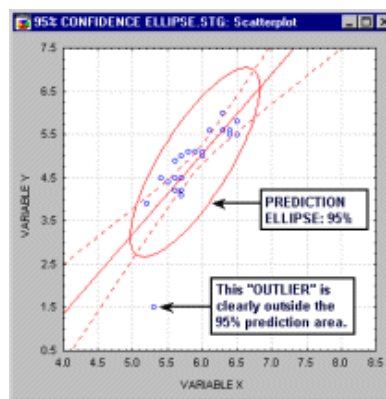
Metode

Ellipse Error Detection atau Metode Elips (Ratag, 2006) yang dikenalkan ini sangat membantu terutama untuk membentuk interval keyakinan untuk memprediksi observasi tunggal (*predictions intervals*).

Bentuk ellipse tersebut ditentukan dengan berdasarkan pada sebuah asumsi bahwa dua buah variabel yang diamati (dalam hal ini suhu dan curah hujan) mengikuti pola distribusi normal yang *bivariate*. Sedangkan orientasi elips dinyatakan sebagai sebuah korelasi linier antara dua buah variabel. Probabilitas dari harga-harga tersebut akan dicantumkan ke dalam area yang ditandai oleh ellips tersebut yang dinyatakan oleh nilai dari koefisien yang menyatakan bentuk elips tersebut (Montgomery, 1996).

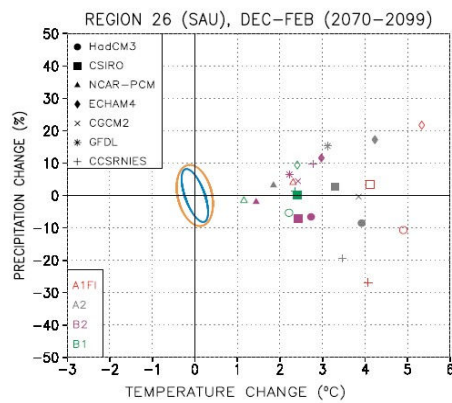
Tahapan penelitian yang pertama adalah mengumpulkan seluruh data suhu dan presipitasi dari beberapa *output* model DDC/IPCC dan selanjutnya diplot secara grafis ke dalam format suhu vs presipitasi (Ratag, 2006). Proses plotting dilakukan dengan menggunakan metode statistik yaitu *Ellipse Error Detection* (Gambar 3.2).

Probabilitas dari nilai tersebut akan berada disepanjang wilayah yang ditandai oleh bidang elips. Sedangkan plotting nilai yang berada di luar wilayah elips dapat dinyatakan sebagai deteksi signifikan.



Gambar 3.2. Model *Ellipse Error Detection* (Sumber: StatSoft, 2005)

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ruosteenoja *et al.* (2004) di sekitar wilayah SAU (South Australia), tujuh buah model skenario hingga tahun 2100 menunjukkan performa yang berbeda satu dengan yang lainnya (Gambar 3.3). Model ECHAM4 dan CSIRO menunjukkan peningkatan presipitasi hingga tahun 2100. Tetapi untuk model HadCM3 polanya justru menunjukkan adanya kecenderungan penurunan presipitasi hingga tahun 2100.



Gambar 3.3. Model *Ellipse Error Detection* Wilayah SAU (Sumber: Ruosteenoja, *et al.*, 2004)

Pada Lampiran 1 ditampilkan diagram alur dari urutan penelitian ini. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain :

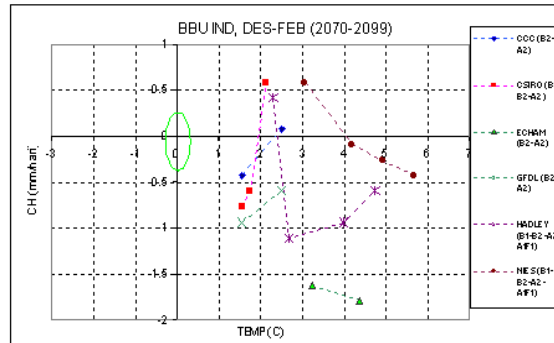
- a. Pertama mengumpulkan seluruh data skenario suhu udara dan intensitas curah hujan SRES IPCC hingga tahun 2070-2099 melalui DDC (*Data Distribution Centre*) yang dapat diakses melalui website IPCC.
- b. Memilih batas-batas grid khususnya wilayah Indonesia dari tiap-tiap model IPCC.
- c. Setelah seluruh data grid dari tiap model berhasil dikumpulkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan statistik untuk menentukan plotting nilai antara data suhu udara dan CH yang berada di luar wilayah elips yang dapat dinyatakan sebagai deteksi signifikan atau Metode Elips. Penentuan besaran interval keyakinan (*confidence interval*) yang dilakukan di dalam pengolahan data berkisar antara 85-95%.
- d. Selanjutnya seluruh hasil data yang signifikan atau yang berada di luar jangkauan elips dikumpulkan ke dalam bentuk grafis.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Skenario Curah Hujan Indonesia di Belahan Bumi Utara Hingga Tahun 2100

Setelah satu persatu kita menentukan nilai signifikan dari tiap-tiap model dengan menggunakan metode *ellipse error*, maka selanjutnya hasilnya kita plot ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui pola/kecenderungan dari skenario yang dihasilkan oleh tiap model.

Sebagai contoh selama periode DJF (Desember-Januari-Februari), masing-masing model memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda meskipun sebagian model juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Jika ditinjau berdasarkan model SRES B2 dan A1F1 yang digunakan, seluruh institusi model memperlihatkan kecenderungan yang sama dimana semakin meningkatnya suhu udara akibat peningkatan emisi karbon maka diikuti pola oleh adanya penurunan intensitas curah hujan pada tahun 2100 (Gambar 4.1). Sedangkan jika ditinjau pada hasil skenario dari beberapa institusi model memperlihatkan bahwa ECHAM dan GFDL menunjukkan tingkat kekonsistenan yang paling besar. Kedua institusi model memprediksikan adanya pola penurunan intensitas curah hujan hingga tahun 2100 untuk seluruh jenis model SRES.



Gambar 4.1. Performa model SRES IPCC periode DJF di BBU Indonesia

Tabel 4.1 merupakan salah satu contoh hasil konsistensi intensitas curah hujan di BBU Indonesia pada model SRES yang digunakan oleh seluruh institusi, memperlihatkan bahwa model A1F1 menunjukkan nilai frekuensi konsistensi yang paling besar yaitu sebesar 3. Hal ini bisa terlihat bahwa pada periode DJF, MAM dan JJA seluruh model sepakat ada kecenderungan kenaikan/penurunan intensitas curah hujan. Sedangkan jika dikaitkan dengan hasil skenario dari beberapa institusi yang menggunakan skenario SRES mulai dari kategori yang minimal (B1) hingga yang maksimal (A1F1), ternyata hampir sebagian model menunjukkan kecenderungan yang fluktuatif atau naik turun. Ada beberapa hal yang dijadikan pertimbangan dalam melihat hasil tersebut. Pertama, kecenderungan model SRES A1F1 menunjukkan hasil yang cukup konsisten lebih disebabkan karena hanya ada 2 institusi yang menggunakan model tersebut, yaitu Hadley (USA) dan NIES (Jepang). Sehingga besar kemungkinan metode serta *input* data yang digunakan memiliki asumsi yang sama. Adapun model SRES yang lain, sebagai contoh model SRES B2 dan A2 tampak berbeda, karena institusi yang menggunakan model-model tersebut lebih banyak dibandingkan model A1F1.

Model SRES	Konsisten
B1	1
B2	2
A2	0
A1F1	3

Tabel 4.1. Konsistensi model dan institusi terhadap pola intensitas curah hujan di BBU Indonesia

Institusi	Naik	Turun	Fluktuatif
CCC	0	1	3
CSIRO	1	1	2
ECHAM	1	1	2
GFDL	1	1	2
HADLEY	1	0	3
NIES	0	1	3

Perbandingan Hasil Skenario Model dengan Historis Data Curah Hujan Indonesia

Membandingkan hasil skenario model dengan historis data curah hujan di Indonesia merupakan salah satu upaya untuk melihat model-model yang cocok dengan karakteristik iklim di wilayah Indonesia. Dalam uji perbandingan ini maka dipilih beberapa stasiun pengamatan meteorologi (BMG) di wilayah Indonesia seperti yang terlihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2. 6 Stasiun pengamatan meteorologi di Indonesia

No	Stasiun	Posisi	Historis Data
1	Medan/Sumatera Utara	BBU	1978-2006
2	Sicincin/Sumatera Barat	Ekuator	1978-2006
3	Pontianak/Kalimantan Barat	Ekuator	1961-2006
4	Pondok Betung/Jakarta	BBS	1977-2007
5	Makasar/Sulawesi Selatan	BBS	1977-2006
6	Sentani/Papua	BBS	1971-2006

Metode yang digunakan adalah dengan membuat persamaan regresi linier untuk menampilkan intensitas curah hujan di keenam stasiun pengamatan tersebut hingga tahun 2100. Tabel 4.3 menampilkan persamaan regresi linier dari tiap model dan selanjutnya ditampilkan juga prediksi intensitas curah hujan hingga tahun 2100. Tujuannya adalah membandingkan dengan data intensitas curah hujan hasil skenario model yang telah dibuat oleh beberapa institusi.

Tabel 4.3. Persamaan regresi 6 stasiun

No	Stasiun	Persamaan regresi linier
1	Medan/Sumatera Utara	$Y = 14.824x + 2182.9$
2	Sicincin/Sumatera Barat	$Y = -18.732x + 5026$
3	Pontianak/Kalimantan Barat	$Y = -4.8511x + 3310.4$
4	Pondok Betung/Jakarta	$Y = -0.3071x + 2394.3$
5	Makasar/Sulawesi Selatan	$Y = -2.9105x + 3207.7$
6	Sentani/Papua	$Y = -1.8418x + 1734.8$

Tabel 4.4 memberikan hasil dari prediksi curah hujan di 6 stasiun pengamatan berdasarkan persamaan regresi pada Tabel 4.3. Untuk Medan besarnya curah hujan tahun 2100 diprediksi akan mencapai 4006.25 milimeter, atau naik sebesar 66.57% dibandingkan nilai rata-ratanya. Sedangkan untuk daerah Sicincin, Pontianak, Pondok Betung, Makasar dan Sentani, pola curah hujan diprediksikan mengalami penurunan antara 1-42%.

Tabel 4.4. *Trend* curah hujan tahun 2100

No	Stasiun	Mean	CH 2100	%
1	Medan/Sumatera Utara	2405.21	4006.25	66.57
2	Sicincin/Sumatera Barat	4745.02	2721.96	-42.64
3	Pontianak/Kalimantan Barat	3196.41	2631.25	-17.68
4	Pondok Betung/Jakarta	2389.36	2356.22	-1.39
5	Makasar/Sulawesi Selatan	3161.18	2849.71	-9.85
6	Sentani/Papua	1700.75	1495.37	-12.08

Setelah diperoleh *trend* curah hujan dari keenam wilayah pengamatan, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan hasilnya dengan skenario curah hujan yang dirilis oleh 6 institusi hingga tahun 2100. Pada Tabel 4.5 ditunjukkan hasil perbandingan terdekat antara pola/*trend* curah hujan tahun 2100 dengan hasil perhitungan model SRES IPCC.

Tabel 4.5. Perbandingan *trend* curah hujan Obs dengan Model

No	Stasiun	Mean	Trend CH 2100	%	CH Model min	%
1	Medan/Sumut	2405.21	4006.25	66.57	2689.91	11.84
2	Sicincin/Sumbar	4745.02	2721.96	-42.64	4494.99	-5.27
3	Pontianak/Kalbar	3196.41	2631.25	-17.68	2915.36	-8.79
4	Pondok Betung/Jakarta	2389.36	2356.22	-1.39	2325.49	-2.67
5	Makasar/Sulsel	3161.18	2849.71	-9.85	2868.26	-9.27
6	Sentani/Papua	1700.75	1495.37	-12.08	1512.78	-11.05

Berdasarkan Tabel 4.5, skenario curah hujan dari 6 model skenario SRES sebagian menunjukkan hasil yang sama dengan trend curah hujan yang diolah berdasarkan data historis di 6 stasiun pengamatan BMG. Berikut ini, pada Tabel 4.6 menunjukkan beberapa model SRES dimana hasilnya memperlihatkan kecocokan dengan hasil trend pengamatan.

Tabel 4.6. Hasil kecocokan Model dengan *trend* CH Obs

No	Stasiun	% terkecil	Model
1	Medan/Sumatera Utara	-49	Hadley A1F1
2	Sicincin/Sumatera Barat	39	NIES-B2
3	Pontianak/Kalimantan Barat	10	Hadley A2
4	Pondok Betung/Jakarta	-1	CCC-B2 / Hadley B2
5	Makasar/Sulawesi Selatan	1	Hadley-A1F1
6	Sentani/Papua	1	CCC-B2

Tabel 4.6, menunjukkan bahwa untuk wilayah Medan (Sumatera Utara) hasil model yang mendekati hasil *trend* curah hujan berdasarkan pengamatan pada tahun 2100 adalah model Hadley-A1F1 dengan persentase perbedaan -49%. Atau lebih rendah 49% dibandingkan hasil *trend*nya. Hasil ini tidak cukup baik, karena hampir sebagian model memperlihatkan penyimpangan untuk wilayah Medan berkisar antara 93-49%. Kondisi ini juga dapat dilihat berdasarkan Tabel 4.8. Untuk wilayah Medan hasil selisih *trend* dengan model menunjukkan perbedaan sebesar 49%.

Untuk wilayah Sicincin (Sumatera Barat) hasil skenario model yang mendekati hasil perhitungan *trend* curah hujan historis pada tahun 2100 adalah model NIES-B2 dengan persentase perbedaan sebesar 39%. Hasil yang diperoleh ini merupakan hasil yang paling mendekati, dimana untuk wilayah Sicincin penyimpangannya berkisar antara 46-39%.

Di wilayah Pontianak (Kalimantan Barat), hasil skenario model yang mendekati hasil perhitungan *trend* curah hujan historis pada tahun 2100 adalah model Hadley-A2. Hasil persentase perbedaan dengan *trend* curah hujan historis mencapai 10%. Sedangkan penyimpangannya berkisar antara 30-10%.

Bagi wilayah Pondok Betung (Jakarta), hasil skenario model yang mendekati hasil perhitungan trend curah hujan historis pada tahun 2100 adalah model CCC-B2 dan Hadley-B2. Kondisi ini sedikit menarik karena kedua model menunjukkan perbedaan yang sama. Adapun untuk wilayah Makasar (Sulawesi selatan), hasil skenario model yang mendekati hasil perhitungan *trend* curah hujan historis pada tahun 2100 adalah model Hadley-A1F1. Hasil prosentase perbedaan dengan *trend* curah hujan historis mencapai 1%. Sedangkan untuk wilayah Sentani (Papua), hasil skenario model yang mendekati hasil perhitungan *trend* curah hujan

historis pada tahun 2100 adalah model CCC-B2 (1%). Kedua model terakhir yang disebutkan menunjukkan bahwa perbedaan yang dihasilkan semakin kecil dan sejalan dengan *trend* historis curah hujan selama lebih kurang 30 tahun.

Hasil analisis perbandingan antara *trend* curah hujan historis dengan hasil skenario model SRES hingga tahun 2100 menunjukkan hasil yang cukup variatif. Model Hadley (Inggris) menunjukkan hasil yang cukup sesuai terhadap beberapa wilayah, yakni Medan, Pontianak, Pondok Betung dan Makasar. Sedangkan untuk model CCC (Canada) cocok dengan wilayah Pondok Betung dan Sentani. Adapun untuk model NIES, wilayah Sicincin lebih memiliki kecocokan dengan hasil perbedaan persentase terkecil. Berdasarkan hasil analisis memperlihatkan bahwa beberapa wilayah di Indonesia ternyata tidak mengacu pada satu model, namun memiliki kesesuaian dengan model-model yang lain.

Kondisi ini dinilai cukup beralasan karena pola iklim di tiap daerah di Indonesia memiliki pola yang berbeda satu dan lainnya. Sebagai contoh pola curah hujan antara Sicincin (Sumatera Barat) tentu akan berbeda dengan pola curah hujan di wilayah Pondok Betung (Jakarta). Hal ini disebabkan dari beberapa faktor yang cukup kompleks. Demikian pula halnya terhadap skenario model yang dihasilkan. Dalam mendisain sebuah skenario model tentu harus dipertimbangkan dari banyak faktor diantaranya seperti letak posisi geografis suatu wilayah yang berkaitan dengan proses pemanasan radiatif. Hasil skenario model SRES yang memiliki kecocokan dengan hasil *trend* historis curah hujan di Indonesia ternyata pada model A2, B2 dan A1F1. Untuk model A2 dan B2 ternyata pendekatan regional atau dunia dalam kondisi yang heterogen lebih cocok ketimbang model A1/B1 yang melihat hasil skenario berdasarkan pendekatan global.

Pada model A2 ternyata pendapatan per kapita penduduk di negara-negara berkembang berada pada level minimum (\$11.000) dan populasi penduduk berada pada level maksimum (12.9%). Sedangkan untuk pertumbuhan ekonomi (2.3%) dan penggunaan tutupan lahan, model A2 berada pada level menengah (*medium*). Adapun pada model B2 ternyata seluruh gaya pengendali di negara berkembang justru berada pada level menengah (*medium*).

Sedangkan untuk model A1F1 yang memiliki kesamaan dengan wilayah Medan dan Makasar, hal ini berkaitan dengan asumsi pada model A1F1 terhadap kedua wilayah tersebut dimana seluruh gaya pengendali berada pada level maksimum (*high*). Seperti kita ketahui kedua wilayah ini merupakan salah satu kota besar di wilayah Indonesia yang saat ini menuju ke arah kota industri dengan pertumbuhan populasi penduduk yang sangat tinggi.

KESIMPULAN

Dari beberapa analisis yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut :

1. Tidak dipungkiri dari berbagai variasi model skenario perubahan iklim yang telah dibuat oleh beberapa institusi penelitian dari berbagai negara, sebenarnya cukup membantu dalam pemberian informasi yang bersifat ilmiah terutama dalam menghadapi isu krisis perubahan iklim di Indonesia.
2. Dari beberapa model yang telah direkomendasikan penggunaannya oleh IPCC itu, model tersebut memiliki beberapa asumsi yang berbeda, mulai dari kategori yang minimal yaitu penggunaan teknologi bahan bakar fosil yang cukup intensif hingga yang maksimal yaitu penggunaan teknologi sumber energi yang bersih dan efisien. Meskipun muncul beberapa perbedaan yang menyangkut asumsi, namun model-model tersebut memiliki kecenderungan yang hampir sama, yakni adanya kecenderungan peningkatan suhu permukaan bumi secara global.
3. Jika dikaitkan dengan dampak yang ditimbulkan terhadap kecenderungan pola intensitas curah hujan di wilayah Indonesia, ternyata dengan menggunakan Analisis Statistik, atau lebih dikenal dengan Metode *Ellipse Error*, ternyata seluruh model yang mengacu pada Skenario SRES (*Special Report on Emission Scenario*) menunjukkan performa yang berbeda. Sumber dari ketidakkonsistenan tersebut dapat disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya adalah munculnya variasi statistik (kesalahan sistematik), penjelasan yang tidak sempurna (ketidaksamaan skema konveksi) dan parameter-parameter lainnya.
4. Berdasarkan hasil kajian perbandingan antara trend historis curah hujan dengan proyeksi model SRES IPCC hingga tahun 2100 menunjukkan bahwa model A2 dan B2 lebih cocok untuk digunakan di wilayah Indonesia. Sedangkan untuk wilayah kota besar dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi penduduk yang tinggi, model A1F1 lebih tepat digunakan sebagai pertimbangan terhadap pola iklim di wilayah tersebut.
5. Hasil model skenario HadCM3 (**Hadley Centre Coupled Model, version 3**) yang dikembangkan oleh the Hadley Centre di Inggris sementara ini memiliki prosentase kecocokan yang sangat tinggi khususnya untuk beberapa wilayah di Indonesia seperti Medan, Pontianak, Pondok betung dan Makasar.

DAFTAR PUSTAKA

- (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. Emission Scenarios : Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge, Cambridge University Press.
- IPCC. 2001. Data Distribution Centre.
- Ratag, M.A. 2006. Climate Change and Impacts in the South-West Pacific ; Range of Uncertainty and Variability in Future Climate Change, Invited Lecture, 14th Session, WMO RA V, Indonesia National Agency for Meteorology and Geophysics (BMG).
- Montgomery. 1996. Statistic.
- Ruosteenoja, K., T.R. Carter, K. Jylhä and H. Tuomenvirta. 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. The Finnish Environment 644, Finnish Environment Institute, 83pp
- Thorpe, A.J. 2005. Climate Change Prediction: A challenging scientific problem : Explains how predictions of future climate change are made using climate models, 2005
- Tjasyono B. HK. 2004. Klimatologi, Penerbit ITB, 265-284.

PEMANFAATAN INFORMASI PRAKIRAAN IKLIM UNTUK MENDUKUNG USAHA TAMBAK UDANG DAN GARAM DI INDRAMAYU

Kiki Kartikasari¹ dan Rizaldi Boer²

1. Asisten Laboran di Laboratorium Klimatologi – Dept. Geofisika dan Meteorologi
Fakultas MIPA Institut Pertanian Bogor
2. Staf Dosen Departemen Geofisika dan Meteorologi Fakultas MIPA Institut
Pertanian Bogor

Abstract

Prawn and salt farming was significantly influenced by rainfall variability in dry season. Under long period of dry season (April-September), the salinity of fresh water may increase. This will decrease the prawn production and increase the salt production. However, more rainfall under dry season causes opposite condition. The production of prawn and salt are also affected by flooding which usually occurs in December and February that will completely flash out prawns from ponds to ocean. As a consequence farmers will not get any yield. The current skill on seasonal climate forecast is reasonably well for rainfall from May to December, particularly during ENSO (El Nino and Southern Oscillation) years, the use of SOI (Southern Oscillation Index) information can help farmers to set up better farming strategies. This study was aimed to assess the economic value of using SOI information for prawn and salt farming in Indramayu, West Java Province. Involving 10 years data series of rainfall and production of salt and prawn at sub-district level, the analysis revealed that the 3-months period of rainfall minus evaporation significantly correlated with the previous 3-month of SOI phase. Similarly, anomaly of prawn and salt production for a given 3-month period also significantly correlated with the previous 3-month period of P-E. The benefit of using SOI information was evaluated from those relations. It is expected that using SOI information for designing the farming activities will help the farmers get higher gross income.

Key words: ENSO, SOI, dry season

PENDAHULUAN

Sumber daya laut dan pesisir merupakan salah satu aset bangsa yang sangat potensial untuk dikembangkan. Kegiatan pemanfaatan sumber daya laut dan pesisir diantaranya adalah usaha tambak udang dan garam. Akan tetapi kebanyakan usaha tambak udang di Indonesia masih dikelola secara tradisional. Demikian juga usaha tani garam yang

belum banyak memperoleh perhatian, walaupun kebutuhan garam dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan industri.

Tambak udang dan garam merupakan jenis usaha yang sangat terkait dengan kualitas air, terutama salinitas. Perubahan salinitas tambak udang sangat dipengaruhi oleh kontinuitas, pola dan durasi curah hujan di kawasan tambak (Lubis, 2002). Oleh karena itu informasi yang lengkap mengenai keadaan iklim terutama sifat-sifat hujan di lokasi tambak sangat dibutuhkan. Sifat hujan seperti panjang musim kemarau, tinggi hujan dan frekuensi hujan sangat berkaitan dengan persediaan sumber air tawar, penurunan atau peningkatan salinitas, penentuan musim tebar dan lain-lain.

Pemanfaatan informasi prakiraan iklim yang memiliki tingkat keandalan baik akan dapat memberikan keuntungan usaha tambak udang dan garam karena dapat digunakan menyesuaikan strategi tanam. Penyesuaian strategi tanam dengan hasil ramalan musim dapat mengurangi atau menghindari risiko kegagalan panen akibat kondisi iklim yang tidak menguntungkan. Akan tetapi untuk dapat menggunakan informasi prakiraan secara efektif, harus didukung pula dengan kemampuan yang baik dari pengguna dalam menguasai teknologi aplikasi informasi prakiraan musim yang diberikan.

Secara spesifik studi ini bertujuan untuk mempelajari kalender aktivitas petani tambak udang dan garam di Indramayu, menghitung kelayakan usaha tambak udang dan garam, menghitung dampak kejadian iklim ekstrim terhadap petani tambak udang dan garam untuk selanjutnya mengkaji potensi pemanfaatan informasi prakiraan iklim bagi usaha tambak udang dan garam.

KERAGAMAN IKLIM DAN PRODUKSI UDANG DAN GARAM

Tambak udang termasuk usaha yang produktivitasnya rentan dipengaruhi oleh perubahan kualitas air, terutama perubahan salinitas atau kadar garam. Salinitas dianggap sebagai salah satu aspek penting karena mempengaruhi pertumbuhan udang. Terutama terkait dengan kondisi udang setelah *moulting* (berganti kulit). Udang muda (1-2 bulan) membutuhkan kadar garam 15-25 ppt agar pertumbuhannya optimal. Setelah usia lebih dari 2 bulan, pertumbuhan udang relatif baik pada kadar garam 25-34 ppt (Suyanto Suyatno dan Mujiman, 2004). Pada kondisi tertentu sumber air tambak menjadi hipersalin (>40 ppt). Kondisi tersebut biasanya terjadi pada saat musim kemarau.

Demikian juga usaha tani garam yang secara langsung dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Beberapa faktor lain yang mempengaruhi produksi garam selain cuaca diantaranya mutu air laut, porositas dan jenis tanah

pada ladang garam. Kondisi cuaca ideal yang diharapkan di wilayah ladang garam adalah (Purbani, 2001):

- Evaporasi tinggi
- Kecepatan angin lebih dari 5 m/detik dan arah angin tidak berubah-ubah
- Suhu udara lebih dari 32°C
- Penyinaran matahari 100%
- Kelembaban udara kurang dari 50%.
- Curah hujan rendah dan hari hujan sedikit

Panjang musim kemarau juga berpengaruh langsung kepada “kesempatan” untuk membuat garam dengan bantuan sinar matahari. Kecepatan angin, kelembaban udara dan suhu udara mempengaruhi kecepatan penguapan air, dimana makin besar penguapan maka makin besar jumlah kristal garam yang mengendap. Sedangkan untuk curah hujan (intensitas) dan pola distribusi hujan dalam setahun rata-rata merupakan indikator yang berkaitan erat proses pembentukan garam.

Indonesia sebagai negara tropis yang dilalui garis ekuator dan dipengaruhi oleh Samudera Pasifik dan Hindia, salah satu unsur iklim yang paling tampak variasinya adalah curah hujan. Sedikitnya ada lima faktor yang turut mempengaruhi kondisi curah hujan di Indonesia antara lain sirkulasi meridional (Hadley), sirkulasi zonal (Walker), aktivitas monsoon, siklon tropis dan pengaruh lokal (topografi). Kelima faktor ini bekerja bersamaan secara simultan sepanjang tahun di Indonesia. Pada kondisi tertentu salah satu faktor dapat saja menjadi lebih dominan dibanding yang lain. Variasi curah hujan ekstrem dapat menyebabkan bencana banjir maupun kekeringan.

Indonesia telah mengalami kejadian kekeringan tidak kurang dari 43 kali sejak tahun 1844, dan hanya 6 kali diantaranya yang tidak bersamaan dengan fenomena ENSO (Boer dan Subbiah, 2003). Pada saat fenomena ENSO berlangsung, hujan pada sebagian besar wilayah Indonesia umumnya di bawah normal. Namun demikian, pengaruh kejadian *El-Niño* terhadap keragaman hujan di Indonesia beragam antar wilayah. Menurut Tjasyono dalam Boer (2003) pengaruh *El Niño* kuat pada daerah dengan tipe hujan monsonal, lemah pada daerah equatorial dan tidak jelas pada daerah dengan tipe hujan lokal. sehingga fenomena ENSO dapat dijadikan salah satu indikator untuk menduga sifat hujan di wilayah Indonesia.

Untuk melihat pengaruh keragaman iklim terhadap produksi udang, variabel yang digunakan adalah selisih curah hujan dan evaporasi. Hubungan antara anomali produksi udang tiga bulanan \hat{A}_i dan keragaman iklim disusun dengan menggunakan regresi linier sederhana:

$$\hat{A}_i = a + bx$$

x adalah selisih antara curah hujan dan evaporasi tiga bulanan (CH-E). Pemilihan peubah x didasarkan pada pertimbangan bahwa produksi udang sangat dipengaruhi oleh perubahan salinitas air selama perkembangannya (Lubis, 2002). Diperkirakan dengan semakin negatif nilai x, salinitas air semakin tinggi yang biasanya akan diikuti dengan menurunnya produksi udang. Dengan pertimbangan ini nilai x yang digunakan ialah nilai X tiga bulan sebelumnya (x_{lag1}), sehingga persamaan menjadi:

$$\hat{A}_i = a + bx_{lag1}$$

Untuk menguji konsistensi model di atas, dilakukan analisis *cross validation* dengan metode *jack-knife* yaitu mengkalkulasi variabel dugaan \hat{A}_i pada setiap kemungkinan subset data dengan menghilangkan satu per satu data observasi. Ini dilakukan untuk mengindikasikan distribusi *error* dari variabel dugaan \hat{A}_i .

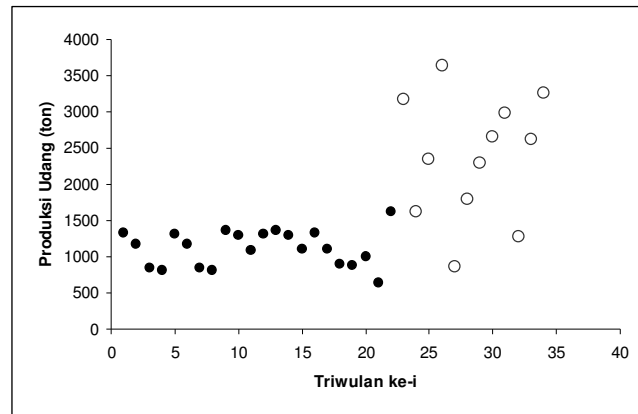
Anomali produksi udang dan garam dibuat berdasarkan data seri. Persamaan yang digunakan:

$$A_i = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$$

A_i = Anomali produksi udang/garam pada triwulan ke-i

y_i = Data produksi udang/garam pada triwulan ke-i yang sudah dihilangkan trennya.

\hat{y}_i = Nilai y dugaan yang diperoleh dengan membuat persamaan fitting (Jones dan Boer, 2004) antara y_i dengan waktu (T dalam Triwulan): $\hat{y}_i = a + bT$



Gambar 1. Produksi udang Kabupaten Indramayu tahun 1997-2006

Produksi udang Kabupaten Indramayu mengikuti pola peningkatan dari tahun ke tahun (Gambar 1). Ini bisa disebabkan oleh perluasan areal tambak, perkembangan teknologi yang diaplikasikan dalam budidaya udang atau bertambahnya tingkat pengetahuan petani.

Hasil analisis menunjukkan bahwa data anomali produksi tiga bulanan diketahui menunjukkan trend hubungan dengan curah hujan- evaporasi tiga bulan sebelumnya. Apabila evaporasi lebih tinggi dari curah hujan (CH-E negatif) maka anomali produksi semakin negatif atau produksi udang cenderung lebih rendah dari rata-rata (Gambar 2). Demikian pula sebaliknya, jika selisih curah hujan dan evaporasi positif maka anomali produksi udang positif atau produksi udang lebih tinggi dari rata-rata.

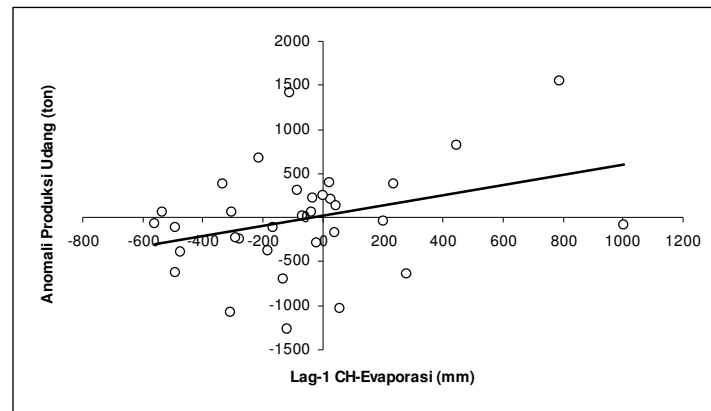
Persamaan regresi yang mewakili hubungan anomali produksi dengan CH dan evaporasi adalah:

$$y = 0.5759x + 19.1955$$

dimana

y : Anomali produksi pada triwulan ke-i (ton)

x : Nilai CH dikurangi evaporasi pada triwulan ke i-1 (mm)



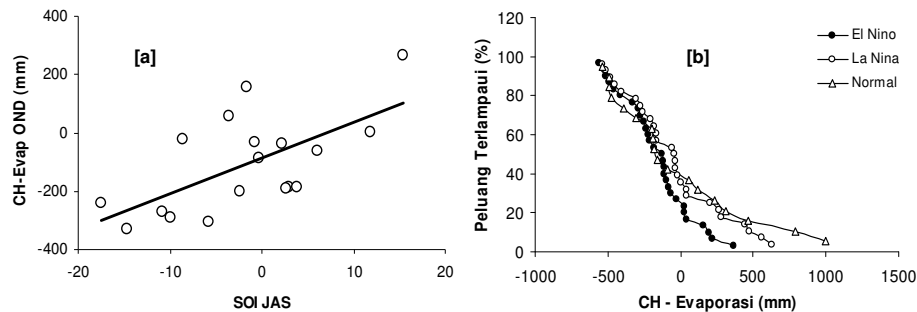
Gambar 2. Hubungan antara anomali produksi udang dengan selisih CH-E 3 (tiga) bulan sebelumnya

Pada saat survei dilaksanakan (Agustus 2006) usia udang masih muda sekitar 1-2 bulan dan dari pengukuran di enam lokasi berbeda diketahui salinitasnya rata-rata sudah mencapai 40-50 ppt, sangat jauh dari kondisi ideal yang dibutuhkan udang muda yaitu pada kisaran 15-25 ppt (Suyanto dan Mujiman, 2004). Diakui petani, kondisi ini sering terjadi hampir disetiap musim kemarau. Air tambak menjadi hipersalin karena sedikit atau bahkan tidak adanya curah hujan serta tingginya evaporasi,

sementara itu lokasi tambak di Indramayu kecil kemungkinan bisa memperoleh pasokan air tawar.

SSelisih curah hujan dan evaporasi wilayah Indramayu tiga bulanan tertentu berhubungan dengan nilai rata-rata SOI tiga bulan sebelumnya. Pada Gambar 3 selisih curah hujan dan evaporasi bulan Oktober-November-Desember berkorelasi positif dengan nilai rata-rata SOI Juli-Agustus-September atau rata-rata SOI tiga bulan sebelumnya. Dari analisis tersebut dapat disusun peluang memperoleh selisih curah hujan dan evaporasi pada tiga kondisi (*El Niño*, *La Nina* dan Normal).

Sebaran peluang memperoleh selisih curah hujan dan evaporasi pada triwulan pertama atau periode Januari-Februari-Maret dalam tiga kondisi (*El Niño*, *La Nina* dan Normal) dapat dilihat pada Gambar 3. Peluang selisih curah hujan dan evaporasi pada triwulan pertama dalam kondisi *El Niño* selalu lebih rendah dari peluang dalam kondisi *La Nina* dan Normal, selain itu nilainya juga selalu positif atau dengan kata lain curah hujan selalu lebih tinggi dari evaporasi.



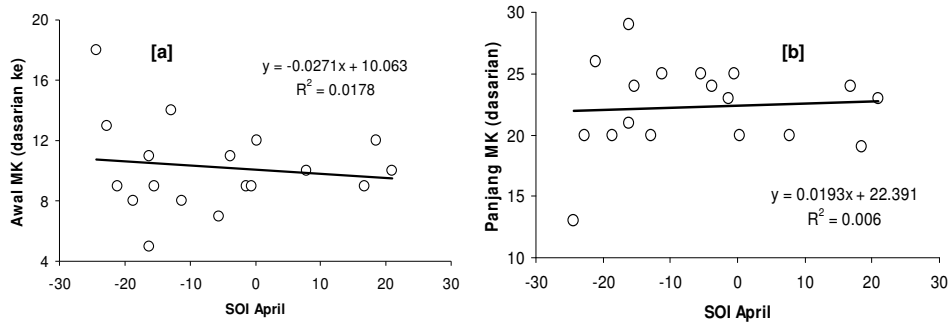
Gambar 3. Hubungan selisih CH-E Triwulan ke-IV (Oktober-November-Desember) dengan rata-rata SOI tiga bulan sebelumnya (Juli-Agustus-September) [a] Sebaran peluang kejadian selisih CH-E pada kondisi *El Niño*, *La Nina* dan Normal [b]

Meskipun demikian, menurut Biro Meteorologi Australia, kemampuan prediksi dengan menggunakan indikator ENSO untuk periode Februari hingga April kurang akurat. Hal ini disebabkan karena adanya “*predictability barrier*” seperti yang dijelaskan oleh Battisti (1995)..

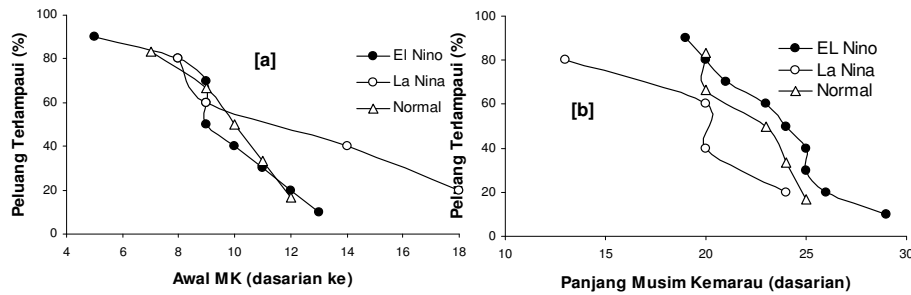
Menurut Boer (2003), fenomena ENSO tidak hanya mempengaruhi tinggi hujan tetapi juga mempengaruhi masuknya awal musim kemarau atau akhir musim hujan serta panjang musim kemarau tergantung pada waktu pembentukan, lama dan intensitasnya. Pada umumnya pada saat terjadi *El-Niño*, awal musim hujan di wilayah bertipe iklim monsoon mengalami keterlambatan antara satu sampai dua bulan, sebaliknya pada

saat berlangsungnya fenomena *La-Nina*, akhir musim hujan mengalami keterlambatan atau awal masuknya musim kemarau mundur sekitar satu bulan (Gambar). Hubungan SOI terhadap awal masuk dan panjang musim kemarau memungkinkan kita menyusun peluang awal masuk musim kemarau (Gambar 5).

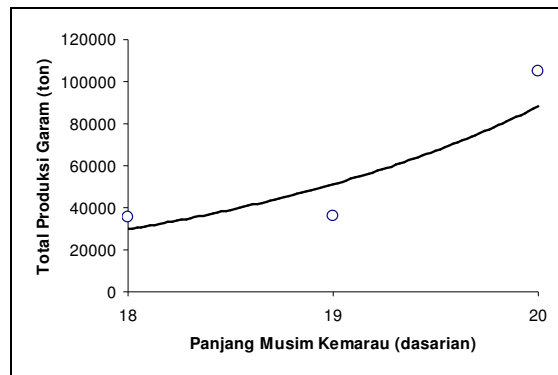
Sementara itu total produksi garam Kabupaten Indramayu secara eksponensial berhubungan dengan panjang musim kemarau (Gambar 6), sehingga informasi SOI kemudian dapat digunakan untuk menduga total produksi garam.



Gambar 4. Hubungan SOI dengan awal musim kemarau [a] dan panjang musim kemarau [b]



Gambar 5. Sebaran peluang awal musim kemarau [a] dan panjang musim kemarau [b] pada kondisi *El Nino*, *La Nina* dan Normal



Gambar 6. Total produksi garam di Kabupaten Indramayu secara eksponensial berhubungan dengan panjang musim kemarau

PEMANFAATAN INFORMASI PRAKIRAAN IKLIM UNTUK Mendukung USAHA TAMBAK UDANG DAN GARAM

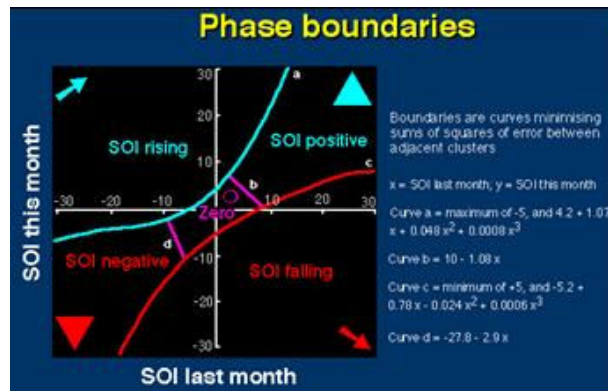
Bagi petani tambak udang, prediksi awal masuk musim kemarau dan panjang musim kemarau juga bermanfaat untuk menentukan pengambilan keputusan waktu tebar benih. Jika diketahui musim kemarau akan panjang maka petani dapat mengganti komoditas yang ditanam dengan jenis lain yang lebih tahan terhadap kondisi salinitas tinggi, atau petani dapat tetap menanam udang tetapi dikombinasikan dengan komoditas lain yang lebih tahan terhadap kondisi salinitas tinggi sehingga kerugian dapat diminimalisir tetapi juga mempunyai kemungkinan mendapat keuntungan jika ternyata harga udang melonjak naik, atau bahkan membatalkan rencana tanam, jadi dalam setahun hanya melakukan dua kali tanam saja.

Petani garam yang umumnya usaha utamanya adalah petani tanaman pangan (padi), jika dapat diprediksi musim kemarau akan panjang maka mereka akan segera memutuskan untuk tidak tanam gadu (tanam musim kedua) tapi langsung mempersiapkan lahan untuk penggaraman pada awal masuk musim kemarau. Dengan demikian kerugian akibat tanam gadu yang gagal dapat dihindari sekaligus keuntungan bertambah dengan memulai penggaraman pada waktu yang tepat serta mendapatkan produksi dan harga (pendapatan) optimum sepanjang musim kemarau.

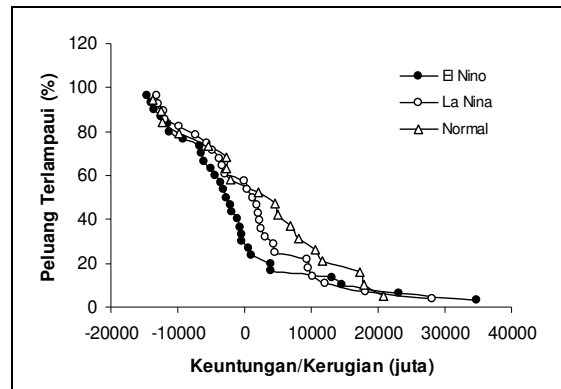
Analisis potensi pemanfaatan informasi prakiraan iklim untuk usaha tambak udang dan garam dilakukan berdasarkan hasil analisis produksi dan korelasinya dengan sifat iklim (hujan) yaitu selisih curah hujan dan evaporasi pada kondisi tahun *El Niño*, Normal dan *La Nina* serta evaporasi. Hasil analisis ini kemudian akan digunakan untuk menduga sebaran keuntungan/kerugian kotor (*gross margin*) pada tiga kondisi (*El Niño*,

Normal dan *La Nina*). Indikator ENSO yang digunakan dalam analisis ini adalah fase Skeuntungan/kerugian kotor tiga bulanan yang dihitung dari anomali produksi yang dikorelasikan dengan fase SOI pada periode yang sama. Kemudian disusun sebaran peluang untuk masing-masing kondisi (*El Niño*, *La Nina* dan Normal).

Fase SOI tiga bulanan ditentukan dari nilai rata-rata SOI tiga bulanan periode tertentu dengan nilai rata-rata SOI tiga bulanan periode sebelumnya. Dengan menggunakan Gambar *ly falling*” atau menurut Secara umum, penggunaan Fase SOI untuk menduga peluang hujan musiman memberikan hasil yang lebih akurat dibanding analisis menggunakan nilai rata-rata SOI (Paull, 1995).



Gambar 7. Kurva pembatas masing-masing cluster (Stone R *et al.*, 1996)



Gambar 8. Sebaran peluang keuntungan/kerugian pada kondisi *El Niño*, *La Nina* dan Normal

Perhitungan *gross margin* dilakukan dengan analisis usaha per musim tanam yang menggunakan informasi rata-rata total produksi udang Kabupaten Indramayu 1600 kg, produktivitas per hektar 175 kg, harga jual per kilogram Rp. 55000,- (harga berlaku pada saat pelaksanaan survei) dan modal usaha Rp. 9.395.000,-/ha. Kemudian hasil perkiraan

gross margin diplotkan dengan data fase SOI sehingga diperoleh sebaran peluang memperoleh keuntungan/kerugian sebanyak jumlah tertentu pada masing-masing kondisi *El Nino*, *La Nina* dan Normal (Gambar 8).

Peluang Kabupaten Indramayu memperoleh kerugian hingga 10 miliar rupiah dari sektor perikanan tambak udang kurang lebih 77% pada kondisi *El Nino*, 82% pada kondisi *La Nina* dan 79% pada kondisi normal. Sehingga, apabila informasi prakiraan iklim yang tepat dimanfaatkan maka petani dapat melakukan strategi usaha maupun budidaya dan Kabupaten Indramayu bisa menghindari kehilangan pendapatan dari sektor ini hingga 10 miliar rupiah.

KESIMPULAN

Informasi prakiraan iklim diperlukan dalam mendukung sistem usaha tambak udang dan tani garam. Oleh karena itu apabila kejadian iklim ekstrim (dalam hal ini khususnya yang berasosiasi dengan ENSO) dapat diprediksi lebih awal maka kerugian yang ditimbulkan dapat ditekan, pendapatan daerah dari sektor ini juga dapat terselamatkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa anomali produksi udang periode tiga bulan tertentu berhubungan secara linier dengan selisih curah hujan dan evaporasi (CH-E) pada periode tiga bulan sebelumnya. Nilai CH-E untuk periode tiga bulanan dapat diprakirakan dengan menggunakan informasi fase SOI. Nilai fase SOI triwulan berjalan ditentukan dari nilai SOI pada triwulan sebelumnya. Apabila nilai SOI triwulan berjalan menurun tajam atau bernilai konstan negatif dibanding triwulan sebelumnya maka dikatakan pada triwulan tersebut berlangsung *El-Nino*. Sebaliknya apabila nilai SOI triwulan berjalan meningkat tajam atau bernilai konstan positif dibanding triwulan sebelumnya maka dikatakan pada triwulan tersebut berlangsung *LD* Dengan menggunakan persamaan-persamaan hubungan di atas dan informasi fase SOI, nilai ekonomi informasi iklim dapat ditentukan.

Bagi pengusaha tambak udang, dengan mengetahui fase SOI sebagai indikator ENSO dapat diketahui peluang *gross margin* usahanya, sehingga ini dapat membantu petani membuat keputusan. Keputusan tersebut terkait penentuan waktu tebar benih, pemilihan komoditas yang ditanam, dan sebagainya.

Petani garam yang umumnya usaha utamanya adalah petani tanaman pangan (padi), jika dapat diprediksi musim kemarau akan panjang maka mereka akan segera memutuskan untuk tidak tanam gadu (tanam musim kedua) tapi langsung mempersiapkan lahan untuk menggaram pada awal masuk musim kemarau. Dengan demikian kerugian akibat tanam gadu yang gagal dapat dihindari sekaligus keuntungan bertambah dengan

memulai penggaraman pada waktu yang tepat serta mendapatkan produksi dan harga (pendapatan) optimum sepanjang musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto E, dan Liviawaty E. 1991. Teknik Pembuatan Tambak Udang. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 132p.
- BAPEDA. 2004. Selayang Pandang Indramayu. Badan Perencanaan Daerah Kabupaten Indramayu. Indramayu.
- Battisti, D. 1995. Predictions of ENSO. Rev. Geophys. Vol. 33 Suppl. American Geophysical Union. Washington, US. <http://www.agu.org/revgeophys/battis01/node13.html>.
- Boer R, dan Subbiah AR. 2003. Agricultural Drought in Indonesia. Dalam: Agriculture and Drought. Oxford University Press. UK.
- Boer R, Subbiah AR, Tamkani K, Hardjanto H, Alimoeso S. 2004. Institutionalizing Climate Information Application: Indonesian Case. Paper disajikan pada Inter-regional Workshop on Strengthening Operational Agrometeorological Services at the National Level, Manila Philippines 22-26 March 2004.
- Boer, R. 2003. Fenomena ENSO dan Hubungannya dengan Keragaman Hujan di Indonesia. Dalam: Climate Full.
- BOM Australia. 2007. <http://www.bom.gov.au/>
- Boyd, CE. 1988. Water Quality of Warmwater Fish Ponds. Auburn University, Agricultural Research Center. Alabama, USA. 534p.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2006. www.tekmira.esdm.go.id
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 258p.
- FAO. 1997. Review of the State of World Aquaculture. FAO Fisheries Circular 886, Vol 1. FAO Fisheries Department.
- Gu D, and Philander SGH. 1999. A Theory for Interdecadal Climate Fluctuations. Dalam: Navarra, A (Ed). Beyond El Niño: Decadal and Interdecadal Climate Variability. Heidelberg: Springer. Halaman: 301-305.
- Haliman RW, dan Adijaya D. 2005. Udang Vannamei: Pembudidayaan dan Prospek Pasar Udang Putih yang Tahan Penyakit. Penebar Swadaya. Jakarta. 75p.
- Jones R, and Boer R. 2004. Assessing Current Climate Risks. in: Bo Lim and Erika Spanger-Siegfried (Eds). Adaptation Policy Frameworks for

- Climate Change: developing strategies, policies and measures. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom. pp: 91- 117.
- Kirono DGC, and Partridge IJ. 2002. The Climate and the SOI. Dalam: Partridge, IJ and Ma'shum, M (Eds). Will it Rain?: The Effect of the Southern Oscillation and El Niño in Indonesia. Brisbane: Publishing Services, Department of Primary Industries. Halaman: 17-24.
- Livezey, RE. 1995. The Development of Climate Research. Dalam: von Storch, H and Navarra, A (Eds). Analysis of Climate Variability: Application of Statistical Techniques. Proceeding of an Autumn School Organized by the Commission of the European Community on Elba from October 30th to November 6th 1993. Heidelberg: Springer. Halaman: 179-198.
- Lubis, A. 2002. Aplikasi Metode Spektral Analisis Arma pada Estimasi Awal Limpasan Maksimum untuk Kawasan Tambak Udang. Research Report from JBPTITBPP. Lembaga Penelitian ITB. Bandung.
- Mason, SJ. 2004. Cross-Validation and Other "Out-of-Sample" Testing Strategies. Paper presented in AMS Short Course on Significance Testing, Model Evaluation and Alternatives. Seattle, January 11st 2004. <http://iri.columbia.edu/>
- Nasir, AA. 1993. Ruang Lingkup Klimatologi. Dalam: Handoko (editor). Klimatologi Dasar: Landasan Pemahaman Fisika Atmosfer dan Unsur-unsur Iklim. Bogor: Jurusan Geofisika dan Meteorologi.
- Navarra, A. 1995. The Development of Climate Research. Dalam: von Storch, H and Navarra, A (Eds). Analysis of Climate Variability: Application of Statistical Techniques. Proceeding of an Autumn School Organized by the Commission of the European Community on Elba from October 30th to November 6th 1993. Heidelberg: Springer. Halaman: 3-9.
- Paull, C. 1995. Use of Trends in the SOI. Risk Management and Drought, Queensland Department of Primary Industries. www.longpaddock.qld.gov.au
- Pemerintah Daerah Kabupaten Indramayu. 2006. www.indramayu.go.id
- Purbani, D. 2001. Proses Pembentukan Kristalisasi Garam. Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan. Laporan Penelitian. <http://www.geocities.com/trisaktigeology84/garam.pdf>
- Siregar PR, dan Hasanah I. 2006. Wajah Tambak Udang Indonesia: Keberlanjutan, Keadilan dan Ketergantungan. WALHI. Jakarta. 132p.
- Stone R Hammer GL and Marcussen, T. 1996. Prediction of Global Rainfall Probabilities using Phases of the Southern Oscillation Index. Nature, 384. 252-255.

Suyatno SR, dan Mujiman A. 2004. *Budidaya Udang Windu*. Edisi ke-XVII. Penebar Swadaya. Jakarta. 213p.

Wikipedia. 2005. http://id.wikipedia.org/wiki/Tambak_udang

IDENTIFIKASI KEBUTUHAN TEKNOLOGI DALAM UPAYA ANTISIPASI KEJADIAN IKLIM EKSTRIM (BANJIR DAN KEKERINGAN) DI DESA NOELBAKI, KECAMATAN KUPANG TENGAH, KABUPATEN KUPANG, NUSA TENGGARA TIMUR

A. Kedang, B.B. de Rosari, M. Ratnada, B. Murdolelono, Haruna, A. Geru dan R. Boer

Abstract

Upaya mengatasi kejadian iklim ekstrim (banjir dan kekeringan) khususnya di Desa Noelbaki Kecamatan Kupang Tengah melalui identifikasi teknologi yang dibutuhkan dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain kondisi iklim dan sistem usahatani lahan kering, lahan usahatani yang marjinal, pengetahuan dan teknologi usahatani serta kondisi sosial ekonomi petani yang masih rendah. Identifikasi dilakukan dengan pendekatan Participatory Rural Appraisal (PRA) atau Pemahaman Pedesaan Secara Partisipatif (PPSP) untuk menggali informasi potensi sumberdaya alam dan manusia serta permasalahannya. Penggalan informasi dilakukan pada 2 kelompok tani responden; yaitu kelompok tani Usaha Bersama Air Sagu dan Rindu Sejahtera Kali Dendeng. Identifikasi permasalahan berdasarkan PRA adalah sebagai berikut: a) sistem pengaturan air irigasi masih belum sempurna menyebabkan terjadi kelebihan air dan sebaliknya pembagian air yang tidak merata, b) rendahnya pemahaman tentang iklim dan lebih bersifat indigenus. Petani mengalami kerugian karena tanam berulang dan gagal panen karena ketersediaan air kurang saat pengisian buah, c) teknologi tersedia belum diadopsi petani, d) hama pada padi dan tanaman hortikultura pada fase pertumbuhan tanaman, dan e) terjadinya angin kencang saat fase pengisian buah. Berdasarkan keadaan tersebut maka prioritas program yang diusulkan kedua kelompok tani tersebut adalah (i) pengenalan teknologi yang dapat mengatasi perubahan kejadian hujan untuk penentuan waktu tanam, (ii) pengenalan teknologi identifikasi dan pengendalian hama dan penyakit tanaman dan (iii) permasalahan manajemen usahatani dan solusinya untuk meningkatkan pendapatan petani.

PENDAHULUAN

Wilayah Nusa Tenggara Timur tergolong beriklim agak kering, tipe E menurut Schmidt-Ferguson dengan 7-8 bulan kering dan 4-5 bulan basah, curah hujan tahunan rendah, data tahun 2003 menunjukkan kisaran antara 602-2.504 mm/tahun dengan rata-rata 1.449 mm/tahun tertinggi di Kabupaten Manggarai, yaitu sebesar 2.504 mm/tahun dan terendah di Kabupaten Lembata sebesar 602 mm/tahun. Jumlah hari kering mencapai 296 hari/tahun (82%) yang berarti sebanyak 69 hari

hujan/basah (Kedang, 2004). Sebagian besar wilayah NTT, terutama Kabupaten Kupang, merupakan wilayah yang potensial mengalami kering berkepanjangan, rentan terhadap kejadian banjir (*run off* yang tinggi) akibat hujan tinggi dalam periode yang pendek, yang tidak jarang menimbulkan risiko tanam berulang dan tingkat kehilangan hasil produksi yang tinggi. Hal ini dapat dilihat pada informasi yang disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data Luas Tanam, Luas Panen dan Serangan OPT pada Padi Sawah, Kabupaten Kupang

Tahun	Luas Tanam		Luas Panen		Produksi		Serangan OPT	
	Padi	Jagung	Padi	Jagung	Padi	Jagung	Padi	Jagung
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ton)	(ton)	(ha)	(ha)
1999	21,044	23,243	20,469	22,617	54,975	54,461	-	
2000	20,044	24,280	19,872	23,314	43,663	53,535	-	
2001	17,786	23,401	17,368	23,185	55,456	55,203	-	
2002	17,409	27,601	16,846	26,546	56,908	59,660	85	36
2003	15,068	18,523	15,042	17,947	47,637	41,675	141	103
2004	8,888	31,046	8,561	27,402	29,368	67,165	353	
2005	3,367	20,615	3,146	14,945	10,027	35,662	52	31
Jumlah	103,606	168,709	101,304	155,956	298,034	367,361	631	170

Sumber : Dinas Pertanian Tanaman Pangan Prop. NTT, 2006

Sepanjang tahun 1999-2006 di Kabupaten Kupang mengalami kerugian akibat iklim ekstrim (Tabel 1). Serangan OPT tertinggi pada tanaman padi terjadi pada tahun 2004 seluas 353 Ha sedangkan pada tanaman jagung terjadi pada tahun 2003 seluas 103 Ha. Luas kerusakan akibat banjir tahun 2006 pada usahatani padi sawah adalah 2.732 ha yang terparah terjadi pada Desa Oesao Kecamatan Kupang Timur, sedangkan pada lahan padi gogo sebesar 53 ha.

Menurut Boer (2005), upaya untuk mengurangi risiko iklim ini perlu dilakukan secara holistik dan terintegrasi mulai dari tingkat pusat sampai ke tingkat daerah, melalui tiga pendekatan yang dapat dilakukan dalam mengatasi masalah ini yaitu pendekatan strategis, taktis, dan operasional. Penyusunan langkah langkah operasional dan proses pelembagaan merupakan langkah untuk mengantisipasi kejadian iklim ekstrim atau mengurangi dampak bencana iklim.

Tabel 2. Luas kerusakan akibat banjir di Kabupaten Kupang, keadaan Januari s/d Juni 2006

Kabupaten	Kelurahan/Desa	Luas Kerusakan					
		Jagung		Padi sawah		Padi Gogo	
		T	P	T	P	T	P
Kupang Tengah	* Desa Mata Air	-	-	4	-	-	-
Kupang Timur	* Desa Pukdale	-	-	30	-	-	-
	* Desa Oesao	-	-	2.610	-	-	-
Takari	* Desa Naibonat	-	-	10	-	-	-
	* Desa Kuanheu	-	-	5	-	-	-
	* Desa Timbaun	-	-	20	-	-	-
	* Kel Takari	-	-	5	-	-	-
	* Desa Noelmina	-	-	8	-	-	-
	* Desa Benu	-	-	5	-	-	-
Arambi Oefeto Timur	* Desa Oesusu	-	-	5	-	-	-
Fatuleu Barat	* Oenike	-	-	4	-	9	-
	* Desa Poto	-	-	18	-	10	-
Amarasi Timur	* Desa Kioni	-	-	2	-	18	-
	* Desa Oebesi	-	-	6	-	15	-
	* Desa Etbaun	-	-	-	-	1	-
Jumlah Kab. Kupang		-	-	2.732	-	53	-

Sumber : Dinas Pertanian Tanaman Pangan Prop. NTT, 2006

Salah satu upaya yang dapat dilakukan, diantaranya adalah evaluasi kesesuaian lahan dan iklim untuk komoditas utama dan hortikultura dengan mengidentifikasi kebutuhan teknologi dalam upayaantisipasi kejadian iklim ekstrim di Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang. Identifikasi ini dimaksudkan untuk menentukan model teknologi informasi iklim kepada petani pengguna dan *stakeholder* agar dapat memanfaatkan informasi iklim dalam mengurangi risiko kerugian dalam usahatani dan menentukan langkah-langkah dan program operasional yang dapat dilakukan jika musibah tidak dapat dihindari.

Tujuan

- Mengidentifikasi permasalahan yang terkait iklim dalam usahatani padi di Desa Noelbaki, Kabupaten Kupang
- Menggali potensi, peluang, kendala dan alternatif pemecahan masalah iklim ekstrim baik melalui pendekatan strategis, taktis maupun operasional

METODOLOGI

Kegiatan Pemahaman Pedesaan Secara Partisipatif

PRA ini dilakukan pada Kelompok Tani Usaha Bersama dan Kelompok Tani Rindu Sejahtera di Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah, dengan lokasi alternatif/cadangan adalah pada kawasan pengembangan sawah tadah hujan Oesao (yang meliputi Desa Oesao, Pukdale dan Naibonat) Kabupaten Kupang pada tanggal 29-30 Agustus 2006.

Teknik Pengambilan Data

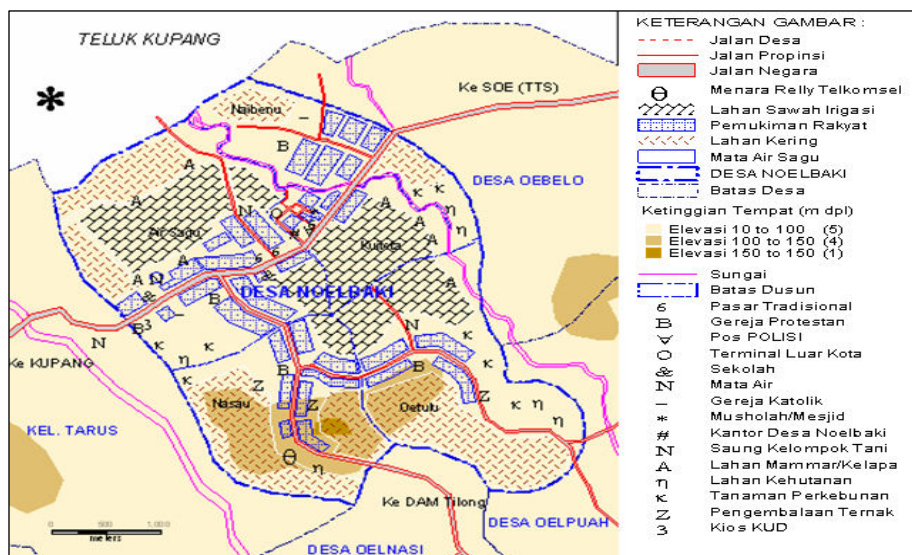
Pengumpulan data dilakukan dengan metode PRA melalui a) wawancara langsung (*In-depth Interview*), b) pengamatan (*observation*) terhadap gejala-gejala subjek, c) Pengamatan Pelibatan (*Participation Observation*), yakni dengan cara mengadakan pengamatan secara langsung terhadap gejala-gejala subjek yang diselidiki dalam situasi yang sebenarnya, d) *Focus Group*, yakni pengambilan data dengan mengumpulkan sejumlah orang yang dijadikan sebagai informan, dan e) *Grounded Research*, yakni penelitian terhadap realitas sosial yang melibatkan penyuluh spesialis, Aparat Desa, Badan Perwakilan Desa, tokoh masyarakat, wanita tani, kelompok tani, tokoh pemuda dan masyarakat pada umumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keadaan Umum

Letak geografis Kecamatan Kupang Tengah adalah 10,1° LS sampai 10,28° LS dan 123,64° BT sampai 123,79° BT, sedangkan letak geografis Desa Noelbaki adalah 10,11° - 10,28° LS dan 123,155° - 123,73° BT. Topografi bervariasi dari elevasi 0 m dpl sampai pada ketinggian 150 m dpl. Wilayah pemukiman umumnya menempati daerah pinggiran bukit dan hanya sebagian kecil yang menempati daerah datar, terutama di pinggiran jalan Timor Raya dan daerah pesisir pantai, karena umumnya dataran rendah merupakan lahan usahatani sawah tadah hujan.

Luas wilayah Desa Noelbaki 17.700 km yang terdiri atas 5 dusun, yaitu Dusun Kuitea, Dusun Air sagu, Dusun Kuannoah, Dusun Dendeng, dan Dusun Oehau (Gambar 1). Luas lahan menurut jenis usaha terdiri atas lahan sawah irigasi sebanyak 446 ha (2,9%), lahan kering seluas 248 ha (1,6%), untuk pemukiman seluas 10.311 ha (67,5%) dan untuk lahan perkebunan seluas 250 ha (1,6%), serta lahan hutan belukar seluas 4.031 ha (26,4%) yang umumnya digunakan untuk pengembalaan ternak sapi dan kambing. Kegiatan yang berlangsung ditingkat petani sudah mulai terorganisir yang ditandai adanya kelompok tani yang sudah terbentuk bahkan menjadi kontak tani andalan.



Gambar 1. Peta Desa Noelbaki

Sistem Usaha Tani Desa Noelbaki

Sesuai gambaran umum wilayah Desa Noelbaki, yaitu dengan keadaan topografi datar, bergelombang sampai berbukit dan memiliki potensi sumber daya air berupa (a) Bendungan/DAM Tilong tampungan hujan dengan kapasitas 19 juta m³, untuk irigasi lahan sawah Desa Noelbaki, Tarus dan Desa Oeltua dan (b) Mata Air Sagu dan (c) Mata Air “**Mata Air**” terletak pada daerah perbatasan Desa Tarus. DAM Tilong ini, merupakan sumber air utama untuk Kelompok Tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng, dengan luas lahan irigasi sebesar 248 ha, sedangkan Mata Air Sagu digunakan oleh Kelompok Tani Usaha Bersama dengan luas lahan irigasi sebesar 108 ha. Desa ini sangat strategis dalam pengembangan usaha pertanian (Padi – Padi, Jagung dan tanaman hortikultura).

Tabel 3. Sebaran pemilikan lahan menurut luas pemilikan lahan usahatani di Desa Noelbaki, 2006

No	Jenis komoditas	Luas lahan produksi (ha)	Produktivitas (ton/ha)
1	Padi	446	2
2	Jagung	5	15
3	Cabe	2	0.5
4	Tomat	1	0.5
5	Kubis	2	1
6	Terung	1	0.5
7	Kelapa	10	-

Sumber : Data Potensi Desa Noelbaki, 2006.

Kegiatan usahatani yang umum dilakukan pada kedua kelompok tani di Desa Noelbaki adalah usahatani sawah tadah hujan sebagai kegiatan utama yang dilakukan selama 2 periode tanam dan 1 kali untuk usahatani lahan kering berupa jagung atau sayur-sayuran dan sebagian petani mengusahakan hortikultura (buah-buahan, terutama semangka) (Tabel 4).

Tabel 4. Kelender usahatani Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu dan Kelompok Tani Tindu Sejahtera Kali Dendeng, Desa Noelbaki, Tahun 2005

No	KEGIATAN	Waktu (bulan)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	PADI SAWAH (MT I)												
	a. Pembibitan												xx
	b. Olah Tanah												xx
	c. Penanaman	xx											
	d. Pupuk Daun	xx											
	e. Penyiangan		xx										
	f. Pemupukan		xx										
	g. Penyemprotan HP		xx	xx									
	h. Panen			xx	xx								
2	PADI SAWAH (MT II)					xx	xx						
	a. Pembibitan					xx	xx						
	b. Olah Tanah						xx						
	c. Penanaman							xx					
	d. Pupuk Daun							xx					
	e. Penyiangan								xx				
	f. Pemupukan								xx				
	g. Penyemprotan HP								xx	xx			
	h. Panen										xx		
3	LAHAN KERING	Sayuran dan Buah-buahan											
	a. Penyiapan Lahan			xx	xx								
	b. Persemaian				xx								
	c. Penanaman					xx	xx	xx					
	d. Penyemprotan HP								xx	xx	xx		
	e. Panen												
3	LADANG	(Lahan Pekarangan)											
	a. Penyiapan Lahan									xx	xx		
	b. Penanaman											xx	
	c. Penyiangan												xx
	d. Penyemprotan HP												xx
	e. Panen			xx	xx								

Kegiatan usahatani yang tergambar dalam Tabel 4, adalah jenis usahatani yang dominan dilakukan oleh petani, antara lain i) usahatani lahan basah (padi sawah), ii) usahatani lahan kering (sayur dan hortikultura), dan iii) usahatani ladang. Usahatani di lahan basah dengan pola tanam padi – padi (IP 200). Musim Tanam (MT) I dari bulan Desember sampai April dan MT II dari bulan Mei sampai Oktober. Penanaman dilakukan dengan sistem tanam pindah. Usahatani di lahan kering menanam tanaman sayur-sayuran (kangkung, bayam, kacang panjang,

sawi, pilsai) dan hortikultura (semangka) mulai dilakukan dengan pengolahan tanah pada bulan Maret/April. Kemudian dilanjutkan dengan persemaian benih di bulan April, kemudian dilanjutkan dengan penanaman. Kegiatan ini berlangsung sampai awal musim hujan yaitu bulan Nopember. Usahatani di ladang, dilakukan pada lahan kering yang waktu penanaman tergantung curah hujan. Jenis tanaman yang ditanam adalah jagung, ubi kayu, kacang nasi. Pemanenan dilakukan tergantung jenis tanaman; jagung biasanya di panen pada bulan April, ubi kayu dipanen tidak serentak dan pemanenan dimulai bulan September, kacang nasi dipanen setelah panen jagung.

Penentuan waktu tanam yang digunakan oleh kedua kelompok tani adalah berdasarkan catatan waktu tanam dan periode kejadian hama/penyakit tanaman yang sudah dicatat secara baik dalam beberapa tahun kebelakang. Jika hasil perkiraan tersebut salah, maka tidak jarang mengalami risiko kehilangan hasil produksi, tanam ulang antara 2 – 3 kali, sering mengalami gangguan hama (ulat akar) dan lalat buah (sayur), sehingga hasil yang diperoleh cenderung sedikit.

Kegiatan Non Pertanian

Jenis pekerjaan non pertanian yang dilakukan masyarakat pada Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu dan Kelompok Tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng di Desa Noelbaki adalah ojek, montir (bengkel), buruh, tukang, penjahit, kios, dan jualan di pasar. Dari pekerjaan di bidang pertanian dan non pertanian, jenis pekerjaan yang memberikan sumbangan pendapatan terbesar adalah berturut-turut padi, sayur, ternak, dan ojek. Sekitar 60% petani di wilayah Air Sagu dan Kelompok Tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng memiliki jenis usaha yang beragam.

Kelembagaan Pertanian

Untuk kelembagaan kelompok Tani pada Desa Noelbaki, terdapat dua kelompok tani yang sudah terbentuk sejak lama, yaitu :

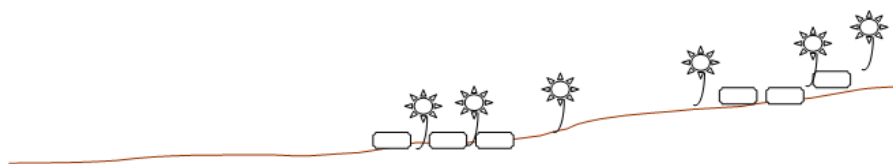
- a) **Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu**, menggunakan jaringan irigasi tersendiri yang bersumber dari mata Air Sagu, dengan jumlah anggota kelompok tani sebanyak 105 orang, terdiri 4 Sub kelompok, dengan luas lahan usahatani sebanyak 108 ha.
- b) **Kelompok Tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng**, merupakan kelompok tani yang semula menggunakan jaringan irigasi dari bendungan Kali Dendeng, setelah jebol dan dibangunnya Dam Tilong (2004), hingga sekarang menggunakan irigasi yang bersumber dari jaringan irigasi Dam Tilong tersebut, memiliki jumlah anggota sebanyak 208 orang, terdiri dari 4 sub kelompok, dengan luas lahan usahatani sebanyak 248 ha.

Pengelolaan kelompok tani terlihat cukup mapan, baik ditinjau dari penerapan administrasi, manajemen kelompok tani, program kerja tahunan dan produksi pertanian yang dihasilkan maupun sanggar kegiatan usahatani berupa sebuah bangunan kantor permanen, walaupun masih terbatas fasilitasnya. Terdapat dua kelompok tani yang secara historis telah berdiri cukup lama, hampir beriringan dengan teradaptasinya pengembangan sistem pengairan menggunakan bendungan di Indonesia. Umumnya teknik irigasi yang digunakan mengikuti model yang dikembangkan di Pulau Bali (Sistem Subak). Menurut cerita turun temurun diduga model irigasi dan kelompok tani ini berawal pada tahun 1941 dan berhubungan erat dengan nama kelompok tani itu sendiri, yaitu Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu (bersumber dari mata Air Sagu) dan Kelompok Tani Rindu Sejahtera (menggunakan sumber air irigasi bendungan Kali Dendeng, sekarang menggunakan sumber air irigasi DAM Tilong).

Jaringan irigasi primer dibangun dengan swadaya masyarakat setempat, kemudian mendapat dukungan renovasi dari Pemerintah melalui Dinas Pekerjaan Umum, sedangkan jaringan tersier dikerjakan oleh anggota kelompok tani sendiri. Untuk mengikat sistem gotong royong pemeliharaan jaringan irigasi, dibuat ketentuan yang mengikat terutama sanksi ketidakhadiran berupa denda yang dibayar menggunakan hasil produksi padi, rata-rata kealpaan 1 hari kerja dikenakan sanksi 1 (satu) blik padi yang setara dengan 11 kg gabah kering giling. Sanksi juga diberikan kepada anggota-anggota yang tidak hadir dalam pertemuan kelompok tani. Kelembagaan lain yang terdapat pada Desa Noelbaki adalah LKMD, Kelompok Simpan Pinjam, Kelompok Tani, KUD dilengkapi dengan tokoh PKK, Pos Yandu, Kantor Pertanian, Sekolah (SD, SMP, SMA) dan Pos Polisi

Peta Transek dan Keadaan Agroklimat

Berdasarkan keadaan topografi wilayah Desa Noelbaki berada elevasi 0 – 50 m dpl. Pada elevasi 0 – 5 m dpl umumnya merupakan daerah usahatani sawah tadah hujan, lahan mammar. Pada elevasi 5 – 10 m dpl perumahan penduduk, usahatani pekarangan dan hortikultura; Pada elevasi 10 – 15 m dpl merupakan daerah sawah tadah hujan dan hortikultura; sedangkan Pada elevasi <50 m dpl merupakan daerah perumahan penduduk dan usahatani lahan kering, tanaman perkebunan dan sebagian dimanfaatkan pengembalaan ternak, secara rinci disajikan dalam Gambar 2.



Uraian	Ketinggian (m dpl)			
	5	5 - 10	10 - 50	< 50
Peruntukan	Sawah	Perumahan/ Pekarangan	Sawah	Perumahan/ Pekarangan
Luas (ha)	118	5 - 10	200	100 - 150
Komoditas/Jenis tanaman	Padi, pisang, kelapa, sayuran	Pisang, kelapa, sayuran, mangga, jambu, sapi, babi, ayam	Padi, pisang, sayuran	Pisang, kelapa, nangka, jambu mete, dll
Pola Usahatani	Padi-padi Padi-sayur	pekarangan	Padi-padi Padi-sayur	campuran
Masalah Teknologi	Air menggenang pada MH, kadang angin kencang	Air tergenang pada MH	Kadang angin	-
Masalah Kelembagaan	-	Koperasi Usaha Bersama macet	Pengaturan pengairan	-

Gambar 2. Transek Desa Noelbaki

Permasalahan Terkait Iklim

Berdasarkan data Stasiun Lasiana dan Desa Tarus yang dipantau oleh BPP Noelbaki, termasuk iklim D4 (Oldeman) dan E (Schmidt-Ferguson), yang berarti musim hujan / bulan basah 3 - 4 bulan dan musim kemarau / bulan kering 8 - 9 bulan. Prakiraan musim pada tahun 2006/2007 adalah a) awal musim hujan rata-rata : Nopember III, dengan rata-rata periode musim hujan : Nopember III - Maret II (12 dasarian), b) Awal musim kemarau rata-rata : Maret III, rata-rata periode musim kemarau : Maret III - Nopember I (24 dasarian), c) Awal musim hujan tercepat : Oktober III, d) Awal musim kemarau tercepat : Maret I

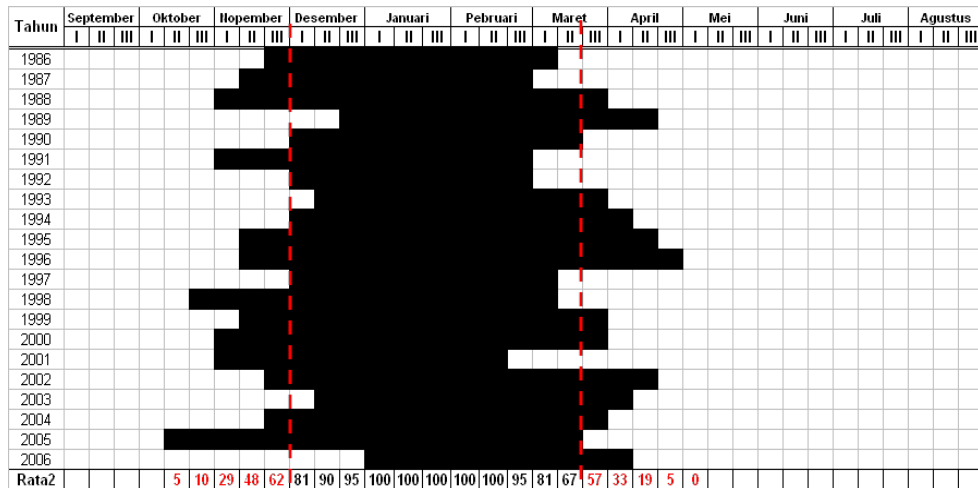
Penentuan waktu tanam yang digunakan oleh kedua kelompok tani adalah berdasarkan catatan waktu tanam dan periode kejadian hama/penyakit tanaman yang sudah dicatat secara baik dalam beberapa tahun belakangan ini. Melalui catatan, kemudian petani melakukan pertemuan untuk mendiskusikan jadwal tanam yang baru dan akan dilakukan, termasuk pembagian tugas dalam pelaksanaan bakti kelompok setiap hari Senin (pada Kelompok Tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng) dan Rabu (pada Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu). Tugas dikerjakan secara kelompok berdasarkan kelompok jaringan irigasi pengguna air. Jika hasil perkiraan tersebut salah, maka tidak jarang mengalami risiko kehilangan hasil produksi, tanam ulang antara 2 - 3 kali, sering mengalami gangguan hama (ulat akar) dan lalat buah (sayur), sehingga hasil yang diperoleh cenderung sedikit.

Tabel 5. Rataan curah hujan bulanan pada 11 stasiun di sekitar Desa Noelbaki, Kecamatan Kupang Tengah

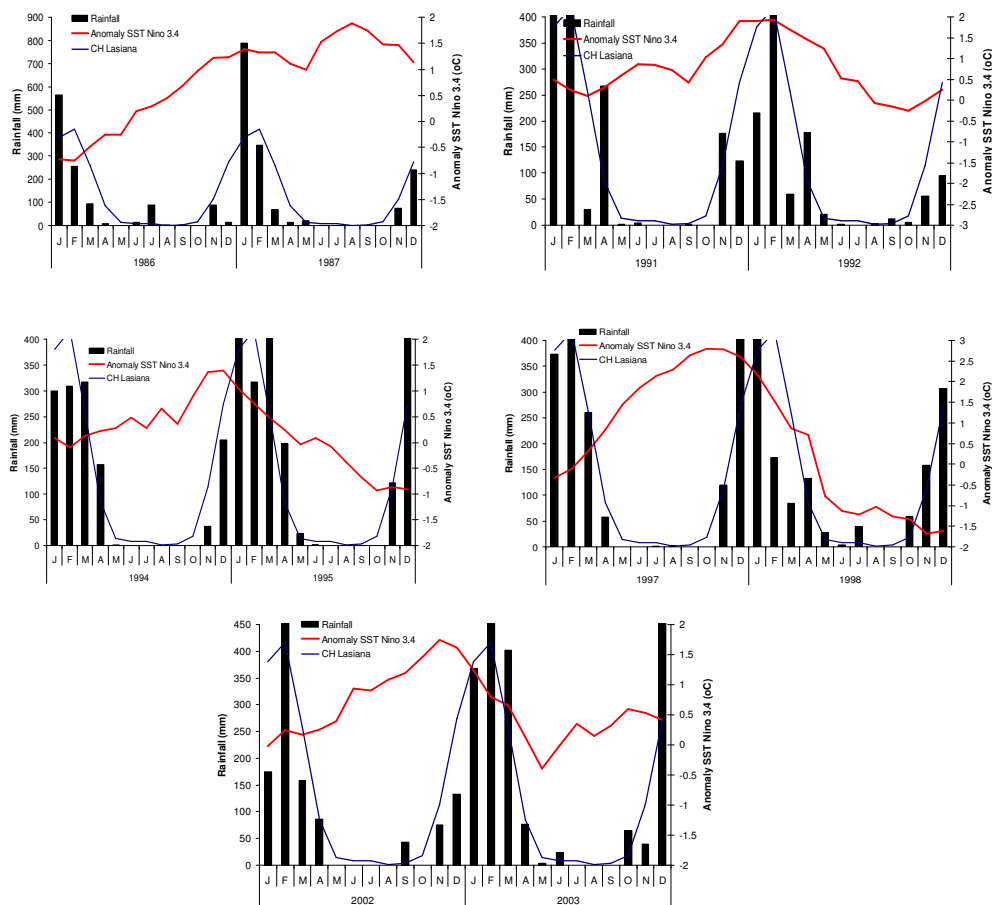
Stasiun	Thn data	Elev.	Rataan Curah Hujan Bulanan (mm)												
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Lasiana	20	20	278	314	190	63	11	6	6	0	3	14	9	209	1103
Penfui	20	102	227	293	133	57	7	4	2	0	2	13	74	195	1007
Tarus	15	20	377	387	237	71	14	8	6.3	0.8	3	6	116	216	1444
Oemasi	2	465	267	443	287	58	6	26	47	2.2	2	1	34	32	1212
Oelomin	2	370	26	346	171	46	2	2	2	0.8	0	1	39	32	670
Oeltua	2	380	181	354	241	44	4	62.8	10	3.2	1	1	233	181	1317
Tesbatan	2	350	281	321	186	65	3	42	9	2.9	33	5	192	68	1210
Naibonat	5	20	196	302	175	113	94	11	30	0.7	6	22	173	141	1267
Oenesu	2	240	296	431	236	139	93	11	11	0.4	15	2	135	207	1578
Sikumana	6	450	363	309	262	172	12	1	0	2	0	4	13	159	1297
Oesao	5	30	412	355	224	115	21	12	8	1	8	37	146	255	1594

Gambar 3 menunjukkan bahwa periode musim hujan secara normal adalah Dasarian I bulan Desember sampai dasarian II bulan Maret. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan bahwa periode kejadian anomali hujan pada wilayah Noelbaki. Anomali hujan yang menyebabkan terjadinya banjir diperkirakan terjadi pada tahun 1995, 1997, 1999, 2002, 2003 dan 2004. Sedangkan anomali hujan yang menyebabkan terjadinya kekeringan terjadi pada tahun 1998, 2004 dan 2005.

Gambar 3. Pemetaan musim berdasarkan curah hujan dasarian (1986 – 2006) di wilayah Noelbaki dan sekitarnya



Dilihat dari Gambar 3, periode panjang dan pendeknya hujan memberikan alternatif untuk antisipasi terhadap kondisi iklim. Periode awal musim hujan dan akhir musim hujan sangat bervariasi dari tahun ke tahun, hal ini akan berdampak pada biaya produksi sebagai akibat tanam berulang karena ketidakpastian petani dalam mengidentifikasi awal musim hujan. Risiko gagal panen juga merupakan alternatif berikutnya karena penundaan waktu tanam akibat gejolak hujan yang diperkirakan petani menyebabkan produktivitas usahatani menurun, bahkan dapat merugikan petani. Sedangkan pada Gambar 4, menunjukkan curah hujan wilayah Noelbaki sangat ditentukan oleh besarnya anomali SST Nino 3,4 hal ini terlihat dari bergesernya awal musim pada tahun-tahun kejadian *El Nino* dan *La Nina*, hingga mencapai bulan Januari. Ini menunjukkan bahwa potensi terjadinya *false rain* (hujan tipuan) sangat besar dan perlu mendapat perhatian yang serius.



Gambar 4. Grafik Hubungan anomali SST Nino 3,4 dengan Curah hujan pada tahun *EL Nino/La Nina* di wilayah Noelbaki, Kupang - NTT

Kebutuhan Teknologi Usahatani Wilayah Agroekosistem Lahan Kering

Berdasarkan indentifikasi melalui diskusi pada kedua kelompok tani yaitu Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu diperoleh 12 permasalahan yang muncul di atas, secara mufakat ditetapkan 5 masalah penting dan diurutkan berdasarkan prioritasnya, yaitu :

- Masalah prioritas I : Sistem pengaturan irigasi Air Sagu dan mengatasi masalah banjir yang sering terjadi pada areal usahatani
- Masalah prioritas II : Teknologi tersedia belum diadopsi petani
- Masalah prioritas III : Hama padi dan hortikultura selalu ada dan merugikan
- Masalah prioritas IV : Keberadaan dan intensitas Penyuluhan Pertanian
- Masalah prioritas V : Benih unggul tidak tersedia dan penyuluhan pertanian tidak ada

Dari pokok permasalahan tersebut, secara mufakat menetapkan program prioritas untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu :

- I. Mengusulkan kepada kelompok peneliti APN agar segera menerapkan model sekolah lapang iklim untuk dapat mengatasi masalah iklim (pengendalian air untuk irigasi) dan hama/penyakit tanaman
- II. Melakukan pengujian mutu benih dan pengadaan benih unggul yang lebih bermutu
- III. Menghendaki keberadaan penyuluh pertanian dalam pengawalan teknologi, serta pemupukan modal untuk alsintan olah tanah dan penyiangan
- IV. Pelatihan dan magang untuk teknologi budidaya tanaman

Sedangkan hasil identifikasi masalah pada kelompok tani Rindu Sejahtera, terdapat 10 permasalahan. Hasil kesepakatan yang dilakukan diperoleh 4 masalah berdasarkan urutan prioritas, adalah :

- Masalah prioritas I : Rendahnya pengetahuan dan pemahaman tentang berbagai masalah iklim
- Masalah prioritas II : Teknologi pengendalian hama dan penyakit tanaman
- Masalah prioritas III : Keterbatasan modal usaha
- Masalah prioritas IV : Keterbatasan tenaga kerja keluarga maupun tenaga kerja luar.

Dari pokok permasalahan tersebut, anggota tersebut secara mufakat menetapkan program prioritas untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu :

- I. Mengusulkan kepada kelompok peneliti APN agar segera menerapkan model sekolah lapang iklim untuk dapat mengatasi masalah iklim (pengendalian air untuk irigasi).
- II. Peningkatan ketrampilan pengendalian hama dan penyakit tanaman
- III. Pengembangan modal usahatani melalui pemberian pinjaman dengan cicilan lunak terutama untuk pengembangan mutu benih dan benih unggul yang lebih bermutu, serta pengembangan sarana pengolahan lahan dan pasca panen

Langkah Strategis, Taktis Maupun Operasional Untuk Penanganan Bencana Iklim

Dari prioritas program pada kedua kelompok tani tersebut diatas, maka langkah strategis yang dapat dilakukan adalah dalam bentuk pengkajian secara "on farm", dengan melibatkan *stakeholder* secara komprehensif dengan mekanisme pengembangan jaringan informasi melalui agen pembaharu teknologi (penyuluhan pertanian), dengan tahapannya adalah :

- a. Penjabaran prioritas program ke dalam rincian kegiatan untuk mengatasi wilayah potensial terkena bencana banjir maupun wilayah-wilayah rawan kekeringan
- b. Penerapan informasi prakiraan musim yang dikeluarkan BMG
- c. Pembinaan kepada Penyuluh pertanian tentang informasi prakiraan musim dan aplikasinya pada kegiatan usahatani, penyusunan modul sekolah lapang iklim dan pembinaan petani terhadap masalah pengendalian kejadian iklim ekstrim dan pengendalian hama & penyakit

Langkah-langkah tersebut diatas dapat dievaluasi melalui identifikasi perkembangan usahatani yang dilakukan melalui perubahan hasil produksi pertanian sebagai indikator teknis dan perubahan ekonomi keluarga tani sebagai salah satu indikator sosial yang dapat digunakan dalam melihat keberhasilan penerapan sekolah lapang iklim.

KESIMPULAN

Upaya mengatasi kejadian iklim ekstrim (banjir dan kekeringan) di Kabupaten Kupang, Propinsi NTT, di Desa Noelbaki Kecamatan Kupang Tengah, didasari pertimbangan bahwa : (i) kondisi iklim dan sistem

usahatani lahan kering mewakili kondisi NTT secara keseluruhan, (ii) lahan petani merupakan lahan yang sudah eksis pada usahatani lahan sawah dan pendukung penyediaan sayur-sayuran dan hortikultura utama pada pasar-pasar kota Kupang namun pemahaman teknologi pertanian masih relatif terbatas, (iii) lahan usahatani yang marjinal, pengetahuan dan teknologi usahatani masih rendah dan (iv) kondisi sosial ekonomi petani, persepsi dan keinginan serta permasalahan-permasalahan yang timbul berhubungan dengan usahatani perlu diperdalam.

Hasil rangking masalah pada Kelompok Tani Usaha Bersama Air Sagu adalah (I) Sistem pengaturan irigasi Air Sagu dan mengatasi masalah banjir yang sering terjadi pada areal kelompok tani, (II) Teknologi tersedia belum diadopsi petani, sehingga mengharapkan intensitas kunjungan dan pengenalan teknologi pertanian oleh penyuluh pertanian lebih ditingkatkan, dan (III) Hama padi dan hortikultura selalu ada dan merugikan, perlu diatasi dengan pelatihan pengendalian hama dan penyakit tanaman. Sedangkan pada kelompok tani Rindu Sejahtera Kali Dendeng, adalah : (I) Rendahnya pengetahuan dan pemahaman tentang berbagai masalah Iklim, dan mengusulkan pelatihan dalam bentuk sekolah lapang yang memberikan pemahaman terhadap berbagai fenomena iklim, penentuan waktu tanam dan pengendalian sistem irigasi yang baik, (II) Teknologi pengendalian hama dan penyakit tanaman yang masih rendah, sehingga mengusulkan adanya pelatihan dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman dan (III) Keterbatasan modal usaha untuk tenaga kerja, dan pengadaan sarana produksi, petani sepakat mengusulkan perlunya dukungan pemberian kredit dari lembaga terkait dengan cicilan lunak.

Berdasarkan prioritas program, maka langkah strategis adalah pengkajian secara "on farm", dengan melibatkan *stakeholder* melalui mekanisme pengembangan jaringan informasi dengan melibatkan penyuluhan pertanian. Tahapannya yaitu : (a) Penjabaran prioritas program untuk mengatasi wilayah potensial terkena bencana banjir dan wilayah rawan kekeringan, (b) Penerapan informasi prakiraan musim yang dikeluarkan BMG, (c) Pembinaan Penyuluh pertanian tentang informasi prakiraan musim dan aplikasinya pada kegiatan usahatani, (d) Pembinaan petani terhadap masalah pengendalian kejadian iklim ekstrim dan pengendalian hama & penyakit. Langkah-langkah tersebut diatas dapat dievaluasi melalui identifikasi perkembangan usahatani yang dilakukan dengan perubahan hasil produksi pertanian sebagai indikator teknis dan perubahan ekonomi keluarga tani sebagai salah satu indikator sosial yang dapat digunakan dalam melihat keberhasilan penerapan sekolah lapang iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous,. 1996. Berbuat Bersama, Berperan Setara. Acuan Penerapan Participatory Rural Appraisal. Untuk Konsorsium Pengembangan Dataran Tinggi Nusa Tenggara.
- Anonymous. 2000. Modul Lokakarya Sosialisasi dan Inkorporasi Saga pada Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian. Materi Pelatihan, Kerjasama Deptan Badan Litbangtan. Proyek Pembinaan Kelembagaan dan Pengembangan Pertanian dengan Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian Yogyakarta 7-12 Agustus 2000.
- Boer R. 2005. Pendekatan dalam Mengelola Risiko Iklim, Laboratorium Klimatologi, GEOMET FMIPA, Institut Pertanian Bogor, E-mail: rizaldiboer@yahoo.com
- Boer R, Ismail Wahab, and Mugni Hadi Hariadi. 2005. Understanding Farmers' Need To Climate Information, Laboratory of Climatology, Department of Geophysics and Meteorology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bogor Agricultural University
- BPS. 2005. Statistik Pertanian Kabupaten Kupang BPS Badan Pusat Statistik Kabupaten Kupang 2005.
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Nusa Tenggara Timur. 2006. Laporan Kegiatan Subdin Perlindungan Tanaman, Kupang.
- Profil Desa. 2002. Badan Pemberdayaan Masyarakat Kabupaten Kupang, 2002.
- Suherman., O. Syahrir Mas'ud, A. hasanuddin dan E.O. Momuat. 1994. Pengaruh Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau Sistem Lorong.
- Schultz, T.W. 1964. Transforming Traditional Agriculture. New Haven, Yale University Press.
- Sajogyo, P. 1983. Peranan Wanita dalam Perkembangan Masyarakat Desa CV Rajawali Jakarta. PSPB-LP-IPB 1988.
- Sahari,D., Subandi, S. Saenong, IGP Sarasutha dan M. Yasin HG. 1993. Kotribusi Wanita pada Usahatani di Sikka Maumere Nusa Tenggara Timur.
- Zaini, Z., A. Karim Makarim, Irsal Las, Budi Haryanto dan Suntoro. 2002. Panduan Teknis Pemahaman Pedesaan Secara Partisipatif Menunjang Usahatani Terpadu. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian, 2002.

PENGAJIAN RISIKO IKLIM PADA SISTEM USAHA TANI DESA SEI BALAI KABUPATEN ASAHAN SUMATERA UTARA

**Ali Jamil Harahap *, Melanthon Haloho *, Khadijah EL Ramija* dan
Rizaldi Boer ****

*) Team CAPaBLE SUMUT

**) Ketua Tim CAPaBLE Pusat dan Ketua PERHIMPI

Abstract

The need for reliable season climate outlooks is becoming increasingly important for farmers and related agro-industries. Although the price of agricultural commodities is getting well, farmers are not able to recover from crop failure due to the high input costs. If the farmer knows what type of season to expect in terms of production, he will be able to make better decisions or making strategic actions to reduce vulnerability to climate change. If a drier season is expected the farmer can adapt some of his practises in order to cut input costs. He can also decide to apply less fertilizer, to arrange planting time, to contract his commodities at an earlier or later stage, etc. The present study is composed of a climate risks assesment in farming system at Sei Balai Village Asahan District North Sumatera. The specific objectives and activities of the Capable study was to : (a) identify climate risks that have significant impact in farming system (b) study farming system and investigate if the farmers receive/understand seasonal climate forecasts (c) asses local perceptions of climate hazard, past and present climate risk/impact, and (d) to arrange action research/strategies to coping of the vulnareble groups to risks in particular climate risks. The study area is located in Sei Balai Village Asahan District North Sumatra. The study found that farmers hold various perceptions towards the current and past risks in the study area. Farmers perceive that the current climate in the area has been behaving differently from the past years. The seasonal cycle has changed, flood became more frequent, pest and disease incidences increased. The study recommends multiple pathways to improve adaptive responses that would comprise of both short-term and long-term adaptive measures. Such multiple pathways could comprise of: (a) treatment of the climatic risks through physical adaptive measures if possible (such as planned physical water resources management), (b) the adjustment/ alteration of agricultural practice (e.g. setting up adequate cropping pattern and selection of tolerant crops) and (c) arrangement of planting time to anticipate the occurrence of extreme climate. For successful communication of the climate outlooks, there needs to be shared meaning between the farmers as end-users and climatologist as the sender. Much work is still needed to clarify the concepts and provide simplified explanations of some basic terms used in the seasonal forecasts. At the present, the rainfall outlooks most often provide a forecast of the probability of total amount of rainfall for a one month or sixth month periode. However,

from experience it is evident that there is a low interdependence between rainfall totals and agricultural conditions due to the sensitivity of crops to timing of rainfall. The survey shows that more than half the respondents do not know the seasonal forecast. Some of the question were used to determine the respondents own perception of their understanding of technical terms and then to test the actual understanding of specific meteorological term. The result show that 83 % of the farmer perceive that they don't understand. It appears that further education and training is needed in farming community at Sei Balai as actually only about 10 % of respondents understand the concepts of probablility of rainfall occuring.

Key word : Climate risks, planting time, seasonal forecasts

PENDAHULUAN

Fluktuasi iklim merupakan salah satu sumberdaya yang perlu dipertimbangkan dalam usahatani. Terbatasnya pemahaman tentang iklim, analisis dan interpretasi datanya, menjadikan sumberdaya ini seringkali kurang diperhatikan dibandingkan faktor lainnya seperti tanah dan tanaman. Padahal apabila keberadaan iklim dioptimalkan dapat menjadi sumberdaya yang sangat potensial mendukung usaha pertanian.

Hasil identifikasi wilayah oleh tim CAPaBLE Sumatera Utara dengan Pemerintah Kabupaten Asahan menetapkan Desa Sei Balai Kecamatan Sei Balai Tengah Kabupaten Asahan sebagai salah satu wilayah rawan banjir dan kekeringan. Dasar pemikiran penentuan desa adalah : (i) kondisi iklim dan sistem usahatani lahan sawah irigasi yang sebagian kecil terdiri dari lahan pasang surut. Daerah ini mewakili daerah-daerah persawahan di Sumatera Utara khususnya Pantai Timur Sumatera, (ii) Akses ke lokasi sebagai desa percontohon baik (iii) Tanggap masyarakat terhadap inovasi teknologi sangat baik (iv) Kelembagaan pada sistem usahatani belum berjalan dengan baik (v), Dukungan Pemda/Petugas Lapang baik (vi) dan Permasalahan utama yang dihadapi petani dalam berusahatani khususnya yang terkait dengan adanya kejadian anomali iklim yang dihadapi oleh petani perlu di gali secara sempurna.

Pemberdayaan masyarakat secara partisipatif bukanlah suatu hal yang baru dengan metodologi *Participatory Rural Appraisal* (PRA). Studi PRA ini diperdalam dengan variabel-variabel yang berhubungan dengan pengkajian upaya mengatasi kejadian iklim ekstrim. Selain itu variabel seperti kepemilikan sumber daya, akses dan kontrol terhadap sumber daya, mobilitas, kelembagaan dan rangking masalah serta prioritas program. Termasuk isu jender seperti pembagian kerja baik pria maupun wanita dan pengambilan keputusan kalender harian pria-wanita, kalender musiman, dan lain sebagainya turut digali dalam studi ini.

Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi masalah iklim yang berpengaruh terhadap sistem usaha tani, mengidentifikasi persepsi petani tentang risiko iklim pada masa lampau dan sekarang, menginvestigasi pengetahuan petani tentang prakiraan musim dan menyusun rencana kegiatan untuk mengatasi dampak anomali iklim.

METODOLOGI

Pemilihan Lokasi

Hasil identifikasi pendahuluan berdasarkan hasil koordinasi tim CAPaBLE Sumatera Utara dengan Pemerintah Daerah Kabupaten Asahan maka tim menetapkan Desa Sei Balai Kecamatan Sei Balai Kabupaten Asahan merupakan lokasi kegiatan pengkajian risiko iklim dalam sistem usaha tani. Dasar pemikiran penentuan desa adalah sbb ;

- a. Kondisi iklim dan sistem usahatani lahan sawah irigasi, sebagian kecil terdiri dari lahan pasang surut.
- b. Daerah ini mewakili daerah-daerah persawahan Pantai Timur Sumatera Utara.
- c. Akses ke lokasi sebagai desa percontohon baik, tanggap masyarakat terhadap inovasi teknologi sangat baik, kelembagaan pada sistem usahatani belum berjalan dengan baik
- d. Dukungan Pemerintah Daerah dan petugas lapang cukup baik

Metode Survei

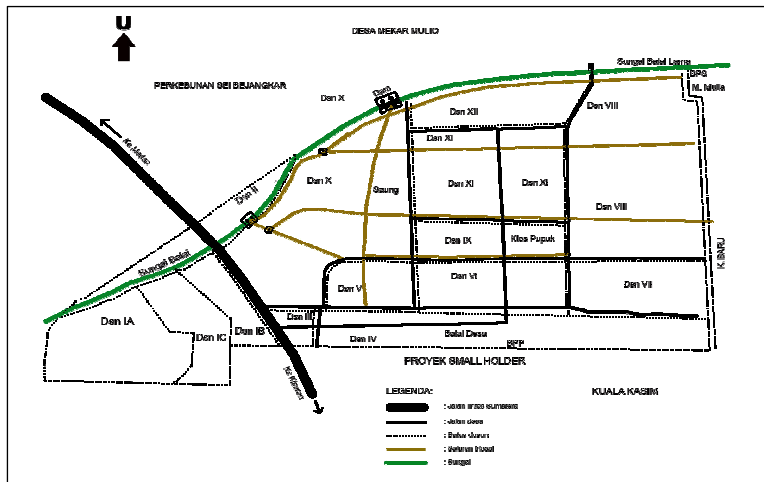
Pengambilan data dilakukan dengan prinsip-prinsip kerja *Participatory Rural Appraisal* (PRA)/Pemahaman Pedesaan Secara Partisipatif (PPSP) (Badan Litbang, 2006) yaitu: 1. Wawancara mendalam (*In-depth Interview*); 2. Pengamatan (*Observation*); 3. Pengamatan Pelibatan (*Participation Observation*); 4. *Focus Group Discussion*; dan 5. *Grounded Research*.

Kegiatan Pemahaman Pedesaan Secara Partisipatif (*Participatory Rural Appraisal*) ini dilakukan di Desa Sei Balai Kecamatan Sei Balai Kabupaten Asahan pada bulan September 2006 oleh satu tim yang memiliki berbagai bidang disiplin ilmu. Pelaksanaan kegiatan diawali melalui observasi langsung ke lahan petani di seluruh desa dan wawancara dengan petani, wanita tani, penyuluh, tokoh masyarakat, Badan Perwakilan Desa, kelompok tani dan Kepala Desa dengan total petani yang terlibat dalam kegiatan ini berjumlah 40 orang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lokasi

Desa Sei Balai Kecamatan Sei Balai terdiri dari 12 dusun dengan luas areal 405 ha, terdiri dari lahan sawah 301 ha (70 ha diantaranya berpengairan teknis) dan daratan 104 ha. Disebelah Utara desa ini berbatasan dengan Desa Mekar Mulyo, sebelah Selatan dengan Desa Proyek Small Holder, sebelah Barat Desa Sei Bejangkar dan sebelah Timur dengan Kuala Sikasim. Jarak dari ibukota kabupaten lebih kurang 20 km arah Utara. Dapat ditempuh melalui jalan aspal, tetapi hubungan dalam desa hanya berupa jalan tanah. Jalan usahatani sudah tersedia, dapat ditempuh kendaraan roda 4 sehingga transportasi pengangkutan sarana dan produksi cukup lancar. Mobilitas penduduk Desa Sei Balai adalah bekerja di sawah/pekarangan, pedagang, pegawai, buruh tani ke luar daerah, dan sebagian kecil sebagai karyawan kebun dan nelayan (BPS, 2005b).



Gambar 1. Peta dasar Desa Sei Balai, Kec. Sei Balai, Asahan

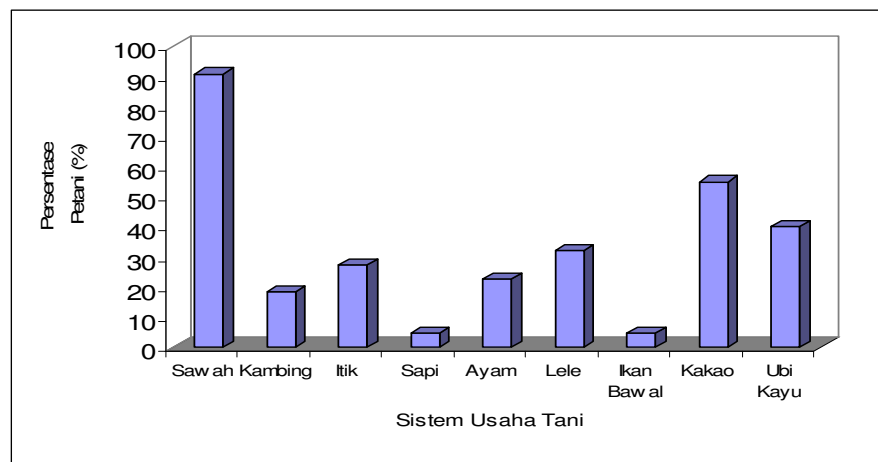
Desa Sei Balai terletak pada ketinggian di bawah 9-11 m dpl, dengan topografi datar. Curah hujan antara 2000-2500 mm/tahun, suhu udara 29°C dan tipe iklim C1 menurut Oldeman (1982) dan (BPS, 2005a). Konsekuensi yang utama dan sering menjadi masalah adalah kurang lancarnya drainase, sehingga pengaturan air sulit dikendalikan. Walaupun air irigasi bagus dan lancar seperti sekarang ini, tetapi kurang baiknya drainase menyebabkan usahatani padi sering gagal karena sering kebanjiran waktu musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Oleh karena itu, pilihan masyarakat dalam pemanfaatan lahan sangat bervariasi.

Bagi masyarakat yang sudah berpengalaman dan mengharapkan hasil yang lebih banyak dan berani menanggung risiko lebih cenderung mengusahakan tanaman cabai. Walaupun tanaman ini memiliki fluktuasi harga yang sangat tinggi serta tuntutan biologi dan agronomis yang besar, sebagian petani tidak jera mengusahakannya. Hal ini ditempuh karena tanaman cabai juga sering memberikan keuntungan yang besar dan dalam masa yang relatif panjang.

Sistem Usaha Tani

Berdasarkan informasi responden (40 orang petani), komoditas yang diusahakan petani berdasarkan rangking teratas di desa Sei Balai adalah padi sawah, kakao, ubi kayu dan ikan lele.

Saat ini hampir semua sawah yang ada dapat ditanam dua kali dalam setahun. Tetapi bagi sawah yang kurang air pada musim kemarau ditanami dengan cabai, sayuran dataran rendah, jagung atau kedelai. Penerapan teknologi pada usahatani padi sawah sangat beragam dan umumnya tergantung pada kemampuan dan kemauan petani. Bila petaninya mampu, mereka mau penggunaan pupuk dan pestisida cukup tinggi, tetapi bila tidak mampu maka sarana produksi hanya diberikan seadanya.



Gambar 3. Sistem usaha tani di Desa Sei Balai

Benih yang digunakan umumnya benih sendiri atau ditukar dengan benih petani lain. Penggunaan benih unggul baru dan bersertifikat atau berlabel masih jarang, karena dianggap cukup mahal. Sebagian petani sudah mengerti dengan kegunaan dan kualitas sarana produksi, tetapi karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan, pemberian input sering tidak memenuhi kebutuhan tanaman. Harga sarana produksi dirasakan sangat tinggi dan tidak sesuai dengan harga jual hasil. Kondisi ini menyebabkan motivasi petani berkurang dan kemampuan pencapaian produktivitas hanya sekitar 4 ton/ha.

Kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat terintegrasi dalam daur kehidupan masyarakat desa dan sangat dipengaruhi oleh siklus musim. Perubahan musim sebagai akibat perubahan kondisi alam dapat pula mengubah kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat. Demikian pula adanya kegiatan-kegiatan sosial yang bukan merupakan tradisinya dapat pula mengubah sistem dan aktivitas masyarakat.

Kalender musim akan membantu masyarakat dan pihak luar untuk mengetahui pola kehidupan masyarakat yang dapat dipergunakan sebagai salah satu pijakan untuk mengembangkan suatu program. Pada umumnya dalam kalender musim, aspek gender perlu diperhatikan. Gender diartikan sebagai konsep hubungan sosial yang membedakan fungsi dan peranan antara pria dan wanita yang dibentuk oleh sosial budaya yang ada dalam masyarakat. Kondisi dan peran serta wanita dalam berbagai aktivitas pada berbagai musim perlu untuk diperhatikan sehingga apakah wanita dilibatkan secara aktif dalam suatu kegiatan seperti halnya pria. Pola curah hujan, kalender musim dan kalender kegiatan petani disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pola curah hujan, kalender musim, pola tanam dan kalender kegiatan petani

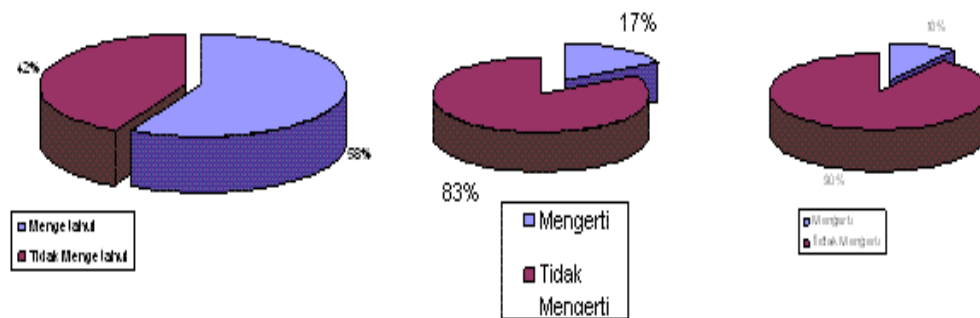
Variabel	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
• Pola curah hujan												
• Kalender musim:												
○ MH												
○ MK												
• Pola tanam:												
○ Padi				Bero								
○ Palawija				Bero								
○ Kakao												
○ Sayuran (cabe, timun, kc panjang, terong, pare)												
• Kegiatan pada lahan sawah:												
○ Suami												
○ Istri												
○ Anak												

Akses terhadap Informasi Iklim

Informasi BMG yang dikirimkan ke Dinas Pertanian Kabupaten hanya sampai ke petugas dan PPL (penyuluh pertanian lapang) Dinas Pertanian Kabupaten. Sementara kelompok tani pada umumnya belum menerima atau tidak mengetahui informasi BMG dari PPL tersebut. Selain itu informasi dari BMG (Bawah Normal, Normal, Atas Normal) masih sulit diterjemahkan oleh para PPL untuk diterapkan dalam sistem usaha tani.

Walaupun BMG sudah mengeluarkan prakiraan musim namun tidak semua responden mengetahui adanya prakiraan musim tersebut. Hasil survey menunjukkan bahwa lebih dari setengah responden tidak mengetahui tentang adanya prakiraan musim dari BMG. Informasi yang sering mereka dengar adalah prakiraan cuaca lewat televisi. Petani juga sangat mengharapkan informasi iklim dalam bentuk cetakan untuk peningkatan pengetahuan dengan keterampilan mereka dalam mengatur strategi tanam. Mereka juga berharap bahwa bila memang ada informasi prakiraan dari BMG sebaiknya diberikan lebih awal sebelum mereka memulai untuk menanam padi serta antisipasi untuk usahatani lainnya.

Selain itu, penggunaan istilah meteorologi terkadang menjadi kendala dalam komunikasi dengan pemakai. Survey menunjukkan bahwa ternyata dari seluruh responden hanya 17 % petani yang bisa mengerti dengan istilah "curah hujan normal". Kata peluang juga sangat banyak disebut sebut dalam pemberian informasi iklim/musim, ternyata hanya 10% responden mengerti tentang arti "peluang curah hujan normal 50%". Untuk itu BMG dan pemerintah daerah perlu membenahi jaringan pengamatan iklim, melakukan pelatihan terhadap petugas lapang dan petani tentang pentingnya informasi iklim terhadap keberlanjutan usaha tani.



Gambar 4. Pengetahuan petani terhadap informasi iklim

Aktivitas Harian

Kalender harian merupakan jadwal kegiatan sehari-hari, atau selama 24 jam penuh baik bagi pria, wanita ataupun bagi berbagai kelompok yang ada di dalam masyarakat (Anonymous, 2000). Aktivitas harian merupakan pola umum yang terjadi pada individu-individu dalam keluarga ataupun dalam masyarakat. Dari aktivitas harian akan diperoleh suatu informasi tentang pelaku pekerjaan di rumah tangga ataupun pada pekerjaan-pekerjaan yang bersifat produktif.



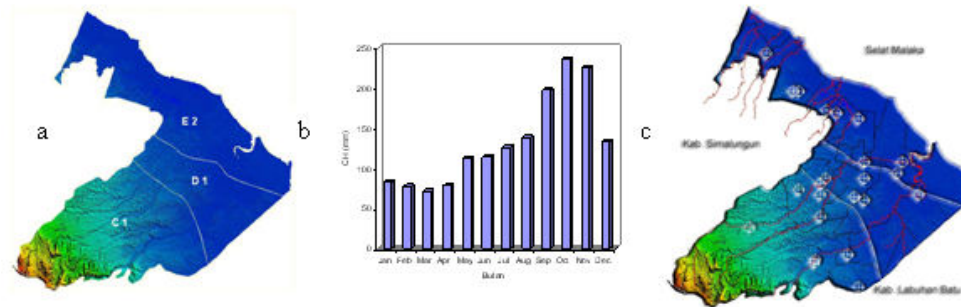
	Lahan Kebun	Pemukiman &Pekarangan	Lahan Tegalan	Saluran Irigasi	Lahan Sawah Irigasi Desa
Tekstur tanah	Lempung berpasir	Lempung berpasir	Lempung berpasir	-	Lempung berpasir
Jenis tanaman	Kelapa, sawit, rumbia coklat	Kelapa, mangga, pisang, jambu, pinang, coklat	Cabe, kg panjang, jagung, pare, timun	-	Padi, kedele, jagung, kg hijau, terong, pare, bayam
Jenis ternak	-	Ayam, bebek, itik, lele dumbo, nila, kambing	-	-	Pembibitan ikan
Pola usahatani	-	-	Tanaman sayuran	-	Padi-padi-palawija
Status lahan petani	Milik sendiri	Milik sendiri	Milik sendiri	-	Milik sendiri
Respon petani terhadap inovasi	Kurang baik	Kurang baik	Tanaman sampingan	-	Belum dilaksanakan teknologi
Masalah teknologi	Hama pada tanaman coklat, busuk buah, buah mudah gugur	-	Penyakit keriting pd cabe	-	Keong mas, tikus, hama putih, blas, penyakit tanaman cabe
Masalah sosial dan kelembagaan	Permodalan usahatani	Kelembagaan kurang aktif	-	-	-

Gambar 5. Transek Desa Sei Balai, Kecamatan Sei Balai Kabupaten Asahan

Tanah di desa ini termasuk jenis entisol dan ultisol dengan tektur umumnya lempung berpasir dan lempung liat berpasir, terdiri dari lahan kering dan lahan sawah. Lahan sawah ditanami padi dan sebagian ada ditanami sayuran serta palawija, sementara lahan kering dimanfaatkan untuk lokasi pemukiman dan penanaman tanaman pekarangan seperti: kelapa, mangga, rambutan, jambu, pisang, sayuran, kelapa sawit, ternak dan lain-lain.

Iklm

Peta Iklim. Berdasarkan pola iklim, wilayah Kabupaten Asahan dibagi menjadi 3 wilayah hujan utama, yaitu tipe C1, D1 dan E2 (Gambar 6a). Pembagian ini dilakukan berdasarkan pembagian tipe iklim menurut Oldeman. Dari pembagian tipe ini, Kecamatan Sei Balai termasuk pada wilayah tipe iklim E2. Gambaran atau pola curah hujan rata-rata dari stasiun hujan di BPP Kecamatan Sei Balai dengan series data tahun 1984 s.d 2006 disajikan pada gambar 6b dan terdapat 20 pos hujan yang tersebar di kabupaten Asahan (gambar 6c).



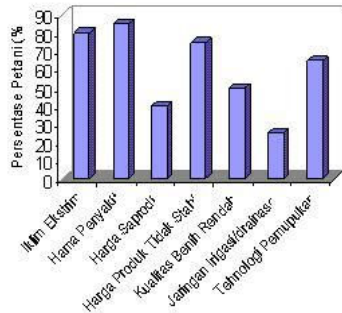
Gambar 6. a. Pembagian tipe iklim Oldeman di Kabupaten Asahan, b. Grafik pola curah hujan Kec. Sei Balai, dan c. Jaringan pengamatan curah hujan di Kabupaten Asahan

Masalah Iklim dalam Sistem Usaha Tani Di Desa Sei Balai

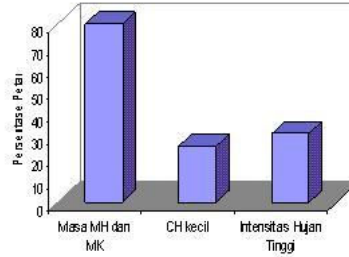
Konsekuensi yang utama dan sering menjadi masalah adalah saluran drainase yang kurang lancar sehingga pengaturan air sulit dikendalikan. Selain masalah anomali iklim (banjir dan kekeringan) terdapat juga beberapa faktor lain yang menyebabkan kehilangan hasil produksi petani diantaranya adalah; hama penyakit, harga saprodi, harga produk pertanian yang tidak stabil, kualitas benih yang rendah, jaringan irigasi dan drainase serta teknologi pemupukan (Gambar 7).

Walaupun air irigasi cukup baik dan lancar, tetapi saluran drainase yang kurang baik dapat menyebabkan usahatani padi sering gagal karena sering kebanjiran waktu musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, sehingga pilihan masyarakat dalam pemanfaatan lahan sangat bervariasi.

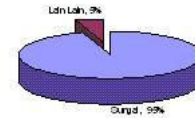
Selanjutnya untuk meningkatkan produktivitas padi di Kabupaten Asahan, sudah diterapkan teknologi PTT (pengelolaan tanaman terpadu) yang salah satu komponennya adalah pengairan terputus (*intermittent*) sehingga dengan adanya anomali iklim menyebabkan penerapan teknologi tersebut menjadi sulit.



Gambar 10. Persepsi petani terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan hasil



Gambar 11. Persepsi petani terhadap iklim yang menjadi masalah



Gambar 12. Sumber air untuk pertanian pada musim kering

Gambar 7. Persepsi petani tentang permasalahan iklim di sektor pertanian

Menurut petani tanaman padi pada musim kering mengalami kekurangan air ± 15 hari dan berakibat kepada musim tanam menjadi terlambat, jadwal penanaman tidak serempak sehingga berdampak pada siklus hama penyakit. Sedangkan pada musim hujan produksi padi sawah dapat menurun hingga $\geq 30\%$ bahkan sampai puso. Masalah yang dihadapi pada tanaman kakao yaitu pada musim kemarau akan mengakibatkan pengerasan buah sedangkan pada musim hujan yang berlebih buah kakao akan mengandung kadar air tinggi dan terkena jamur pada batang/akar. Sedangkan untuk masalah yang dihadapi untuk kegiatan budidaya ikan lele, hujan yang terlalu tinggi menyebabkan tingginya air kolam dan jika meluap lele hanyut terbawa air sehingga menyebabkan kerugian yang cukup tinggi (gambar 8).

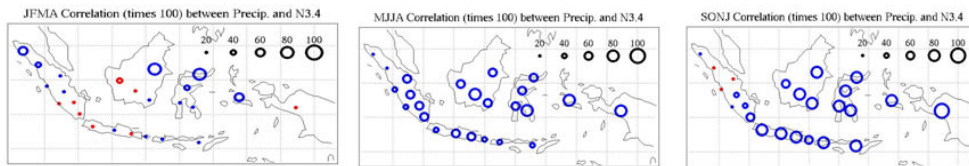
Hasil wawancara menunjukkan bila terjadi banjir petani cenderung pasrah dengan keadaan tersebut dan tidak ada respon yang diberikan atau hanya menunggu sampai air surut. Sedangkan bila terjadi kekeringan, 5 % petani memompakan air untuk memenuhi kebutuhan air tanaman mereka, selebihnya 95 % mengandalkan ketersediaan air irigasi dari sungai (gambar 12). Rendahnya petani yang melakukan pompanisasi untuk pemenuhan kebutuhan air tanaman karena biaya untuk pompanisasi cukup mahal.

Indigenous teknologi yang sering digunakan dalam (i) penentuan musim hujan adalah dengan mengamati perubahan kedudukan bintang tujuh (ada sebagian penduduk menyebut tanda-tanda yang mengarah ke bintang Timur) pada ufuk Timur bergerak ke ufuk Barat bagian Selatan, dan (ii) penentuan awal musim tanam yang umum digunakan oleh petani adalah pengamatan kejadian hujan setiap tanggal 31 Oktober, dimana jika terjadi hujan maka produksi usahatani akan baik, sementara jika pada tanggal tersebut tidak terjadi hujan, maka akan sering mengalami risiko produksi berupa tanam berulang antara 2 – 3 kali, sering mengalami gangguan hama (ulat akar) dan hasil yang diperoleh cenderung mengalami penurunan.

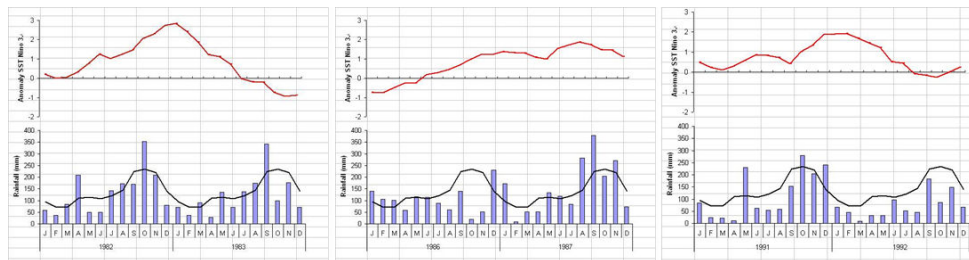
Potensi Pemanfaatan Informasi Iklim Untuk Mendukung SUT

Ramalan atau prakiraan tidak selalu benar. Ada kalanya salah dan ada kalanya benar. Jadi setiap prakiraan atau ramalan memiliki peluang untuk salah atau benar. Kalau dikatakan bahwa peluang terjadinya besar, berarti dapat diharapkan bahwa prakiraan tersebut diharapkan akan terjadi. Sebaliknya kalau dikatakan peluang ramalan kecil, berarti dapat diharapkan bahwa ramalan itu tidak akan terjadi. Apabila setiap ramalan yang diberikan sering benarnya maka dikatakan bahwa *skill of forecast* yang mengeluarkan ramalan tinggi. Oleh karena itu verifikasi terhadap hasil ramalan perlu dilakukan untuk menilai sejauh mana *skill of forecast* yang dimiliki oleh yang mengeluarkan prakiraan (Boer, 2003).

Kejadian iklim ekstrim sering dikaitkan dengan fenomena ENSO. Namun menurut Battisti *et al.*, 2006, daerah Sumatera Utara mempunyai korelasi yang rendah terhadap fenomena ENSO (Gambar 8). Selanjutnya, pola curah hujan di Sei Balai untuk tahun terjadinya ENSO juga menunjukkan korelasi yang rendah (Gambar 8). Untuk itu, model prakiraan iklim di daerah Sumatera Utara perlu dikembangkan lagi terhadap indikator indikator lain selain fenomena ENSO.



Gambar 8. Peta Korelasi Hujan dengan ENSO 3.4



Gambar 9. Pola hujan Sei Balai dan anomali SST Nino 3.4 tahun 82-83, 86-87, 91-92

Agar informasi prakiraan iklim dapat berguna maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan (Walker *et al.*, 2001) ;

- Informasi harus bisa dipercaya dan lebih penting adalah akurat.
- Informasi harus dapat diterapkan pada spesifik usaha tani atau komoditi tertentu.

- c. Pengguna informasi harus mempunyai akses kepada informasi dan harus dapat menginterpretasikan, memahami dan menerapkannya.
- d. Informasi harus selalu dapat dipresentasikan dan diinterpretasikan dalam nilai ekonomi. Misalnya hasil yang tinggi dapat menyebabkan penurunan nilai ekonomi, serta sebaliknya.

Selanjutnya dari berbagai pengalaman terdapat hubungan yang sangat rendah antara jumlah curah hujan dengan keadaan usaha tani terhadap tingkat sensitif tanaman terhadap waktu hujan. Sehingga perlu diciptakan suatu model pertumbuhan tanaman yang terintegrasi antara iklim, tanaman dan kondisi tanah supaya dapat disimulasikan sesuai dengan kondisi *real* pertanaman.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil identifikasi masalah terhadap sistem usahatani lokasi kegiatan sangat dipengaruhi anomali iklim (banjir) dan hama penyakit .
2. Usahatani yang dominan didaerah kajian adalah padi sawah, kebun kakao dan budidaya ikan lele dumbo
3. Persepsi petani hasil wawancara menunjukkan bahwa persepsi petani tentang iklim di daerah kajian saat ini sudah berubah dari tahun-tahun sebelumnya terutama tentang perubahan musim, banjir menjadi lebih sering dan hama penyakit cenderung meningkat
4. Lebih dari 50 % petani tidak mengetahui adanya prakiraan iklim yang dikeluarkan oleh BMG
5. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan petani tentang iklim dilakukan melalui SLI

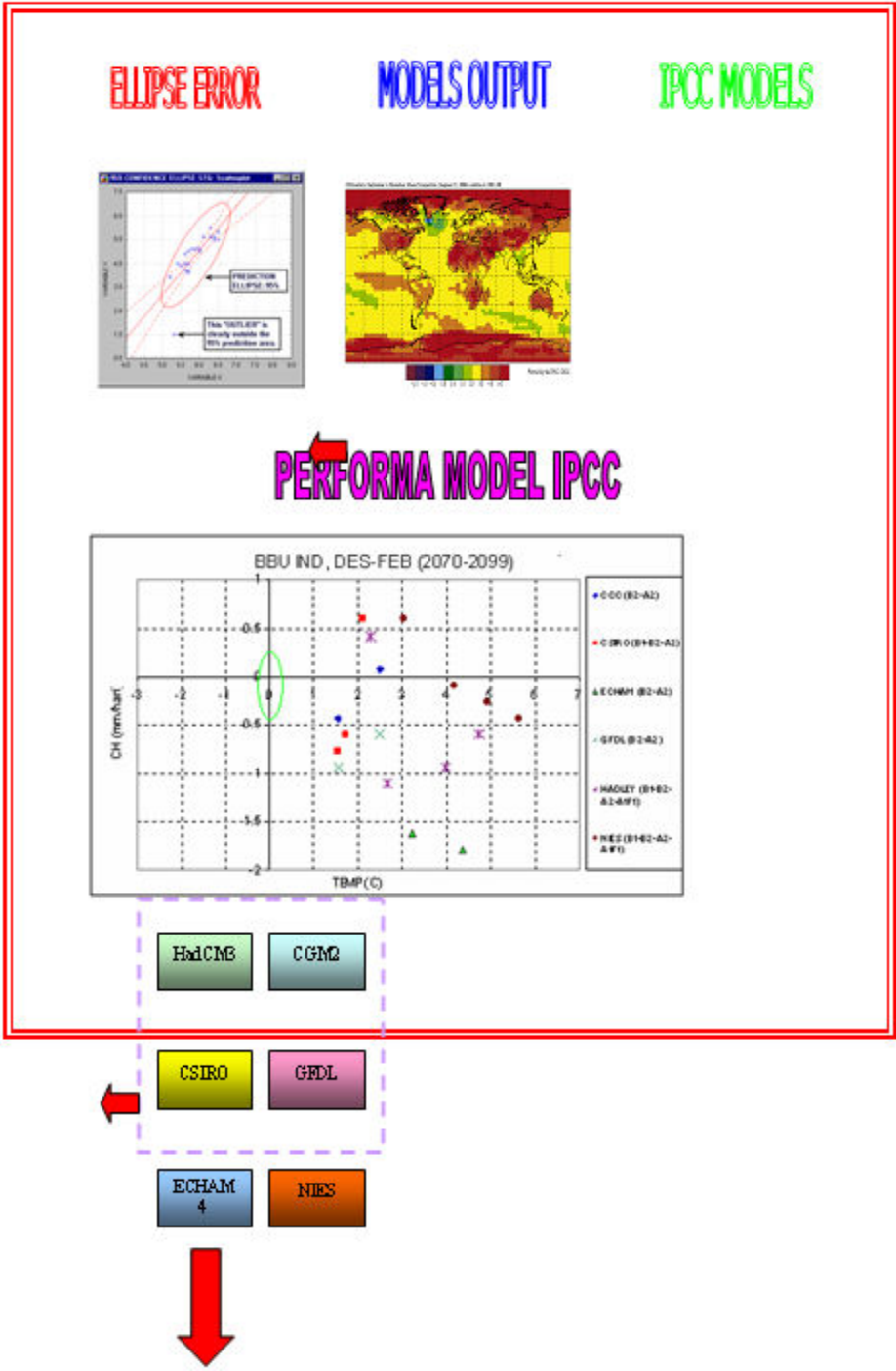
REKOMENDASI

1. Pemahaman tentang pengetahuan iklim di Petani perlu dilakukan melalui SLI untuk pemberdayaan petani dan kelompok tani dalam hal tanggap iklim segera ditindaklanjuti
2. Materi Sekolah Lapang Iklim (SLI) disesuaikan dengan permasalahan iklim yang lebih spesifik di lokasi Sei Balai
3. Pengaturan pola tanam petani
4. Introduksi dan adaptasi varietas tanaman (padi) yang rentan terhadap banjir dan hama penyakit

5. Perlu koordinasi dengan Pemkab maupun PU tentang masalah banjir melalui perbaikan tanggul dan pembuatan saluran drainase menjadi lebih dalam
6. Peningkatan *skill of forecast* prakiraan musim harus dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 2004. Monografi Desa Sei Balai
- Boer, R, Setyadipraktiko. A. 2003. Nilai Ekonomi Prakiraan Iklim.
- BPS. 2005a. Asahan Dalam Angka Tahun 2004. BPS-Badan Pusat Statistik, Kabupaten Asahan.
- , 2005b. Kecamatan Sei Balai Dalam Angka Tahun 2004. BPS-Mantis Kecamatan Sei Balai, Kabupaten Asahan.
- Badan Litbang Pertanian. 2006. Petunjuk Teknis Participatory Rural Appraisal (PRA) Primatani. Departemen Pertanian
- Battisti et al. 2006. Downscaling Indonesia Precipitation: Present and Future Climate Scenarios
- Walker, S, Mukhala, E, Van den Berg W.J. and Manley C.R. 2001. Assessment Of Communication And Use Of Climate Outlooks And Development Of Scenarios To Promote Food Security In The Free State Province Of South Africa



VALIDASI MODEL ARIMA, ANFIS DAN WAVELET UNTUK PRAKIRAAN DI KABUPATEN PACITAN JAWA TIMUR

Antoyo Setyadipratiko¹⁾, Ismail Wahab²⁾, Dhenok Sulistyorini, Retno Wulandari, Suhartono, Joko Budi Utomo, Ahmad Luthfi, Anung, dan Sutamsi³⁾

- 1) Tim CAPaBLE Prop. Jawa Timur. Ka. Stasiun Klimatologi Karangploso Malang.
- 2) Tim CAPaBLE Prop. Jawa Timur. Peneliti BPTP Karangploso Malang.
- 3) Pejabat Fungsional Stasiun Klimatologi Karangploso Malang.

Abstrak

Prediksi musim berbasis data hujan dasarian di Kabupaten Pacitan Propinsi Jawa Timur dicoba dilakukan dengan menggunakan teknik model ARIMA, ANFIS dan transformasi WAVELET. Teknik prediksi berbasis pendekatan statistik ini secara spasial menunjukkan hasil yang cukup memadai. Hasil perhitungan nilai koefisien korelasi (r) spasial luaran dari 3 model menunjukkan bahwa 69 % (9 dari 13 pos hujan) mempunyai nilai $r \geq 0,5$ dengan luasan daerah terbanyak dihasilkan oleh luaran model ARIMA. Sementara itu hasil perhitungan nilai RMSE spasial luaran 3 model menunjukkan RMSE < 60 mm per dasarian sebanyak 5 pos hujan (38%) dengan luasan daerah terbanyak dihasilkan oleh luaran model ARIMA. Prakiraan Awal Musim Hujan pada umumnya luaran dari 3 model menunjukkan hasil yang lebih baik dari pada Prakiraan Awal Musim Kemarau. Korelasi suhu muka laut (SST) di perairan sekitar NTT ($5^\circ - 15^\circ$ LS, $125^\circ - 135^\circ$ BT) lag 1 bulan dengan awal musim hujan di Pringkuku mempunyai hubungan yang cukup baik ($r = 0.69$).

PENDAHULUAN

Pendekatan statistik telah banyak digunakan dalam klimatologi terapan untuk melakukan prediksi unsur iklim. Lebih-lebih pendekatan statistik yang masuk ke dalam jajaran *applied of advanced statistics*. Pendekatan statistik ini mendapat tempat terkait dengan relatif mahalnnya dalam mendapatkan hasil dari luaran model dinamik untuk melakukan prediksi unsur iklim tertentu dengan basis resolusi tinggi (*high resolution climate prediction*). Aplikasi klimatologi untuk prediksi unsur iklim yang memiliki peruntukan skala meso, beberapa tahun belakangan ini perkembangannya menjadi sangat signifikan. Sebagai contoh aplikasi di Indonesia, prediksi unsur iklim skala meso ini adalah prediksi musiman curah hujan dalam skala kabupaten (BMG, 2004). Prediksi musiman curah hujan ini meliputi awal musim (*onset of season*) maupun panjang musim (*length of season*), curah hujan bulanan, curah hujan dasarian, dan lain sebagainya bergantung kepada kebutuhan lokal kabupaten yang bersangkutan.

Secara operasional, Badan Meteorologi dan Geofisika telah melakukan prediksi curah hujan musiman dengan basis *seasonal forecast area*. Teknik prediksi yang telah digunakan antara lain adalah Model ARIMA, Model *Exponential Smoothing*, dan Model Regresi Linier (BMG, 2004b).

Dalam tulisan ini akan disajikan hasil validasi tentang prediksi curah hujan dasarian dengan pendekatan statistik menggunakan teknik prediksi model ARIMA, ANFIS dan transformasi WAVELET. Teknik prediksi ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) mempunyai analisis time series dan proses rata-rata bergerak yang terintegrasi (Soetanto, 2007), sedangkan ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy training of Sugeno-type FIS*) menggabungkan konsep *neural-network* dengan *fuzzy logic* (BMG, 2007), sementara transformasi WAVELET ini memiliki potensi yang baik untuk analisis deret waktu-frekuensi (Ratag, 2005) dan alat yang ideal untuk mendeteksi fluktuasi-fluktuasi periodik yang bersifat transient dan juga parameter-parameternya (BMG, 2007). Selain itu teknik prediksi ini sangat relevan digunakan untuk prediksi curah hujan, baik secara dasarian maupun bulanan. Teknik prediksi ini mampu melakukan *capture* terhadap variabilitas data yang dipengaruhi oleh fenomena atmosfer global yang terkait dengan keberadaan data sekunder yang digunakan dalam pengolahan data.

Adapun tujuan dilakukan kajian ini adalah sebagai berikut :

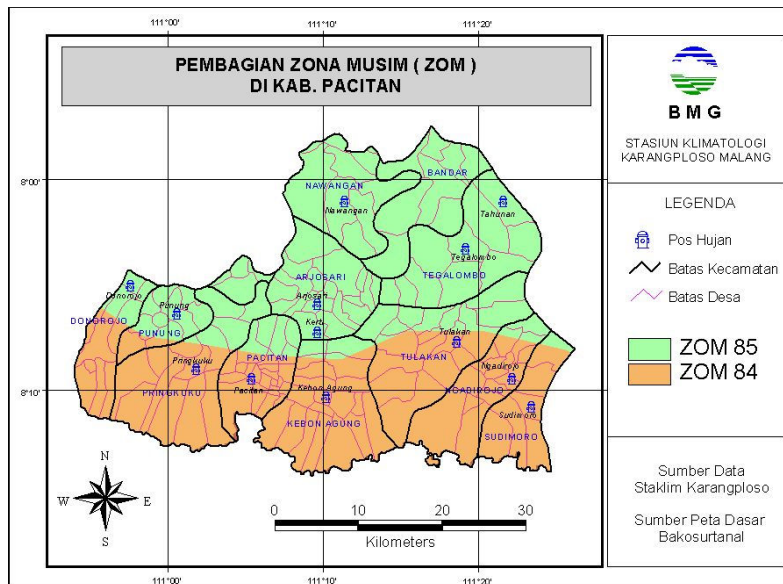
- (a) Melakukan prakiraan curah hujan dasarian dan validasinya selama tahun 2002 s/d 2006 di daerah studi dengan pendekatan statistik menggunakan teknik prediksi model ARIMA, ANFIS dan transformasi WAVELET.
- (b) Melakukan verifikasi data hasil prediksi model dengan observasi yang bersifat deterministik yakni dengan membuat tabel kontigensi untuk kategori sifat hujan di atas normal/AN dan dibawah normal/BN (Wilks, 1995).
- (c) Memetakan hasil perhitungan nilai koefisien korelasi (r), nilai RMSE dan nilai Accuracy dari ke-3 model dengan menggunakan fasilitas modus *intersection* dari SIG ArcView (Prahasta, 2005).

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Wilayah Kabupaten Pacitan Propinsi Jawa Timur yang terdiri dari 13 Kecamatan dan 2 Zona Prakiraan Musim (ZOM) digunakan sebagai daerah studi dalam melakukan prediksi curah hujan dasarian. Ketiga belas kecamatan ini memiliki kondisi permukaan yang relatif bervariasi, di bagian Barat, Utara dan Timur terdapat dataran tinggi, semakin rendah

ketinggian elevasi ke arah tengah dan Selatan. Ketinggian dari permukaan laut antara 1 hingga 1500 meter. Profil pembagian zona prakiraan musim di daerah studi (Kab. Pacitan Propinsi Jawa Timur) secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta zona prakiraan iklim/musim di Kab. Pacitan Propinsi Jawa Timur.

Data

Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan dasarian dari 2 Zona Musim di Kab. Pacitan Prop, Jawa Timur periode tahun 1991-2006, sedangkan data yang digunakan untuk validasi dari tahun 2002 s/d 2006, kecuali pos hujan di Pringkuku validasi data mulai tahun 1997 s/d 2006 (10 tahun). Lokasi penakar hujan yang digunakan adalah Pacitan bag. Selatan (ZOM 84), dan Pacitan bag. Utara (ZOM 85).

Metodologi

Metode Prediksi yang digunakan adalah model Anfis dan Wavelet (BMG, 2007) dan model Arima (Nuryadi, 2006; Soetamto, 2007). Tahapan Prediksi menggunakan Anfis dan Wavelet adalah a) Data curah hujan dasarian diurutkan ke bawah secara time series, b) Data hasil olahan Microsoft Excel dicopy ke dalam format notepad dengan bentuk file.txt, c) Melakukan operasi running bahasa pemrograman Matlab versi 7.1. yang sudah diolah dalam Hy BMG, d) Melakukan load data yang disimpan

dalam bentuk file.txt untuk di running ke dalam operating system Wavelet dan Anfis, dan e) Hasil keluaran Anfis dan Wavelet di plot dalam peta Zona Musim di Kab. Pacitan Propinsi Jawa Timur.

Tahapan analisis prediksi menggunakan Arima adalah a) Data curah hujan dasarian diurutkan ke bawah secara *time series*, b) Data series dari Microsoft Excel di copy ke Software Minitab, c) Menjalankan Software Arima untuk tiap-tiap pos, dengan mengambil nilai p, d, q dan P, D, Q yang paling tinggi korelasinya (rata-rata ordo 1-1-1), dan d) Hasil keluaran Arima di plot dalam peta Zona Musim di Kab. Pacitan Propinsi Jawa Timur.

Metode Evaluasi

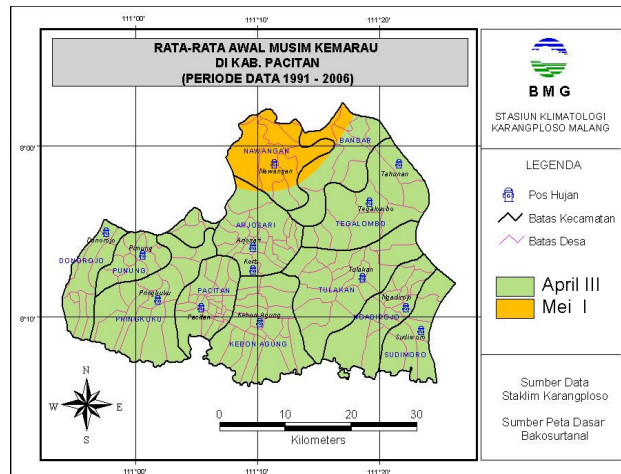
Tingkat kesesuaian prediksi curah hujan dasarian dianalisis menggunakan nilai koefisien korelasi (r) spasial (Nazir, 2003) dan nilai RMSE spasial (Wilks, 1995) dan kontigensi. Tingkat akurasi spasial prediksi curah hujan diketahui dengan memetakan perbedaan hasil prediksi curah hujan dengan observasinya menggunakan kriteria nilai $r \geq 0.5$ dan $RMSE \leq 60$ mm per dasarian. Kedua kriteria tersebut di atas ditentukan berdasarkan asumsi bahwa untuk awal Musim Hujan (MH) atau Musim Kemarau (MK) nilai observasi sebesar 50 mm per dasarian dianggap memenuhi kriteria batas musim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

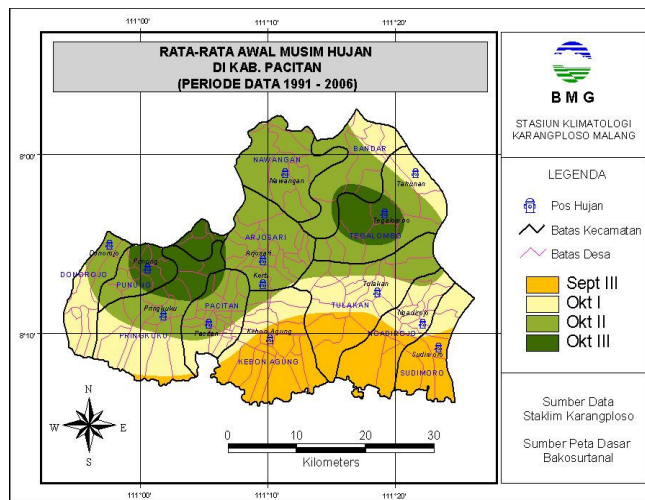
Karakteristik curah hujan

Di wilayah Kabupaten Pacitan Propinsi Jawa Timur, bulan April dan bulan Oktober dapat dipandang sebagai bulan-bulan transisi. Holton (1992) menyebutnya sebagai '*rapid transition season*' untuk wilayah monsoon '*maritime continent*' Indonesia Dalam kondisi normal, bulan April masih terdapat curah hujan menjelang Musim Kemarau tiba. Awal Musim Kemarau (AMK) terjadi pada dasarian April III dengan panjang musim rata-rata 17 dasarian. Curah hujan dalam MK berkisar antara 200 mm s/d 450 mm dengan curah hujan paling rendah terdapat di ZOM 84 bag. Barat (sekitar Donorejo). Sebaliknya pada bulan Oktober, sudah terdapat curah hujan sebelum memasuki MH. Awal Musim Hujan (AMH) terjadi pada dasarian September III dengan rata-rata panjang musim 19 dasarian. Curah hujan pada MH rata-rata berkisar antara 1500 mm s/d 2500 mm dengan curah hujan tertinggi terdapat di ZOM 84 sekitar Kebonagung. Musim kemarau paling awal adalah pada April III sedangkan paling akhir ada di bulan Mei I.

Karakteristik awal musim kemarau di daerah studi dapat dilihat pada Gambar 2. Umumnya awal musim kemarau dimulai dari bagian selatan dan tengah dan secara bertahap bergeser ke arah Utara (Nawangan). Untuk awal musim hujan di wilayah Kabupaten Pacitan dimulai dari daerah Selatan dan secara bertahap bergeser ke arah Utara dan Barat, informasi selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.



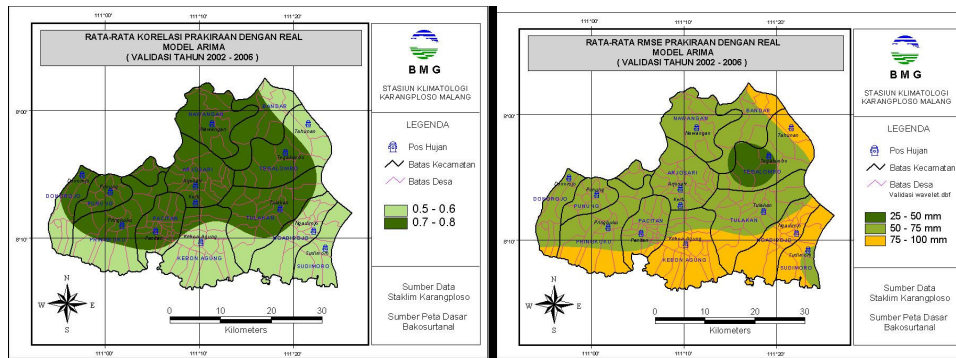
Gambar 2. Normal awal musim kemarau di Kab. Pacitan Prop.Jawa Timur (Sumber: Staklim Karangploso Malang dan BMG Pusat).



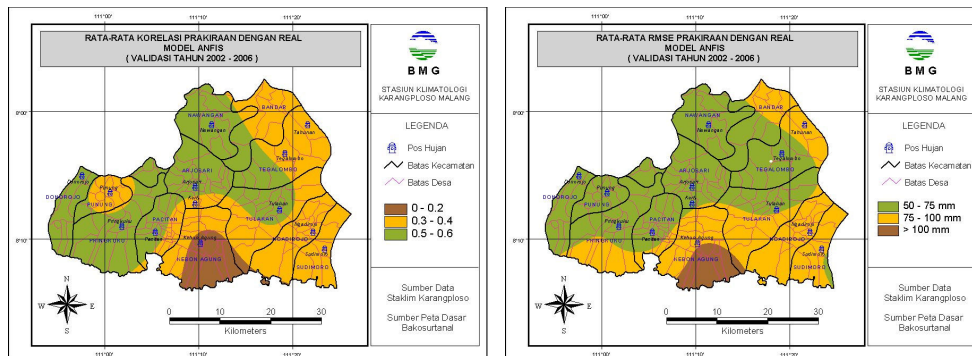
Gambar 3. Normal awal musim hujan di Kab. Pacitan Prop.Jawa Timur (Sumber: Staklim Karangploso Malang dan BMG Pusat).

Validasi Prediksi Hujan Dasarian

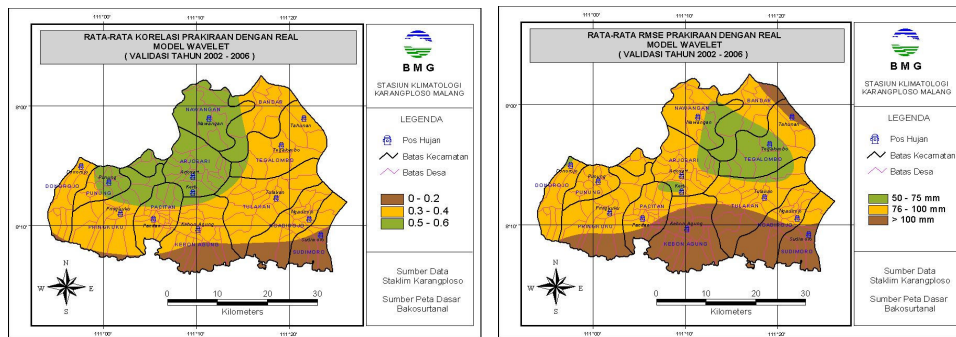
Hasil validasi prediksi curah hujan dasarian tahun 2002 s/d 2006 pada 13 pos hujan di daerah studi dengan menggunakan 3 model dapat dilihat pada Gambar 4, 5 dan 6. Nilai koefisien korelasi (r) hasil validasi prediksi curah hujan dasarian luaran model ARIMA lebih baik dari luaran model ANFIS maupun WAVELET. Sebanyak 9 pos hujan (69%) di daerah studi mempunyai nilai $r > 0.5$ terutama terjadi pada tahun 2002 dan 2003 rata-rata 0.6 s/d 0.7, sementara nilai rata-rata RMSE < 60 mm terbesar rata-rata terdapat pada 5 pos hujan (38%). Selanjutnya gabungan dari nilai $r > 0.5$ dan nilai RMSE < 60 mm yang lebih besar dari 60% terdapat pada 6 pos hujan atau sekitar 46% dari 13 pos hujan dihasilkan oleh model ARIMA, sementara model Anfis hanya terdapat di 1 pos hujan (7%) dan model Wavelet tidak terdapat sama sekali.



Gambar 4. Korelasi (r) dan RMSE hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Arima.

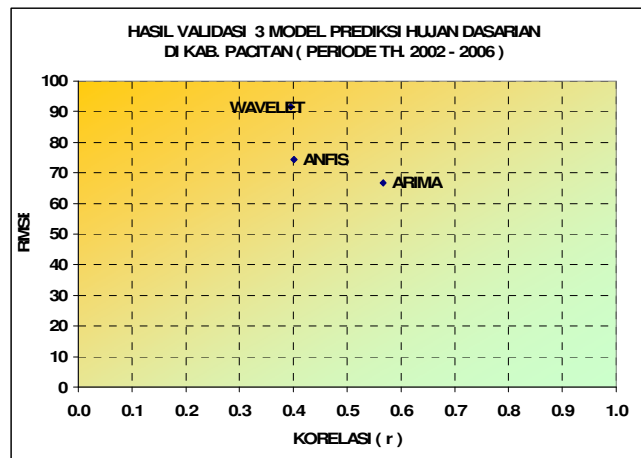


Gambar 5. Korelasi (r) dan RMSE hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Anfis.



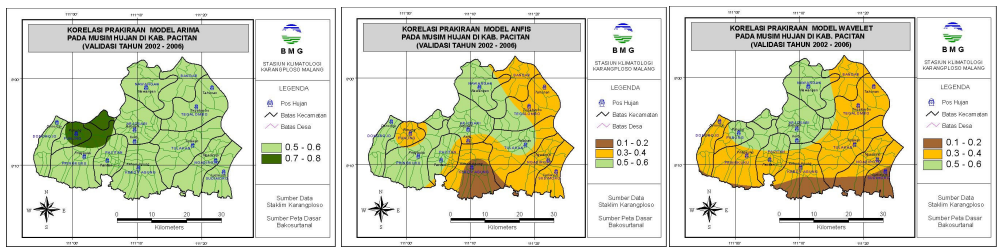
Gambar 6. Korelasi (r) dan RMSE hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Wavelet.

Nilai koefisien korelasi yang tinggi ($r > 0.5$) serta nilai RMSE < 60 mm tertinggi dengan bobot $> 80\%$ terdapat dari luaran model ARIMA, sedangkan model ANFIS dan model Wavelet masih jauh lebih rendah. Secara skematik informasi selengkapnya kondisi tersebut di atas dapat disajikan pada Gambar 7 berikut ini :



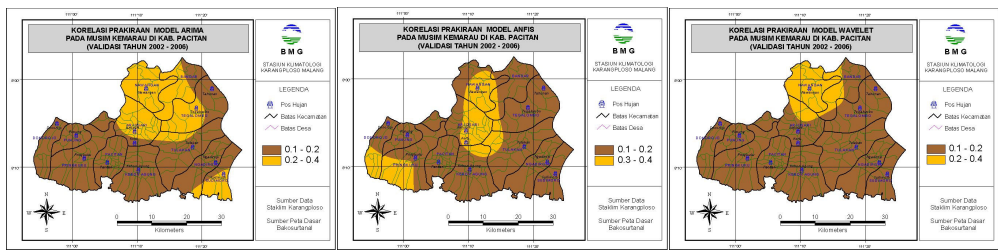
Gambar 7. Nilai r dan RMSE hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Arima, Anfis dan Wavelet.

Hasil analisis menggambarkan bahwa ke 3 model menghasilkan nilai r yang lebih baik pada prediksi periode musim hujan (Oktober – Maret). Model Arima memberikan hasil yang cukup baik dari ke-2 model lainnya, dimana nilai korelasi (r) berkisar antara 0.5 s/d 0.8 dengan nilai RMSE antara 51 – 75 mm, model Anfis dan Wavelet mempunyai nilai r antara 0.1 s/d 0.6 dengan nilai RMSE antara 75 – 100 mm. kondisi sebaran nilai korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini :



Gambar 8. Korelasi (r) hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial periode MH Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Arima (a), Anfis (b), dan Wavelet (c).

Pada periode musim kemarau (MK), hasil prediksi menunjukkan semua model memberikan hasil $r < 0.4$, dengan nilai RMSE terkecil dimiliki oleh model ARIMA yakni antara 0 – 25 mm, model Anfis dan Wavelet mempunyai kisaran RMSE antara 25 – 50 mm (Gambar 9).



(a)

(b)

(c)

Gambar 9. Korelasi (r) hasil validasi prediksi curah hujan dasarian spasial periode MK Tahun 2002-2006 menggunakan teknik prediksi model Arima (a), Anfis(b), dan Wavelet (c).

Hasil Validasi Prediksi Hujan Bulanan dan Triwulanan

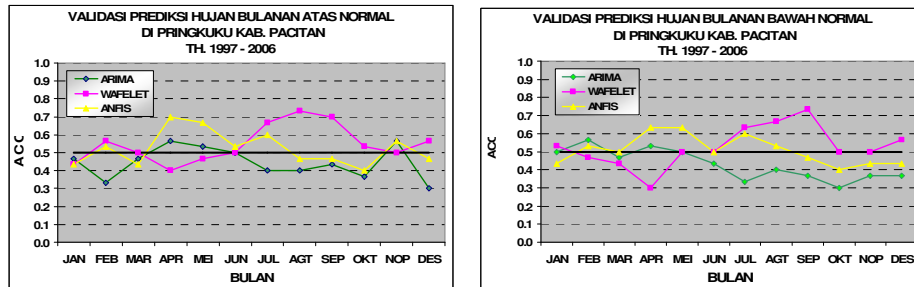
Validasi prediksi hujan bulanan dan 3 bulanan menggunakan data Kecamatan Pringkuku periode 1997-2006. Dalam membuat validasi dilakukan verifikasi prediksi menggunakan tabel kontingensi. Tabel ini menunjukkan frekuensi “ya” dan “tidak” bahwa prakiraan akan terjadi atau tidak terjadi. Ada empat (4) istilah yang digunakan (Wilks *et al.*, 1995) yaitu *hit* (prakiraan mengatakan kejadian akan terjadi, dan ternyata benar terjadi), *miss* (prakiraan mengatakan kejadian tidak akan terjadi, dan ternyata terjadi), *false alarm* (prakiraan mengatakan kejadian akan terjadi, dan ternyata tidak terjadi), dan *correct negative* (prakiraan mengatakan kejadian tidak akan terjadi, dan ternyata benar tidak terjadi).

Hasil analisis accuracy menunjukkan ukuran banyaknya bagian yang benar dari sejumlah prakiraan yang diberikan. Selang nilai *Accuracy*

ini adalah dari 0 sampai 1, prakiraan sempurna bila nilainya 1. Accuracy (ACC) adalah $hits + correct\ negative$, kemudian dibagi dengan total data.

Untuk prediksi curah hujan bulanan dan triwulan di Pringkuku digunakan kriteria sifat hujan di atas normal (AN) dan di bawah normal (BN), hal ini dilakukan mengingat informasi prakiraan hujan/musim mengeluarkan pernyataan AN dan BN sangat mengandung informasi “warning” terhadap kondisi iklim yang sedang dan akan berlangsung. Sifat hujan AN berdampak pada lebih banyaknya hujan yang akan terjadi (anomali/penyimpangan positif), sedangkan sifat hujan BN lebih diartikan hujan akan sangat kurang dari biasanya (anomali/penyimpangan negative).

Dari hasil validasi dan verifikasi tersebut, maka tingkat akurasi (ACC) prakiraan hujan bulanan dari ke-3 model berkisar antara 0.3 (30%) s/d 0.7 (70%) baik pada kategori sifat hujan AN maupun BN. Pada prakiraan hujan AN bulan Pebruari s/d Mei di dominasi oleh model Anfis (ACC = 0.6), namun mulai bulan Juli sampai Oktober di dominasi oleh model Wavelet. Pada awal musim hujan (Nop) akurasi prediksi hujan AN lebih baik daripada prediksi awal musim kemarau (April). Fluktuasi nilai Akurasi (ACC) dari pos hujan Pringkuku dapat dilihat pada gambar berikut ini (Gambar 10) :

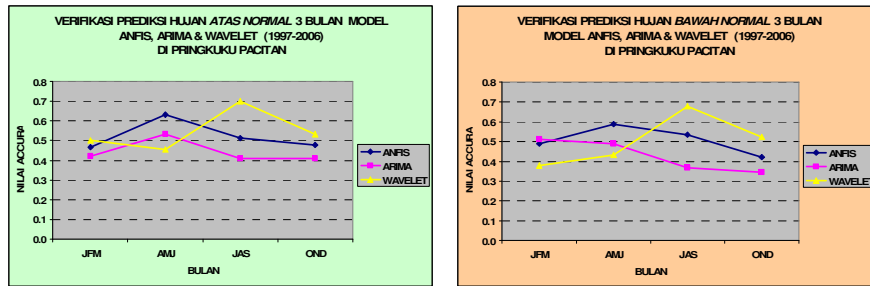


(a)

(b)

Gambar 10. Validasi model prediksi hujan bulanan pada sifat hujan AN (a) dan BN (b) Di pos Pringkuku Kab. Pacitan

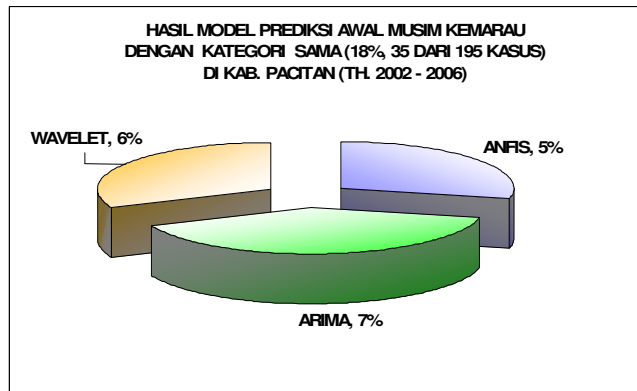
Verifikasi prakiraan hujan 3 bulanan (triwulan) juga dilakukan pada pos hujan Pringkuku). Pada bulan JFM (Januari-Pebruari-Maret) prediksi hujan AN mempunyai akurasi (ACC) 0.4 – 0.5 untuk semua model, model Arima dan Anfis mempunyai pola yang mirip, sedangkan model Wavelet punya nilai ACC yang baik pada bulan JAS (Juli-Agustus-September) mencapai 0.7. Untuk prediksi hujan dengan sifat BN, model Arima dan Anfis mempunyai akurasi yang cukup baik pada bulan-bulan JFM dan AMJ sedangkan model Wavelet cukup baik pada bulan JAS. Grafik selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 11.



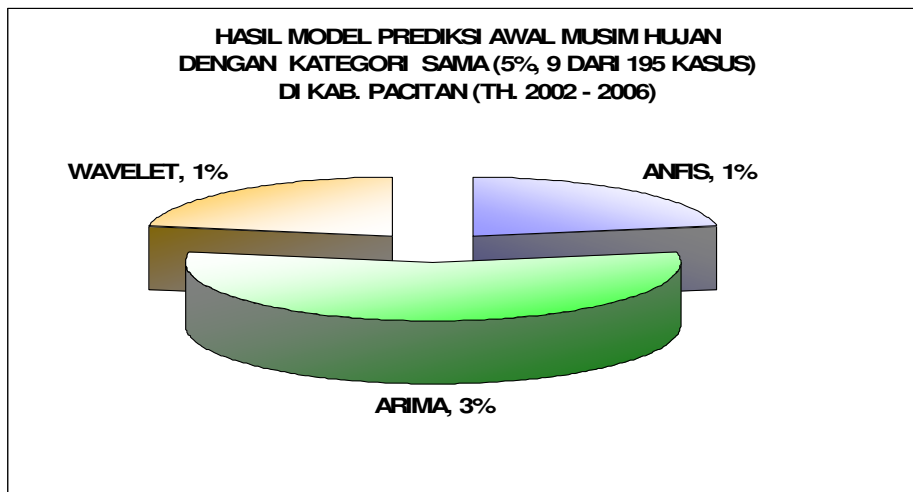
Gambar 11. Akurasi prakiraan hujan 3 bulanan pada kategori sifat AN (atas) dan BN (bawah) Di Pringkuku Kab. Pacitan Propinsi. Jawa Timur

Hasil Validasi Prediksi Awal Musim

Hasil validasi awal musim kemarau (AMK) dan awal musim hujan (AMH) periode tahun 2002-2006 menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada prediksi AMK ke-3 model menunjukkan 45% hasil validasi mundur, 37% maju dan 18% "sama". Pada kategori AMK model Arima menghasilkan 20.0% daerah ZOM pada umumnya mundur, model Anfis 13%, dan model Wavelet 12%. Pada kategori "sama" hanya 18% dari total, dimana 7% keluaran Arima, 6% Wavelet dan 5% Anfis. Pada katagori "maju" dari 37% didominasi oleh Wavelet dan Anfis masing-masing 15% sisanya oleh model Arima hanya 6%. Untuk validasi prediksi AMH semua model memberikan hasil 67% "maju", 28% "mundur" dan hanya 5% yang "sama". Perbandingan hasil validasi dari ke-3 model untuk prediksi awal musim dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13 berikut :



Gambar 12. Perbedaan antara prediksi dengan observasi awal musim kemarau menggunakan teknik prediksi Arima, Anfis dan transformasi Wavelet pada katagori "sama".

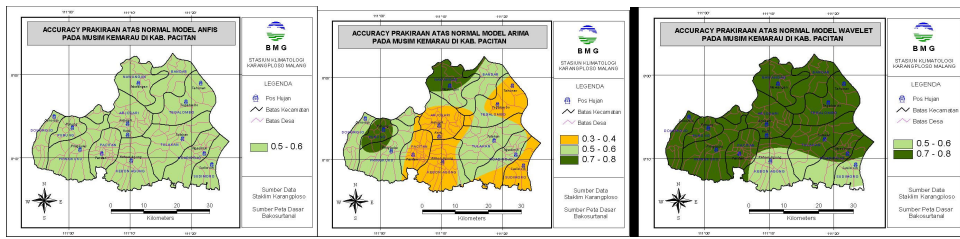


Gambar 13. Perbedaan prediksi dengan observasi awal musim hujan menggunakan metode Arima, Anfis dan transformasi Wavelet pada katagori "sama".

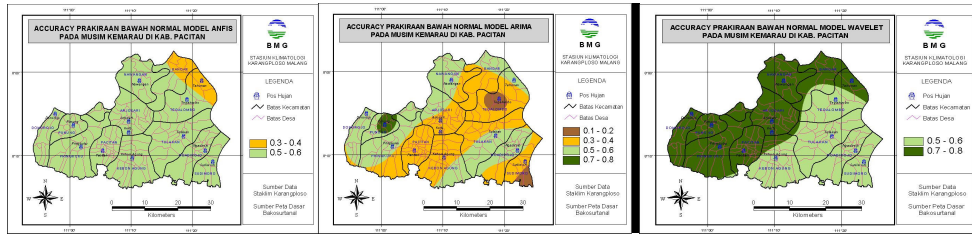
Apabila prediksi awal musim di verifikasi dengan menggunakan tehnik tabel kontigensi pada sifat hujan diatas normal (AN) dan dibawah normal (BN), maka luaran ke-3 model menghasilkan informasi sebagai berikut :

Pada Musim Hujan, kategori Sifat Hujan AN menggunakan model Arima mempunyai akurasi antara 0.3 - 0.8, umumnya 0.5 - 0.6. Model Anfis mempunyai akurasi antara 0.5 - 0.8, umumnya 0.5 - 0.6. Model Wavelet akurasi antara 0.5 - 0.6. Sedangkan kategori sifat hujan BN menggunakan Model Arima mempunyai akurasi antara 0.3 - 0.6, umumnya 0.3 - 0.4. Model Anfis mempunyai akurasi antara 0.3 - 0.6, umumnya 0.5 - 0.6. Model Wavelet mempunyai akurasi antara 0.5 - 0.6.

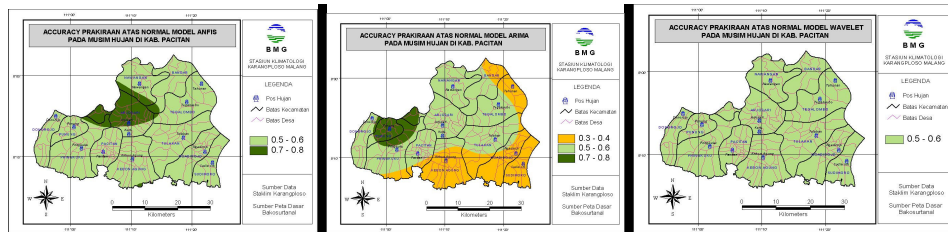
Pada Musim Kemarau, kategori sifat hujan AN menggunakan Model Arima mempunyai akurasi antara 0.3 - 0.8, umumnya 0.5 - 0.6. Model Anfis mempunyai akurasi antara 0.5 - 0.6, umumnya 0.5 - 0.6. Model Wavelet akurasi antara 0.5 - 0.8, umumnya 0.7 - 0.8. Kategori Sifat Hujan BN menggunakan Model Arima mempunyai akurasi antara 0.1 - 0.8, umumnya 0.3 - 0.4. Model Anfis mempunyai akurasi antara 0.3 - 0.6, umumnya 0.5 - 0.6. Model Wavelet mempunyai akurasi antara 0.5 - 0.8, sebagian 0.5 - 0.6 (Pacitan bag. Timur-selatan) dan sebagian 0.7 - 0.8 (Pacitan Bag. Barat-Utara). Gambaran spasial akurasi prakiraan hujan pada musim kemarau dan musim hujan dapat dilihat pada Gambar 14.



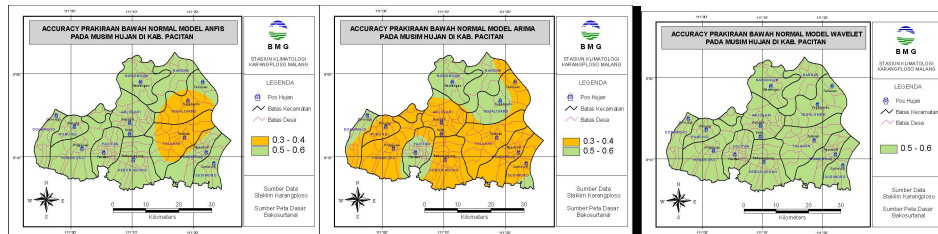
Gambar 14. Akurasi prakiraan sifat hujan AN Model Anfis (kiri) Arima (tengah) dan Wavelet (kanan) pada musim kemarau di Kab. Pacitan.



Gambar 14. Akurasi prakiraan sifat hujan BN Model Anfis (kiri) Arima (tengah) dan Wavelet (kanan) pada musim kemarau di Kab. Pacitan.

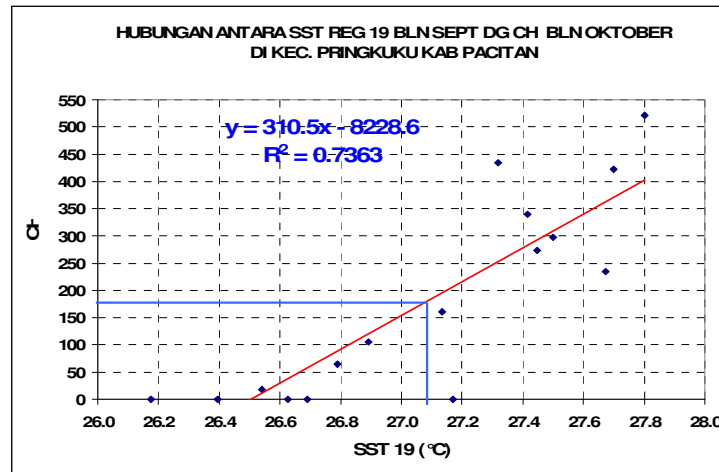


Gambar 15. Akurasi prakiraan sifat hujan AN Model Anfis (kiri) Arima (tengah) dan Wavelet (kanan) pada musim hujan di Kab. Pacitan.



Gambar 15. Akurasi prakiraan sifat hujan BN Model Anfis (kiri) Arima (tengah) dan Wavelet (kanan) pada musim hujan di Kab. Pacitan.

Dalam membuat prediksi AMH(Okt) antara hujan Pringkuku dengan unsur dinamik lainnya yakni suhu muka laut (SML atau SST) di sekitar laut selatan NTT (SST 19) cukup memberikan hubungan yang baik (regresi = 0.73) dengan lag 1 bulan. Artinya SST bulan September dapat digunakan untuk memprediksi hujan pada bulan Oktober dengan tingkat akurasi 73%. Hal ini dapat dilihat dari grafik berikut ini (Gambar 16):



Gambar 16. Hubungan antara SST 19 lag 1 dengan curah hujan bulanan di Pringkuku

KESIMPULAN DAN SARAN

Karakteristik curah hujan dasarian di Propinsi Jawa Timur tahun 2002-2006 mempunyai tipe monsun dengan batas dua musim yang jelas yakni musim hujan dan musim kemarau. Awal Musim Kemarau umumnya terjadi pada dasarian ke 13 atau bulan Mei dasarian ke I dengan panjang musim kemarau rata-rata 17 dasarian, sedangkan Awal Musim Hujan terjadi pada dasarian ke-31 atau Dasarian I bulan Nopember dengan panjang musim 18 dasarian.

Luaran model Arima dan Anfis untuk prediksi hujan dasarian menunjukkan hasil korelasi yang masih dianggap memadai di sekitar 60% - 70% dari luasan daerah studi, sedangkan nilai RMSE < 60 mm per dasarian model Arima dan Anfis juga mempunyai hasil 45% - 55% dari luasan daerah studi di Kabupaten Pacitan Propinsi Jawa Timur.

Akurasi prediksi hujan bulanan di Pringkuku, pada kategori atas normal (AN) maupun bawah normal (BN) model Anfis dan Wavelet cukup baik digunakan daripada model Arima, dengan nilai akurasi antara 0.5 – 0.6.

Untuk prediksi jangka waktu triwulan (3 bulanan) di Pringkuku, pada umumnya ke-3 model hampir mempunyai akurasi yang cukup baik pada awal sampai pertengahan tahun, kecuali model Wavelet hanya baik pada bulan JAS (Juli-Agustus-September).

Hasil validasi sifat hujan atas normal (AN) dan bawah normal (BN) pada periode musim hujan dan musim kemarau antara model dengan observasi (real), untuk musim kemarau model Anfis dan Wavelet cukup sesuai dari pada model Arima namun tidak signifikan. Model Arima lebih besar maju daripada katagori sama atau mundur, sedangkan model Anfis lebih dominan mundur. Untuk musim hujan, ke-3 model memberikan hasil "maju" dengan nilai tertinggi pada luaran model Anfis.

Tingkat akurasi prakiraan hujan di musim hujan masih lebih baik daripada musim kemarau, dengan kriteria sifat hujan diatas normal maupun di bawah normal dengan menggunakan model Anfis dan Wavelet.

SST di daerah selatan NTT dapat digunakan untuk membuat prediksi hujan 1 bulan kedepan di Pringkuku pada fase memasuki musim hujan (Oktober - Nopember).

DAFTAR PUSTAKA

- BMG. 2003. Prakiraan Musim Untuk Pertanian Di Kabupaten Indramayu. Laporan Penelitian TA 2003, PUSISDATIN Klimatologi dan Kualitas Udara, Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- BMG. 2004. Prakiraan Musim Untuk Pertanian di 10 Kabupaten Model Statistik Hybrid. Laporan Penelitian TA 2004, Pusat Penelitian dan Pengembangan, BNG, Jakarta, 122 hal.
- BMG. 2004b. Validasi Prakiraan Musim BMG: Model ARIMA, Model Exponential Smoothing, dan Model Regressi Linier. Final Report. Proyek Pengembangan Meteorologi dan Geofisika Pusat, Jakarta,.
- BMG. 2005. Pengembangan dan Evaluasi Model Iklim Statistik Hibrid Skala Global, Regional, dan Lokal Untuk Prakiraan, Simulasi, dan Aplikasi Sektoral. Laporan Penelitian TA 2005, Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMG, Jakarta, 234 hal.
- BMG. 2007. Sosialisasi Teknik Prediksi. Modul Pelatihan 21-24 Mei 2007, Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMG, Jakarta
- Haggett., P. 2001. Geography A Global Synthesis. Pearson Education Limited, Essex CM20 2JE, 833 hal.
- Holton, J.R. 1992. An Introduction to Dynamic Meteorology. International Geophysics Series, Vol. 48, hal. 372.
- Nazir, M. 2003. Metode Penelitian. Penerbit PT Ghalia Indonesia, Jakarta.

- Prahasta, E. 2005. Sistem Informasi Geografis: Tutorial ArcView. Penerbit Informatika, Bandung.
- Ramage, C.S. 1971. Monsoon Meteorology. International Geophysics Series, Vol. 15, Academic Press Inc., New York.
- Ratag, M.A. 2005. Aplikasi Analisis Waktu-Frekuensi Wavelet Untuk Validasi Luaran dan Verifikasi Model Iklim GCM dan LAM: Skala Sub-Musim Hingga Tahunan. Jur. Met. Geo. Vol. 6 No. 1 Edisi Maret 2005, hal. 19 -25.
- Swarinoto, Y.S. 2006. Analisis Pola Spasial Curah Hujan Jawa Barat Bagian Utara dan Prediksinya. Tesis Magister. Program Pascasarjana Magister Ilmu Geografi, FMIPA-UI, Depok.
- Swarinoto, Y.S., Hariadi, M.H., & D.D., Suak. 2006. Batas Uji Spasial Untuk validasi dan Prediksi Curah Hujan Bulanan: Kasus Kabupaten Indramayu, Sumedang, dan Majalengka. Jur. Met. Geo. Vol. 7 No. 2 Juni 2006, hal. 86-95.
- Soetamto., Ulfah, A.M. 2007. Modul Peningkatan Akurasi Prakiraan Musim. Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Wilks, D.S. 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press Inc., San Diego, CA, 467 hal.

FARMING SYSTEM AND CLIMATE RELATED PROBLEMS AT PACITAN DISTRICT, EAST-JAVA

Moh. Ismail Wahab, Antoyo, dan R. Boer

Abstrak

Dampak anomali iklim yang didominasi oleh kekeringan dan kebanjiran terhadap produksi tanaman pangan diawali dengan perubahan sirkulasi udara global dan lokal, curah hujan dan unsur iklim lainnya, pola ketersediaan air, awal dan lamanya musim tanam, pola tanam, luas areal tanam dan panen, serta produktivitas yang berujung pada terganggunya ketersediaan pangan secara regional maupun nasional. Adapun tujuan kegiatan survei adalah: 1) mengidentifikasi masalah terkait iklim pada SUT padi gogo, dan 2) mengkaji potensi pemanfaatan informasi prakiraan iklim untuk mengatasi kejadian iklim ekstrim. Pelaksanaan PRA dilakukan di dua desa, yaitu Desa Sugih Waras dan Desa Pringkuku, Kecamatan Pringkuku pada bulan Agustus 2006. Pengambilan data dilakukan dengan prinsip-prinsip kerja Participatory Rural Appraisal (PRA) yaitu: 1) wawancara mendalam (in-depth interview), 2) pengamatan (observasi), 3) pengamatan pelibatan (participation observasi), dan 4) focus group discussion. Akibat keterbatasan lahan dan ketersediaan air untuk lahan pertanian serta strategi pengadaan bahan makanan pokok bagi keluarga petani, maka hampir keseluruhan petani menerapkan pola tanam tumpangsari yang terdiri dari padi gogo, ketela pohon, dan jagung – kacang tanah/kedelai di lahan tegalannya, dan tumpangsari padi gogo dan jagung di lahan sawah tadah hujannya. Saat tanam komoditas tersebut serentak pada awal musim hujan (secara normal November). Tanaman ketela pohon dan jagung pada posisi sebagai larikan, sedang ruang antara larikan/lorong sebagai hamparan tanaman padi, dan kemudian setelah panen (Pebruari untuk jagung dan Maret untuk padi) diganti oleh tanaman kacang tanah atau kedelai. Penyebab utama kerugian usahatani sebagian besar adalah gangguan musim/iklim. Gangguan iklim sering terjadi pada MT- 2 dan MT-3. Dibandingkan dengan gangguan biologik (hama dan penyakit), gangguan iklim masih menempati peringkat pertama.

Abstract

Impact of climate anomaly which predominated by floods and dryness to food crop production early with change of rainfall, pattern of availability of water, early and the duration of cropping season, cropping pattern, and productivity of food crop. The survey's purposed was to get 1) identifying farming system and climate related problems at Pacitan District, East-Java, and 2) studying potency exploiting of information predict climate to overcome occurrence of extreme climate. The activity of Participatory Rural

Appraisal (PRA) was conducted in two villages, that is Sugih Waras and Pringkuku in August 2006. PRA was held in deep interview, observation, participation observation, and Focus Group Discussion. Almost the overall of farmers apply cropping pattern “tumpang sari”, which consist of upland rice, tapioca, and maize - peanut/soybean in its dry land farm, and “tumpangsari” of upland rice with maize in its not irrigated ricefield farm. The planting time of the crop at the early the rains (normally November), and then after the harvesting of the crop on February for maize and March for upland rice changed by peanut or soybean. The most caused loss of farmingsystem benefit is season trouble or climate problem often happened at planting season - 2 (Pebruary-March) and planting season-3 (May-June). Compared of biologic problems (disease and pest of crop), climate still the most problem of farmingsystem at Pacitan District.

CLIMATE RISK FOR RICE-BASED FARMING SYSTEM AT BANDUNG DISTRICT

Elza Surmaini¹ and Rizaldi Boer²

¹Indonesian Agroclimate and Hydrology Research Institute

²Laboratory of Climatology, GEOMET-FMIPA, Bogor Agricultural University

Abstract

Bandung District were found to be districts that are vulnerable to the ENSO events. Whenever ENSO occurs, this district is always suffering from drought and flood and leads to significant crop production lost. The vulnerable sub-district to flood and drought are Bojongsoang and Ciparay. The research purposed a) to get important information of farmers problems in rice-base farming system and their adaptation mechanism to cope with climate extreme events, b) to obtain relationship of ENSO development and rainfall variability and effect of rainfall to flood and drought occurrences and c) to calculate economic loss due to climate extreme events. Assessment of farming system at the study sites was conducted using Rapid Rural Appraisal method. Rapid Rural Appraisal was held to get information from 144 respondent farmers. Farmer's annual income were analyzed using frequency analysis of gross margin. Sea Surface Temperature in Tropical Pacific has significant effect on rainfall in Ciparay sub-District. Consistent rising of SST anomaly results delay of rainy season, longer period of dry season, and below normal rainfall, while falling of SST anomaly results high intensity rainfall in rainy season and shorter period of dry season. Flood will occur if rainfall anomaly in rainy more than 100 mm/month above normal condition, while drought occur if rainfall in dry season is below normal and period of dry season become longer than normal condition. Flood occurred in rainy season 2001, 2003 and 2005, and drought occurred in dry season 2002, 2003, and 2004. Although almost every year these two villages suffer from flood and drought, but farmers in these two villages always arrange the farming system based on assumption "normal conditions". Whenever ENSO occurs, most of farmers is always suffering from drought and flood and leads to significant crop failure. Based on the interview, most of farmer realized that climate has been changed and recently there is a trend uncertainty rainfall pattern (84% of respondent). Therefore, they are still using traditional way to determine the beginning planting season. BCR (Benefit Cost Ratio) analysis suggests that most of farmers can get benefit from their crops. Crop failure due to extreme climate events such flood and drought will reduce small land holder farmer income. Many farmers will have negative annual income when either first or second crops fail. It is need to to increase awareness of decision maker, extension workers and farmer to climate extremes events and their capability to manage

climate risk trough discuss with decision maker in province level to give better perception about the importance of transformation of climate forecast to the farmer, conduct some training to extension workers how to interpret climate forecast, how to use hardware and software for accessing climate forecast, how to disseminate result of forecast to the farmer and how to use the information especially in determining planting period.

Keywords: vulnerable area, flood, drought, ENSO, rice-based farming system.

INTRODUCTION

Bandung District is one of central paddy production in West Java province. Result of Agriculture census in 2003 showed that agriculture is source of income about 52,2 % of population and employ about 38.12 % of manpower. Agriculture sector contributed USD 3,03 billion to total province gross income, the third biggest after industry and trading and tourism sector .

Rice growing areas in Bandung district are about 55.847 Ha (about 18.2% of total agriculture land) and about 67% of these areas has irrigation facility while the remaining is rainfed rice (Bandung District Agriculture Office, 2005). In a year, some farmers planted their land with rice three times, while others only twice or once. The second or third crops after rice are mostly upland crops such as soybean and lowland vegetables such as chili. In the rainfed areas, some farmers fallow their land during dry season (June-September).

Bandung District were found to be districts that are vulnerable to the ENSO events. Whenever ENSO occurs, this district is always suffering from drought and flood and leads to significant crop production lost. Evaluation to annual production lost from 1989 to 1998 data, it was found that production lost due to flood ranged from 9 to 30 thousand ton per year per district, while those due to drought ranged from 4 to 650 thousand ton. Flood almost occur every year in rice growing area of Bandung district, which caused a production loss of more than 5000 ton of rice per year (Boer, 2002).

Based on recommendation given by Vice Head of District Agriculture Office, the vulnerable sub-district to flood and drought are Bojongsoang and Ciparay. Adaptive capacity of farmer to ENSO event is still low. Farmers always do farming system based on asumption " normal condition" of rainfall. Whenever the ENSO events occur, the districts are always seriously affected and followed by a significant reduction in crop production. They could not antisipate flood and drought occurrence. As consequence, farmers suffer production loss, which cause loss of income .

The research purposed a) to get important information of farmers problems in rice-base farming system and their adaptation mechanism to cope with climate extreme events, b) to obtain relationship of ENSO development and rainfall variability and effect of rainfall to flood and drought occurrences and c) to calculate economic loss due to climate extreme events.

METHODOLOGY

Data and information is collected by visiting the location two times. During the first visit, some quantitative data were collected such as rainfall, flood and drought data, demography, job distribution, educational levels, etc. Quantitative data was collected by interviewed key person to get important information such as farmer characteristics, land holding, farming system, cropping pattern, farmers response to new innovation, main barriers for technologies dissemination, available technologies for extreme climate events, use of climate forecast in agriculture management, and institutional system of the local community were collected from the interview with local authorities (Staff of Local Agriculture Office or Dinas Pertanian) and extension workers. Some chairman of farmer groups are interviewed to get data of farmer characteristics such as age, farmer criterion, planted area, statue of land, main crop and cropping pattern. Based on first interview, questionnaire is arranged to get detail information about land holding, farming system costs, prices, farmer income from on farm and off farm activities, farmer response to climate extreme events, and adaptation mechanism to cope with climate extreme event.

During the second visit, Rapid Rural Appraisal was held to get information from 144 respondent farmers have been identified on first visit. Selection of respondent carried out by stratified cluster sample. Stratified cluster sample is combination between cluster sampling and stratified sampling. First step is two stage cluster sampling. Population divide in two sub-district and every sub-district is selected a village. Sub-district and village is selected purposively based on the most widest affected by drought and flood on recently years. The second step is stratified sampling with clustering farmers in to homogen group based on some criterions such as Types of farmers (owner cultivator, tenant and share-cropper), size of land holding, age, and main crop. RRA was held in deep interview, observation, participation observation, and Focus Group Discussion. Information were collected from about.

Properness of farming system determined by Benefit cost Ratio (BcR) and economic loss due climate extreme events were analyzed base on Farmer's annual income. Farmer's annual income were analyzed using frequency analysis of gross margin. It is assumed that no fail crop, all 1st crop fails when flood occurs in wet season, and all 2nd crops fails when drought occurs in dry season.

RESULT AND DISCUSSION

General Condition

Based on recommendation given by Vice Head of District Agriculture Office, sub-district that should be selected for pilot study is Bojongsoang. This sub-district is very vulnerable to floods. One of vulnerable villages to flood in this sub-district is Tegal Luar. On the other hand, Ciparay sub-district is very vulnerable to drought. One of vulnerable villages to drought in this sub-district is Sumpersari. This village is located in the right hand side of Citarum River. There are three small rivers joint the Citarum River, namely Cinambo, Cikeruh and Citarik. In the left hand side of Citarum river, there is another village called Sumber Sari. The sketch of the area is given in Figure 1.

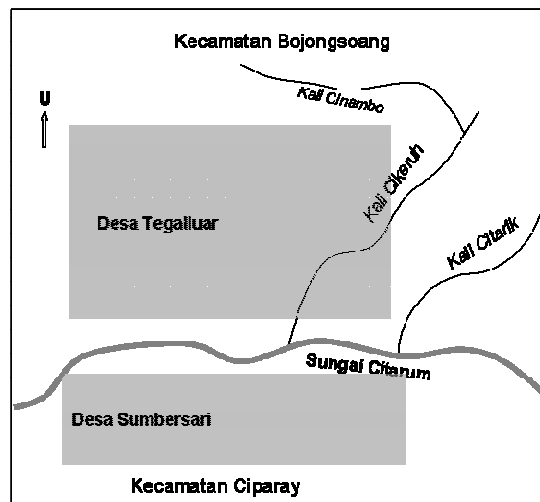


Figure 1. The sketch of Desa Tegalluar and Desa Sumpersari

Ciparay dan Bojongsoang sub-District are central food crop areas in Bandung District. Paddy is main food crop in these villages. Most of agriculture areas are irrigated, only a few are rainfed. Farmers in these two villages normally plant rice twice a year in the irrigated areas and once a year in rainfed areas (Figure 3). The first rice crop is planted in wet season (November-February) with peak planting time in January, and the second crops in dry season (March-June) with peak planting time in May. Maize is the second main crops after rice. Other crops are cassave, sweet potato, onion, long bean, chilli, cucumber and some other vegetable crops. Soybean is planted only by very few farmers. (Figure 2).

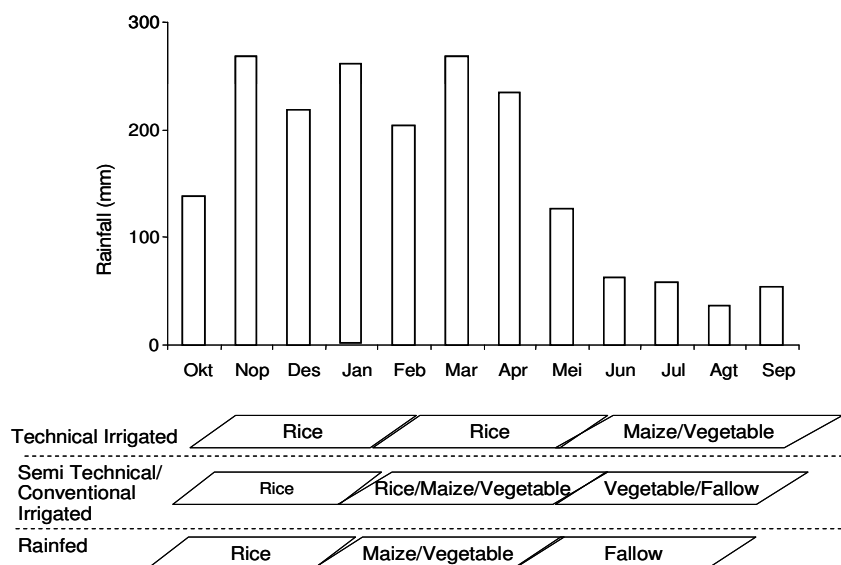


Figure 2. Cropping pattern at ricefield in Summersari and Tegalluar village

Source of farmers' income are normally not only from on-farm activities but also from off-farm activities. At the study areas, on-farm activities are not only from crop cultivation but also from raising small ruminants (sheeps) and duck. Based on interview to 144 farmers, it was found that about 50% of respondents raise sheep and duck. Owner-cultivators normally have their own sheeps, while tenant (penyakap) and share cropper (penggarap) raise sheeps which owned by other rich people with sharing system. The owner of the sheeps should give at least a couple of sheep (one male and one female) to the farmers. When the sheeps propagate and have two young sheeps, the farmers who raise the sheeps can will get one sheep. This is a common practice in the two villages and one of the main source of income. They normally sells the sheep for paying scholl fee of their children. Sheep with age of 2-3 years can be sold a 700,000 IDR (70USD). From raising duck, farmers could earn additional income about 250,000 IDR (25USD) per year (on average one farmer has 10-20 ducks).

Some farmers also have ponds, particularly farmers that have large land. Types of fish being raised are gold fish (*Carassius auratus*), gurame (*Osphromenus olfa*), and bawal (*Pampus chinensis*). One pond can accommodate 1000 fishes. Within three months, a farmer who has a pond could get net benefit of about 2,500,000 IDR (250USD). Income from pond is quite high, however, only a rich farmers have the pond.

Types of off-farm activities of farmers in the two villages are as construction workers, cycling drivers, seasonal traders, and carpenters particularly during dry season. Farmers who have carpenter skill could

earn additional income of about 1,000,000 IDR (100 USD) a year (40 working days). As labors or construction workers, male farmers could earn additional income of about 15,000 IDR (1.5 USD) per day and female farmers about 1.2 USD per day. The working time is from 08.00 to 12.00. In one season they work between 10-15 days.

BCR (*Benefit Cost Ratio*) analysis suggests that most of farmers can get benefit from their crops. All the BCR were higher than 1.0 with exception for 2nd crops from tenant (Table 1). In general the average net income of tenants and share croppers per hectare were lower than those of the owner-cultivator. This is because the cost of production for the tenant is higher than the owner cultivators as they have to pay the land rent, while the income of the share cropper will be less since they have to share their crop with land owners.

Table 1. BCR and Net Income per ha according to farmer types

Villages	Crop	Farmer types	Wet Season		Dry Season 1	
			BCR	Net Income (USD/ha)	BCR	Net Income (USD/ha)
Sumbersari, Ciparay Sub-District	Rice	Onwer-cultivator	1.91	241	1.49	1.07
		Tenant	1.48	152	1.19	57
		Share cropper	1.37	133	1.22	60
Tegalluar, Bojong Soang Sub-District	Rice	Onwer-cultivator	1.88	210	1.32	75
		Tenant	1.59	167	0.98	-4
		Share cropper	1.34	118	1.19	50
	Maize	Onwer-cultivator	2.31	164		
		Share cropper	1.35	68		
Soybean	Share cropper	1.28	80			

Note: 1 USD=10,000 IDR (Indonesian Rupiah)

Climate Related Problems at Ciparay and Bojongsoang Sub District

From interview with farmers in the two villages, it was indicated that flood commonly occur between January and April (flood risk increases when monthly rainfall in these months increase above 300 mm), while drought commonly develops in May (Figure 3). If rainy season ends earlier or rainfall suddenly disappeared after second crop is planted, most of the crops will suffer from drought. This commonly occurs in El-Nino years. At the beginning of wet season (October and December) drought can also occurs. Delay of onset of rainy season and the occurrence of false rain causes crop losses (seedlings fail to be transplanted).

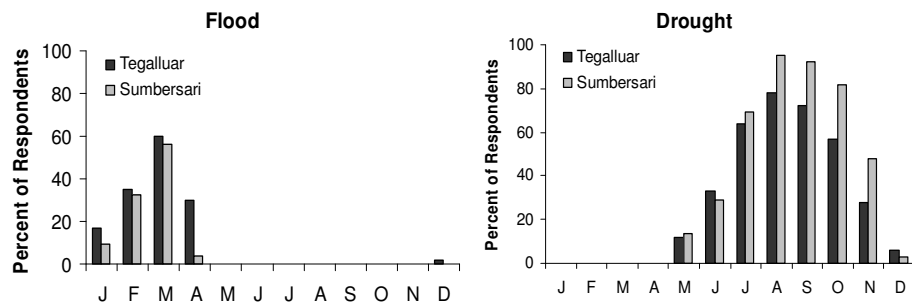


Figure 3. Timing of flood and drought occurrence according to farmers at Sumbersari and Tegalluar villages

Although almost every year these two villages suffer from flood and drought, but farmers in these two villages always arrange the farming system based on assumption “normal conditions”. Farmers normally start planting in November whenever one or two days rain occurs. According to the farmers big floods occurred in 1984, 1993, 1998, 2001, 2003, and 2005 between January to April. After floods, farmers always replant their land with rice and this will delay the planting time for second crops. In most cases, farmers can not get good yields due to drought. Whenever ENSO occurs, most of farmers is always suffering from drought and flood and leads to significant crop failure (Figure 4).

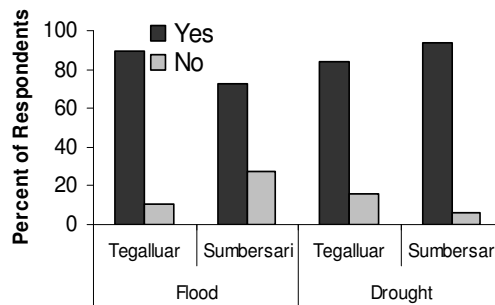


Figure 4. Crop failure caused by flood and drought according to farmers at Sumbersari and Tegalluar villages

Based on the interview, most of farmer realized that climate has been changed and recently there is a trend uncertainty rainfall pattern (84% of respondent). Therefore, they are still using traditional way to determine the beginning planting season. Farmers normally start planting whenever one or two days rain occurs. Similarly, in dry season if the land still receives one or two days rain farmers will plant their land again. The farmers do not really bother with likely climate condition in the following

months. In long dry season (El-Nino years), the crops will suffer from drought. Since risk of climate hazard in this village is very high, farmers have high expectation to an old man who has ability to forecast flood, since his forecast is almost true. However, he informed the farmers about flood forecast after the farmers plant their land. Thus, the forecast has no use anymore.

ENSO Development and Its Connection with Flood and Drought Occurrence

Recent researches suggest that Sea Surface Temperature (SST) in Nino 3.4 have significant correlation on rainfall in Indonesia (Hendon, 2003; Batisti, 2006, Gianini, 2006), and include Bandung District (Boer and Faqih, 2004; Surmaini et al, 2006). This phenomena is figured by rainfall variability in El Nino years in Ciparay sub-district as follows:

1. Case in rainy season 1986/1987, SST anomaly in Pacific at that time is consistent rising caused low rainfall and rainy season ended earlier and then rainfall in dry season 1987 was below normal due SST anomaly still rising (Figure 5a).
2. Increasing SST anomaly in rainy season 1991/92 caused rainy season ended earlier and rainfall was below normal, and then SST anomaly is rapidly falling in dry season 1992 caused above normal rainfall and onset WS 1992/1993 started earlier and rainfall in that period was above normal (Figure 5b).
3. If SST anomaly was rapidly falling until below 0°C in middle year like in 1994/1995, cause dry season 1995 was more shorter and rainfall was above normal, while onset rainy 1994/1995 started earlier with above normal rainfall (Figure 5c).
4. If SST anomaly is rapidly rising to above normal as in middle 1997 due rainfall in dry season 1997 was below normal and onset of rainy season 1997/98 delayed. SST anomaly during dry season 1998 was consistently fall to negative resulted above normal rainfall in rainy and dry season (Figure 5 d).
5. SST anomaly was consistently rising during 2002 caused below normal rainfall in dry season 2002 and rainy season 2002/ 2003 and delay of onset rainy season. SST anomaly started falling in January 2003, cause delay of onset rainy season 2002/2003. Then SST anomaly started rising in May 2003 cause shorter period of rainy season.

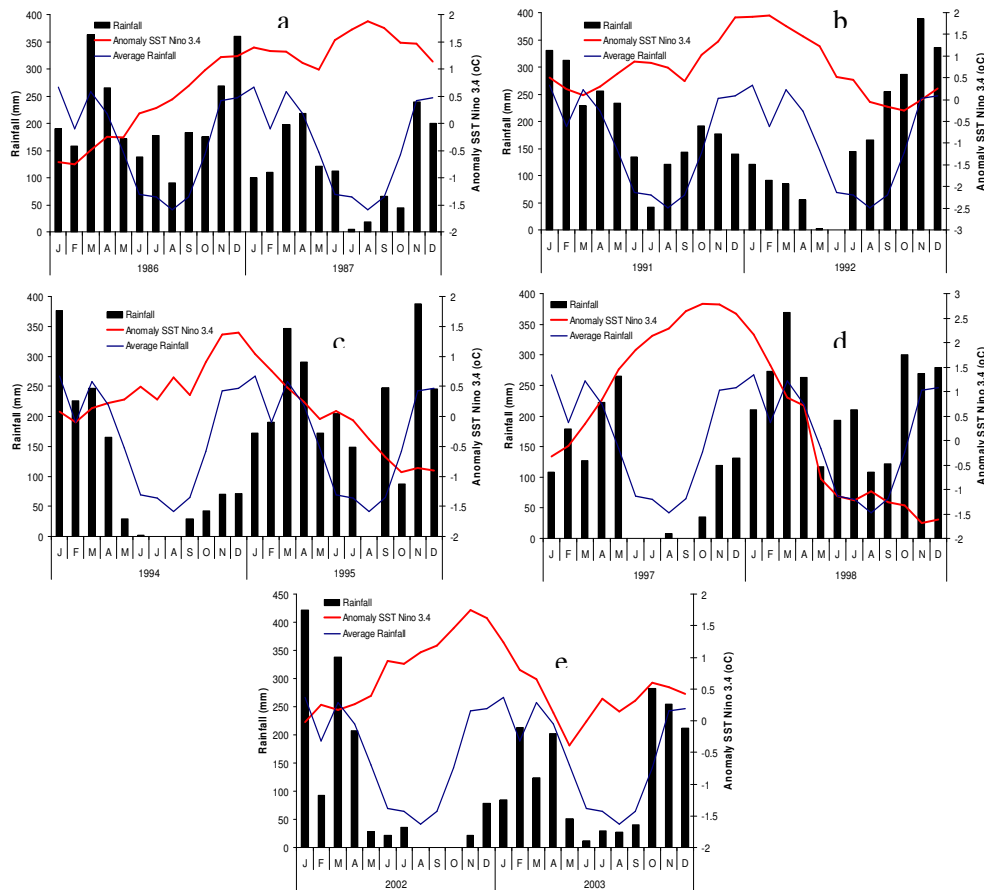


Figure 5. ENSO development and rainfall in Ciparay sub-district

Figure 6 showed total ricefield damaged area due to flood and drought in Ciparay and Bojongsang sub-District in year period 2000-2005. Flood will occur if rainfall anomaly in rainy more than 100 mm/month above normal condition, while drought occur if rainfall in dry season is below normal and period of dry season become longer than normal condition. Flood occurred in rainy season 2001,2003 and 2005, and drought occurred in dry season 2002,2003, and 2004.

From interview with farmers in the two villages, it was indicated that flood commonly occur between January and April (flood risk increases when monthly rainfall in these months increase above 300 mm), while drought commonly develops in May. At the beginning of wet season (October and December) drought can also occurs. Delay of onset of rainy season and the occurrence of false rain causes crop losses (seedlings fail to be transplanted).

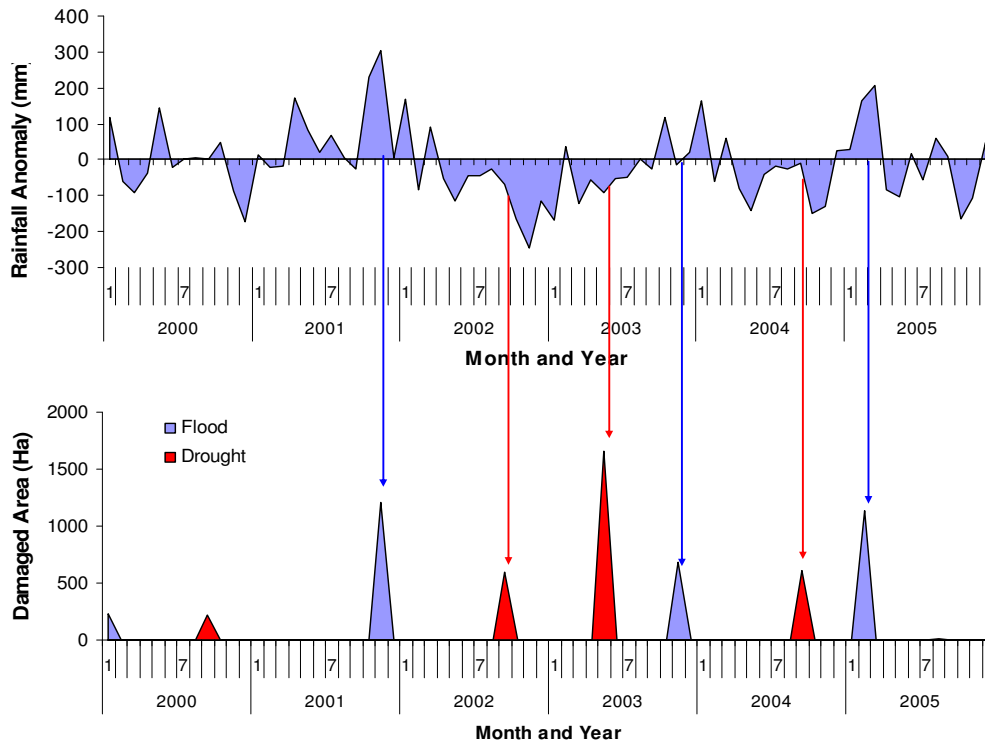


Figure 6. Rainfall Anomaly and flood and drought events in Ciparay and Bojongsoang sub-District

Economic Loss Due to Flood and Drought

Crop failure due to extreme climate events such flood and drought will reduce small land holder farmer income. Many farmers will have negative annual income when either first or second crops fail. It is assumed that all 1st crop fails when flood occurs and all 2nd crops fails when drought occurs (Figure 7).

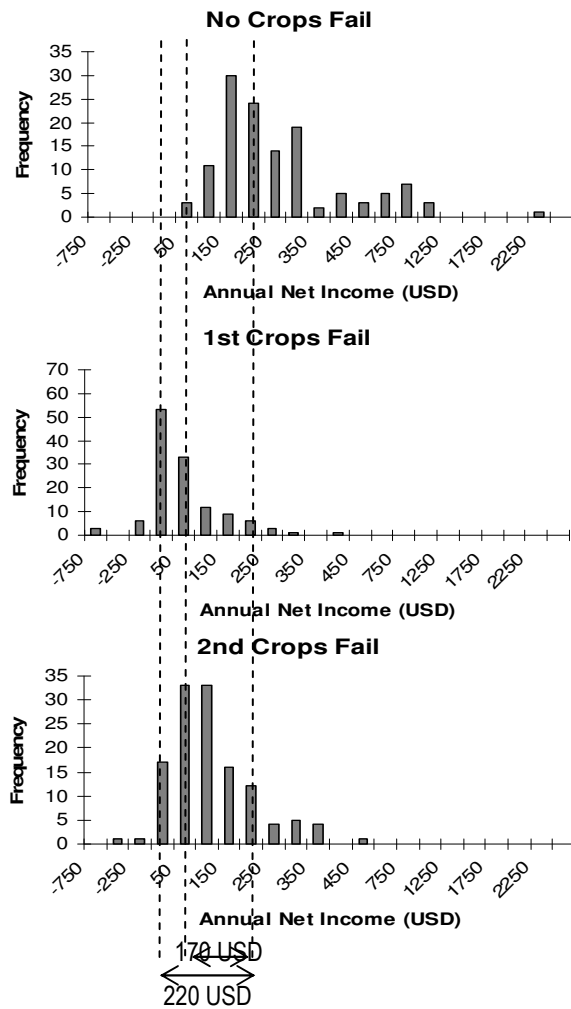


Figure 7. Distribution of annual net income under normal, flood and drought years of the 140 respondent farmers

Strategies to Address Flood and Drought Problems

For the vulnerable areas to ENSO events, better understanding to climate information and adaptive capacity response to the event, is very important. However, the adoption of climate forecast information by users in many countries, particularly developing countries is still low. Most farmers used their own decision and do not consider recommendation issues by the local authorities. Some of the main reasons causing low level of farmers adoption to climate forecast information are (i) climate forecast

information contain probability which are difficult to understand by users, (ii) current dissemination system of the climate forecast is still not effective, (iii) capacity of users in translating climate forecast information for practical use is limited, (iv) there is no specific program being set up at provincial and local level to optimize the use of climate/climate forecast information in agriculture decision making .

Based on the interviews with local authorities and farmers to assess the need of local community to climate forecast information, to identify what factors determine the adaptive capacity, there are some suggestions to increase awareness of decision maker, extension workers to climate extremes events and their ability to manage climate risk as follows :

1. Conduct intensive discussion with extension workers about result of the forecast and how to interpret the forecast in proper ways.
2. Increase capability of the extension worker to use hardware and software for accessing climate forecast
3. Arrange training for extension workers how to disseminate result of forecast to the farmer and how to use the information especially in determining planting period
4. Discuss with decision maker in province level to give better perception about the importance of transformation of climate forecast to the farmer, and to get financial and regulation support.
5. Give a better perspective about the importance of institutional support and availability of extension worker for guarantee forecast information could reach the farmer timely and in simple way.
6. Build intensive communication or coordination between extension workers and farmers' association such as Water User Farmer Association and Farmers' Cooperative, so level of adoption to climate forecast become better.

CONCLUSION

Sea Surface Temperature in Tropical Pacific has significant effect on rainfall in Ciparay and Bojongsoang sub-District. Consistent rising of SST anomaly results delay of rainy season, longer period of dry season, and below normal rainfall, while falling of SST anomaly results high intensity rainfall in rainy season and shorter period if dry season. Flood will occur if rainfall anomaly in rainy more than 100 mm/month above normal condition, while drought occur if rainfall in dry season is below normal and period of dry season become longer than normal condition.

Although almost every year farmer of these two villages is always suffering from drought and flood and leads to significant crop failure, they always arrange the farming system in traditional way and do not use

climate information. There are some reason why they still use their own decision to determine planting decision. Farmers do not receive climate information regularly and some time are too late, sometimes climate information are wrong and they believed to an old man who have ability to forecast flood, since his forecast is almost true.

There are some important suggesstions to increase awareness of decision maker, extension workers anf farmer to climate extremes events and their cability to manage climate risk as follows: a) discuss with decision maker in province level to give better perception about the importance of transformation of climate forecast to the farmer , b) to conduct some training to extension workers how to interpret climate forecast, how to use hardware and software for accessing climate forecast, how to disseminate result of forecast to the farmer and how to use the information especially in determining planting period.

REFERENCE

- Anonyimus. 2006. Annual Report 2005. Bandung District Agriculture Office.
- Battisti, D.S., Vimont, D.j., Naylor, R. Falcon, W., Burke, M. 2006. Downscaling Indonesian Precipitation: Present and future Climate Scenario. Papaer presenting in rountable discussion on coping with Climate Variability and Change in Food Production. Bogor. November 2006.
- Boer R. 2002. Pre-asseessment of vulnerable site to extreme climate event: site selection for pilot project on crop management and exteme climate. Project Report. Asian Disaster Preparedness Centre-Laboratory of Climatology, Bogor Agricultural University
- Boer R, Faqih M. 2004. Global climate forcing factor and rainfall variability in west Java: case study in Bandung District. *J. Agromet* 18(2): 1-12
- Giannini, A. 2006. Seasonality in the predictability of Indonesian monsoonal climate. Paper presented at International Workshop on Use of Ocean Observations to Enhance Sustainable Development - Training and Capacity Building Workshop for the Eastern Indian Ocean, Bali, 7-9 June 2006.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian Rainfall Variability : Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. *J. Climate* (16) : 1775-1790.
- Surmaini E, Boer R, Siregar H. 2006. Pemanfaatan informasi iklim untuk menunjang usahatani tanaman pangan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 24: 40-53

PENGGUNAAN METODE NEAREST NEIGHBORHOOD UNTUK PRAKIRAAN CURAH HUJAN DASARIAN: STUDI KASUS KABUPATEN SUBANG

Woro Estiningtyas

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

Abstract

Many climate prediction methods have been developed which its have positive or negative and different goal for each method. For rainfall parameter, it have been developed not only about the models but the period of prediction, for example monthly, decade or daily. This research discuss specially about decade rainfall prediction, because it has relate with agriculture plan, exspecially food crops. The result of this research show that decade rainfall prediction model with Nearest Neighborhood methods in Subang Distric have a good perform. This is indicated with the value of correlation coefficient more than 0,7 with average value about 0,8. A good perform is resulted by Sukra station with correlation coefficient validation 90,3% or 0,9 and RMSE 13,5% or 0,135. Decade rainfall prediction for Decade II June 2007- Decade I June 2008 is indicated rainfall about 10-99 mm/decade. The rainfall increase start in October 2007 until the pick of rainfall in February 2008 decade III about 99 mm/decade, and than decrease until June 2008.

Key word : rainfall, decade, nearest neighborhood

PENDAHULUAN

Aktifitas pertanian dan air, merupakan dua bagian yang tidak terpisahkan. Dalam melakukan aktifitas pertanian seperti penentuan saat tanam tentu sangat mengandalkan ketersediaan air. Ketidaktepatan dalam penentuan saat tanam akan menyebabkan berkurangnya produksi tanaman karena tanaman tidak dapat tumbuh optimal akibat mengalami cekaman air (*water stress*).

Ketersediaan air melalui curah hujan sangat dipengaruhi oleh anomali iklim. Kejadian anomali iklim berupa *El Nino* seringkali berdampak pada berkurangnya curah hujan yang cukup signifikan pada musim kemarau dan bahkan kekeringan, yang pada akhirnya menyebabkan secara langsung gangguan terhadap sistem produksi pertanian. Kekeringan periode 1980-1990 telah menyebabkan kehilangan produksi beras tiga kali lipat dibandingkan pada periode 1991-2000, yaitu dari 100 ribu ton per tahun per kabupaten menjadi 300 ribu ton per tahun per kabupaten (Boer dan Las, 2003). Hal ini menunjukkan bahwa

produksi beras nasional sangat rentan terhadap kejadian iklim ekstrim. Hasil penelitian Naylor, *et al.* (2007) menunjukkan mundurnya awal musim hujan selama 30 hari pada tahun *El Nino* telah menurunkan produksi beras pada musim hujan (Januari-April) sekitar 6,5% (di Jawa Barat dan Jawa Tengah), dan 11,0% (di Jawa Timur dan Bali). Dari beberapa kali kejadian anomali iklim memperlihatkan bahwa anomali iklim dan curah hujan berkorelasi di sebagian besar di wilayah dimana lebih dari 67% diantaranya merupakan sentra produksi padi (Las, 2006), artinya daerah-daerah sentra pangan ini sangat rentan terhadap anomali iklim.

Berdasarkan kenyataan tersebut di atas, maka kuantifikasi anomali iklim dalam bentuk yang mudah dipahami perlu dilakukan. Salah satunya melalui pengembangan teknologi prakiraan cuaca dan iklim yang lebih praktis, cepat dan dapat diperbarui setiap saat serta tervalidasi.

Saat ini, berbagai model prediksi telah banyak dikembangkan, baik yang berbasis pendekatan statistika maupun model-model dinamis. Dalam penelitian ini disajikan salah satu model prakiraan curah hujan dasarian berbasis pendekatan statistika berdasarkan data curah hujan runut waktu (*time series*).

METODOLOGI

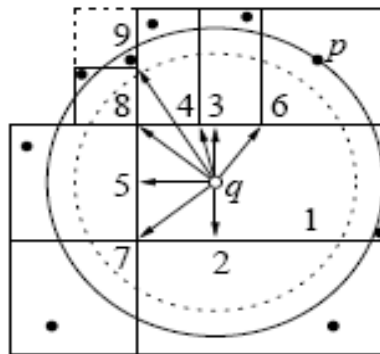
Metode nearest neighborhood/ k -nearest neighbors searching merupakan salah satu algoritma yang dapat dipakai untuk pengenalan pola, pembelajaran mesin, dan pengambilan database. Permasalahan dalam nearest neighborhood yaitu untuk menemukan titik terdekat k dalam set data $X \subset R^D$ yang berisi titik sebanyak n buah untuk mendapatkan titik $q \in R^D$ yang biasanya di dalam jarak *Euclidean* (Liu *et al.*, 2004).

Metode ini mempunyai dua pendekatan yaitu *approximate searching* dan *locality sensitive hashing*. Untuk prediksi curah hujan ini menggunakan *approximate searching* yang sudah ada dalam TSTOOL dari *Drittes Physikalisches Institut, Universität Göttingen* dengan lisensi *Gnu General Public License (GPL)* dengan alamat <http://www.physik3.gwdg.de/tstool>. Pendekatan *approximate searching* menghasilkan titik yang jaraknya dari pengambilan data tidak lebih dari $(1 + \epsilon)$ kali dari jarak k^{th} tetangga terdekat.

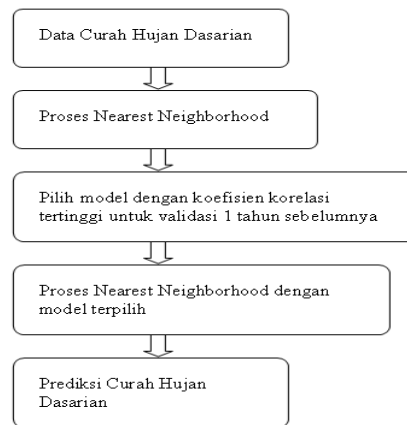
Lebih lanjut algoritma *approximate nearest neighborhood searching* adalah sbb: diberikan titik pengambilan q , dimulai dengan mencari lokasi sel daun (*cell leaf*) yang berisi titik pengambilan di waktu $O(\log n)$ dengan tuntunan yang mudah melalui pohon. Pencarian ini disebut pencarian prioritas. Ketika sebuah sel didapatkan, jarak antara q ke titik yang di dalam sel tersebut dihitung. Data titik terdekat akan disimpan. Gambar 6 menunjukkan sel yang merupakan subdivisi. Setiap sel diberi nomor

sesuai dengan jarak dari titik pengambilan. Simbol p merupakan titik terdekat yang didapat. Setelah jarak dari q ke sel daun sekarang ini melebihi $dist(q, p)/(1 + \epsilon)$ (diilustrasikan dengan lingkaran bertitik (Gambar 1), pencarian dapat dihentikan dan p merupakan sebuah tetangga terdekat yang dapat dikira-kira (*approximate nearest neighbor*) (Arya *et al*, 1994).

Adapun garis tahapan analisis metode yaitu mengkompilasi data curah hujan dasarian dalam bentuk data matlab, data tersebut digunakan untuk proses *nearest neighborhood* dengan menggunakan TSTOOL. Setelah itu model dengan koefisien tertinggi untuk validasi 1 tahun sebelumnya dipilih. Model terpilih diproses *nearest neighborhood* lagi, dan selanjutnya menghasilkan data prediksi curah hujan dasarian. Dari data curah hujan dasarian dibuat menjadi curah hujan prediksi bulanan. Garis besar tahapan analisis metode *nearest neighborhood* disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Algoritma *approximate nearest neighborhood searching*



Gambar 2. Garis besar tahapan analisis metode *nearest neighborhood*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk Kabupaten Subang, pada awalnya pengumpulan data dilakukan di kantor Dinas Pengairan, tetapi ternyata di kantor ini tidak melakukan pengamatan dan pengumpulan data curah hujan. Data-data tersebut dikumpulkan oleh PJT II Divisi III untuk wilayah Subang dan sekitarnya. Dari kantor PJT II Divisi III diperoleh data yang cukup bagus kelengkapannya, baik secara spasial maupun temporal, yaitu data curah hujan harian hingga Mei 2007. Periode data rata-rata dari tahun 1981-2007. Alat penakar hujan juga terpelihara dengan baik sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Stasiun penakar hujan manual di PJT Divisi III Subang

Validasi Model

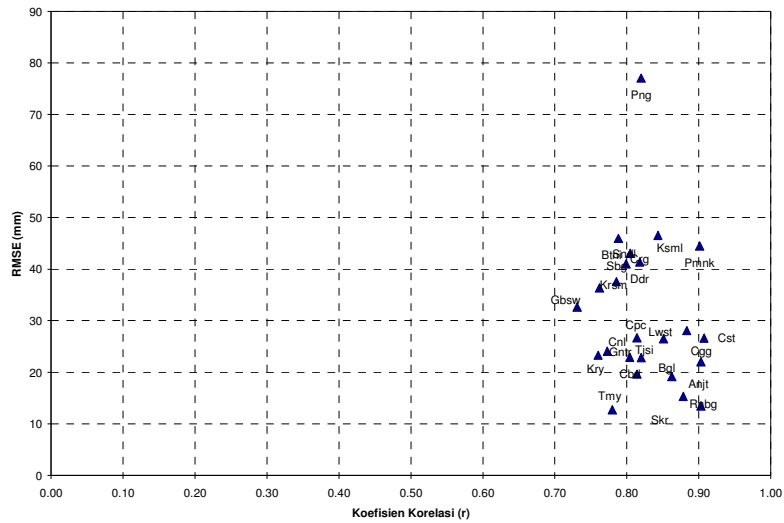
Validasi model prakiraan hujan di Kabupaten Subang dengan metode *nearest neighborhood* menghasilkan tiga nilai parameter, yaitu koefisien korelasi validasi, RMSE validasi dan standar deviasi validasi. Hasil validasi (Tabel 1) menunjukkan nilai koefisien korelasi validasi terendah 73,1% di stasiun Gabus Wetan dan tertinggi 90,7% di stasiun Cigugur, dengan rata-rata 82,5%. Nilai RMSE berkisar antara 12,7-46,0%, nilai terendah di stasiun Tamiang dan tertinggi di Curug Agung, dengan rata-rata 31,2%. Sedangkan standar deviasi antara 2,0 (di stasiun Tamiyang) sampai dengan 115,9 (di stasiun Ponggang), dengan rata-rata 67,4.

Berdasarkan diagram scatter yang merupakan plot antara nilai koefisien korelasi validasi dan RMSE (Gambar 4) diperoleh sebaran performa model pada setiap stasiun hujan. Performa model yang cukup baik ditunjukkan oleh stasiun Sukra dengan nilai koefisien korelasi validasi 90,3% atau 0,9 dan RMSE 13,5% atau 0,135. Hasil *running model* memperlihatkan pola antara hasil prediksi dengan data aktual sepanjang periode data (Gambar 5) maupun periode validasi (Juni 2006 hingga Juni 2007) (Gambar 6).

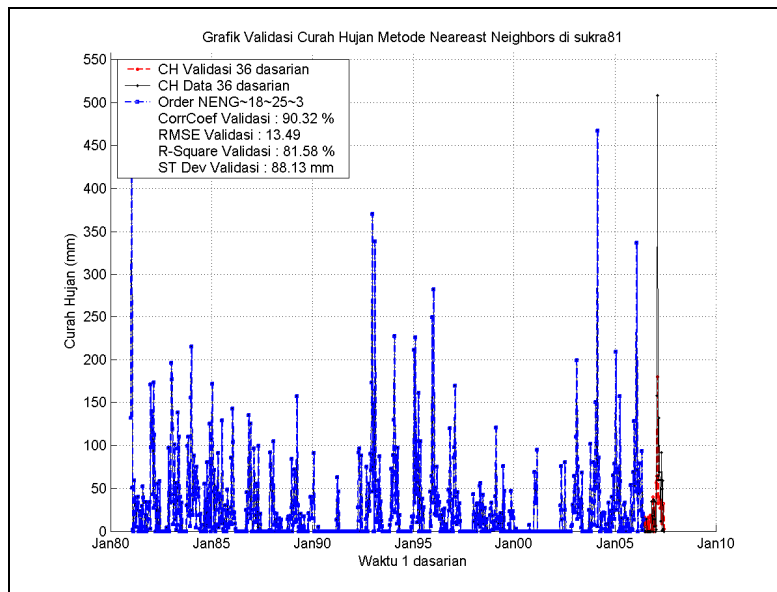
Dari keseluruhan plot terlihat bahwa pada umumnya performa model pada setiap stasiun cukup baik, kecuali stasiun Ponggang. Hal ini ditandai dengan banyaknya posisi plot yang berada pada kanan bawah, artinya nilai koefisien korelasi cukup tinggi dan RMSE yang relatif rendah. Kondisi ini juga terlihat dari sebaran nilai koefisien korelasi secara spasial (Gambar 7). Terlihat bahwa koefisien korelasi validasi yang diperoleh lebih dari 70%, dengan dominasi pada kisaran 70-80%. Sebagai perbandingan, hasil penelitian Boer (1999) dan Ratag (1997), memperlihatkan bahwa korelasi pola antara observasi dan luaran berbagai model untuk curah hujan wilayah Indonesia sekitar 0.4-0.5. Hal ini mengindikasikan bahwa ditinjau dari nilai koefisien korelasi tersebut, model prediksi hujan bulanan dengan metode *nearest neighborhood* ini memberikan performa yang cukup baik.

Tabel 1. Hasil validasi model prakiraan hujan dasarian dengan metode *nearest neighborhood* di Kabupaten Subang

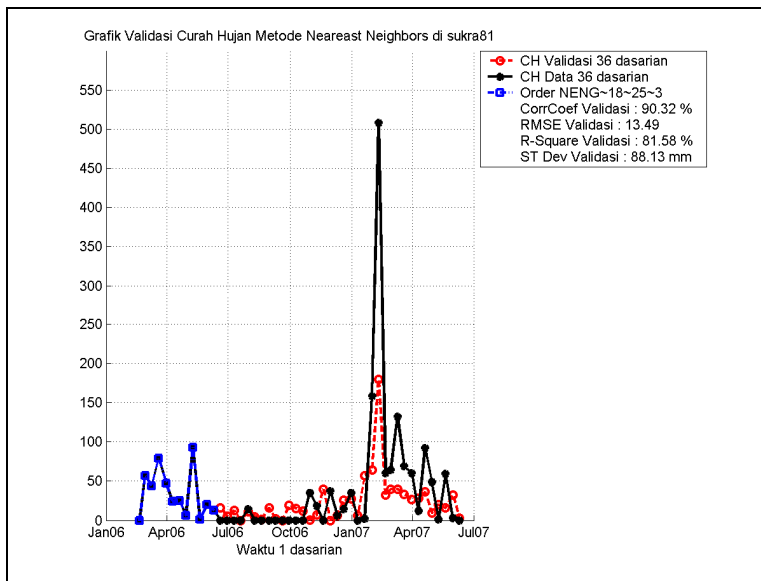
No	Stasiun	CC Validasi	RMSE Validasi	St Dev Validasi
1	Anjatan	90.3	22.0	76.3
2	Bantarhuni	80.5	43.1	40.2
3	Bugel	86.2	19.1	101.1
4	Cibandung	80.4	22.9	49.3
5	Cigugur	90.7	26.6	83.8
6	Cinangling	82.0	22.8	75.1
7	Cipancuh	81.4	26.7	42.9
8	Ciseuti	88.3	28.1	109.7
9	Curugagung	78.8	46.0	97.3
10	Dangdeur	81.8	41.4	74.4
11	Gabuswetan	73.1	32.7	53.6
12	Gantar	77.3	24.1	30.8
13	Karangasem	76.2	36.4	56.2
14	Kasomalang	84.3	46.5	94.1
15	Kroya	76.0	23.3	48.1
16	Leuweung Semut	85.1	26.5	50.0
17	Pamanukan	90.1	44.5	75.5
18	Ponggang	82.0	77.0	115.9
19	Rancabango	87.8	15.3	41.5
20	Sindanglaya	79.9	41.0	100.0
21	Subang	78.6	37.6	63.7
22	Sukra	90.3	13.5	88.1
23	Tamiang	78.0	12.7	2.0
24	Tanjungsari	81.4	19.7	47.7
	Rata-rata	82.5	31.2	67.4



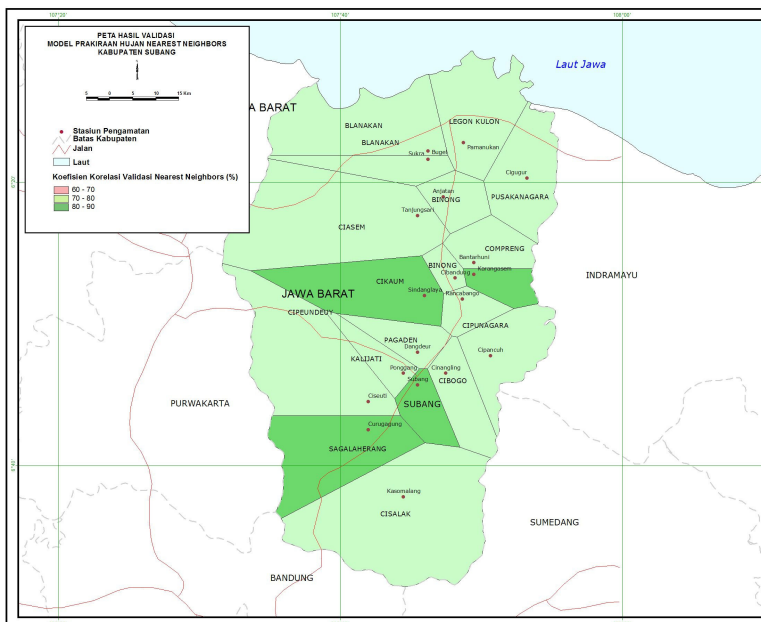
Gambar 4. Plot nilai koefisien korelasi validasi dan RMSE setiap stasiun hujan



Gambar 5. Pola curah hujan hasil prediksi dan data aktual sepanjang periode data



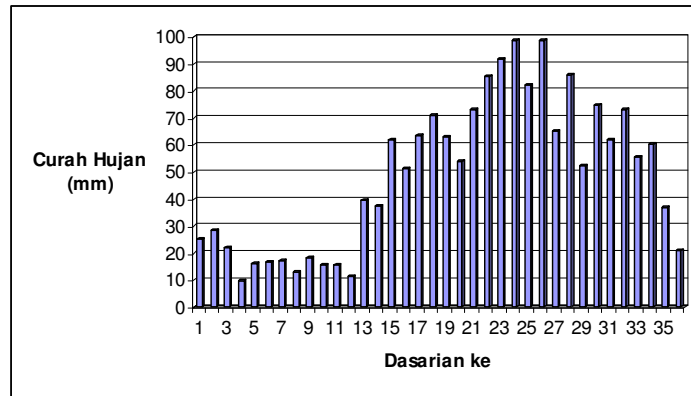
Gambar 6. Pola curah hujan hasil validasi periode Juni 2006-Juni 2007



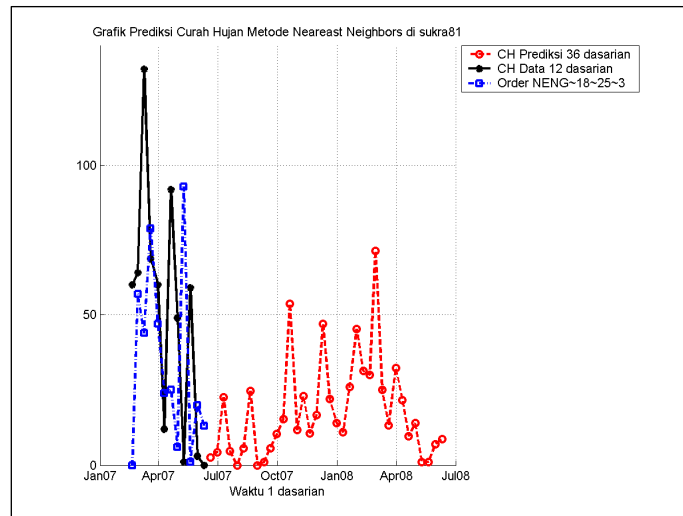
Gambar 7. Penyebaran nilai koefisien korelasi validasi dengan metode *nearest neighborhood* di Kabupaten Subang

Prakiraan Curah Hujan Dasarian

Prakiraan curah hujan dasarian di Kabupaten Subang dianalisis berdasarkan data curah hujan dari 24 stasiun untuk periode Dasarian II Juni 2007 sampai dengan Dasarian I Juni 2008. Hasil prakiraan curah hujan dasarian dengan metode *nearest neighborhood* memperlihatkan curah hujan berkisar antara 10-99 mm/dasarian. Curah hujan meningkat mulai dari bulan Oktober 2007 hingga puncaknya diperkirakan pada bulan Februari 2008 sekitar dasarian III dengan curah hujan sekitar 99 mm/dasarian. Kemudian menurun hingga Juni 2008 (Gambar 8).



Gambar 8. Fluktuasi curah hujan dasarian hasil prediksi periode Dasarian II Juni 2007- Dasarian I Juni 2008



Gambar 9. Fluktuasi curah hujan dasarian hasil validasi Juni 2006-Juni 2007 dan prediksi periode Dasarian II Juni 2007- Dasarian I Juni 2008

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa model prediksi curah hujan dasarian dengan *nearest neighborhood* untuk kabupaten Subang memberikan performa model yang cukup baik, yang ditandai dengan nilai koefisien korelasi validasi lebih dari 0,7 dengan rata-rata 0,8.

Performa model yang cukup baik dihasilkan oleh stasiun Sukra dengan nilai koefisien korelasi validasi 90,3% atau 0,9 dan RMSE 13,5% atau 0,135.

Prakiraan curah hujan dasarian untuk periode Dasarian II Juni 2007- Dasarian I Juni 2008 mengindikasikan curah hujan antara 10-99 mm/dasarian. Curah hujan meningkat mulai dari bulan Oktober 2007 hingga puncaknya diperkirakan pada bulan Februari 2008 dasarian III dengan curah hujan sekitar 99 mm/dasarian. Kemudian menurun hingga Juni 2008

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., dan R. D. Susanto, 2003, Identification Of Three Dominant Rainfall Regions Within Indonesia and Their Relationship To Sea Surface Temperature, *International Journal Of Climatology*, Int. J. Climatol, 23: 1435-1452. Wiley InterScience.
- Arya, Sunil, Mount, David M., Netanyahu, Nathan S., Silverman, Ruth dan Wu, Angela Y. 1994, An Optimal Algorithm for Approximate Nearest Neighbor Searching in Fixed Dimensions. *Proceedings of the Fifth Annual ACM-SIAM. Symposium on Discrete Algorithms*, pp. 573-582.
- Boer, R dan I. Las. 2003. Sistem Produksi Padi Nasional Dalam Perspektif Kebijakan Iklim Global. Dalam B. Suprihatno, A.K. Makarim et al (eds). *Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, adan Litbang Pertanian, Jakarta. P:215-234.
- Boer, R, Sutardi and D. Hilman (Coordinating Lead Authors). 2007. *Climate Variability and Climate Changes, and Their Implication in Indonesia*. Country Report. Government of Republic of Indonesia. Jakarta.
- Boer, R. Notodipuro, K.A. and Las, I., 1999, Prediction of daily rainfall characteristic from monthly climate indicate, Paper pesented at the second international conference on science and technology for the Assesment of Global Climate Change and Its impact on Indonesian Maritime Continent, 29 November-1 December 1999.

- Estiningtyas, W, I. Amien, E. Surmaini, E. Susanti, K. Haryanti, F. Ramadhani dan S. Hariadi. 2006. Penggunaan Metode Filter Kalman untuk Prakiraan Curah Hujan di Sentra Produksi. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Bogor.
- Estiningtyas, W. 2005. Prediksi Curah Hujan Dengan Metode Filter Kalman Untuk Menyusun Pola Tanam. Tesis. Institut Teknologi Bandung.
- Faqih Akhmad. 2004. Analisis Korelasi Debit Air Masuk Musim Kemarau pada Waduk Seri DAS Citarum dengan Perubahan Suhu Permukaan Laut Global. Jurnal Agromet Vol XVIII No.1. PERHIMPI.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian Rainfall Variability : Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. American Meteorology Society.
- Las, I., 2004. Menyiasati Fenomena Anomali Iklim Bagi Pemantapan Produksi Padi Nasional Pada Era Revolusi Hijau Lestari-Strategi dan Inovasi Teknologi Untuk Antisipasi dan Penanggulangan, Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Bidang Agrometeorologi. Badan Litbang Pertanian
- Las. 2006. Las, I., 2006. Strategi dan Teknologi Antisipasi dan Penanggulangan Bencana Iklim (kejadian iklim ekstrim). Bahan Training Workshop Metodologi Penelitian Dalam Bidang Pengelolaan Risiko Iklim Untuk Sektor Pertanian, 4-7 Juli, Bogor.
- Naylor, R.L, D. S. Battisti, D.J. Vimont, W.P. Falcon and Marshall B. 2007. Assessing risk of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America.
- Ratag, M.A., 1997, Nested Climate Modelling. First International Conference on Science and Its Impact on Indonesian Maritim Continent, Jakarta. Desember 1997.

STATISTICAL DOWNSCALING UNTUK PREDIKSI CURAH HUJAN MENGGUNAKAN MULTIVARIATIF ADAPTIVE REGRESSION SPLINES

Popi Rejekiningrum

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

Abstract

*Untuk memprakirakan kondisi iklim pada tingkat lokal berdasarkan sifat-sifat peubah pada skala global diperlukan model statistical downscaling. Statistical downscaling (SD) merupakan pengembangan kuantitatif hubungan antara peubah atmosfer (Global Circulation Model/GCM) resolusi rendah sebagai peubah penjelas/prediktor dengan peubah lokal permukaan (resolusi tinggi sebagai peubah respon/prediktan). Sejauh ini, pemanfaatan keluaran SD dari GCM digunakan untuk berbagai aplikasi iklim, dari rekonstruksi iklim historis hingga masalah-masalah perubahan iklim. Dalam tulisan ini keluaran model SD akan digunakan sebagai masukan model MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) untuk memprediksi curah hujan di tiga lokasi (Sukadana, Pontianak, dan Papua) yang mempunyai pola curah hujan yang berbeda. Hasil validasi model menunjukkan bahwa model terbaik untuk wilayah Sukadana adalah **model 5**, untuk Pontianak model terbaiknya adalah **model 8**, sedangkan untuk Papua model terbaik adalah **model 14**. Terdapat indikasi bahwa model MARS mempunyai performance hasil dugaan yang lebih baik untuk wilayah dengan curah hujan tipe monsunal yang lokasi wilayahnya datar seperti di Sukadana dibandingkan dengan di wilayah curah hujan dengan tipe ekuatorial seperti di Pontianak dan tipe lokal seperti di Papua. Akan tetapi secara umum hasil prediksi untuk ketiga wilayah mampu mengikuti pola data observasi dengan baik.*

PENDAHULUAN

GCM (*General Circulation Models*) diakui banyak pihak sebagai alat penting dalam upaya memahami sistem iklim. GCM dipandang sebagai metode yang paling berpotensi dalam hal mensimulasikan iklim masa lampau, sekarang dan memprediksi perubahan-perubahan iklim yang mungkin terjadi di masa mendatang.

GCM digunakan dalam kajian mengenai dampak variabilitas dan perubahan iklim, namun beberapa komunitas ilmiah yang mengkaji dampak variabilitas dan perubahan iklim telah lama mengungkapkan ketidakpuasannya terhadap kurang memadainya skala ruang prakiraan dan skenario iklim yang dihasilkan dengan GCM resolusi rendah (Gates, 1985, Smith and Tirpak, 1989, and Cohen, 1990 *dalam* Ratag, 2004). Keprihatinan ini muncul oleh adanya ketidaksesuaian skala antara GCM

yang beresolusi rendah (250 km x 250 km) dan skala ruang untuk kajian dampak regional (yang menghendaki resolusi ruang satu atau dua orde besaran lebih tinggi (IPCC, 1994). Sebagai contoh, model-model mekanistik yang digunakan untuk mensimulasikan efek-efek ekologis perubahan iklim umumnya beroperasi pada resolusi-resolusi ruang yang bervariasi dari skala sebuah pohon hingga beberapa hektar. Hasil model-model ini mungkin sekali sangat peka terhadap variasi iklim umumnya skala kecil yang mungkin *embedded* dalam variasi-variasi skala besar, terutama di daerah-daerah dengan topografi yang kompleks, di sepanjang garis pantai, dan di daerah-daerah dengan tutupan lahan yang sangat heterogen (Ratag, 2004). Berbagai teknik 'regionalisasi' telah dikembangkan dengan maksud meningkatkan manfaat informasi regional yang dihasilkan GCMs dan AOGCMs serta menyediakan informasi iklim resolusi tinggi. Teknik-teknik tersebut dapat diklasifikasikan atas tiga kategori: (1) GCMs (A-dan AO-GCMs) resolusi tinggi dan/atau dengan resolusi yang dapat divariasikan (*variable resolution*), (2) *nested limited area* (atau *regional*) climate models (LAMs/RCMs), dan (3) metoda-metoda empirik/statistik dan statistik/dinamik (Giorgi *et al.* 2001).

Kini telah berkembang sejumlah teknik untuk membangkitkan informasi iklim beresolusi tinggi tetapi sebagian diantaranya cenderung sangat rumit dan/atau menguras sumberdaya komputasi. Tidak selalu mudah untuk memilih teknik mana yang sebaiknya digunakan, atau memutuskan apakah informasi resolusi tinggi diperlukan dalam pendekatan penanganan masalah-masalah dampak dengan tipe-tipe tertentu. Untuk itu diperlukan teknik untuk menjembatani kesenjangan antara skala yang disediakan oleh GCM dengan skala yang diperlukan untuk kajian dampak yaitu dengan teknik *downscaling*.

Metode statistik *downscaling* (SD) didasarkan pada pandangan bahwa iklim regional dikendalikan oleh dua faktor yaitu kondisi iklim skala besar (resolusi rendah) dan kondisi/karakteristik fisiografik regional/lokal (misal topografi distribusi daratan-lautan dan tataguna lahan) (von Storch *et al.* 1999b). Informasi iklim regional atau lokal dapat diperoleh/diturunkan dengan langkah awal menentukan suatu model statistik yang menghubungkan peubah-peubah iklim skala-besar (*prediktor*) dengan peubah-peubah regional dan lokal (*prediktan*). Selanjutnya luaran skala besar dari simulasi AOGCM dimasukan sebagai *input* bagi model statistik tersebut untuk menaksir/memperkirakan karakteristik-karakteristik iklim lokal atau regional yang bersangkutan. Salah satu keuntungan utama dari teknik ini adalah komputasinya lebih murah dan dapat dengan mudah diaplikasikan pada luaran berbagai simulasi dan eksperimen berbasis GCM. Kelemahan teoritis utama dari teknik SD adalah bahwa asumsi dasarnya seringkali tidak dapat divalidasi, yakni bahwa hubungan statistik yang diperoleh untuk masa lalu dan saat ini juga berlaku untuk iklim yang akan datang yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi-kondisi *forcing* yang berbeda.

Berbagai teknik SD untuk kajian-kajian terhadap keragaman (variabilitas) dan perubahan iklim dengan berbagai skenario telah berkembang di negara-negara dengan lintang tinggi, sedangkan di wilayah lintang rendah (tropis, seperti di Indonesia) sangat terbatas (Giorgi *et al.* 2001; Wilby *et al.* 2004). Teknik SD yang digunakan beragam berdasarkan region/spasial, temporal, peubah prediktan, peubah prediktor, dan teknik yang membangun model hubungan skala besar dan skala lokal. Di antara teknik SD yang seringkali digunakan adalah regresi sederhana atau berganda (Busuioc *et al.* 2001) korelasi kanonik (von Storch *et al.* 1993; Busuioc *et al.* 2001), singular value decomposition: SVD (Uvo *et al.* 2001). Di samping itu pendekatan non linier: jaringan syaraf tiruan (Crane dan Hewitson 1998; Wilby dan Wigley 1997; Trigo *et al.* 2001).

Sampai saat ini, pemanfaatan keluaran SD dari GCM digunakan untuk berbagai aplikasi iklim, dari rekontruksi iklim historis hingga masalah-masalah perubahan iklim. Dalam tulisan ini keluaran model SD akan digunakan sebagai masukan model MARS (*Multivariate Adaptive Regression Splines*) untuk memprediksi curah hujan di tiga lokasi yang mempunyai pola curah hujan yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Bahan

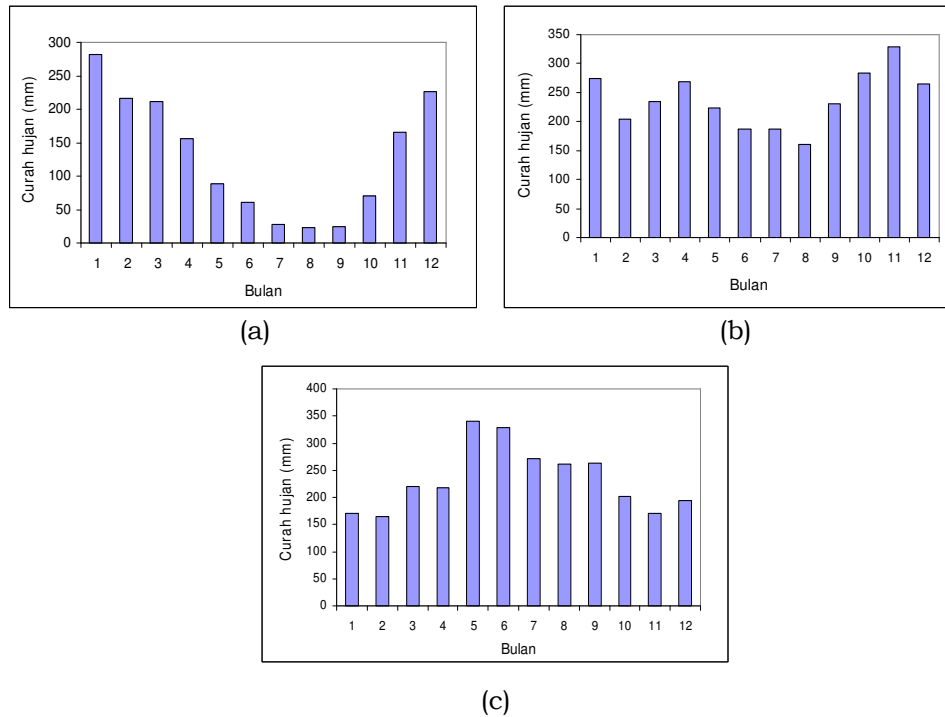
Data pengamatan permukaan yang digunakan adalah curah hujan dan data GCM. Data curah hujan bulanan Stasiun Sukadana di Kab Indramayu (1966-2001), stasiun Pontianak Kalimantan Barat (1977-1999) dan Papua (1968-2001). Berdasarkan data yang tersedia dan untuk keperluan pemodelan, periode data dibagi menjadi dua bagian yaitu untuk pembentukan model (verifikasi model) dan pengujian model (validasi model) (Tabel 1). Stasiun Sukadana mewakili pola monsunial, stasiun Pontianak mewakili pola ekuatorial, dan stasiun Papua mewakili pola lokal (Gambar 1).

Tabel 1. Periodesasi data untuk verifikasi dan validasi model

Lokasi/wilayah	Periode verifikasi model	Periode validasi (testing) model
Sukadana	1966-2000	2001
Pontianak	1977-1998	1999
Papua	1968-2000	2001

Data GCM yang digunakan adalah data GCM bulanan ECHAM/NCEP dengan domain 64 grid (21,9° LU - 21,9° LS dan 82,5° BT - 157,5° BT) periode 1966-2001. Peubah/parameter penjelas yang digunakan adalah *precipitable water* (kg m^{-2}) dalam bulanan, selanjutnya data tersebut dikonversi ke dalam curah hujan dalam satuan mm.

Untuk membantu proses pengolahan data digunakan perangkat lunak Minitab ver.14, MS Excel, dan MARS ver.2.0.



Gambar 1. Pola curah hujan monsunial di Sukadana (a), pola ekuatorial di Pontianak (b) dan pola lokal di Papua (c)

Metode Analisis

Untuk memprakirakan kondisi iklim pada tingkat lokal (prediktan) berdasarkan sifat-sifat peubah pada skala global (prediktor) digunakan *statistik downscaling*, yang mempunyai rumus umum sebagai berikut:

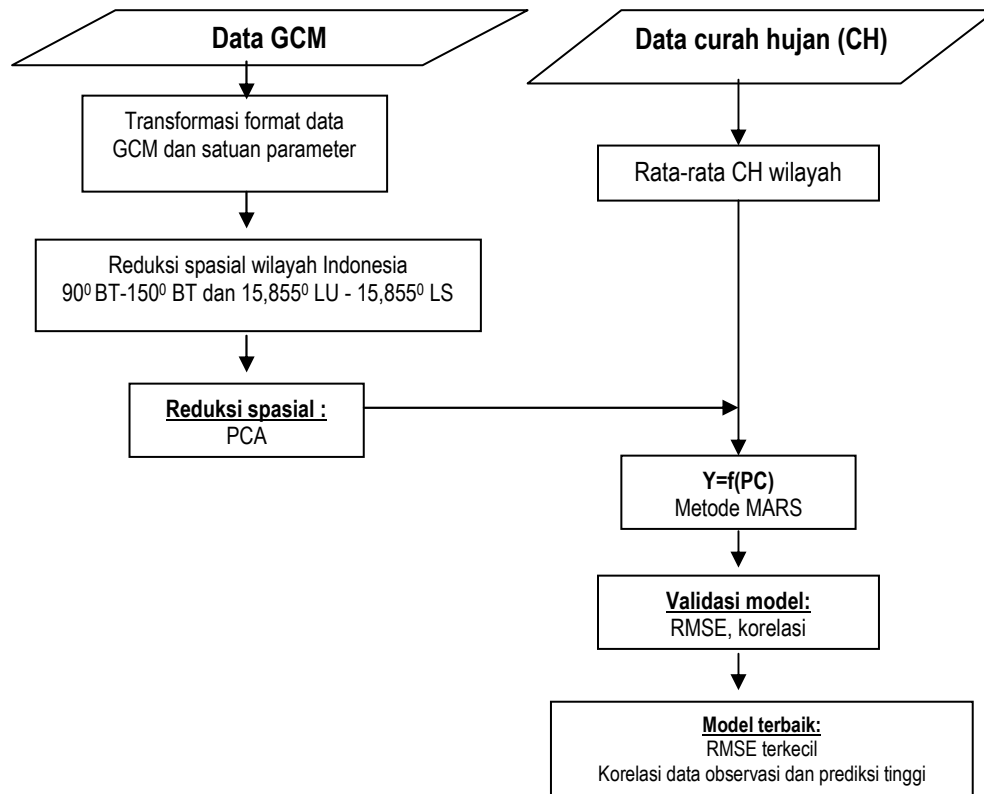
$$Y = f(X)$$

dimana: $Y(t)$ = peubah iklim lokal, $X(t \times p \times s \times g)$ = peubah GCM, t = waktu (harian, bulanan), p = banyak peubah x , s = banyak lapisan atmosfer, g = banyak grid GCM (domain GCM)

Untuk mencapai tujuan terdapat tiga tahapan utama dalam analisis data, yaitu: (1) pereduksian dimensi grid dilakukan dengan pendekatan statistik yaitu analisis komponen utama, (2) membuat model hubungan antara peubah GCM (peubah penjelas) dan peubah curah hujan wilayah (peubah prediktan) menggunakan metode regresi *splines* adaptif berganda (RSAB). Dalam membuat model data dibagi menjadi dua

bagian untuk kepentingan verifikasi dan validasi model, dan (3) melakukan validasi model dari model yang dihasilkan oleh kedua metode di atas. Data untuk validasi model merupakan data baru. Model terbaik akan ditentukan dengan kriteria nilai korelasi antara data pengamatan dan dugaan yang tinggi dan nilai *root means square error* (RMSE) rendah.

Diagram alir analisis selengkapnya disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir metodologi untuk mendapatkan model terbaik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reduksi Dimensi GCM

Hasil reduksi dimensi grid dengan menggunakan analisis komponen utama diperoleh masing-masing 5 komponen utama untuk di wilayah Sukadana Kabupaten Indramayu, Pontianak, dan Papua dengan total keragaman data masing-masing di atas 90% (Tabel 2). Keragaman data yang bisa dijelaskan oleh komponen utama pertama setiap wilayah

masing-masing di atas 50%. Keragaman data untuk komponen utama lainnya selengkapnya disajikan pada Tabel 2. Hasil ini menunjukkan bahwa antar grid terdapat keterkaitan yang cukup erat dan saling berinteraksi, karena hanya 5 komponen utama mampu menjelaskan lebih dari 90% keragaman data dari 64 grid.

Tabel 2. Keragaman yang dapat diterangkan dan total setiap komponen utama

Wilayah	Keragaman yang diterangkan					Total keragaman
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	
Sukadana	0,505	0,166	0,121	0,067	0,046	0,905
Pontianak	0,527	0,147	0,124	0,062	0,048	0,908
Papua	0,501	0,168	0,124	0,069	0,017	0,910

Penyusunan Model dengan MARS/RSAB

Untuk mendapatkan model MARS/RSAB yang optimum, diawali dengan menggunakan fungsi yang paling sederhana hingga fungsi yang kompleks dengan cara mencoba-coba berbagai jumlah basis fungsi, maksimum interaksi, dan minimum observasi pada setiap subregion. Jumlah basis fungsi yang digunakan adalah 15, 25, dan 35, sedangkan maksimum interaksinya digunakan 1, 2, dan 3 dengan minimal observasi pada setiap subregion 5, 10, dan 20. Evaluasi model dengan menggunakan Naive R^2 , R^2 -terkoreksi, dan GCV R^2 . Model dikatakan terbaik jika mempunyai nilai Naive R^2 , R^2 -terkoreksi, dan GCV R^2 tinggi, namun model-model tersebut belum menjamin menjadi model terbaik, sehingga diperlukan beberapa model yang berpotensi menjadi model terbaik. Penentuan model terbaik dilakukan pada saat validasi model. Model terbaik dan akan digunakan untuk pendugaan jika model tersebut mempunyai korelasi yang tinggi antara nilai observasi dan hasil dugaan dan nilai RMSE yang kecil.

Tabel 3, 4, dan 5 menunjukkan nilai Naive R^2 , R^2 -terkoreksi, dan GCV R^2 dengan berbagai jumlah basis fungsi, maksimum interaksi, dan minimum observasi pada setiap subregion untuk wilayah Sukadana, Pontianak, dan Papua. Untuk Sukadana, terdapat tiga model yang berpotensi menjadi model terbaik yaitu model 5, 8, dan 9. Sedangkan untuk Pontianak, terdapat dua model yang berpotensi menjadi model terbaik yaitu model 3 dan 8. Dan untuk Papua, terdapat tiga model yang berpotensi menjadi model terbaik yaitu 14, 17, dan 21.

Tabel 3. Nilai R², Naive R² terkoreksi, dan GCV R² menurut basis fungsi, maksimum interaksi, dan minimum observasi pada setiap subregion untuk wilayah Sukadana dengan GCM ECHAM

No	BF	MI	Min Obs	Naive R ²	Naive R ² terkoreksi	GCV R ²
1	15	1	5	0,487	0,477	0,438
2	15	2	5	0,498	0,488	0,444
3	15	3	5	0,515	0,503	0,448
4	25	1	5	0,492	0,482	0,439
5	25	2	5	0,537	0,527	0,482*
6	25	3	5	0,550	0,536	0,470
7	35	1	5	0,485	0,476	0,436
8	35	2	5	0,537	0,527	0,479**
9	35	3	5	0,582	0,565	0,472***
10	15	1	10	0,478	0,468	0,429
11	15	2	10	0,499	0,488	0,438
12	15	3	10	0,489	0,479	0,435
13	25	1	10	0,478	0,469	0,431
14	25	2	10	0,508	0,495	0,428
15	25	3	10	0,499	0,488	0,436
16	35	1	10	0,469	0,461	0,427
17	35	2	10	0,529	0,515	0,442
18	35	3	10	0,566	0,546	0,448
19	15	1	20	0,468	0,459	0,424
20	15	2	20	0,489	0,479	0,434
21	15	3	20	0,489	0,479	0,434
22	25	1	20	0,482	0,471	0,421
23	25	2	20	0,539	0,522	0,433
24	25	3	20	0,549	0,530	0,432
25	35	1	20	0,460	0,454	0,424
26	35	2	20	0,553	0,535	0,440
27	35	3	20	0,535	0,517	0,426

Ket.: BF= basis fungsi, MI= maksimum interaksi, Min Obs= minimum observasi pada setiap subregion; baris yang di-*bold* adalah model yang mempunyai nilai Naive R², R²-terkoreksi, dan GCV R² tertinggi, * model 5; ** model 8; *** model 9

Validasi Model

Hasil validasi model diperoleh model terbaik untuk wilayah Sukadana adalah **model 5**, dengan nilai korelasi sebesar 0.808 dan nilai RMSE sebesar 70.363 yaitu model dengan input BF=25, MI=2 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 5, untuk Pontianak model terbaiknya adalah **model 8**, yaitu model dengan input BF=15, MI=3 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 5, dengan nilai korelasi sebesar 0.509 dan nilai RMSE sebesar 76,911. Dan untuk Papua model terbaik adalah **model 14**, dengan nilai korelasi sebesar 0.485 dan nilai RMSE sebesar 164,841 yaitu model dengan input BF=35, MI=2 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 10. Hasil validasi model selengkapnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Nilai R², Naive R² terkoreksi, dan GCV R² menurut basis fungsi, maksimum interaksi, dan minimum observasi pada setiap subregion untuk wilayah Pontianak dengan GCM ECHAM

No	BF	MI	Min Obs	Naive R ²	Naive R ² terkoreksi	GCV R ²
1	15	1	5	0,124	0,113	0,062
2	15	2	5	0,134	0,123	0,066
3	15	3	5	0,138	0,128	0,075**
4	25	1	5	0,082	0,078	0,061
5	25	2	5	0,134	0,124	0,063
6	25	3	5	0,138	0,128	0,072
7	35	1	5	0,062	0,058	0,039
8	35	2	5	0,105	0,101	0,082*
9	35	3	5	0,145	0,128	0,029
10	15	1	10	0,103	0,096	0,062
11	15	2	10	0,114	0,107	0,069
12	15	3	10	0,153	0,139	0,061
13	25	1	10	0,103	0,096	0,063
14	25	2	10	0,134	0,124	0,060
15	25	3	10	0,133	0,122	0,065
16	35	1	10	0,103	0,096	0,062
17	35	2	10	0,119	0,109	0,043
18	35	3	10	0,134	0,124	0,066
19	15	1	20	0,103	0,096	0,062
20	15	2	20	0,134	0,124	0,057
21	15	3	20	0,091	0,087	0,065
22	25	1	20	0,098	0,091	0,054
23	25	2	20	0,091	0,087	0,064
24	25	3	20	0,091	0,087	0,066
25	35	1	20	0,098	0,091	0,054
26	35	2	20	0,091	0,087	0,063
27	35	3	20	0,117	0,110	0,067

Ket.: BF= basis fungsi, MI= maksimum interaksi, Min Obs= minimum observasi pada setiap subregion; baris yang di-*bold* adalah model yang mempunyai nilai Naive R², R²-terkoreksi, dan GCV R² tertinggi, * model 3; ** model 8.

Tabel 5. Nilai R², Naive R² terkoreksi, dan GCV R² menurut basis fungsi, maksimum interaksi, dan minimum observasi pada setiap subregion untuk wilayah Papua dengan GCM ECHAM

No	BF	MI	Min Obs	Naive R ²	Naive R ² terkoreksi	GCV R ²
1	15	1	5	0,254	0,239	0,175
2	15	2	5	0,279	0,264	0,181
3	15	3	5	0,282	0,265	0,163
4	25	1	5	0,257	0,242	0,172
5	25	2	5	0,286	0,271	0,188
6	25	3	5	0,272	0,260	0,185
7	35	1	5	0,257	0,242	0,169
8	35	2	5	0,286	0,271	0,184
9	35	3	5	0,272	0,260	0,185
10	15	1	10	0,266	0,248	0,173
11	15	2	10	0,281	0,266	0,183
12	15	3	10	0,284	0,266	0,165
13	25	1	10	0,258	0,243	0,173
14	25	2	10	0,290	0,276	0,193**
15	25	3	10	0,316	0,297	0,184
16	35	1	10	0,284	0,267	0,183
17	35	2	10	0,311	0,294	0,195*
18	35	3	10	0,332	0,311	0,179
19	15	1	20	0,259	0,242	0,166
20	15	2	20	0,299	0,282	0,185
21	15	3	20	0,299	0,282	0,192***
22	25	1	20	0,262	0,244	0,162
23	25	2	20	0,267	0,255	0,183
24	25	3	20	0,277	0,262	0,176
25	35	1	20	0,274	0,257	0,173
26	35	2	20	0,329	0,308	0,181
27	35	3	20	0,318	0,300	0,182

Keterangan: BF= basis fungsi, MI= maksimum interaksi, Min Obs= minimum observasi pada setiap subregion; baris yang di-*bold* adalah model yang mempunyai nilai Naive R², R²-terkoreksi, dan GCV R² tertinggi, * model 14; ** model 17; *** model 21

Tabel 6. Nilai korelasi (r) dan RMSE hasil validasi model untuk wilayah Sukadana, Pontianak, dan Papua

Stasiun	Model	Korelasi (r)	RMSE
Sukadana	Model 5	0,808	70,363
	Model 8	0,761	77,999
	Model 9	0,653	93,353
Pontianak	Model 3	0,445	85,711
	Model 8	0,509	76,911
Papua	Model 14	0,485	164,841
	Model 17	0,287	216,735
	Model 21	0,004	182,436

Ket.: Model yang di-*bold* merupakan model terbaik

Berdasarkan nilai RMSE dan korelasi antara observasi dan hasil dugaan model pada tahap validasi model, model MARS/RSAB untuk Sukadana mempunyai *performance* yang lebih baik jika dibandingkan dengan Pontianak dan Papua (Gambar 3). Nilai RMSE untuk model terbaik di Sukadana relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan di Pontianak dan Papua. Demikian juga nilai korelasinya, di Sukadana mempunyai nilai korelasi yang relatif besar dibandingkan dengan Pontianak dan Papua. Selain itu model MARS mempunyai *performance* hasil dugaan yang lebih baik untuk wilayah dengan curah hujan tipe monsunial dan lokasi wilayahnya datar seperti di Sukadana dibandingkan dengan di wilayah curah hujan dengan tipe ekuatorial seperti di Pontianak maupun tipe lokal seperti di Papua. Akan tetapi secara umum hasil prediksi untuk ketiga wilayah mampu mengikuti pola data observasi dengan baik.

Hal ini sejalan dengan penelitian Sutikno (2002) yang menyatakan bahwa hasil validasi model MARS cukup menjanjikan, dan model ini dapat digunakan untuk data-data yang tidak memiliki pola linear. Hasil pengujian model MARS/RSAB untuk memprediksi hujan bulanan di empat stasiun dengan pola hujan yang berbeda sudah dicobakan dan diperoleh hasil yang cukup baik dimana data hasil prediksi mampu mengikuti pola data observasi dengan baik.

Pendugaan Model dan Prediksi Curah Hujan dengan MARS/RSAB

Model dugaan curah hujan untuk Sukadana, Pontianak, dan Papua dinyatakan pada persamaan berikut.

Sukadana:

$$Y = 337.525 - 0.563 * BF1 - 0.140 * BF5 - 0.928 * BF6 + 0.002 * BF12 - 0.141 * BF15 - 0.001 * BF16 - 0.670176E-03 * BF18 + 0.001 * BF20 + 0.013 * BF25$$

Pontianak:

$$Y = 137.906 + 0.161 * BF1 + 0.123 * BF2 + 0.916516E-04 * BF10$$

Papua:

$$Y = 159.618 - 0.352 * BF1 - 0.002 * BF5 + 0.222 * BF9 - .365811E-03 * BF18 + 0.407 * BF26 - 0.031 * BF30 + 0.039 * BF34$$

Model dugaan selengkapnya untuk wilayah Sukadana, Pontianak, dan Papua masing-masing disajikan pada Tabel 7, 8, dan 9.

Tabel 7. Hasil pendugaan model dengan menggunakan MARS/RSAB di Sukadana

N: 420.000
 MEAN DEP VAR: 128.233

R-SQUARED: 0.537
 ADJ R-SQUARED: 0.527
 UNCENTERED R-SQUARED = R-0 SQUARED: 0.792

PARAMETER	ESTIMATE	S.E.	T-RATIO	P-VALUE
Constant	337.525	14.235	23.711	.999201E-15
Basis Function 1	-0.563	0.048	-11.706	.999201E-15
Basis Function 5	-0.140	0.022	6.359	.541278E-09
Basis Function 6	-0.928	0.262	-3.545	.438066E-03
Basis Function 12	0.002	.302434E-03	6.269	.921982E-09
Basis Function 15	-0.141	0.024	-6.017	.394529E-08
Basis Function 16	-0.001	.305179E-03	-4.711	.337329E-05
Basis Function 18	-.670175E-03	.101994E-03	-6.571	.152242E-09
Basis Function 20	0.001	.306891E-03	3.639	.308380E-03
Basis Function 25	0.013	0.005	2.781	0.006

F-STATISTIC = 52.914
 P-VALUE = .999201E-15
 [MDF,NDF] = [9, 410]

S.E. OF REGRESSION = 79.756
 RESIDUAL SUM OF SQUARES = 2608004.979
 REGRESSION SUM OF SQUARES = 3029260.155

Basis Functions
 =====

BF1 = max(0, PC4 + 332.021);
 BF3 = max(0, PC1 + 751.220);
 BF5 = max(0, PC2 - 44.850);
 BF6 = max(0, 44.850 - PC2);
 BF12 = max(0, - 301.098 - PC5) * BF3;
 BF13 = max(0, PC5 + 171.090);
 BF15 = max(0, PC3 + 849.242);
 BF16 = max(0, PC2 - 597.100) * BF3;
 BF18 = max(0, PC1 + 537.950) * BF5;
 BF20 = max(0, PC4 + 85.816) * BF5;
 BF25 = max(0, 229.870 - PC2) * BF13;

Y = 337.525 - 0.563 * BF1 - 0.140 * BF5 - 0.928 * BF6 + 0.002 * BF12 - 0.141 *
 BF15 - 0.001 * BF16 - .670176E-03 * BF18 + 0.001 * BF20 + 0.013 * BF25

Pada Gambar 3 disajikan grafik hubungan antara observasi dan hasil prediksi untuk model terbaik di Sukadana, Pontianak, dan Papua.

Tabel 8. Hasil pendugaan model dengan menggunakan MARS/RSAB di Pontianak

N: 252.000 R-SQUARED: 0.138
 MEAN DEP VAR: 237.956 ADJ R-SQUARED: 0.128
UNCENTERED R-SQUARED = R-0 SQUARED: 0.814

PARAMETER	ESTIMATE	S.E.	T-RATIO	P-VALUE
Constant	137.906	19.524	7.063	.163308E-10
Basis Function 1	0.161	0.035	4.561	.802031E-05
Basis Function 2	0.123	0.043	2.866	0.005
Basis Function 10	.916516E-04	.286874E-04	3.195	0.002

F-STATISTIC = 13.256 S.E. OF REGRESSION = 116.838
 P-VALUE = .469799E-07 RESIDUAL SUM OF SQUARES = 3385505.941
 MDF,NDF] = [3, 248] REGRESSION SUM OF SQUARES = 542882.579

Basis Functions
 =====
 BF1 = max(0, PC2 - 178.080);
 BF2 = max(0, PC3 + 55.071);
 BF3 = max(0, - 55.071 - PC3);
 BF4 = max(0, PC5 + 248.315) * BF3;
 BF10 = max(0, PC2 - 648.900) * BF4;

Y = 137.906 + 0.161 * BF1 + 0.123 * BF2 + .916516E-04 * BF10;

Tabel 9. Hasil pendugaan model dengan menggunakan MARS/RSAB di Papua

N: 300.000 R-SQUARED: 0.311
 MEAN DEP VAR: 233.273 J R-SQUARED: 0.294
UNCENTERED R-SQUARED = R-0 SQUARED: 0.823

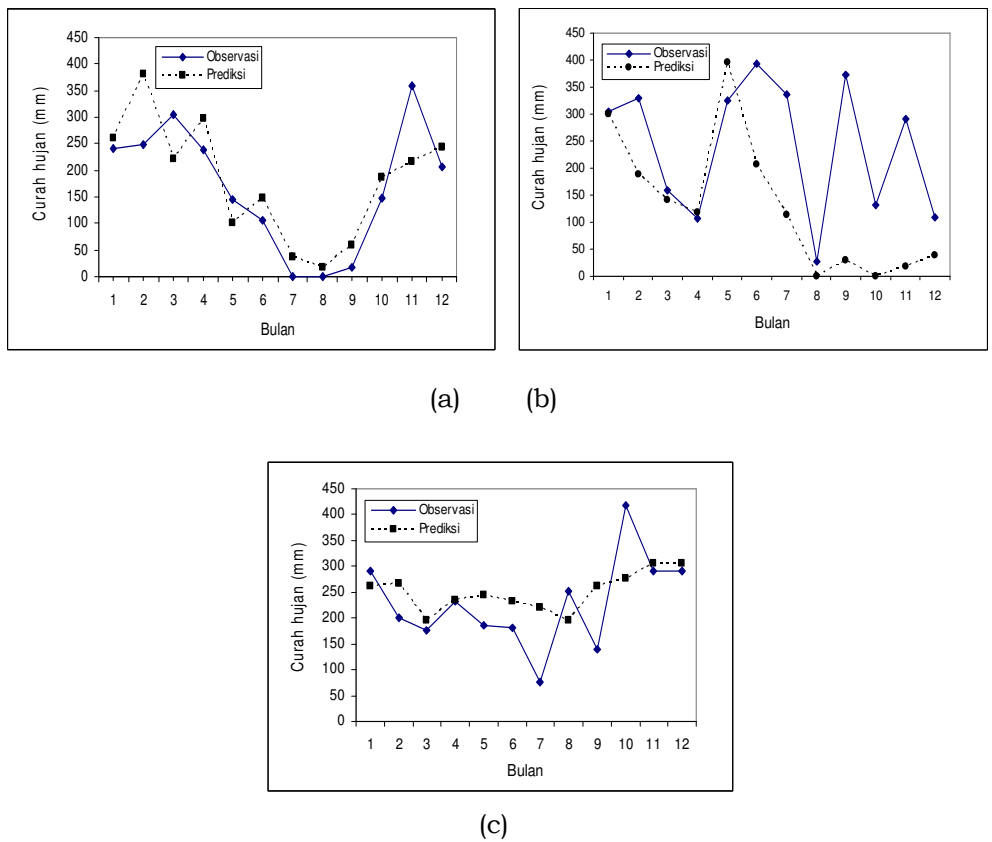
PARAMETER	ESTIMATE	S.E.	T-RATIO	P-VALUE
Constant	159.618	25.421	6.279	.123175E-08
Basis Function 1	-0.352	0.087	-4.058	.634887E-04
Basis Function 5	-0.002	.376234E-03	-4.781	.277284E-05
Basis Function 9	0.222	0.048	4.654	.493911E-05
Basis Function 18	-.365812E-03	.732582E-04	-4.993	.102196E-05
Basis Function 26	0.407	0.069	5.921	.895660E-08
Basis Function 30	-0.031	0.007	-4.165	.411111E-04
Basis Function 34	0.039	0.009	4.162	.415243E-04

F-STATISTIC = 18.827 S.E. OF REGRESSION = 115.557
 P-VALUE = .999201E-15 RESIDUAL SUM OF SQUARES = 3899175.100
 [MDF,NDF] = [7, 292] REGRESSION SUM OF SQUARES = 1759794.486

Basis Functions
=====

$$\begin{aligned} \text{BF1} &= \max(0, \text{PC2} - 618.050); \\ \text{BF2} &= \max(0, 618.050 - \text{PC2}); \\ \text{BF4} &= \max(0, \text{PC4} + 568.553); \\ \text{BF5} &= \max(0, \text{PC3} + 279.810) * \text{BF4}; \\ \text{BF9} &= \max(0, \text{PC3} + 820.148); \\ \text{BF14} &= \max(0, \text{PC4} + 117.633); \\ \text{BF18} &= \max(0, \text{PC1} + 1385.550) * \text{BF2}; \\ \text{BF26} &= \max(0, \text{PC4} + 317.865); \\ \text{BF30} &= \max(0, \text{PC2} - 548.500) * \text{BF14}; \\ \text{BF34} &= \max(0, \text{PC2} - 586.420) * \text{BF14}; \end{aligned}$$

$$Y = 159.618 - 0.352 * \text{BF1} - 0.002 * \text{BF5} + 0.222 * \text{BF9} - .365811\text{E-}03 * \text{BF18} + 0.407 * \text{BF26} - 0.031 * \text{BF30} + 0.039 * \text{BF34}$$



Gambar 3. Hubungan antara curah hujan observasi dan hasil prediksi di Sukadana (a), Pontianak (b), dan Papua (c)

KESIMPULAN

1. Hasil validasi model diperoleh model terbaik untuk wilayah Sukadana adalah model 5, dengan nilai korelasi sebesar 0.808 dan nilai RMSE sebesar 70.363 yaitu model dengan input BF=25, MI=2 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 5, untuk Pontianak model terbaiknya adalah model 8, yaitu model dengan input BF=15, MI=3 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 5, dengan nilai korelasi sebesar 0.509 dan nilai RMSE sebesar 76,911. Dan untuk Papua model terbaik adalah model 14, dengan nilai korelasi sebesar 0.485 dan nilai RMSE sebesar 164,841 yaitu model dengan input BF=35, MI=2 dan minimum observasi pada setiap subregion (MO) sebesar 10.
2. Terdapat indikasi bahwa model MARS mempunyai *performance* hasil dugaan yang lebih baik untuk wilayah dengan curah hujan tipe monsunal yang lokasi wilayahnya datar seperti di Sukadana dibandingkan dengan di wilayah curah hujan dengan tipe ekuatorial seperti di Pontianak dan tipe lokal seperti di Papua. Akan tetapi secara umum hasil prediksi untuk ketiga wilayah mampu mengikuti pola data observasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Busuioac A, Chen D, Hellström C. 2001. Performance of Statistical Downscaling Models in GCM Validation and Regional Climate Change: Application for Swedish Precipitation. *Int. J. Climatology* 21: 557-578.
- Crane RG, Hewitson BC. 1998. Doubled CO₂ precipitation changes for the Susquehanna basin: downscaling from GENESIS general circulation model. *International Journal of Climatology* 18:65-76.
- Giorgi F, Hewitson B, Christensen J, Hulme M, Von Storch H, Whetton P, Jones R, Mearns L, Fu C. 2001. the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. University Press. Cambridge. UK
- Ratag, M.A. 2004. Pemodelan Iklim Hibrid Resolusi Tinggi dan Perkembangan Pemodelan untuk Prakiraan Iklim di Indonesia. Makalah Utama pada Seminar Nasional Inovasi Teknologi Sumberdaya Tanah dan Iklim. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor 14-15 September 2004.
- Sutikno, 2002. Penggunaan regresi *splines* adaptif berganda untuk peramalan indeks ENSO dan hujan bulanan. Tesis PS. Statistika, PPS IPB, Bogor.

- Trigo RM, Palutikof JP. 2001. Precipitation Scenario over Iberia. A Comparison between Direct GCM Output and Different Downscaling Techniques. *Journal of Climate* 14:4422-4446.
- Uvo CB, Olsson J, Morita O, Jinno K, Kawamura A, Nishiyama K, Koreeda N, Nakashima T. 2001. Statistical atmospheric downscaling for rainfall estimation in Kyushu Island Japan. *Hydrology and Earth System Sciences* 5: 259-271.
- von Storch H. 1999. On the Use of "Inflation" in Statistical Downscaling. *Journal of Climate* 12:3505-3506.
- von Storch H, Hewitson B, Mearns L. 1999b. Review of Empirical Downscaling Techniques. <http://w3g.gkss.de/staff/stroch/jevnaaker.0500.htm> [8 Desember 2004].
- Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography* 21, 530-548.
- Wilby RL, Charles SP, Zorita.E, Timbal B, Whetton P, Mearns. L.O.2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. http://www.ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf [8 Desember 2004].

KELOMPOK II
Perkembangan Penelitian Terkait Iklim

PENGARUH IKLIM DITINJAU DARI SOIL HEAT FLUX PADA BERBAGAI JENIS PENUTUP LAHAN (STUDI KASUS : DENPASAR, BALI)

Laras Tursilowati

Bidang Aplikasi Klimatologi & Lingkungan
Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer & Iklim
LAPAN – Bandung
laras@bdg.lapan.go.id

Abstrak

Soil heat flux (G) adalah energi dari cahaya matahari yang masuk dan memanaskan tanah yang bisa dihitung dari proporsi radiasi netto yang diterima oleh suatu permukaan untuk memanaskan tanah. Soil heat flux mempunyai peran yang penting karena kandungan panas yang berpindah ke tanah akan berpengaruh pada suhu tanah, dan suhu tanah akan berpengaruh pada proses biologi dan kimia seperti dekomposisi residu tanaman. Beberapa pengukuran dan estimasi soil heat flux telah banyak dikembangkan, salah satu cara paling efektif dan bisa menggambarkan secara spasial adalah estimasi dari data satelit dengan prinsip dasar kesetimbangan energi permukaan. Hasil estimasi soil heat flux dari satelit Landsat untuk daerah kajian Denpasar menunjukkan harga yang bervariasi pada tiap jenis lahan. Dari hasil estimasi maka terlihat bahwa soil heat flux rata-rata tertinggi terdapat pada pemukiman (28,2 W/m²), kemudian pada industri (26,45 W/m²), lahan terbuka (25,53 W/m²), tubuh air (23,17 W/m²), perkebunan (11,83 W/m²), sawah (11,6 W/m²), dan hutan (8,96 W/m²). Penutup lahan pemukiman, industri dan lahan terbuka mempunyai nilai soil heat flux yang lebih tinggi dibandingkan penutup lahan lainnya. Hal ini disebabkan tipe penutup lahan non vegetasi (pemukiman dan lahan terbuka) mempunyai proporsi yang lebih besar dalam memanfaatkan radiasi netto yang diterima untuk memanaskan tanah dibandingkan tipe penutup lahan lainnya.

Kata kunci : Soil heat flux, radiasi netto, suhu tanah, jenis lahan

PENDAHULUAN

Kesetimbangan energi termal pada tanah terdiri dari komponen radiasi datang dan keluar dari suatu area dan fluk pemanasan di lapisan tanah subpermukaan dan kombinasi dari fluks latend dan panas sensibel, yang keduanya berhubungan dengan transport air. Unsur pokok perubahan energi bergantung pada bahan-bahan fisis dari tanah dan kondisi lingkungan eksternal seperti iklim, perubahan musiman, cuaca,

topografi dan bahan permukaan berhubungan dengan tata guna lahan dan vegetasi. Beberapa komponen kesetimbangan energi diukur secara langsung juga bisa diestimasi dari model matematika dengan pengukuran-pengukuran dan pengetahuan lainnya secara tidak langsung. Beberapa pengukuran dan estimasi *soil heat flux* telah banyak dikembangkan, salah satu cara paling efektif dan bisa menggambarkan secara spasial adalah estimasi dari data satelit dengan prinsip dasar kesetimbangan energi permukaan.

Fluks pemanasan tanah (*Soil Heat Flux* (G)) adalah sejumlah energi radiasi surya yang masuk permukaan tanah dan memanaskan tanah dan digunakan untuk berbagai proses fisik dan biologi tanah. Fluks pemanasan tanah dipengaruhi oleh perbedaan suhu permukaan dengan suhu tanah, dan bias dihitung dari proporsi radiasi netto yang diterima oleh suatu permukaan untuk memanaskan tanah. *Soil heat flux* mempunyai peran yang penting karena kandungan panas yang berpindah ke tanah akan berpengaruh pada suhu tanah, dan suhu tanah akan berpengaruh pada proses biologi dan kimia seperti dekomposisi residu tanaman.

METODOLOGI

Wilayah Kajian

Bali adalah sebuah pulau di Indonesia, sekaligus menjadi salah satu provinsi Indonesia, terletak di antara Pulau Jawa dan Pulau Lombok. Di dunia, Bali dikenal sebagai tujuan pariwisata khususnya bagi orang Jepang dan Australia. Bali juga dikenal sebagai Pulau Dewata dengan ibu kota Denpasar. Secara geografis Kota Denpasar terletak antara 08°35'31" LS - 08°44'49" LS dan 115°10'23" BT - 115°16'27". Secara administratif dibagi menjadi empat kecamatan, yaitu Denpasar Selatan, Denpasar Barat, Denpasar Timur; Denpasar Utara. Denpasar selatan mempunyai ketinggian 0 - 12 m dpl, Denpasar Timur 0 - 75 m dpl dan Denpasar Barat antara 12 - 75 m dpl. Wilayah kota Denpasar meliputi sebagian dari daratan Pulau Bali dan seluruh Pulau Serangan. Luas Wilayah kota Denpasar 12.778 ha atau sekitar 2,27% dari seluruh Provinsi Bali. Secara keseluruhan terdiri dari 16 kelurahan, 27 desa dinas, dan 35 desa adat.

Secara umum kota Denpasar beriklim tropis yaitu musim hujan pada bulan Oktober - April dan musim kemarau (April - Oktober). Pada musim kemarau berhembus angin timur (Juni - September) sedangkan pada musim hujan dipengaruhi oleh angin barat (September - Maret). Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Schmidt dan Fergusson (1959), kota Denpasar mempunyai iklim tipe A, sedangkan menurut peta agroklimat Bali skala 1:250.000 (Oldeman, *et al.*, 1980) daerah ini termasuk ke dalam zone agroklimat D3, berarti mempunyai 3 - 4 bulan basah (curah hujan >200 mm/bulan) berturut-turut dalam setahun.

Hasil sensus 2002 jumlah penduduk Denpasar sebanyak 522.381 orang meliputi 264.377 orang laki-laki dan 258.004 orang perempuan. Pada tahun 2005 jumlah penduduk meningkat menjadi 574.955 orang terdiri atas 292.087 jorang laki-laki dan 282.868 orang perempuan. Sehingga selama periode 2002-2005 jumlah penduduk kota Denpasar meningkat rata-rata 1,94% per tahun.

Bahan dan Data

1. Data Citra Satelit LANDSAT ETM yang mencakup daerah penelitian yaitu Denpasar (Path 116, Raw 066), data akuisisi 21 Mei 2002.
2. Data landuse Denpasar dari Bappeda Denpasar.
3. Data unsur iklim terutama suhu udara,
4. Data kecepatan angin pada setiap penggunaan lahan,
5. Peta Rupa Bumi skala 1 : 25.000 Denpasar.
6. Software image processing (ER-Mapper),
7. Software GIS (Surfer Mapping System, ArcView),
8. Software Visual Basic untuk membuat Sistem Informasi dan estimasi variabel iklim (surface energy balance) yang diimpor dari data satelit.
9. Software pengolah statistik,
10. GPS (*Global Positioning System*) untuk menentukan koordinat dan ketinggian lokasi.

Perhitungan Energi untuk Memanaskan Tanah (G)

Untuk menghitung nilai fluks pemanasan tanah (G) atau *soil heat flux* diperlukan nilai albedo, radiasi netto dan NDVI. Dalam persamaan ini suhu permukaan berbanding lurus dengan G. Perubahan suhu tidak terjadi apabila tidak terjadi penambahan/pengurangan panas. Perpindahan panas terjadi dari benda yang mempunyai tingkat energi lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah. Perpindahan panas ini dibedakan menjadi tiga, yaitu proses konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi merupakan proses perpindahan panas pada benda-benda padat (misalnya tanah) yang sebagian energi kinetik molekul benda/medium yang bersuhu lebih tinggi dipindahkan ke molekul benda lebih rendah melalui tumbukan molekul-molekul tersebut.

Menurut FAO (1998) nilai G dapat dihitung dengan formula $G=0.1 R_n$, namun dalam penelitian ini akan dibedakan untuk setiap jenis tanah dari wilayah kajian dengan menduga suhu tanah pada kedalaman tertentu dengan suhu permukaan. Nilai yang sangat tergantung dari jenis tanah adalah konduktivitas thermal (k). Berikut ini persamaan yang menunjukkan proses konduksi, dengan tanda negatif menunjukkan arah

perpindahan panas dari suhu tinggi ke tempat yang bersuhu lebih rendah. (Sellers, 1965)

$$G = -k \frac{dT}{dz}$$

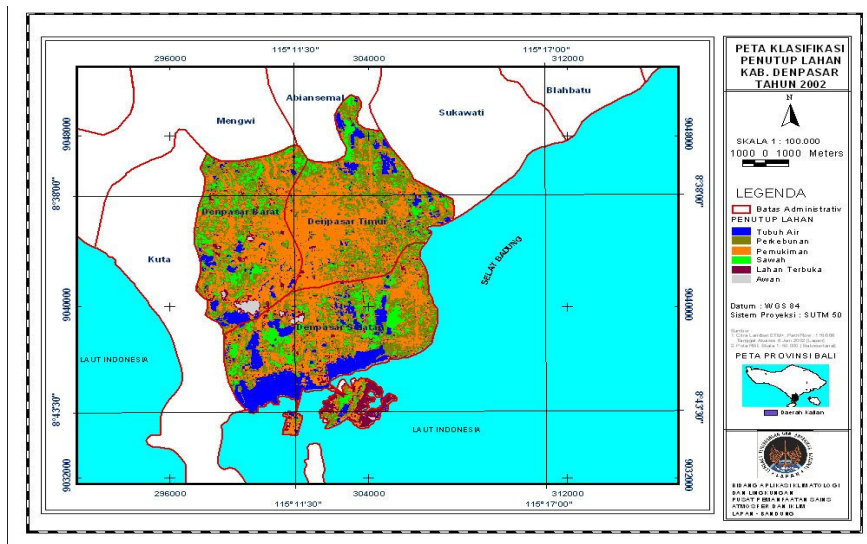
Dengan G adalah fluks pemanasan tanah (Wm^{-2}), k adalah konduktivitas thermal/panas ($\kappa\rho_s c_s$ dalam $Wm^{-2}K^{-1}$) yang dibedakan untuk setiap jenis tanah, dT adalah perbedaan suhu permukaan dan suhu tanah (K), dz adalah perbedaan kedalaman, dan dT/dz adalah gradien suhu (Km^{-1}).

Nilai G dapat juga dihitung dengan menggunakan data penginderaan jauh sebagaimana yang dilakukan oleh Allen *et al.* (2002).

$$\frac{G}{Rn} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil klasifikasi lahan dari satelit Landsat ETM 21 Mei 2002 dengan metode klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*) dapat ditampilkan pada Gambar 3.1. berikut ini.



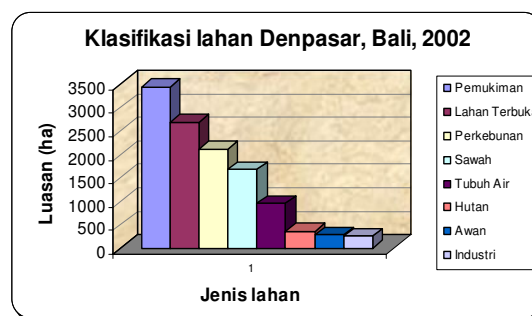
Gambar 3.1. Klasifikasi lahan Denpasar 2002

Peta spasial pada Gambar 3.1. menunjukkan hasil klasifikasi lahan Denpasar, Bali dari data satelit landsat bulan Juli 2002. Sedangkan analisis statistik jenis lahan dan grafik klasifikasi lahan Denpasar tahun

2002 diperlihatkan pada Tabel 3.1. dan Gambar 3.2. berikut ini.

Tabel 3.1. Statistik lahan Denpasar, Bali tahun 2002

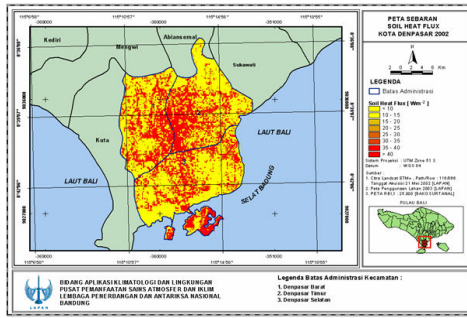
No	Jenis lahan	luasan (ha)	Persentase
1	Pemukiman	3438.18	41.25
2	Lahan Terbuka	2682.81	32.19
3	Perkebunan	2115.90	25.39
4	Sawah	1672.47	20.07
5	Tubuh Air	945.72	11.35
6	Hutan	372.60	4.47
7	Awan	283.95	3.41
8	Industri	260.73	3.13
	Luas Total	8334.18	100



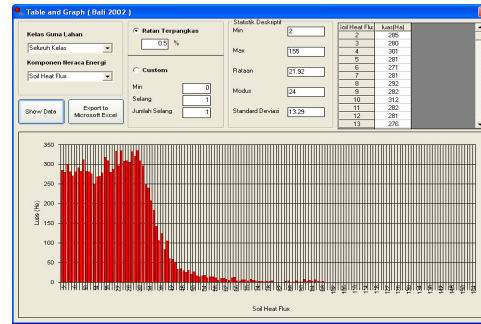
Gambar 3.2. Grafik klasifikasi lahan Denpasar Bali, 2002

Dari Gambar 3.1, Tabel 3.1. dan Gambar 3.2. di atas terlihat bahwa klasifikasi lahan Denpasar, Bali 2002 didominasi oleh pemukiman (3438,18 ha atau 41,25% dari luas total), kemudian lahan terbuka (2682,81 ha atau 32,19%), perkebunan (2115,9 ha atau 25,39%), sawah (1672,47 ha atau 20,07%), tubuh air (942,72 ha atau 11,35%), hutan (372,6 ha atau 4,47%), industri (260,73 ha atau 3,13%), dan penutupan awan seluas 283,95 ha (3,41%) di sebelah barat daya Denpasar.

Hasil estimasi fluks pemanasan tanah dari satelit landsat dengan bantuan software ErMapper dan software surface energy balance (dibuat dalam bahasa Visual Basic) untuk memudahkan estimasi-estimasi variabel iklim, sehingga didapat Gambar 3.3 sampai dengan Gambar 3.12 berikut ini.

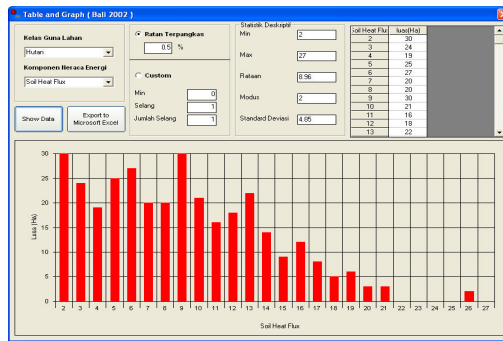


Gambar 3.3. Distribusi fluks pemanasan tanah (G) Denpasar 2002

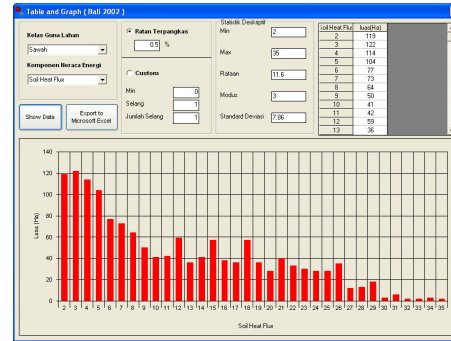


Gambar 3.4. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002

Pada Gambar 3.3. diperlihatkan pola spasial distribusi fluks pemanasan tanah (G) di wilayah Denpasar tahun 2002. Dari pola spasial yang ada terlihat bahwa nilai fluks pemanasan tanah tinggi ada pada lahan terbangun yaitu di pusat kota Denpasar. Secara statistik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 diperlihatkan pada gambar 3.4, dengan nilai terendah 2 W/m² dan tertinggi 155 W/m², dan rata-rata 21,92 W/m².

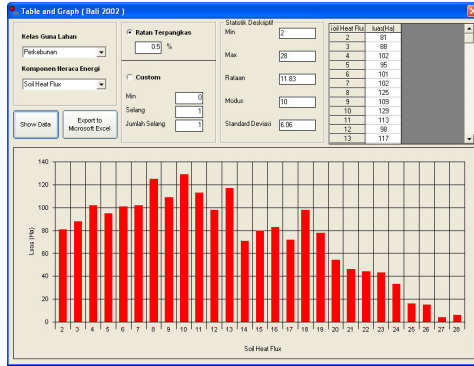


Gambar 3.5. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan hutan

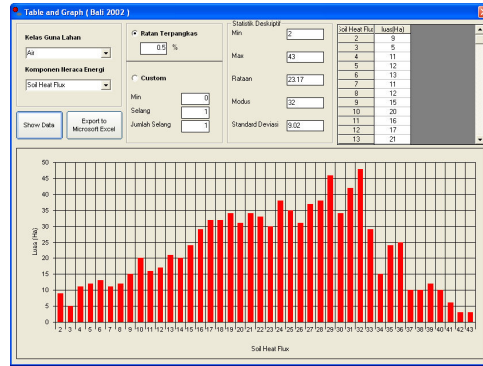


Gambar 3.6. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan sawah

Gambar 3.5 menunjukkan statistik fluks pemanasan tanah Denpasar tahun 2002 pada lahan hutan dengan nilai maksimum 27 W/m², minimum 2 W/m² dan rerata 8,96 W/m². Sedangkan fluks pemanasan tanah pada lahan sawah mempunyai nilai maksimum 35 W/m², minimum 2 W/m² dan rerata 11,6 W/m². Rerata fluks pemanasan tanah pada lahan sawah memiliki nilai yang lebih besar daripada lahan sawah karena energi untuk memanaskan tanah lebih besar daripada lahan hutan yang lebih banyak ditutupi oleh tumbuhan.

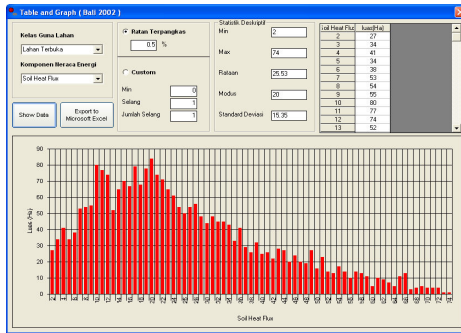


Gambar 3.7. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan perkebunan

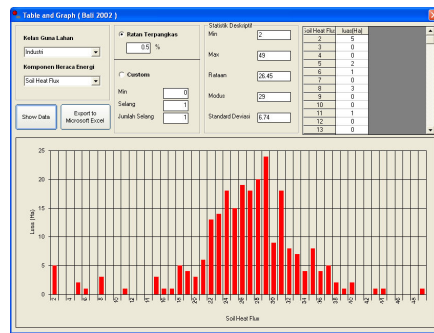


Gambar 3.8. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan air

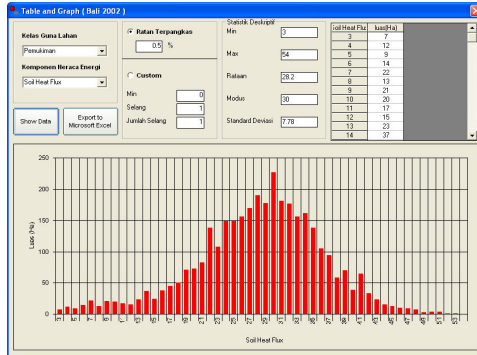
Pada Gambar 3.7. diperlihatkan statistik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan perkebunan dengan nilai maksimum 28 W/m², minimum 2 W/m² dan rerata 11,83 W/m². Sedangkan pada lahan air mempunyai nilai maksimum 43 W/m², minimum 2 W/m² dan rerata 23,17 W/m². Gambar 3.9 menunjukkan statistik nilai fluks pemanasan tanah Denpasar tahun 2002 pada lahan terbuka, dengan nilai maksimum 74 W/m², minimum 2 W/m² dan rerata 25,53 W/m². Demikian juga gambar 3.10. memperlihatkan grafik fluks pemanasan tanah Denpasar pada lahan industri, dengan nilai maksimum 49 W/m², minimum 2 W/m² dan reratanya 26,45 W/m². Gambar 3.11. menunjukkan grafik fluks pemanasan tanah Denpasar pada lahan pemukiman, dengan nilai maksimum 54 W/m², minimum 2 W/m² dan reratanya 28,2 W/m². Lahan terbuka, lahan industri dan lahan pemukiman dapat dikelompokkan sebagai lahan urban, lahan hutan dan sawah mewakili lahan vegetasi.



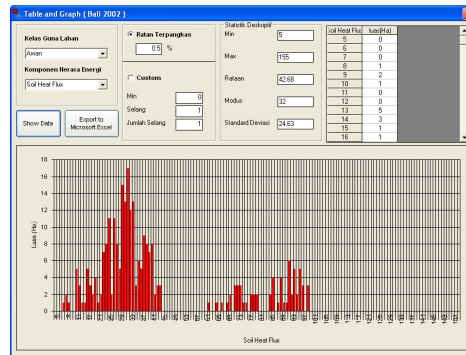
Gambar 3.9. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan terbuka



Gambar 3.10. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan industri



Gambar 3.11. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan pemukiman

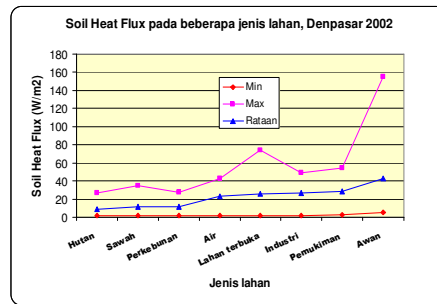


Gambar 3.12. Grafik fluks pemanasan tanah Denpasar 2002 pada lahan awan

Nilai-nilai statistik fluks pemanasan tanah pada berbagai lahan di atas dapat ditabelkan seperti pada Tabel 3.2. Sedangkan grafiknya terlihat pada Gambar 3.13.

Tabel 3.2. Tabel nilai fluks pemanasan tanah pada berbagai jenis lahan di Denpasar, 2002

JENIS LAHAN	SOIL HEAT FLUX (W/M ²)		
	MIN	MAX	RATAAN
HUTAN	2	27	8.96
SAWAH	2	35	11.6
PERKEBUNAN	2	28	11.83
AIR	2	43	23.17
LAHAN TERBUKA	2	74	25.53
INDUSTRI	2	49	26.45
PEMUKIMAN	3	54	28.2
AWAN	5	155	42.68



Gambar 3.13. Grafik fluks pemanasan tanah pada berbagai jenis lahan, Denpasar 2002

Dari Tabel 3.2. dan Gambar 3.13. di atas terlihat bahwa energi untuk memanaskan permukaan tanah tertinggi adalah di daerah pemukiman, ini menunjukkan bahwa pada lahan pemukiman prioritas penggunaan energi netto adalah untuk memanaskan permukaan tanah, sehingga harga fluks panasnya juga menjadi tinggi. Demikian juga pada lahan industri dan lahan terbuka, nilai fluks pemanasan tanahnya juga tinggi. Pada lahan yang basah (berair) energi netto diprioritaskan untuk menguapkan air, sehingga energi untuk memanaskan tanah menjadi lebih kecil daripada lahan urban (lahan terbuka, pemukiman, dan industri).

Hal ini bisa lebih jelas diterangkan dengan kapasitas panas maupun konduktivitas termal suatu benda seperti pada Tabel 3.3. berikut ini :

Tabel 3.3. Kapasitas panas dan konduktivitas termal pada berbagai macam benda.

Benda	Massa Jenis	Kapasitas Panas Jenis C (Kal/G)	Kapasitas panas C (Kal/cm³)	Konduktivitas Termal C (Kal cm S⁻¹ C)
Panas, kering	1.6	0.22	0.35	0.002
Pasir agak lembab	1.7	0.26	0.44	0.004
Pasir lembab	1.9	0.34	0.65	0.0052
Pasir basah	-	-	0.7	-
Liat berpasir	-	-	0.59	0
Tanah organik	-	-	0.57	-
Batu granit	2.6	0.2	0.52	-
Tanah rawa	0.9	0.8	0.7	-
Beton	2.3	0.21	0.48	0.011
Air tenang	1	1	1	0.0015
Udara tenang	0.0012	0.24	0.0003	0.00006

Jika suatu benda berkapasitas panas besar, maka perubahan suhu yang dihasilkan rendah, demikian juga sebaliknya. Kecepatan suatu benda menjadi panas bergantung pada konduktivitas termalnya. Semakin besar konduktivitas termal suatu benda, maka semakin cepat perambatan panas dan semakin besar suhunya. Panas ditransfer melalui tanah, batu dan daerah dibawah permukaan tanah lainnya (kecuali untuk air yang bergerak). Dari Tabel 3.3 ditunjukkan bahwa kapasitas panas air paling besar dan suhu yang dihasilkan rendah karena konduktivitas termalnya rendah. Sebaliknya beton mempunyai kapasitas panas kecil, sehingga cepat menjadi panas. Beton disini mewakili material yang sebagian besar terdapat di daerah urban.

Hubungan penutup lahan terhadap suhu dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\Delta Q = m C \Delta T$$

$C = \rho c$
 $\Delta Q =$ Jumlah energi yang diterima atau dilepaskan (Joule)
 $\Delta T =$ Selisih Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
 $m =$ Massa (kg)
 $C =$ Kapasitas panas = jumlah energi yang diperlukan untuk memanaskan atau mendinginkan suatu volume benda sekian derajat (J m^{-3}).
 $c =$ Kapasitas panas jenis (J / Kg)
 $\rho =$ Massa jenis (Kg/m^3)

Dari persamaan di atas terlihat bahwa kapasitas panas suatu benda bergantung pada panas jenis dan massa jenis atau kerapatannya. Jika setiap permukaan menerima energi radiasi matahari yang sama tetapi dengan kapasitas panas yang berbeda maka suhu yang dihasilkan juga berbeda.

KESIMPULAN

Kesetimbangan energi termal pada tanah terdiri dari komponen radiasi datang dan keluar dari suatu area dan fluk pemanasan in lapisan tanah subpermukaan dan kombinasi dari fluks latend dan panas sensibel, yang keduanya berhubungan dengan transport air. Unsur pokok perubahan energi bergantung pada bahan-bahan fisis dari tanah dan kondisi lingkungan eksternal seperti iklim, perubahan musiman. Dari studi kasus Denpasar, Bali tahun 2002, estimasi nilai soil heat flux tertinggi terletak pada lahan urban (pemukiman, lahan industri, lahan terbuka), kemudian lahan berair, perkebunan, sawah dan paling rendah adalah di lahan hutan.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Erwin Hermawan dan Andri Susanto yang telah membantu dalam pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, B M., T. Hata, H. Tanakamaru, A.W. Abdelhadi, A. Tada, The Spatial Analysis of Surface Temperature and Evapotranspiration for some Land Use/Cover Types in the Gezira area, Sudan.
- Rosenberg, N.J. 1974. MICROCLIMATE: The Biological Environment, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Snyder, R.L. and K.T. Paw U. 2001. Soil Heat Flow and Temperature, Regents of the University of California.

- Tursilowati, L. 2006. Impact of Urban Development on the Climate and Environmental Change in Surabaya, Indonesia, ICMNS Proceeding, ITB, Bandung
- Tursilowati, L. 2006. Teknologi Penginderaan Jauh untuk Estimasi Neraca Energi pada Penutup Lahan di Semarang, Prosiding Unibraw, Malang.
- Usowicz, B., and W. Marczewski, Soil Heat Flux Measurements in a field with Black Fallow and Grass Cover, Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Warszawa.

PENGARUH SIKLUS LIMA TAHUNAN TERHADAP ESTIMASI KEKERINGAN DI INDONESIA BERBASIS HASIL ANALISI DATA ESPI, GPCP DAN SIKLUS KE 24 MATAHARI

Eddy Hermawan

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
Jl. Dr. Junjunan 133, Bandung 40173
E-mail : eddy@bdg.lapan.go.id

Abstrak

Makalah ini utamanya berisi informasi tentang pengaruh siklus lima belas tahunan terhadap estimasi kekeringan di Indonesia berbasis hasil analisis data iklim global, khususnya data rata-rata bulanan ESPI (ENSO Precipitation Index) yang sebenarnya merupakan gabungan dari data El-Nino dan La-Nina yang dikenal dengan istilah EI dan LI masing-masing untuk ENSO Index dan La-Nina Index, GPCP (Global Precipitation Climatology Project) dan siklus ke-24 matahari periode Januari 1979 hingga Desember 2006. Hal ini penting dilakukan mengingat kekeringan merupakan faktor yang amat sangat penting dalam menunjang berhasil tidaknya produksi padi (gabah) yang sedang digalakkan pemerintah, khususnya Departemen Pertanian saat ini. Dengan menggunakan teknik analisis wavelet dan juga FFT (Fast Fourier Transform), kami mendapatkan bahwa osilasi dominan daripada data ESPI adalah sekitar lima belas tahunan, walaupun ada juga osilasi lain antara satu setengah hingga 3 tahunan, namun bukanlah osilasi dominan, dan itu terjadi di sekitar tahun 1982 dan 1997, disaat kita memang mengalami musim kering yang berkepanjangan (lebih dari enam bulan dari batas normalnya). Jika siklus ini berjalan sempurna (tanpa ada faktor lain yang mengganggunya), maka berbasis kejadian tahun 1997, diperkirakan tahun 2012 nanti, kita akan mengalami musim kering yang berkepanjangan seperti kejadian tahun 1997. Dan untuk mengetahui kawasan mana saja yang akan dilanda mengalami kekeringan terlebih dahulu, hasil analisis data GPCP menunjukkan bahwa hal itu akan dimulai dari kawasan Nusa Tenggara Barat (NTB) dan Nusa Tenggara Timur (NTT) dan terus merambat ke atas menuju daerah Sulawesi Selatan hingga kepulauan Maluku. Untuk meyakinkan apakah skenario ini akan menjadi kenyataan, maka dilakukanlah analisis dari data siklus sebelas tahunan matahari yang dikenal dengan siklus sun-spot, dimana pada siklus ke-24 nanti yang diduga akan jatuh pada tahun 2012, bumi kita akan mengalami musim panas yang berkepanjangan akibat meningkatnya aktivitas badai surya (solar flare) matahari dari kondisi normalnya. Penjelasan lebih lanjut tentang ESPI, GPCP dan siklus ke-24 matahari kaitannya dengan estimasi musim kering yang berkepanjangan yang bakal terjadi di tahun 2012, dan mekanisme pembentukannya akan kami diskusikan dalam makalah ini.

Kata kunci : ESPI, GPCP, Siklus ke-24 matahari dan kekeringan

PENDAHULUAN

Ide dasar penulisan makalah ini berawal dari adanya satu pertanyaan yang kini kembali hangat dibicarakan orang yakni “benarkah skenario lahirnya ENSO (*El-Nino and Southern Oscillation*) akan dimulai pada bulan Agustus nanti?”. Pertanyaan di atas tentunya menarik perhatian kita semua dari masyarakat awam hingga tingkat akademisi dan bahkan di tingkat peneliti itu sendiri yang terus “bergelut” dengan masalah ENSO yang nampaknya tidak ada penyelesaiannya.

Hal ini tidak terlepas dari pengertian ENSO yang sementara ini dianggap sebagian besar masyarakat kita identik dengan kekeringan. Lalu bagaimana kaitannya dengan adanya hujan yang akhir-akhir ini masih terus melanda di sebagian wilayah kita, seperti banjir yang terjadi dua kali dalam satu dekade musim penghujan di Jakarta dan sekitarnya. Apakah kondisi ini hanya berlangsung sesaat atau masih terus akan berlanjut, nampaknya masih perlu kita pikirkan.

Jika kita simak lebih mendalam, ternyata fenomena ENSO tidaklah selalu identik dengan kekeringan. Pada saat terjadi ENSO di satu kawasan terjadi kekeringan namun di kawasan lain justru terjadi kebanjiran. Contoh sederhana dapat kita lihat pada kejadian ENSO tahun 1982-1983, 1992-1993 dan 1997-1998, dimana terjadi musim kering yang berkepanjangan, namun sebaliknya di Peru justru kebanjiran yang mencapai di atas batas normal.

Hal ini tentunya tidak terlepas adanya hukum kesetimbangan alam, dimana satu kawasan kehilangan air, kawasan lain justru menerima kelebihan air. Dengan perkataan lain, air tersebut tidaklah hilang, melainkan pindah dari kawasan satu ke kawasan lainnya berdasarkan hukum kekekalan energi. Itulah kiranya makna hakiki dari pengertian *El-Nino* yang sebenarnya, yang tidak lain adalah bergesernya pusat-pusat konveksi khususnya di atas wilayah Indonesia sebagai satu-satunya kawasan *maritime continent* di daerah katulistiwa.

Namun bagaimana mekanisme pembentukan yang sebenarnya, faktor dominan apa yang berperan, kemana pusat konveksi tadi bergerak dan dimana pusat konvergensi itu terjadi terutama perubahannya terhadap ruang dan waktu, ternyata tidaklah mudah dijelaskan secara gamblang dan sederhana. Jika kita kaji lebih mendalam berdasarkan kaidah-kaidah ilmu pengetahuan yang dapat dipertanggungjawabkan, ternyata masalah ENSO tidaklah sesederhana yang kita bayangkan. Masalah ini kompleks, banyak melibatkan faktor meteorologi dan oceanografi yang tidak hanya terbatas pada lapisan permukaan semata, melainkan juga terkait erat dengan lapisan di atasnya, terutama lapisan troposfer dan stratosfer yang dikenal dengan istilah *coupling* dimana tidak menutup kemungkinan adanya *coupling* antara daratan dan lautan yang dikenal dengan istilah interaksi laut dan atmosfer (*air and sea interaction*).

Memang parameter utama sebagai indikasi hadirnya ENSO adalah anomali suhu permukaan air laut atau SST (*Sea Surface Suhu*), terutama pada kawasan Nino 3.4, perbedaan tekanan antara Darwin dan Tahiti yang dikenal sebagai SOI (*Southern Oscillation Index*) atau Index Osilasi Selatan, Equatorial SOI dengan contoh kawasan Indonesia, profil suhu vertikal terutama pada lapisan 500 mb, radiasi gelombang panjang yang dikenal sebagai OLR (*Outgoing Longwave Radiation*) dan masalah angin mulai dari lapisan permukaan dikenal sebagai sirkulasi *Walker* hingga pada lapisan 850 mb yang erat kaitannya dengan fenomena QBO (*Quasy Biennial Oscillation*) yang berosilasi antara 24 hingga 27 bulan. Namun masih diperlukan faktor lain, seperti *propagasi* (penjalaran) gelombang MJO (*Madden Julian Oscillation*) yang nampaknya belum banyak dilakukan orang.

Walaupun demikian banyak ilmuwan atau lembaga penelitian seperti LAPAN dan BMG bahkan perguruan tinggi baik di dalam maupun di luar negeri yang mencoba menyederhanakan permasalahan ini dengan metode yang dinamakan model iklim (*climate model*). Saat ini telah berkembang pesat model pendugaan datangnya ENSO seperti yang sedang dikembangkan rekan Zadrach L Dupe dari Geofisika dan Meteorologi (GM) ITB dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan The Houw Liong dari Fisika ITB dengan metode Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*), Mahally Kudsy dari Unit Pelaksana Teknis Hujan Buatan (UPT-HB) BPPT dengan metode “CCM3-nya”, Sutawanir Darwis dari Matematika ITB dengan *Seasonal Stochastic Space Time Models*, juga Yunus S. Swarinoto dari Pusat Klimatologi dan Kualitas Udara Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), selain *Global Circulation Model* (GCM) dan *Limited Area Model* (LAM) hasil keluaran CSIRO, Australia yang kini sedang aktif dikembangkan Bidang Pemodelan Iklim LAPAN-Bandung dengan metode regionalisasi (*dynamical versus statistical downscaling*).

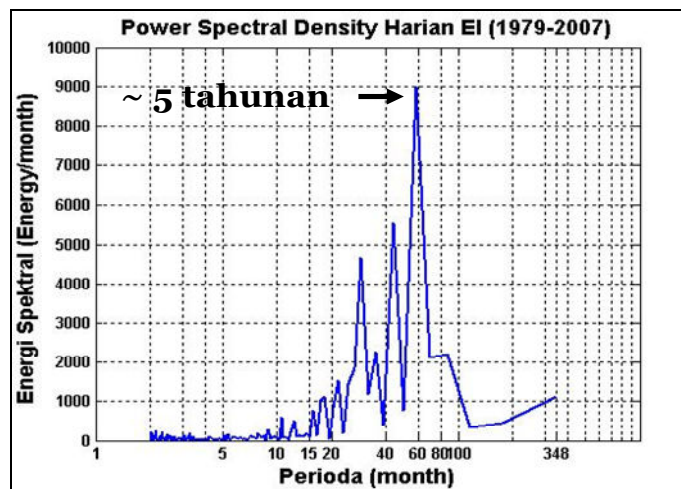
Namun demikian, hingga kini model-model tersebut masih terus dikaji, diteliti dan dikembangkan agar nantinya dapat dicapai akurasi yang lebih baik lagi. Satu masalah yang kini kita hadapi adalah minimnya data *in-situ* yang ada. Atas dasar pemikiran itulah maka kami mencoba mengungkapkan suatu teknik yang masih terbilang baru dengan nama ESPI (*ENSO Precipitation Index*). Metode dikembangkan oleh Scott Curtis dari Department of Geography East Carolina University, USA (Curtis *et. al.*, 2000, 2001 dan 2002). Sebelum masalah ini dibahas lebih mendalam ada baiknya kami kupas sedikit masalah GPCP untuk mengakaji perkembangan awan-awan konvektif yang terjadi di sepanjang Pasifik Barat (termasuk Indonesia) hingga Pasifik Timur (termasuk Peru dan sebagainya).

DATA DAN METODE ANALISIS

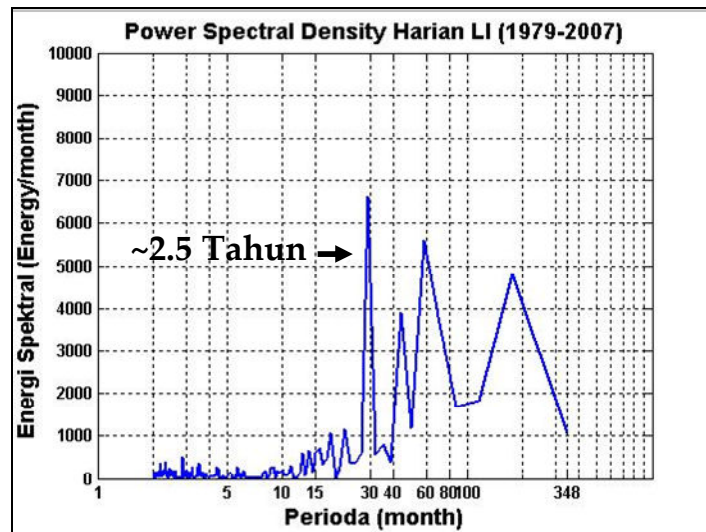
Besaran anomali curah hujan di kawasan Timur Lautan Hindia terkait erat dengan adanya *propagasi* (penjalaran) awan-awan konvektif yang dikenal dengan istilah Super Cloud Clusters (SCCs) seperti dikemukakan Curtis *et. al.*, (2000, 2001 dan 2002). Oleh karena itu, dalam studi ini digunakan data ESPI bulanan terhitung sejak Januari 1979 hingga Desember 2007 yang kami ambil dari internet (<http://precip.gsfc.nasa.gov/ESPItable.html>). Dengan demikian ada sekitar 27 tahun pengamatan data dimana data tersebut kemudian kami analisis osilasi dominan yang dihasilkannya dengan menggunakan teknik FFT (*Fast Fourier Transform*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

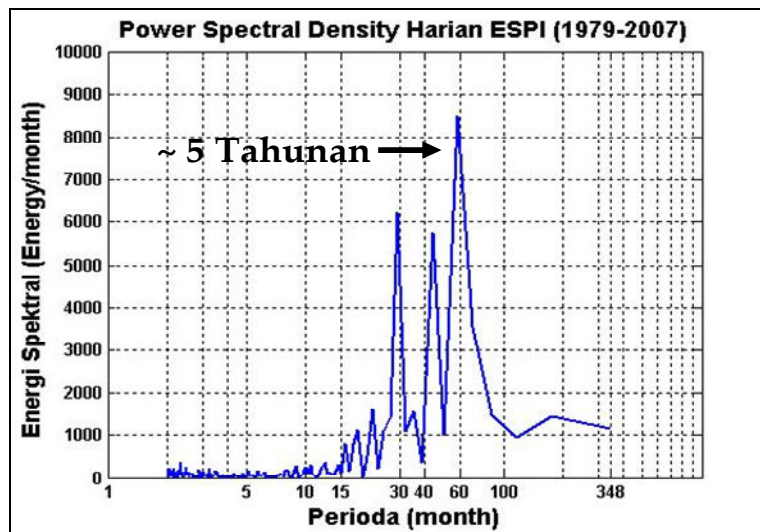
Gambar 3.1.(a), (b) dan (c) berikut menunjukkan nilai PSD (*Power Spectral Density*) masing-masing untuk EI (*ENSO Index*), LI (*La-Nina Index*) dan juga ESPI (*ENSO Precipitation Index*).



Gambar 3.1.(a). PSD harian EI periode 1979-2007



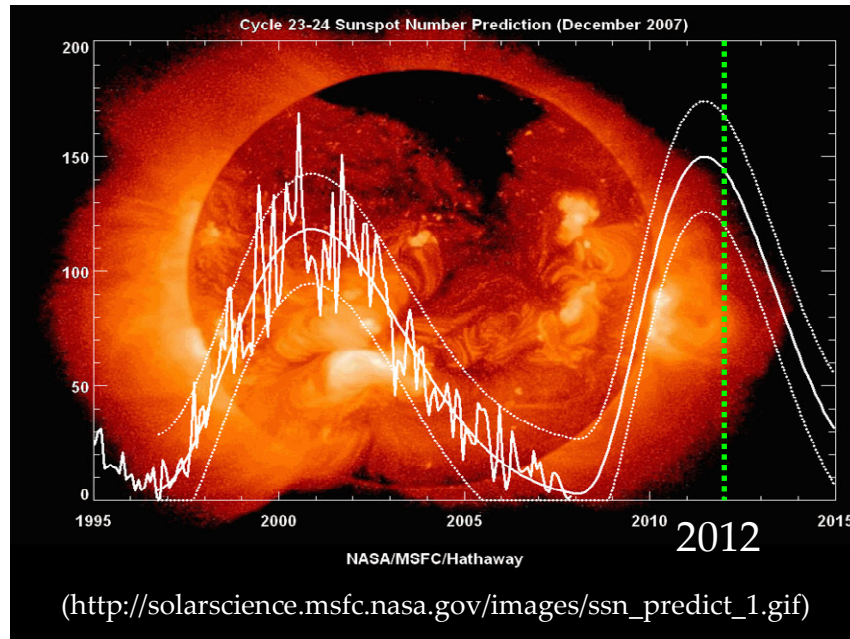
Gambar 3.1.(b). Sama dengan Gambar 3.1.(a), namun untuk LI



Gambar 3.1.(c). Sama dengan Gambar 3.1.(a), namun untuk ESP

Berdasarkan rangkaian gambar di atas terlihat bahwa osilasi dominan terbesar dari fenomena ENSO (berdasarkan “kacamata” ESPI) adalah sekitar enam puluh (60) bulanan atau sekitar lima (5) tahunan. Walaupun ada juga osilasi lain, namun hal ini sifatnya tidaklah dominan, mulai dari setengah hingga tiga tahunan. Jika osilasi ini berjalan dengan

sempurna tanpa adanya pengaruh yang lain, dan dengan berpedoman kejadian ENSO ekstrim tahun 1982/83 dan 1997/98, maka diperkirakan tahun 2012 nanti, fenomena ENSO ekstrim akan kembali melanda Indonesia. Untuk membuktikan apakah hal ini benar akan terjadi, data siklus ke 23/24 dari bilangan matahari (*sun-spot number*) seperti terlihat pada Gambar 4.2. menunjukkan, di “sekitar” tahun 2012 nanti akan terjadi peningkatan suhu permukaan yang cukup signifikan.



Gambar 4.2. Gambar siklus matahari ke 23-24 yang diambil dari salah satu web-side di internet.

KESIMPULAN

1. Pemanfaatan kehadiran data ENSO *Precipitation Index* (ESPI) dan GPCP dapat digunakan untuk memprediksi kehadiran ENSO.
2. Analisis data ESPI menunjukkan bahwa osilasi lima tahunan, masih dominan akan terjadi pada periode 5-10 tahun mendatang.
3. Jika osilasi ini berjalan dengan baik dan sempurna, diduga akan terjadi kondisi musim kering yang berkepanjangan pada tahun 2012. Hal ini diperkuat dengan data siklus sun-spot matahari.

SARAN

Untuk tahap berikutnya, perlu dikaji lebih lanjut pengaruh *Dipole Mode*, *Monsun* ataupun faktor lokal agar diperoleh prediksi yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Curtis, S., and R.F. Adler. 2000. ENSO indices based on patterns satellite derived precipitation. *J. Climate*, 13: 2786-2793.

Curtis, S., R.F. Adler, G.J. Huffman, E. Nelkin, and D. Bolvin. 2001. Evolution of tropical and extratropical precipitation anomalies during the 1997 to 1999 ENSO.

Curtis, S., G.J. Huffman, and R.F. Adler. 2002. Precipitation anomalies in the tropical Indian Ocean and their relation to the initiation of El-Nino, *Geophys. Res. Letters*, 29(10): 1441-1501.

<http://precip.gsfc.nasa.gov/ESPItable.html>

<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/20020528rainpattern.html>

<http://cics.umd.edu/~yin/GPCP/main.html>.

PENGARUH IODM DAN ENSO TERHADAP AWAL DAN MASA TANAM DI INDONESIA

Ruminta¹⁾ dan Joko Wiratmo²⁾

¹⁾ Universitas Padjadjaran
E-mail : r_ruminta@yahoo.com
²⁾ Institut Teknologi Bandung

Abstract

A study on impacts of the Indian Ocean Dipole Mode (IODM) and El Nino Southern Oscillation (ENSO) events had been carried out in Indonesia. The investigations based on monthly observations data of the rainfall from January 1961 to December 2000. The results indicated that IODM and ENSO events have a significant impacts on the rainfall, onset, and growing season. A very strong positive IODM and El Nino can reduce rainfall and shorten growing season periods, but a very strong negative IODM and La Nina can raise rainfall and lengthen growing season periods. IODM and ENSO cause a difference of the growing season periods about 3 decads from normally. A very strong positive IODM and El Nino can delay growing season about 3 decads, but a very strong negative IODM and La Nina can accelerate growing season about 3 decads. The impacts of ENSO events on the rainfall, onset and growing season are stronger than those of IODM events.

Key words: Dipole mode, *El Nino*, *La Nina*, rainfall, onset and growing season

PENDAHULUAN

Kajian mengenai dampak dipole mode Lautan Hindia (*Indian Oceans Dipole Mode* atau IODM) dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan tema kajian yang sangat penting dan menarik (Webster *et al.*, 1998; Ashok *et al.*, 2001; Saji *et al.*, 2003) karena kompleksitas dan dampaknya yang luas pada berbagai bidang kehidupan. Fenomena IODM dan ENSO mempunyai dampak yang kuat terhadap curah hujan daerah tropis termasuk variabilitas curah hujan di Indonesia. Adanya variabilitas curah hujan yang tinggi sangat berpengaruh terhadap bidang pertanian di wilayah tersebut yang sebagian besar kegiatan pertaniannya sangat tergantung pada curah hujan. Curah hujan mempengaruhi ketersediaan air pada suatu lahan pertanian. Dengan demikian curah hujan mempengaruhi awal (*onset*) dan lama masa tanam (*growing season*). Oleh karena itu, variabilitas curah hujan yang tinggi di Indonesia mempunyai dampak yang kuat terhadap variabilitas awal dan lama masa tanam (pertumbuhan tanaman).

El Nino merupakan salah satu faktor pendorong terjadinya variabilitas di daerah tropis (Webster *et al.* 1998). Namun demikian, dampak ENSO terhadap curah hujan di daerah tersebut menurut hasil kajian Kumar *et al.* (1999) semakin berkurang pada dua dekade terakhir ini. Hasil kajian tersebut mendorong sejumlah penelitian lain untuk mencoba memahami faktor penyebab melemahnya hubungan ENSO dengan variabilitas curah hujan tersebut (Kripalani and Kulkarni, 1999; Slingo and Annamalai, 2000; Ashok *et al.* 2001; Chang *et al.*, 2001; Gershunov, 2001).

Fakta menunjukkan bahwa jika curah hujan pada waktu terjadi *El Nino* kuat (tahun 1983 dan 1997) tidak dimasukkan dalam kajian, korelasi ENSO dengan curah hujan di Asia Selatan sangat signifikan (Chang *et al.*, 2001). Indikasi lain menunjukkan bahwa tahun 1983 walaupun terjadi *El Nino* kuat, Asia Selatan masih mempunyai curah hujan tinggi karena bersamaan dengan terjadinya IODM positif yang sangat kuat pula (Ashok *et al.*, 2001; Saji *et al.*, 2003; Ashok *et al.*, 2004). Demikian juga pada tahun 1997 ketika terjadi *El Nino* kuat, secara bersamaan terjadi pula IODM positif kuat (Saji *et al.*, 1999; Webster *et al.*, 1999). Hal ini mengindikasikan bahwa fenomena IODM menyebabkan melemahnya hubungan ENSO dengan curah hujan di Asia Selatan. Guan *et al.* (2003) menunjukkan fakta bahwa ketika terjadi IODM positif dan negatif kuat terjadi perbedaan fasa yang signifikan antara anomali suhu permukaan lautan Hindia bagian Timur dan Barat. Sementara itu, hasil kajian Ashok *et al.* (2001) menunjukkan melemahnya hubungan antara ENSO dengan curah hujan yang sangat signifikan disebabkan oleh sering munculnya fenomena IODM positif kuat sehingga melemahkan dampak dari fenomena ENSO. Hal ini menyebabkan terjadinya korelasi yang kuat antara curah hujan Asia Selatan dengan IODM (Ashok *et al.*, 2001; Sarkar *et al.*, 2004).

Selain memperlemah pengaruh ENSO, fenomena IODM juga mempengaruhi anomali suhu permukaan Lautan Hindia (Saji *et al.*, 1999); anomali curah hujan tinggi di India, Pakistan, dan pantai Barat Sumatera (Behera *et al.*, 1999); konvergensi/divergensi di sekitar Teluk Benggala (Ashok *et al.*, 2001; Guan *et al.*, 2003); pemanasan India Barat (Raju *et al.*, 2002); modulasi curah hujan di Asia Selatan (Ashok *et al.*, 2004); dan perubahan musim di Asia Selatan (Kripalani and Kumar, 2004). Menurut Behera *et al.* (2005) pengaruh IODM juga sangat kuat terhadap variabilitas curah hujan dan kegiatan pertanian di wilayah Afrika.

Fenomena ENSO mempengaruhi sensitivitas dan deviasi produksi pertanian berbagai tempat misalnya di Amerika Tengah (Hansen *et al.*, 1998; Legler *et al.*, 1999; Phillips *et al.*, 1999), Malaysia (Lim, 1998; Ariffin *et al.*, 2001), Indonesia (Naylor, 2000), Afrika (Phillips and Rosenzweig, 1998), Argentina (Ferreira, 2001; Podesta, 2002), Australia (Meinke, 1996), dan lain-lain. Selain itu informasi fenomena ENSO sangat mempengaruhi variabilitas harga komoditi pertanian di pasaran (Keppenne, 1995; Mjelde *et al.*, 1998 ; Chen *et al.*, 2002) dan pemilihan lokasi lahan pertanian

(Messina *et al.*, 1999; Meza, *et al.*, 2003). Dampak fenomena IODM dan ENSO terhadap lama masa tanam (*growing season*) menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran sekitar 10 hingga 20 hari dari lama masa tanam normal pada satu abad terakhir ini (Linderholm, 2006).

Dari uraian di atas, jelas bahwa fenomena IODM dan ENSO mempunyai dampak yang sangat luas. Namun demikian kajian IODM dan ENSO di wilayah Indonesia belum banyak dilakukan. Demikian pula kajian dampak kedua fenomena tersebut terhadap awal dan lama masa tanam masih sangat langka. Mengingat hal itu, adalah sangat penting dan menarik untuk mencoba mengkaji dampak IODM dan ENSO terhadap awal dan lama masa tanam di wilayah Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji dampak dari fenomena IODM dan ENSO terhadap curah hujan sehingga dapat mengidentifikasi awal dan lama masa tanam (*growing season*) di wilayah Indonesia. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal dan lama masa tanam sebagai masukan bagi perencanaan dan kebijakan di bidang pertanian.

DATA DAN METODE

Penelitian menggunakan data curah hujan bulanan hasil observasi dari tahun 1961 hingga 2000 di 26 tempat yang menyebar di wilayah Indonesia. Selain data curah hujan digunakan pula data indeks IODM (DMI) dan indeks ENSO (SOI) yang diperoleh dari analisis *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP).

Metode yang digunakan adalah analisa korelasi dan analisa deskriptif (grafik dan kontur). Analisa korelasi digunakan untuk mengkaji hubungan antara IODM dan ENSO dengan curah hujan. Kekuatan hubungan antara IODM dan ENSO dengan curah hujan diketahui dari hasil uji signifikansi koefisien korelasinya. Sementara itu analisis deskriptif (grafik dan kontur) digunakan untuk mengkaji awal dan lama masa tanam. Awal dan lama masa tanam ditentukan dari distribusi curah hujan peluang 75%. Awal masa tanam ditentukan ketika tinggi curah hujan peluang 75% mencapai 100 mm/bulan atau lebih. Lama masa tanam dihitung dari periode dimana tinggi curah tersebut berada di atas 100 mm/bulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fenomena IODM dan ENSO telah terjadi sejak beberapa abad yang lalu. Sejak 1961 hingga 2000 frekuensi munculnya IODM positif dan negatif masing-masing adalah 35% dan 20% (Tabel 1). Sementara itu, pada periode yang sama frekuensi munculnya *El Nino* dan *La Nina* masing-masing adalah 23% (Tabel 2). IODM positif kuat yang berdampak pada kekeringan terjadi pada tahun 1961, 1963, 1972, 1993, dan 1997.

El Nino yang sangat ekstrim terjadi pada tahun 1983 dan 1997. *El Nino* pada tahun 1997 menyebabkan curah hujan yang sangat rendah di wilayah Asia Tenggara dan Indonesia karena bersamaan dengan terjadinya IODM positif yang sangat kuat yaitu 1.86°C (Saji *et al.*, 1999; Webster *et al.*, 1999).

Tabel 1. Frekuensi fenomena IODM pada periode 1961-2000.

	IODM		
	DMI Positif	DMI Negatif	Normal
Tahun	1961, 1962, 1963, 1967, 1971, 1973, 1974, 1977, 1982, 1986, 1991, 1994, 1997, 1998	1964. 1975, 1978, 1984, 1989, 1990, 1992, 1996	1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1972, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982, 1985, 1987, 1988, 1993, 1995, 1999, 2000
Frekuensi	0.35	0.20	0.45

Tabel 2. Frekuensi fenomena ENSO pada periode 1961-2000.

	ENSO		
	<i>El Nino</i>	<i>La Nina</i>	Normal
Tahun	1965-1966, 1969-1970, 1972-1973, 1976-1977, 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998*	1964-1965, 1970-1971, 1971-1972, 1973-1974, 1975-1976, 1988-1989, 1995-1996, 1998-1999, 1999-2000	1961-1962, 1962-1963, 1963-1964, 1966-1967, 1967-1968, 1968-1969, 1974-1975, 1977-1978, 1978-1979, 1979-1980, 1980-1981, 1981-1982, 1983-1984, 1984-1985, 1985-1986, 1987-1988, 1989-1990, 1990-1991, 1992-1993, 1993-1995, 1996-1997, 2000-2001
Frekwensi	0.23	0.23	0.54

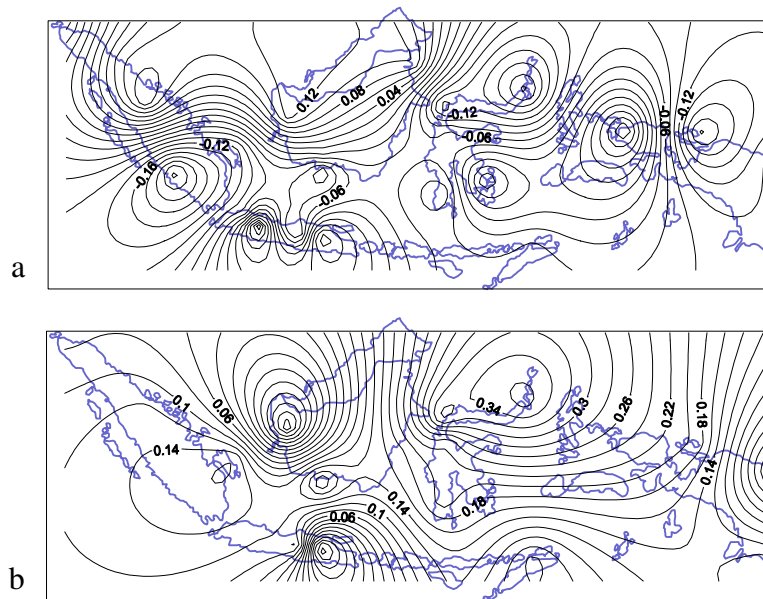
* : *El Nino* paling kuat

Fenomena IODM mempunyai hubungan yang signifikan dengan curah hujan bulanan di Indonesia, kecuali wilayah Jawa Tengah dan Papua Barat. IODM mempunyai fasa berlawanan dengan curah hujan bulanan yang dicirikan dominannya nilai koefisien korelasi (r) negatif (Gambar 1). Korelasi IODM dengan curah hujan sangat signifikan ($r > 0.120$) terjadi di wilayah Sulawesi Utara, fakta ini agak berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Saji *et al.* (1999) dan Bahera *et al.* (1999) yang mengindikasikan bahwa IODM berkorelasi sangat kuat dengan curah hujan di pantai Barat Sumatera.

Demikian juga ENSO mempunyai hubungan yang signifikan dengan curah hujan bulanan di wilayah Indonesia, kecuali wilayah Sulawesi Tenggara dan Lampung. Koefisien korelasinya didominasi oleh nilai positif, hal ini menunjukkan bahwa fenomena ENSO mempunyai fasa sama dengan curah hujan di wilayah Indonesia. Korelasi ENSO dengan

curah hujan bulanan yang sangat signifikan ($r > 0.250$) terjadi di wilayah Bengkulu dan Sulawesi Utara. Fakta ini juga berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa curah hujan Indonesia Timur mempunyai korelasi yang kuat dengan ENSO (Naylor, 2000; Ashok *et al.*, 2001; Gershunov 2001).

Curah hujan di wilayah Papua Timur tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan fenomena IODM maupun ENSO, hal ini mengindikasikan bahwa curah hujan di wilayah tersebut sangat didominasi oleh faktor lokal. Distribusi spasial korelasi antara IODM dan ENSO dengan curah hujan bulanan di wilayah Indonesia sangat beragam (Gambar 1). Walaupun demikian, ada indikasi kuat bahwa fenomena IODM dan ENSO sangat mempengaruhi curah hujan bulanan di wilayah Indonesia Tengah.



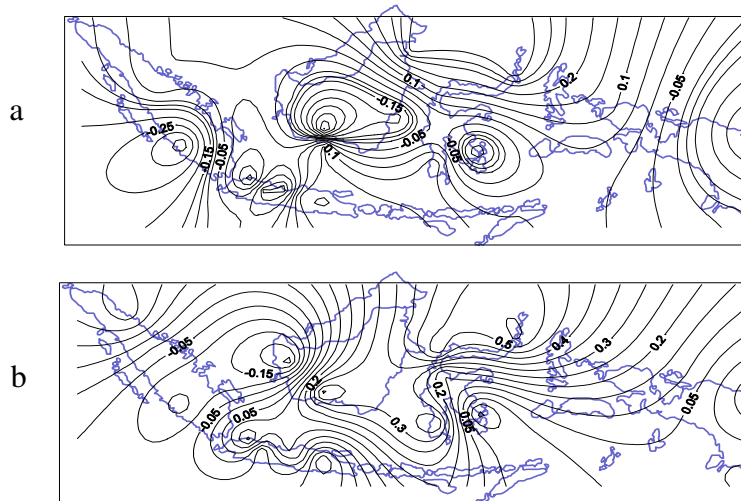
Ket. : Angka pada kontur menunjukkan koefisien korelasi (r), untuk $r > 0.100$ korelasi adalah signifikan (taraf nyata 95%)

Gambar 1. Distribusi spasial korelasi curah hujan bulanan dengan IODM (a) dan ENSO (b).

Fenomena IODM dan ENSO mempunyai hubungan beragam dengan curah hujan periode Januari-Desember-Februari (DJF), Juni-Juli-Agustus (JJA) maupun tahunan. Pola distribusi spasial korelasi antara curah hujan periode DJF, JJA, dan tahunan dengan IODM dan ENSO ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2, 3, dan 4. IODM mempunyai hubungan signifikan ($r > 0.320$) dengan curah hujan periode JJA dan

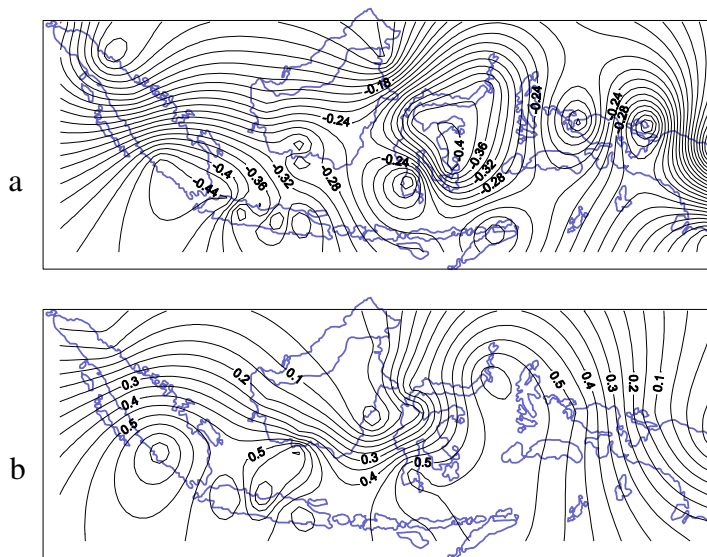
tahunan di wilayah Lampung dan Sulawesi Utara. Sementara itu, ENSO mempunyai hubungan yang sangat signifikan ($r > 0.500$) dengan curah hujan periode tersebut di wilayah Bengkulu, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara, Maluku, Papua Barat.

Ada indikasi kuat bahwa curah hujan periode JJA di wilayah Indonesia sangat dipengaruhi oleh fenomena ENSO, hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lim (1998) dan Ashok *et al.* (2004) yang menunjukkan bahwa curah hujan periode JJA di wilayah Asia Selatan dan Tenggara didominasi pengaruh ENSO. Pengaruh ENSO terhadap curah hujan tahunan lebih dominan dibanding pengaruh IODM. Curah hujan periode DJF di wilayah Indonesia kurang dipengaruhi IODM maupun ENSO.



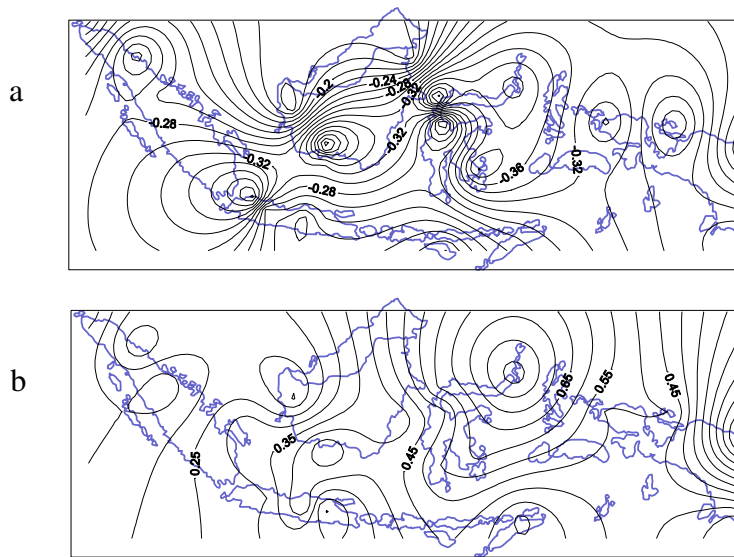
Ket. : Angka pada kontur menunjukkan koefisien korelasi (r), untuk $r > 0.320$ korelasi adalah signifikan (taraf nyata 95%)

Gambar 2. Distribusi spasial korelasi curah hujan DJF dengan IODM (a) dan ENSO (b).



Ket. : Angka pada kontur menunjukkan koefisien korelasi (r), untuk $r > 0.320$ korelasi adalah signifikan (taraf nyata 95%)

Gambar 3. Distribusi spasial korelasi curah hujan JJA dengan IODM (a) dan ENSO (b).



Ket. : Angka pada kontur menunjukkan koefisien korelasi (r), untuk $r > 0.320$ korelasi adalah signifikan (taraf nyata 95%)

Gambar 4. Distribusi spasial korelasi curah hujan tahunan dengan IODM (a) dan ENSO (b).

Sejalan dengan curah hujan bulanan, curah hujan periode JJA maupun tahunan mempunyai fasa yang belawanan dengan fenomena IODM yang dicirikan dengan nilai koefisien korelasi negative dan mempunyai fasa sama dengan fenomena ENSO yang dicirikan dengan dominannya nilai koefisien korelasi positif. Fakta ini tidak jauh berbeda dengan yang diindikasikan dari hasil penelitian Guan *et al.* (2003). Ada kecenderungan bahwa fenomena IODM lebih mempengaruhi curah hujan di wilayah Indonesia Barat, sementara itu fenomena ENSO lebih mempengaruhi curah hujan di wilayah Indonesia Tengah dan Timur. Pengaruh ENSO terhadap curah hujan di wilayah Indonesia lebih dominan dibanding pengaruh IODM.

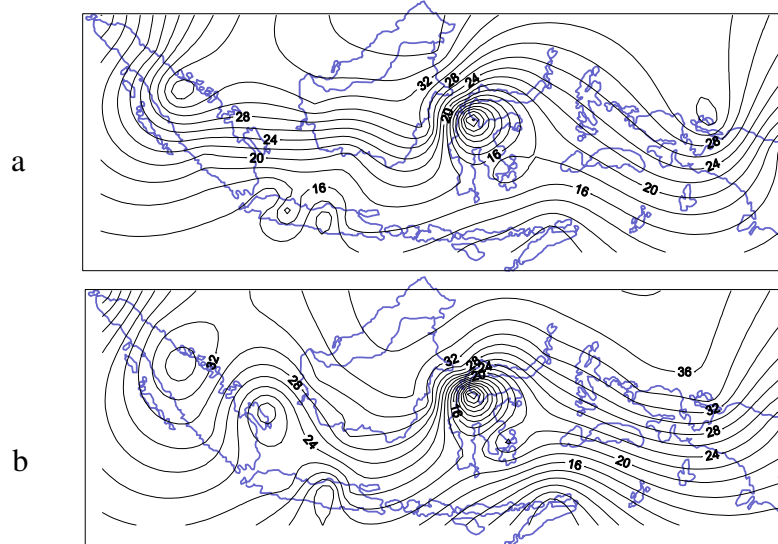
Awal (*onset*) dan lama masa tanam (*growing season*) di beberapa lokasi ketika terjadi fenomena IODM maupun ENSO sangat berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4. Fenomena IODM positif kuat ($DMI > 2^{\circ}C$) menyebabkan berkurangnya curah hujan di wilayah Indonesia, sehingga lama masa tanam lebih pendek, sebaliknya IODM negatif kuat ($DMI < -2^{\circ}C$) menyebabkan curah hujan lebih tinggi sehingga lama masa tanam lebih panjang.

Rataan lama masa tanam ketika terjadi fenomena IODM positif dan negatif kuat masing-masing adalah 18 dan 25 dekade (Gambar 5). Terdapat perbedaan (pergeseran) lama masa tanam sekitar 3 dekade dari kondisi normal, hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Linderholm (2006). Awal masa tanam pada waktu fenomena IODM positif maupun negatif kuat sangat beragam, tetapi pada umumnya ketika terjadi IODM positif kuat awal masa tanam berkisar antara dekade 2 September hingga dekade 2 November. Sementara itu ketika terjadi IODM negatif kuat awal masa tanam berkisar antara dekade 2 September hingga dekade 1 Oktober.

Seperti halnya fenomena IODM positif kuat, *El Nino* juga menyebabkan berkurangnya curah hujan di wilayah Indonesia, sehingga lama masa tanam lebih pendek, sebaliknya *La Nina* menyebabkan curah hujan lebih tinggi sehingga lama masa tanam lebih panjang. Hal ini sejalan dengan hasil beberapa penelitian di tempat lain seperti di Australia (Meinke, 1996), Asia Tenggara (Lim, 1998 Naylor, 2000), dan Malaysia (Ariffin *et al.*, 2001).

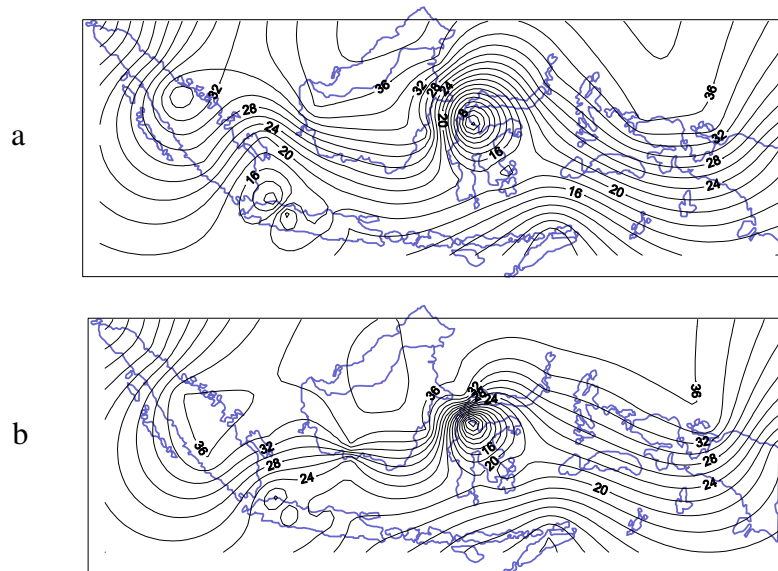
Rataan lama masa tanam ketika terjadi *El Nino* dan *La Nina* masing-masing adalah 21 dan 27 dekade (Gambar 6). Fakta ini menunjukkan terjadi perbedaan (pergeseran) lama masa tanam sekitar 3 dekade dari kondisi normal, hal ini juga tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Linderholm (2006). Awal masa tanam pada waktu *El Nino* dan *La Nina* juga sangat beragam, tetapi pada umumnya ketika terjadi *El Nino*, awal masa tanam berkisar antara dekade 1 September hingga dekade 1 Oktober. Sementara itu ketika terjadi *La Nina* awal masa tanam berkisar antara dekade 1 Agustus hingga dekade 1 Oktober. Khusus untuk wilayah Kalimantan Barat dan Papua Barat, awal dan lama masa tanam tidak

dipengaruhi oleh fenomena *El Nino* dan *La Nina*, hal ini disebabkan oleh curah hujan di wilayah tersebut sangat tinggi dan menyebar sepanjang tahun.



Ket. : Angka pada kontur menunjukkan lama masa tanam dalam dekade (D).

Gambar 5. Distribusi spasial lama masa tanam ketika terjadi IODM positif (a) dan negatif (b)



Ket. : Angka pada kontur menunjukkan lama masa tanam dalam dekade (D).

Gambar 6. Distribusi spasial lama masa tanam ketika terjadi *El Nino* (a) dan *La Nina* (b).

Tabel 3. Awal dan lama masa tanam ketika terjadi IODM positif dan negatif kuat

Wilayah	IODM Positif Kuat		IODM Negatif Kuat	
	Masa Tanam		Masa Tanam	
	Awal	Lama (dekade)	Awal	Lama (dekade)
Aceh	D2 September	12	D1 Oktober	8
Medan	D1 Agustus	14	D2 Juni	27
Padang	D1 Oktober	22	-	36
Pangkalpinang	D1 November	18	D3 September	27
Bandung	D1 November	15	D3 September	21
Madiun	D2 November	16	D1 Oktober	23
Pontianak	D2 September	26	D2 Agustus	27
Banjarmasin	D3 Oktober	21	D3 September	28
Ujungpandang	D2 November	12	D2 Oktober	17
Menado	D3 Oktober	21	D2 September	30
Sorong	D3 Oktober	24	D2 September	21
Sentani	D1 Desember	13	D1 Oktober	17
Rataan	-	18	-	25

Ket. : D = dekade

Tabel 4. Awal dan lama masa tanam ketika terjadi *El Nino* dan *La Nina*

Wilayah	<i>El Nino</i>		<i>La Nina</i>	
	Masa Tanam		Masa Tanam	
	Awal	Lama (dekade)	Awal	Lama (dekade)
Aceh	D2 September	4	D1 Oktober	9
Medan	D1 April	22	D2 Mei	26
Padang	D1 Juni	25	-	36
Pangkalpinang	D1 November	15	D1 September	24
Bandung	D1 Oktober	21	D1 September	25
Madiun	D1 Desember	14	D2 Oktober	22
Pontianak	-	36	-	36
Banjarmasin	D2 Oktober	17	D2 September	22
Ujungpandang	D1 Oktober	18	D2 September	22
Menado	D1 September	29	D1 Agustus	33
Sorong	-	36	-	36
Sentani	D2 September	20	D1 November	15
Rataan	-	21	-	27

Ket. : D = dekade

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa IODM dan ENSO mempunyai hubungan yang sangat signifikan dengan curah hujan dan awal serta lama masa tanam; fenomena IODM positif kuat dan *El Nino* dapat mengurangi curah hujan dan memperpendek lama masa tanam, sedangkan fenomena IODM negatif kuat dan *La Nina* dapat meningkatkan curah hujan dan memperpanjang lama masa tanam; fenomena IODM dan ENSO menyebabkan pergeseran periode masa tanam sekitar 3 dekade dari

lama masa tanam normal; dan IODM positif kuat dan *El Nino* menyebabkan awal tanam mundur 3 dekade, sebaliknya IODM negatif kuat dan *La Nina* menyebabkan awal tanam maju 3 dekade. Pengaruh ENSO terhadap curah hujan, awal dan masa tanam lebih dominan dibanding pengaruh IODM.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariffin, T., T. Ariff, and M. Yusof bin Abdullah. 2001. Stabilization of Upland Agriculture under El Nino Induced Climatic Risk: Impact Assessment and Mitigation Measures in Malaysia. *The Regional Coordination Centre for Research and Development of Coarse Grains, Pulses, Roots and Tuber Crops in the Humid Tropics of Asia and the Pacific (CGPRT Centre) UN/ESCAP. Working Paper No.61.*
- Ashok, K., Z. Guan, and T. Yamagata. 2001. Impact of the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian Monsoon rainfall and ENSO, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4499-4502.
- _____, Guan, Z., N.H. Saji, and T. Yamagata. 2004. Individual and combined influences of the ENSO and Indian Ocean Dipole on the Indian summer monsoon, *J. Climate*, 17, 3141-3155.
- Behera, S. K., R. Krishnan, and T. Yamagata. 1999. Unusual Ocean-Atmosphere conditions in the tropical Indian Ocean during 1994. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3001-3004.
- Behera, S. K., J. Luo, and S. Masson. 2005. Paramount Impact of the Indian Ocean Dipole on the East African Short Rains: A CGCM Study. *J. Climate*, (18), 4514-4530.
- Chang, C. P., P. Harr, and J. Ju. 2001. Possible roles of Atlantic circulations on the weakening Indian monsoon rainfall-ENSO relationship, *J. Climate*, 14, 2376-2380.
- Chen, C.C., B. McCarl, and H. Hill. 2002. Agricultural value of ENSO information under alternative phase definition. *Climatic Change*, 54, 305-325.
- Ferreira, R.A., G.P. Podesta, C.D. Messina, D. Letson, J. Dardanelli, E. Guevara, and S. Meira. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. *Agric. For. Meteor.*, 107: 177-192
- Hansen, J.W., Hodges A, and Jones J.W. 1998. ENSO influences on agriculture in the southeastern United States. *J. Climate*, 11: 404-411

- Meinke, H, R.C. Stone, and G.L. Hammer. 1996. SOI phases and climatic risk to peanut production: a case study for northern Australia. *Int. J. Climatol.*, 16: 783-789.
- Gershunov, A., N. Schneider, and T. Barnett. 2001. Low frequency modulation of the ENSO-monsoon rainfall relationship: Signal or noise? *J. Climate*, 14, 2486-2492.
- Guan, Z., K. Ashok, and T. Yamagata. 2003. The summertime response of the tropical atmosphere to the Indian Ocean sea surface temperature anomalies, *J. Meteor. Soc. Japan*, 81, 533-561.
- Legler, D.M, K.J. Bryant, and J.B. O'Brien. 1999. Impact of ENSO-related climate anomalies on crop yields in the U.S. *Climate Change*, 42(2).
- Lim, J.T. 1998. ENSO and its relationship to haze and forest fire in Southeast Asia. Malaysian Meteorological Services, Petaling Jaya, Selangor.
- Linderholm, H.W. 2006. Growing season changes in the last century. *Agric. For. Meteorol.*, 137(1-2), 1-14.
- Keppenne, C. L. 1995. An ENSO signal in soybean futures prices. *J. Climate*, 8, 1685-1689.
- Kripalani, R. H., and A. Kulkarni. 1999. Climatological impact of El Niño/La Niña on the Indian monsoon: A new perspective. *Weather*, 52, 39-46.
- _____, and P. Kumar. 2004. Northeast monsoon rainfall variability over south peninsular India vis-à-vis Indian Ocean Dipole mode, *Int. J. Climatol.*, 24, 1267-1282.
- Kumar, P., K.B. Rajagopalan, and M.A. Cane. 1999. On the weakening relationship between the Indian monsoon and ENSO. *Science*, 284, 2156-2159.
- Messina, C.D. and J.W. Hansen, A.J. Hall. 1999. Land allocation conditioned on ENSO phases in the Argentine Pampas. *Agric. Sys.*, 60, 197-212.
- Meza, F.J., D.S. Wilks, S.J. Riha, and J.R. Stedinger. 2003. Value of perfect forecasts of sea surface temperature anomalies for selected rain-fed agricultural locations of Chile. *Agric. For. Meteorol.*, 116, 117-35.
- Mjelde, J.W., H.S.J. Hill, and J.F. Griffiths. 1998. Review of current evidence on climate forecasts and their economic effects in agriculture. *Amer. J. Agric. Econ.*, 70, 674-84.
- Phillips, J.G., M.A. Cane and C. Rosenzweig. 1998. ENSO, seasonal rainfall patterns and simulated maize yield variability in Zimbabwe. *Agric. For. Meteorol.*, 90: 39-50.

- Phillips, J.G., B. Rajagopalan, M.A. Cane, and C. Rosenzweig. 1999. The role of ENSO in determining climate and maize yield variability in the US cornbelt. *Int. J. Climatol.*, 19, 877-888
- Podesta, G., D. Letson, C. Messina, F. Royce, R.A. Ferreyra, J. Jones, J. Hansen, I. Llovet, M. Grondona, and J.J. O'Brien. 2002. Use of ENSO-related climate information in agricultural decision making in Argentina: a pilot experience. *Agric. Sys.*, 74, 371-392.
- Naylor, R. L. 2000. Effects of El Nino-Southern Oscillation Events on Food Production Instability in Indonesia: Developing Models for Rice and Shrimp. *Report of Investigation*.
- Raju, P. V. S., U.C. Mohanty, P.L.S. Rao, and R. Bhatla. 2002. The contrasting features of Asian summer monsoon during surplus and deficient rainfall over India, *Int. J. Climatol.*, 22, 1897-1914.
- Saji, N. H., B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, and T. Yamagata. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360-363.
- _____, and T. Yamagata. 2003. Possible impacts of Indian Ocean Dipole events on global climate. *Clim. Res.*, 25, 151-169.
- Sarkar, S., R.P. Singh, and M. Kafatos. 2004. Further evidences for weakening relationship of Indian rainfall and ENSO over India, *Geophys. Res. Lett.*, 31.
- Slingo, J.M., and H. Annamalai. 2000. 1997: The El Niño of the century and the response of the Indian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1778-1797.
- Webster, P. J. 1998. Monsoons: Processes, predictability and prospects for prediction, *J.Geophys. Res.*, 103, 14,451-14, 510.
- Webster, P. J., A. Moore, J. Loschnig, and M. Leban. 1999. Coupled dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998. *Nature*, 401, 356-360.

APLIKASI MODEL SIMULASI TANAMAN UNTUK PENDUGAAN HASIL TANAMAN

Fadjry Djufry

BPTP KALSEL

Abstract

In the last two decade crop simulation models have become established as valuable tools in the study of crop environments response. Crop models have many current and potential uses for answering questions in research, crop management, and policy. Many crop modeling groups are using their models in a research mode to evaluate optimum management practices for cultural practices, fertilizer use, water use and yield predicting. Crop simulation model is a powerful problem solving technique. Models development was based on mechanistic approach that divides model into three sub models, namely (1) crop development, (2) crop growth, and water balance. The model being developed can be simulate processes relating to crop growth in response to the inputs (weather variables, soil and agronomic inputs) as well as its economic analysis. The model can be employed as decision support tool in the crop management of food crops.

Keywords: Crop model, water balance

PENDAHULUAN

Meskipun banyak kritikan namun perkembangan model simulasi tanaman yang telah dibuat di dunia meningkatkan pesat selama dua dasawarsa ini. Hal ini menunjukkan bahwa model simulasi makin dirasakan manfaatnya sebagai alat analisis kuantitatif serta pemecahan masalah secara integral dalam bidang pertanian. Poluektov dan Topaj (2001) mengemukakan bahwa teknologi pemodelan, untuk mensimulasi perkembangan dan pertumbuhan serta prediksi hasil tanaman dalam hubungannya dengan iklim dan tanah telah banyak dimanfaatkan.

Dampak yang penting dari perkembangan model simulasi ini adalah makin disadarinya pentingnya analisis sistem untuk pendekatan masalah secara integral. Penelitian terpadu yang melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti ilmu tanah, agronomi, serta agrometeorologi akan lebih efisien karena jelas arah penelitian yang akan dilakukan.

Selanjutnya Monteith (1996) mengemukakan bahwa, pemodelan tanaman merupakan suatu pendekatan kuantitatif untuk memprediksi pertumbuhan, perkembangan dan hasil tanaman, koefisien genetik tanaman dan peubah yang berhubungan dengan faktor lingkungan.

Pendugaan hasil tanaman berdasarkan model pertumbuhan tanaman dilakukan dengan memformulasikan bentuk-bentuk hubungan unsur iklim tanaman tersebut dalam suatu persamaan (Handoko, 1991).

Menurut Bey *et al.* (1997) pendekatan dengan model simulasi mampu menganalisis dan memadukan berbagai faktor atau skenario untuk menghasilkan suatu kesimpulan akhir dengan berbagai kemungkinannya. Sebagai contoh adalah penggunaan model simulasi neraca air dalam memonitor perkembangan air tanah bila hujan tidak turun selama periode tertentu. Ketersediaan air tanah tersebut akan berkurang dengan waktu, sampai batas tidak mampu lagi menunjang pertumbuhan tanaman.

Model simulasi tanaman merupakan penyederhanaan proses dari sejumlah hubungan antara berbagai variabel yang mencakup lingkungan tanaman dan perilaku tanaman dengan menggunakan persamaan matematik atau statistika (Stansel dan Fries, 1980). Selajutnya de Wit (1982) mendefinisikan model simulasi sebagai seni dalam membangun model matematik untuk mengkaji sifat-sifat di dalam sistem. Pemodelan yang dilakukan tidak hanya memprediksi gejala dalam sistem, juga bertujuan untuk meningkatkan pemahaman terhadap fenomena yang diamati (Grant *et al.*, 1997). France dan Thornley (1984) memisahkan model dalam beberapa bentuk, yaitu model empirik versus mekanistik, model dinamik versus statik, model deterministik versus stokastik dan model deskriptif versus numerik.

Salah satu pendekatan dalam pemodelan tanaman didasarkan pada distribusi penggunaan energi cahaya oleh tanaman untuk memproduksi bahan kering baru. Secara implisit diasumsikan bahwa fungsi utama tanaman adalah mengkonversi energi radiasi dari matahari ke energi kimia yang lebih stabil melalui fotosintesis, yang dapat segera tersedia apabila dibutuhkan untuk pertumbuhan (Charles-Edwards *et al.*, 1986). Di lain pihak, Bakema dan Jansen (1985) menyatakan bahwa model tanaman merupakan suatu gugus persamaan yang menghitung fotosintesis tanaman sebagai fungsi dari data cuaca harian dan luas daun.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penyusunan Model

Penyusunan suatu model dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan, yakni (1) penentuan tujuan dan pengenalan sistem, (2) pemilihan batasan sistem: termasuk di dalam penentuan masalah, variabel dominan, rentang waktu, (3) formulasi model: spesifikasi, estimasi parameter, test konsistensi, kalibrasi model, (4) *running* model, (5) pengujian model, serta (6) desain kebijakan dan evaluasi: skenario, analisis sensitivitas, penyusunan kesimpulan dan rekomendasi (Hartrisari, 2004). Secara umum tahapan penyusunan pemodelan tanaman meliputi, (1) penyusunan model, (2)

Increasing National Capacity of Adaptation for Climate Change through Cross Sectoral and Regional Cooperation 297

pengujian model dan (3) aplikasi model. Penelitian lapang dilaksanakan untuk mendapatkan parameter, kalibrasi model dalam kegiatan penyusunan model serta untuk pengujian model tersebut. Pengujian model bertujuan menilai keberhasilan penyusunan model baik dalam menentukan komponen-komponen di dalam struktur model maupun penurunan parameter-parameter model. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran model dengan pengamatan lapang. Perbaikan parameter akan dilakukan jika diperlukan. Setelah tahap pengujian dilakukan dengan perbaikan model jika diperlukan, model dapat diterapkan untuk perencanaan agronomis antara lain rekomendasi waktu dan laju pengairan, waktu tanam serta pewilayahan tanaman.

Struktur Model

Secara garis besar, model simulasi tanaman dapat disusun atas tiga submodel, yaitu (1) submodel perkembangan tanaman, (2) submodel pertumbuhan tanaman dan (3) submodel neraca air (Fadjry *et al.*, 2004)

Submodel perkembangan menduga laju perkembangan tanaman selama periode pertumbuhan tanaman (tanam-panen) berdasarkan *thermal unit*. Submodel perkembangan tanaman akan menentukan pembagian asimilat hasil fotosintesis pada submodel pertumbuhan berdasarkan proporsi biomassa. Proporsi pembagian biomassa ke berbagai organ tanaman (daun, batang, akar dan biji) diturunkan dari pengukuran lapang. Penggunaan submodel ini memungkinkan prediksi terhadap periode setiap fase perkembangan sehingga pada akhirnya dapat ditentukan waktu panen tanaman jarak yang dimodelkan.

Submodel pertumbuhan mensimulasi mekanisme pertumbuhan tanaman berdasarkan radiasi surya yang diintersepsi oleh tajuk tanaman yang ditentukan oleh indeks luas daun (ILD). Semakin tinggi nilai ILD maka semakin besar radiasi surya yang diintersepsi. ILD yang tinggi berkorelasi positif dengan peningkatan laju transpirasi tanaman jika kadar air tanah dan kondisi cuaca bukan merupakan faktor pembatas, yang dihitung pada submodel neraca air. Keluaran submodel pertumbuhan ini adalah jumlah biomassa kering untuk setiap organ tanaman jarak (biomassa daun, batang, akar, dan biji).

Submodel neraca air mensimulasi gerakan air mulai dari curah hujan jatuh ke atas tajuk tanaman, diintersepsi tajuk tersebut serta jatuh ke atas permukaan tanah kemudian terinfiltrasi ke dalam lapisan tanah, terjadi perkolasi, penguapan pada permukaan tanah sampai pada transpirasi tanaman. Selanjutnya akan dapat diprediksi berapa kandungan air tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman. Penghitungan neraca air dilakukan pada empat lapisan tanah yaitu lapisan 1 (0-25 cm), lapisan 2 (25-50 cm), lapisan 3 (50-75 cm) dan lapisan 4 (75-100 cm). Submodel ini menggunakan faktor cuaca dan tanah sebagai faktor pembatas untuk menghitung ketersediaan air tanaman jarak.

Peubah masukan (*input variables*) yang digunakan dalam model simulasi adalah peubah cuaca, tanaman, tanah dan keadaan awal (*initial variables*). Model yang disusun mempunyai resolusi harian sehingga diperlukan unsur-unsur cuaca harian sebagai masukan yang terdiri atas radiasi surya (MJ/hari), suhu udara (°C), kelembaban udara (%), kecepatan angin (m/detik) dan curah hujan (mm/hari). Selain itu peubah tanaman dan tanah yang diinisialisasi yaitu kebutuhan benih jarak per ha (berat biji jarak) dan kadar air tanah pada berbagai kedalaman tanah.

Analisis Statistik

Pengujian secara statistik hasil percobaan lapang menggunakan analisis sidik ragam (Anova), sedangkan uji antar perlakuan menggunakan Uji Duncan. Pengujian model dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran model dengan data pengamatan lapang. Pengujian dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kualitatif menggunakan metode grafik (fitting dan uji 1:1) serta uji statistik (uji t berpasangan, uji ketepatan model dan analisis regresi). Uji t berpasangan mengikuti persamaan (Steel dan Torrie, 1981).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Model

Model simulasi tanaman yang dikembangkan merupakan model mekanistik yang dapat menjelaskan proses-proses yang berhubungan dengan pertumbuhan, perkembangan dan neraca air tanaman sesuai dengan masukan (data cuaca dan kondisi awal tanah) yang diberikan. Masukan terhadap model dilakukan melalui *interface* seperti yang disajikan pada Gambar 1. Pada *interface* tersebut diperlukan masukan berupa data cuaca harian (*Input File*), perlakuan nitrogen (kg N/ha), perlakuan air (irigasi, mm/hari), tanggal tanam (*julian date*), lokasi, letak lintang (*latitude*), serta sifat fisik tanah berupa kapasitas lapang (%) dan titik layu permanen (%). Setelah semua input tersebut dimasukkan, model dijalankan dengan menekan (*click*) tombol “Run”, atau kembali ke menu semula dengan menekan tombol “Kembali” atau membatalkan program sama sekali dengan menekan tombol “Batal”.

Pengujian Model

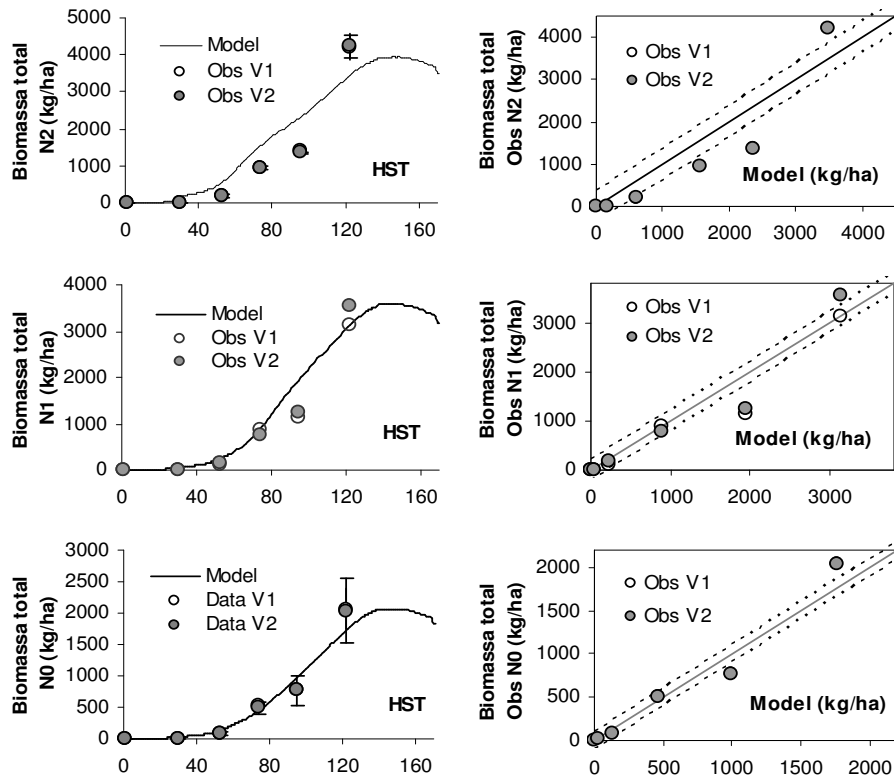
Pengujian (validasi) model merupakan satu tahap yang penting dalam proses penyusunan model simulasi tanaman. Pengujian dilakukan dengan membandingkan beberapa peubah-peubah keluaran model dengan hasil pengamatan atau pengukuran lapang (Boote *et al.*, 1996; Hoover dan Perry, 1989).

Validasi model dapat dilakukan dengan cara kualitatif dan kuantitatif. Validasi kualitatif bersifat deskriptif dengan membandingkan hasil prediksi model dengan hasil pengukuran lapang dalam bentuk gambar atau grafik. Metode grafis yang lain yaitu dengan membandingkan antara prediksi model dan pengukuran lapang terhadap garis 1 : 1. Jika kedua data hasil prediksi model dan pengukuran lapang berimpit pada garis 1:1 maka model mendekati hasil pengukuran lapang, sedangkan semakin jauh dari garis 1:1 maka prediksi model makin kurang tepat. Validasi secara kuantitatif menggunakan uji statistik seperti χ^2 , uji t berpasangan serta regresi diperlukan untuk menguji hipotesis (Handoko, 2003; Hoover dan Perry, 1989).

Gambar 1. Tampilan depan model yang merupakan *user interface* untuk memasukan *input* serta menjalankan model simulasi tanaman

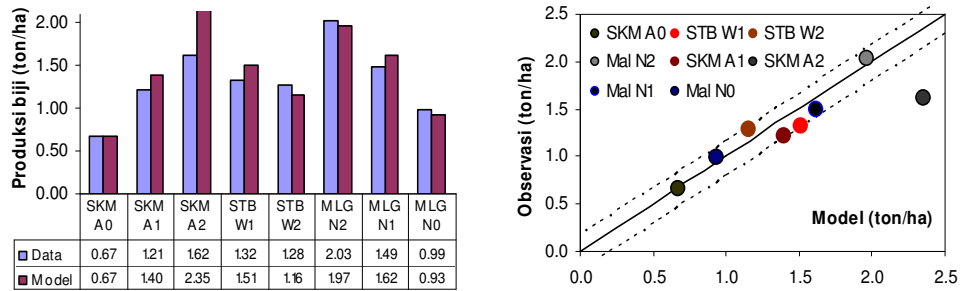
Pengujian antara hasil pengamatan lapang dengan prediksi model secara grafis disajikan pada Gambar 2. Perbandingan antara pengukuran lapang dengan hasil prediksi model terhadap biomassa total diperoleh hasil yang tidak berbeda nyata yang ditunjukkan oleh uji t berpasangan antara prediksi model dengan pengamatan lapang ($P > 0.05$) pada semua perlakuan nitrogen dan perbedaan waktu tanam. Hal tersebut sejalan

dengan pengujian secara grafis yang ditunjukkan dengan mengumpulkannya plot sepanjang garis 1:1 dan koefisien determinasi (R^2) rata-rata 0.9. Berdasarkan hasil pengujian terhadap pertumbuhan tanaman (biomassa tanaman) dapat disimpulkan bahwa model dapat mensimulasi peubah pertumbuhan tanaman mendekati pengukuran lapang.



Gambar 2. Perbandingan biomassa total antara model dan observasi (kiri). Garis vertikal menunjukkan 2 x simpangan baku. Perbandingan antara model dan observasi terhadap garis 1:1 kanan). Garis putus-putus adalah $\alpha = 0.05$

Gambar 3 menyajikan hasil pengujian secara grafis perbandingan antara prediksi model dan observasi produksi biji tanaman jarak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model mampu mensimulasi dengan baik produksi biji sesuai hasil pengamatan lapang. Terdapat perbedaan antara prediksi model dengan hasil pengamatan lapang untuk produksi biji di daerah Malang, Situbondo dan Sukamandi, namun secara statistik tidak berbeda nyata ($P > 0.05$). Ini terlihat dari hasil pengujian dengan menggunakan uji t berpasangan yang menunjukkan tidak berbeda nyata antara prediksi model dengan pengamatan lapang ($P > 0.05$). Hal yang sama ditunjukkan secara grafis dengan mengumpulkannya plot sepanjang garis 1:1.



Gambar 3. Perbandingan antara model dan observasi produksi biji (ton/ha) tanaman jarak daerah Sukamandi (kiri). Perbandingan antara model dan observasi terhadap garis 1:1 (kanan). Garis putus-putus adalah $\alpha = 0.05$

Uji ketepatan model dilakukan untuk menilai sampai sejauh mana keluaran model dapat memprediksi secara tepat hasil observasi lapang disajikan pada Tabel 1. Hasil uji ketepatan model menunjukkan bahwa, 87% dan 95% model dapat secara tepat menduga produksi biji tanaman dan periode perkembangan tanaman sesuai observasi lapang.

Tabel 1. Uji ketepatan model antara observasi dan prediksi model produksi biji (ton/ha) daerah Sukamandi, Situbondo dan Malang

Perlakuan	Observasi (ton/ha)	Model (ton/ha)	Ketepatan (%)
Sukamandi			
A2	1.6	2.4	55
A1	1.2	1.4	85
A0	0.7	0.7	99
Situbondo			
W1	1.3	1.5	86
W2	1.3	1.2	90
Malang			
N2	2.0	2.0	97
N1	1.5	1.6	91
N0	1.0	0.9	95
Rata-rata			87

KESIMPULAN

Teknologi pemodelan tanaman untuk mensimulasi perkembangan dan pertumbuhan serta prediksi hasil tanaman dalam hubungannya dengan iklim dan tanah telah banyak dimanfaatkan, meskipun dengan segala keterbatasan mempunyai prospek yang besar sebagai solusi untuk menjelaskan berbagai masalah pada perkembangan tanaman, prediksi hasil, kajian tanah dan iklim serta kajian perubahan iklim. Setelah melalui berbagai kalibrasi dan validasi, model tanaman akan dapat diterapkan pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda di wilayah Indonesia, sehingga respon tiap masukan pengelolaan (simulasi) yang merupakan dasar perencanaan dan pengelolaan tanaman dapat diprediksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakema , A.H and D.M. Jansen. 1985. *Use of simulation model for evaluating of weather effects*. Jakarta : International Upland Rice Conference. 19 hlm.
- Bey, A. 1991. Metode Kausal dan Time Series untuk Analisis Data Iklim. dalam: Bey, editor. *Kapita Selekta dalam Agrometeorologi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. hlm 83 – 90.
- Charles-Edward, D.A., D. Doley, and G.M. Rimmington. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Sydney: Academic Press. 235 hlm.
- De Wit.C.T. 1982. Simulation of Living System. dalam: Penning de Vries, F.W.T. and H.H. Van Laar, editor. *Simulation of Plant Growth and Crop Production*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation. hlm 3 – 8.
- Fadjry D, Handoko, J.S. Baharsjah, Koesmaryono Y dan Goenadi, D.H. 2004. Penyusunan model simulasi tanaman Jarak (*Ricinus communis* L.). *Jurnal Agromet Indonesia* 18: 1-10.
- France,J. and J.H.M. Thornley. 1984. *Mathematical Model in Agriculture. A Quantitatif. Approach to Problem in Agriculture and Related Sciences*. Butterworth. London: Boston. 335 hlm.
- Grant, W.E., E.K. Pedersen, and S.L. Martin. 1997. *Ecology and Natural Resource Management*. New York : John Wiley and Sons.
- Handoko, I. 1996. *Analisis Sistem dan Model Simulasi Komputer untuk Perencanaan Pertanian di Indonesia*. Materi Pelatihan (tidak dipublikasikan). Bogor, 2 - 6 September 1996. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB Bogor. 112 hlm.

- Hartisari, H. 2004. Pembangunan Model dan Kalibrasi Parameter. Materi Pelatihan Pengembangan Basis Data dan Pemodelan Produktivitas Perairan. Bogor, 16-28 Februari 2004. Program Studi Teknologi Informasi untuk Pengelolaan SDA. FMIPA IPB Bogor. 6 hlm.
- Hoover, S.V and R.F. Perry. 1989. *Simulation (A Problem Solving Approach)*. USA: Addison-Wesley Publishing Company Inc. 400 hlm.
- Stansel, J.W. dan R.E. Fries. 1980. A Conceptual Agrometeorology Rice field. *Proceedings of the Symposium on the Agrometeorology of the Rice Crop*. IRRI. Los Banos- Philippines.
- Steel, R.G.P and J.H. Torie. 1981. *Introduction to Statistics*. New York : Mc Graw Hill. 382 hlm.

KONTRIBUSI PARAMETER IKLIM TERHADAP LUAS SERANGAN WERENG BATANG COKLAT

Erni Susanti

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

Abstrak

Peningkatan produksi padi nasional sebagian besar ditentukan peningkatan produksi hasil dengan sumbangan 56 persen, sedangkan sumbangan peningkatan luas areal panen hanya 26 persen. Namun peningkatan produksi seringkali terganggu oleh berbagai faktor lingkungan, diantaranya adalah iklim dan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Wereng Batang Coklat (WBC) merupakan hama utama pada tanaman padi yang menyebabkan penurunan produksi dan puso di sentra produksi pangan di Pulau Jawa. Penelitian ini bertujuan mendapatkan gambaran mengenai pengaruh iklim terhadap serangan Wereng Batang Coklat (WBC) pada tanaman padi. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Karawang, Subang dan Indramayu yang sebagian besar lahan sawahnya beririgasi teknis. Varietas padi yang ditanam umumnya adalah IR64, Cisadane atau Ciherang, yang merupakan varietas yang resisten terhadap serangan WBC. Data yang digunakan adalah luas serangan wereng 2 mingguan periode 1996 – 2006 dan data iklim harian dari stasiun Sukamandi, periode 1996 – 2006. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif untuk menggambarkan hubungan luas serangan WBC dengan beberapa suhu udara, kelembaban udara, dan curah hujan. Analisis spatial wilayah serangan WBC menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Serangan wereng di Kabupaten Karawang, Subang dan Indramayu selama periode 1997-2006 dengan luas serangan lebih besar dari > 25 ha adalah 393 kejadian di 61 kecamatan dari 77 kecamatan yang ada atau 79% wilayah terkena serangan. Serangan terluas terjadi pada musim kemarau, terutama pada bulan Juli-Agustus. Serangan WBC terjadi pada bulan Juli-Agustus 1998. Berdasarkan gambaran deskriptif luas serangan dan kondisi cuaca pada waktu tersebut menunjukkan bahwa suhu minimum lebih tinggi 1.5 – 2 °C, suhu rata rata lebih tinggi 0.5 °C dan kelembaban udara lebih tinggi 10% dibandingkan kondisi normalnya dan curah hujan pada 2 mingguan pada periode lebih besar 100 mm, lebih besar dari kondisi normalnya. Informasi ini dapat digunakan sebagai peringatan bagi petani untuk waspada terhadap serangan WBC.

Kata kunci : Wereng batang coklat, padi, curah hujan, suhu udara

PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditi strategis yang terus mendapat prioritas penanganan dalam pembangunan pertanian. Mengutip data Badan Pusat Statistik, Irsal Las dalam Kompas, Sabtu 7 Agustus 2004 mengatakan, peningkatan produksi padi nasional lebih banyak ditentukan peningkatan hasil dengan sumbangan 56 persen, sedangkan sumbangan peningkatan luas areal panen hanya 26 persen. Pada tahun 2002 produksi padi nasional tercatat 41,4 juta ton dengan produktivitas 4,46 ton per hektar. Berbagai usaha dilakukan untuk memacu peningkatan produksi padi, seperti: penyediaan/perbaikan jaringan irigasi, pemberian pupuk berimbang dan penyusunan kalender tanam. Meski demikian berbagai tantangan masih terus dihadapi seperti: peningkatan jumlah penduduk yang relatif tinggi, anomali iklim yang kerap terjadi seperti kekeringan dan banjir, ancaman hama penyakit, serta menyusutnya lahan pertanian akibat konversi lahan.

Ancaman OPT setiap tahun terus terjadi seperti pada Juli 2005 hama wereng di daerah pantura semakin mengkhawatirkan. Berdasarkan informasi yang diperoleh wartawan "Pikiran Rakyat", Rabu (27/7), serangan wereng cokelat telah memporandakan sedikitnya 10.644 ha tanaman padi di Kabupaten Cirebon. Seluas 419 ha diantaranya telah dinyatakan puso alias gagal panen. Serangan OPT yang sama juga mengancam areal pertanaman padi di sentra produksi Kab. Indramayu. Sedikitnya 8.000 ha tanaman padi terancam terganggu produksinya akibat serangan hama wereng.

Menurut Dinas Pertanian dan Peternakan Kabupaten Indramayu yang dikutip harian Pikiran Rakyat pada 6 Maret 2006 wereng batang coklat (WBC) merupakan hama kedua yang melakukan penyerangan dengan ganas terhadap areal pertanian di daerah sentra pangan terbesar Jabar itu. WBC yang sempat absen selama beberapa tahun dan muncul lagi sejak dua tahun terakhir, sedikitnya telah melumat tanaman padi di areal seluas 571 ha. Kompas, Selasa 27 Juni 2006 menulis serangan hama dan penyakit tanaman padi di beberapa tempat mengalami peningkatan dibandingkan dengan periode yang sama pada tahun lalu. Mentan menjelaskan bahwa total serangan organisme pengganggu tanaman secara nasional pada periode Januari-Juni 2006 mencapai 135.988 ha dengan puso 1.274 ha. Luas serangan ini lebih besar dibandingkan dengan periode yang sama tahun lalu. Luas sawah yang terkena serangan 129.284 ha pada Januari-Juni 2005. Beberapa jenis hama yang ditemukan antara lain penggerek batang padi (PBP), wereng batang coklat, tikus, dan tungro.

Penyebab meningkatnya serangan OPT ada beberapa pendapat diataranya adalah karena: (1) Waktu penanaman padi yang tidak serentak (Dirjen Tanaman Pangan Sutarto Alimoeso), dan kondisi cuaca yang tidak menentu (petani Kabupaten Indramayu), (2). Menurut Baehaki adalah

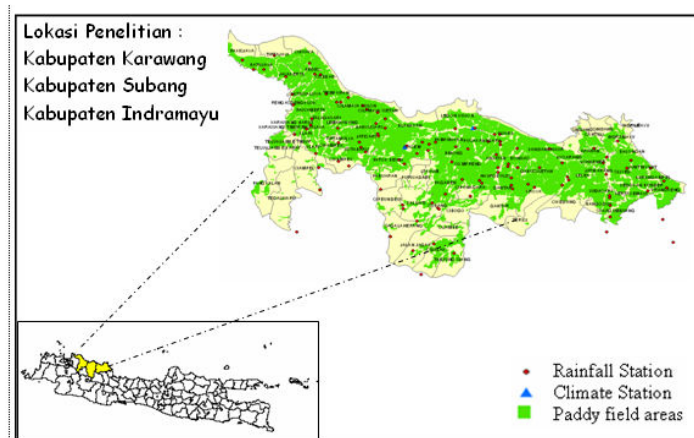
terjadinya anomali musim, yakni masih adanya hujan di musim kemarau. Karena wereng memiliki apa yang disebut dengan *biological clock*, di mana ia mampu berkembang baik di musim hujan maupun kemarau asal ada stimulan berupa curah hujan yang tinggi. "Ini yang harus diwaspadai, jika dalam beberapa bulan ke depan di musim kemarau ini masih ada hujan, dipastikan wereng cokelat akan terus menjadi ancaman serius," kata Baehaki (Pikiran Rakyat, Selasa, 26 Juli 2005).

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran bahwa salah satu parameter yang berkontribusi terhadap serangan wereng batang coklat adalah faktor iklim.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Kabupaten Karawang, Subang dan Indramayu, yang terletak di Pantai Utara Jawa Barat yang merupakan lumbung padi nasional. Sebagian besar wilayah adalah lahan sawah beririgasi teknis. Varietas padi yang ditanam umumnya adalah IR64, Cisadane atau Ciherang, yang merupakan varietas yang resistant terhadap serangan WBC (Subroto, Gaib et.al, 1992 page:135).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, Kabupaten Karawang, Subang dan Indramayu

Kabupaten Karawang terdiri dari 29 kecamatan dengan luas wilayah 173730 ha, Kabupaten Subang 22 kecamatan dengan luas wilayah 201786 ha dan kabupaten Indramayu 24 kecamatan (sampai tahun 2003) dan menjadi 31 kecamatan (mulai tahun 2004) dengan luas wilayah 204011 ha. Tetapi pada penelitian ini batas wilayah untuk Kabupaten Indramayu hanya ada 28 kecamatan dan 3 kecamatan yang

tidak digunakan adalah Patrol, Tukdana, dan Pasekan. Jadi total seluruh kecamatan di 3 kabupaten adalah 79 kecamatan.

Menurut Ati Asiawati (Direktur Perlindungan Tanaman, Deptan) dalam Buana Katulistiwa 2005, daerah endemik wereng di Indonesia terdapat di 14 propinsi dan salah satunya adalah Jawa Barat. Maka ketiga kabupaten ini juga merupakan daerah endemik serangan wereng, oleh karena itu prediksi kejadian WBC dan antisipasi penanganan WBC perlu diperhatikan agar tidak mengganggu stok pangan nasional.

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan adalah :

- data luas serangan wereng 2 mingguan di setiap kecamatan yang diperoleh dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Kabupaten, periode 1996 - 2006.
- data iklim harian dari stasiun Sukamandi, periode 1996 – 2006.
- seperangkat komputer dan perangkat lunak Excel untuk deskripsi data dan ArcGIS untuk deskripsi spasial.

Metodologi

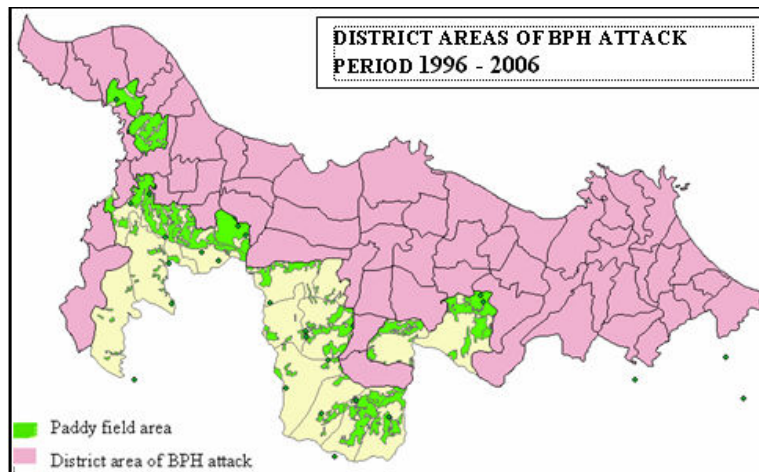
Untuk mendapatkan gambaran umum mengenai serangan wereng batang coklat dikaitkan dengan keadaan iklim digunakan plotting data dengan menggunakan perangkat lunak Excel. Untuk mendapatkan gambaran umum secara spasial mengenai lokasi yang terkena serangan wereng batang coklat digunakan perangkat lunak ArcGIS. Sedangkan untuk mengetahui kontribusi parameter iklim terhadap luas serangan wereng dengan parameter iklim dianalisis melalui nilai korelasi pearson dengan menggunakan MINITAB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kejadian Serangan Wereng

Data serangan wereng yang dianalisis adalah pada periode 1996 – 2006 dengan interval data pengamatan 2 mingguan. Serangan wereng di 3 kabupaten, yaitu Kabupaten Karawang, Subang dan Indramayu selama periode tersebut ada 809 kejadian, dengan luas serangan lebih besar dari 1 ha. Dengan membatasi luas serangan > 25 ha, kejadian serangan wereng ada 393 kejadian di 61 kecamatan dari 77 kecamatan yang ada atau 79% wilayah terkena serangan.

Gambar 2 adalah peta wilayah kecamatan yang terserang wereng selama periode 1996-2006 (diarsir). Wilayah yang tidak terserang ada 18 kecamatan. Wilayah yang tidak terkena serangan wereng diperkirakan karena tidak mempunyai lahan sawah yang luas, kecuali di Kecamatan Jayakarta dan Kecamatan Kutawaluya di Kabupaten Karawang. Kedua kecamatan ini meskipun mempunyai lahan sawah yang luas tetapi selama periode 1996 – 2006 tidak pernah terserang wereng.

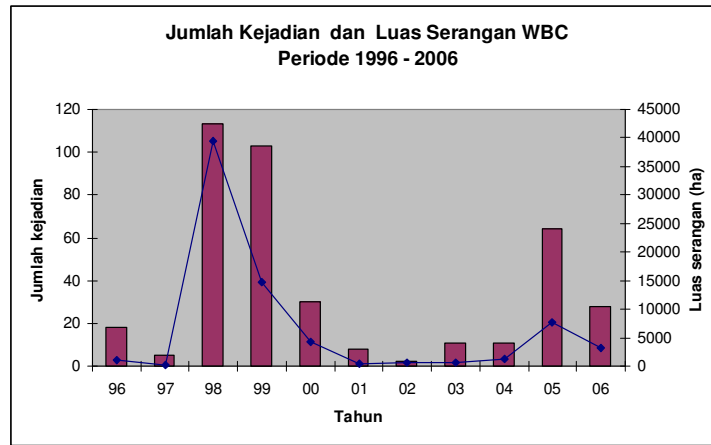


Gambar 2. Peta wilayah kecamatan yang terserang WBC periode 1996 - 2006

Kecamatan yang tidak pernah terserang adalah Kecamatan Jayakarta, Kutawaluya, Ciampel, Tegalwaru, Telukjambe Timur, Kota Baru, Karawang Timur, Cikampek dan Klari (Kabupaten Karawang), Kecamatan Purwadadi, Pabuaran, Cipendeuy, Kalijati, Cibogo, Sagalaherang, Jalan cagak, Cisalak dan Tanjung Siang (Kabupaten Subang) dan Kecamatan Gantar (Kabupaten Indramayu).

Sedangkan wilayah kecamatan yang rentan terkena serangan adalah Kecamatan Cilamaya Wetan, Pedes, Lemahabang (Kabupaten Karawang), Kecamatan Karangampel, Kertasemaya, Lelea, dan Sliyeg (Kabupaten Indramayu).

Gambar 3 menunjukkan bahwa selama periode 10 tahun (1996 – 2006) serangan terus terjadi, puncaknya terjadi pada tahun 1998 – 1999 (28% dari total kejadian) , dimana luas serangan mencapai 39497 ha pada tahun 1998 dan 14790 ha pada tahun 1999. Serangan pada tahun 2000 – 2004 menurun dengan luas serangan rata-rata 1400 ha, dan meningkat lagi pada tahun 2005 (16% dari total kejadian), yang mencapai 7659 ha.

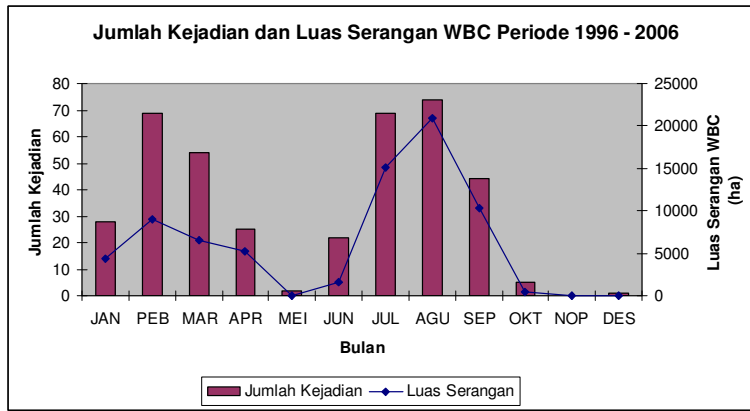


Gambar 3. Jumlah dan persentase tahun kejadian serangan wereng > 25 ha, periode 1996 - 2006

Beberapa peneliti mengatakan kondisi *El-Nino* dan *La-Nina* dapat menjadi perstimulasi serangan hama, pada penelitian ini pernyataan tersebut terbukti benar. Hal ini ditunjukkan bahwa pada tahun 1998 terjadi puncak serangan, dan kejadian *El-Nino* dan *La-Nina* hadala pencetusnya karena pada tahun 1997 merupakan tahun *El-Nino* kuat yang diikuti oleh *La-Nina* pada tahun 1998.

Gambar 4 menunjukkan bahwa serangan wereng terjadi tidak sepanjang tahun. Serangan terjadi umumnya pada bulan-bulan tertentu. Dari Gambar 4 diketahui bahwa serangan maksimum terjadi dua kali dalam satu tahun yaitu: pada bulan Pebruari – Maret (16%) untuk periode musim hujan dan bulan Juli – Agustus (18%) untuk periode musim kemarau. Tetapi jika dilihat dari luas serangannya, serangan terluas terjadi pada bulan musim kemarau, Juli-Agustus.

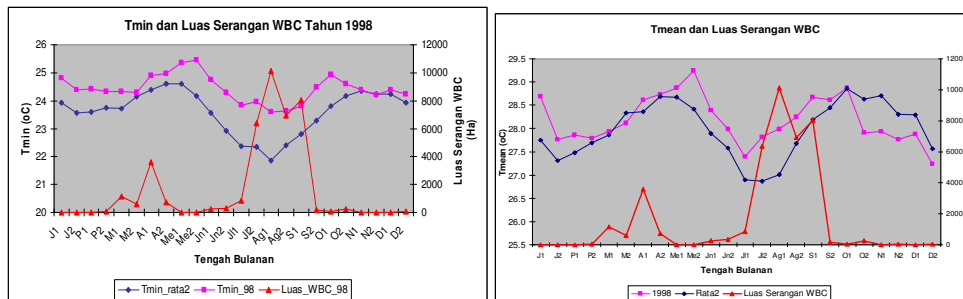
Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa wereng batang coklat akan berkembang jika ada hujan di musim kemarau. Juli-Agustus merupakan puncak musim kemarau tetapi pada tahun 1998 pada bulan tersebut pertanaman padi masih banyak dan kondisi curah hujan diatas rata-rata sehingga kondisinya menjadi pemicu serangan wereng.



Gambar 4. Jumlah kejadian dan luas serangan WBC periode 1996 - 2006

Plot Luas Serangan WBC dan Iklim

Pada periode 1996 – 2006, puncak serangan WBC terjadi pada Juli-Agustus 1998, oleh karena itu untuk melihat hubungan luas serangan WBC akan dilihat kondisi iklim pada tahun 1998 yang menyimpang dari nilai rata-ratanya. Faktor iklim yang menyimpang dari kondisi rata-ratanya pada tahun 1998 adalah: Tmin, curah hujan, Tmean, RHmax dan RHmean. Faktor iklim ini diduga menjadi salah satu pemicu munculnya ledakan serangan WBC pada tahun 1998. Berikut adalah plot beberapa faktor iklim dengan luas serangan WBC (Gambar 5).

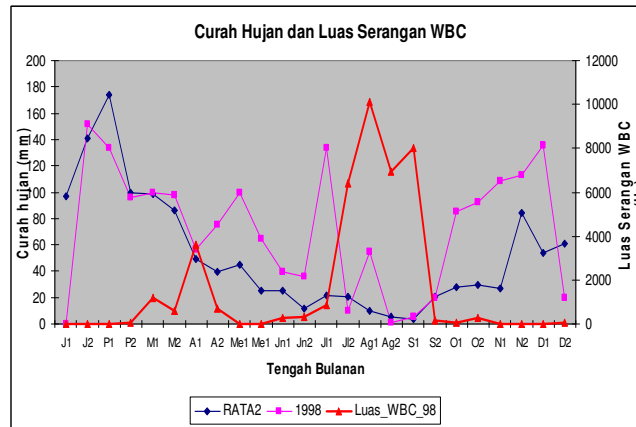


Gambar 5. Plot suhu minimum dan luas serangan WBC pada tahun 1998 (a) plot suhu rata-rata dan luas serangan WBC pada tahun 1998 (b)

Gambar 5 menunjukkan bahwa suhu minimum maupun suhu rata-rata pada tahun 1998 adalah di atas nilai rata-ratanya. Suhu minimum rata-rata berkisar antara 22°C pada bulan Agustus-1 sampai 24.5°C pada bulan Mei-1. Pada tahun 1998 suhu minimum lebih tinggi dibandingkan nilai rata-ratanya, suhu minimum terendah 24oC terjadi

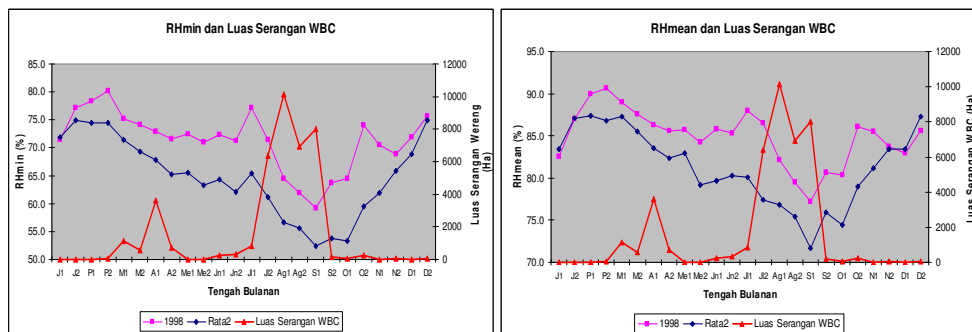
pada Agustus-1 dan tertinggi 25.5°C pada Mei-2. Serangan WBC naik pada saat perbedaan suhu minimum 1.5 - 2 derajat lebih tinggi dari nilai rata-ratanya, yang terjadi mulai bulan Juli-1 sampai September-1.

Rata-rata suhu rata-rata berkisar antara 26.8°C pada bulan Juli-2 sampai 29°C pada Oktober-1. Pada tahun 1998, suhu rata-rata pada bulan Juli-1 sampai September-1 berada 0.5 – 1 derajat di atas nilai rata-ratanya, dimana pada saat yang bersamaan adalah puncak serangan WBC.



Gambar 6. Plot curah hujan dan luas serangan WBC pada tahun 1998

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada tahun 1998 curah hujan berada di atas nilai rata-rata, pada musim kemarau juga di atas nilai rata-ratanya bahkan pada bulan Juli-1 curah hujan tengah bulanan masih > 100 mm. Hal ini menyebabkan udara menjadi lembab, seperti terlihat pada Gambar 7, dimana Kelembaban minimum maupun kelembaban rata-rata pada puncak serangan diatas 10% dari nilai normalnya.



Gambar 7. Plot curah hujan dan serangan wereng batang coklat pada tahun 1998

Kondisi iklim yang demikian diduga menjadi pemicu terjadinya serangan WBC, yaitu apabila terjadi *El-Nino* dan diikuti *La-Nina* kemudian diprediksi suhu minimum 1.5 – 2 derajat lebih tinggi dari nilai normalnya dan kelembaban minimum maupun rata-rata lebih tinggi 10% dari normalnya, diharapkan informasi ini dapat digunakan sebagai peringatan bagi petani untuk waspada terhadap serangan WBC. Serangan WBC yang fatal dapat berakibat menurunnya produksi beras nasional.

Hubungan Luas Serangan WBC dengan Parameter Iklim

Hubungan luas serangan WBC dengan parameter iklim dilihat melalui nilai pearson korelasi. Pearson korelasi adalah salah satu cara untuk mengetahui keeratan hubungan dua variabel. Berikut adalah hasil perhitungan korelasi antara 2 variabel pada periode 1996-2006, 1998-1999 dan 1998.

Tabel 1. Nilai korelasi antara Logaritma nilai luas serangan WBC dengan iklim.

PARAMETER	LOG LUAS SERANGAN 1996-2006		LOG LUAS SERANGAN 1998-1999		LOG LUAS SERANGAN 1998	
	r-Pearson	P-value	r-Pearson	P-value	r-Pearson	P-value
CH	-0.135*	0.015	-0.223*	0.001	-0.379*	0.000
CH-1	-0.094	0.089	-0.195*	0.005	-0.293*	0.003
CH-2	-0.113*	0.041	-0.155*	0.025	-0.266*	0.007
CH-3	-0.111*	0.046	-0.107	0.124	-0.269*	0.006
Tmax	0.136*	0.014	0.267*	0.000	0.469*	0.000
Tmax-1	0.100	0.072	0.174*	0.012	0.359*	0.000
Tmax-2	0.079	0.156	0.096	0.169	0.101	0.311
Tmax-3	0.092	0.098	0.018	0.799	-0.131	0.189
Tmin	0.010	0.854	0.007	0.920	-0.407*	0.000
Tmin-1	0.065	0.240	-0.011	0.875	-0.396*	0.000
Tmin-2	0.105	0.058	-0.042	0.547	-0.502*	0.000
Tmin-3	0.145*	0.009	0.004	0.955	-0.398	0.189
Tmean	0.104	0.060	0.200*	0.004	0.239*	0.015
Tmean-1	0.109	0.049	0.113	0.106	0.065	0.515
Tmean-2	0.122	-0.211	0.030	0.667	-0.242*	0.014
Tmean-3	0.147*	0.008	0.001	0.992	-0.308*	0.002
RHmax	-0.030	0.592	-0.162*	0.019	-0.463*	0.000
RHmax-1	0.035	0.531	0.007	0.924	-0.273*	0.005
RHmax-2	0.063	0.258	0.109	0.118	-0.150	0.133
RHmax-3	0.084	0.130	0.224*	0.000	0.245*	0.013
RHmin	-0.064	0.251	-0.229*	0.001	-0.526*	0.000
RHmin-1	-0.001	0.988	-0.146*	0.036	-0.432*	0.000
RHmin-2	0.049	0.049	-0.084	0.231	-0.277*	0.005

PARAMETER	LOG LUAS SERANGAN		LOG LUAS SERANGAN		LOG LUAS SERANGAN	
	1996-2006		1998-1999		1998	
RHmin-3	0.038	0.497	-0.031	0.656	-0.196	0.049
RHmean	0.071	0.202	-0.188*	0.007	-0.505*	0.000
RHmean-1	0.004	0.940	-0.100	0.508	-0.400*	0.000
RHmean-2	0.049	0.170	-0.018	0.524	-0.274*	0.005
RHmean-3	0.047	0.399	0.069	0.320	0.128	0.200

* nyata pada tingkat kepercayaan 95%

Dari Table 1 menunjukkan bahwa ,

1. Pada kejadian tahun 1996 – 2006, pada tingkat kepercayaan 95%, hubungan yang nyata adalah hubungan antara Log luas serangan dengan :
 - a. CH, CH-2 dan CH-3 dengan nilai korelasi berturut-turut : -0.135; -0.113 dan -0.111
 - b. Tmax dengan nilai korelasi 0.136
 - c. Tmin-3 dengan nilai korelasi 0.145
2. Pada kejadian tahun 1998 - 1999, pada tingkat kepercayaan 95%, hubungan yang nyata adalah hubungan antara Log luas serangan dengan :
 - a. CH, CH-1, CH-2 dengan nilai korelasi berturut turut : -0.223; -0.195 dan -0.155
 - b. Tmax dan Tmax-1 dengan nilai korelasi 0.267 dan 0.174
 - c. Tmean dengan nilai korelasi 0.200
 - d. RHmax dan RHmax-3 dengan nilai korelasi -0.162 dan 0.224
 - e. RHmin dan RHmin-1 dengan nilai korelasi -0.229 dan -0.146
 - f. RHmean dengan nilai korelasi -0.188
3. Pada kejadian tahun 1998, pada tingkat kepercayaan 95%, hubungan yang nyata adalah hubungan antara Log luas serangan dengan :
 - a. CH, CH-1, CH-2 dan CH-3 dengan nilai korelasi berturut turut : -0.379; -0.293; -0.266 dan -0.269
 - b. Tmax dan Tmax-1 dengan nilai korelasi 0.469 dan 0.359
 - c. Tmin, Tmin-1, Tmin-2 dengan nilai korelasi -0.407, -0.396 dan -0.502
 - d. Tmean dan Tmean-2, Tmean-3 dengan nilai korelasi 0.239, -0.242 dan -0.308
 - e. RHmax, RHmax-1 dan RHmax-3 dengan nilai korelasi -0.463, -0.273 dan 0.245

- f. RHmin, RHmin-1 dan RH-2 dengan nilai korelasi -0.526 dan -0.432, dan -0.277
- g. RHmean, RHmean-1 dan RHmean-2 dengan nilai korelasi -0.505, -0.400 dan -0.274

Secara umum, beberapa parameter iklim mempunyai hubungan yang nyata dengan logaritma luas serangan tetapi nilainya relatif kecil. Nilai korelasi ini terlihat tinggi pada waktu periode serangan tinggi pada tahun 1998. Hal ini menunjukkan bahwa faktor iklim merupakan salah satu faktor pemicu serangan wereng pada saat "outbreak".

KESIMPULAN

Dari 11 tahun periode pengamatan (tahun 1996 – 2006) di 3 kabupaten (Karawang, Subang dan Indramayu) puncak serangan wereng terjadi pada tahun 1998 yang mencapai 39.497 ha dari 273.420 ha sawah yang ada atau 14.45%. Dalam periode satu tahun, serangan wereng tidak terjadi terus-menerus sepanjang tahun, serangan umumnya terjadi pada bulan Februari-Maret-April dan Juli-Agustus-September. Kondisi *El-Nino* dan *La-Nina* serta adanya curah hujan yang tinggi di musim kemarau dapat menjadi pencetus serangan wereng batang coklat.

Analisis korelasi antara curah hujan, suhu udara, dan kelembaban dengan periode waktu yang sama maupun lag waktu dengan luas serangan wereng mempunyai korelasi. Jika korelasi dilakukan untuk seluruh periode pengamatan (1996 – 2006) maka korelasi antara faktor iklim dengan luas serangan lebih kecil dari 25% tetapi jika korelasi dilakukan pada periode outbreak (tahun 1998) maka nilai korelasi antara faktor iklim dengan dengan luas serangan > 25%.

Kontribusi parameter iklim terhadap serangan wereng pada saat outbreak yang diekspresikan melalui nilai korelasi menunjukkan bahwa parameter iklim yang berkontribusi adalah :

- a. CH, CH-1, CH-2 dan CH-3 dengan nilai korelasi berturut turut : -0.379; -0.293; -0.266 dan -0.269
- b. Tmax dan Tmax-1 dengan nilai korelasi 0.469 dan 0.359
- c. Tmin, Tmin-1, Tmin-2 dengan nilai korelasi -0.407, -0.396 dan -0.502
- d. Tmean dan Tmean-2, Tmean-3 dengan nilai korelasi 0.239, -0.242 dan -0.308
- e. RHmax, RHmax-1 dan RHmax-3 dengan nilai korelasi -0.463, -0.273 dan 0.245
- f. RHmin, RHmin-1 dan RH-2 dengan nilai korelasi -0.526 dan -0.432, dan -0.277

- g. RHmean, RHmean-1 dan RHmean-2 dengan nilai korelasi -0.505, -0.400 dan -0.274

DAFTAR PUSTAKA

- Baehaki, S.E., M.T. Husin dan A. Rifki. 2001. Identifikasi biotipe *wereng* coklat dan kerusakan padi pada tanaman tumpang sari di lahan gogo. Dalam Implementasi Kebijakan Strategis untuk Meningkatkan Produksi Padi Berwawasan Agribisnis dan Lingkungan. Las eds. Puslitbang Tanaman Pangan. 247 hal.
- Country, Regional and International Organization Reports, <http://www.fao.org/docrep/008/ae947e/ae947e04.htm>
- Gaib Subroto SW., Wayudin, Toto H., H Sawada. 1992. Taksonomi dan Bioekologi Wereng Batang Coklat *Nilaparvata lugens* Stall. Kerjasama Teknis Indonesia-Jepang Bidang Perlindungan Tanaman Pangan (ATA-162) Laporan Akhir Wereng Batang Coklat. Direktorat Bina Perlindungan Tanaman. Direktorat Jenderal Pertanian Tanaman Pangan.
- Image Brown Plant Hopper (*Nilaparvata lugens*) dan Often attack susceptible rice varieties in large numbers causing hopper burn. Infested plants become dry and die. Sumber: www.advantageindia.com/images/R13.jpg
- Kompas, Selasa 27 Juni 2006. Serangan Hama dan Penyakit Padi Meningkat.
- Las, I, Elza Surmaini, Nyoman Widiarta dan Gatot Irianto. 2003. Potensi Dampak Anomali Iklim, El-Nino dan La-Nina terhadap Produksi Pangan dan Kebijakan Penanggulangannya. Disampaikan pada Seminar El-Nino dan Implikasinya terhadap Pembangunan Pertanian pada tanggal 6 Maret 2003 di Bogor. Puslitbang SOSEK Pertanian bekerja sama dengan ESCAP-CGPRT Center.
- Las, I. 1999. Laporan Hasil Analisis Peluang Penyimpangan Iklim dan Ketersediaan Air pada Wilayah Pengembangan IP Padi 300. Puslittanak-P2KP3-ARMP-II. Badan Litbang Pertanian.
- Pikiran Rakyat, Senin 6 Maret 2006. Ribuan OPT Serang Ribuan Hektar Sawah.
- Pikiran Rakyat, Kamis, 28 Juli 2005. Gubernur akan ikut "Gropyokan" Bersama Petani Cirebon, Serangan *Wereng* Meluas Kabupaten Bandung Waspada.

KELOMPOK III
Sistem Kebijakan dan Institusional Untuk Implementasi
Manajemen Risiko Iklim

MANAGEMENT DAN RANCANGAN SISTEM INFORMASI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Mahmud

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim
bak132001@yahoo.com

Abstracts

The availability of climate change information that able to accessed easily and quickly is required to support decision-making proces related to adaptation strategy. By using software engineering, method concept of climate projection information system, has beed designed that consist of different representation global warming and regional climate change. The scenario of using pattern regional climate change, use IPCC data distribution center. The study of impact climate change are used different global warming scenario to get climate change projection for 1995 - 2100.

Keywords: scenario, climate projection, information system, software

PENDAHULUAN

Informasi yang baik, akurat, dan *up to date* merupakan salah satu *input* yang dapat dijadikan acuan dalam proses pengambilan keputusan. Proses perancangan suatu sistem informasi, selain membutuhkan tahapan proses penyediaan data dan pembangunan sistem informasi, diperlukan juga kecermatan dan keterampilan, mulai dari spesifikasi data, pengumpulan, pengolahan, pengelolaan hingga penyampaian dan publikasi.

Data berdasarkan definisi Gordon B. Davis merupakan bahan mentah dari informasi, yang dirumuskan sebagai sekelompok lambang-lambang tidak acak yang menunjukkan jumlah atau tindakan, sedangkan informasi didefinisikan sebagai data yang telah diolah menjadi suatu bentuk penting bagi yang menerimanya dan bermanfaat dalam mengambil keputusan saat ini atau saat mendatang.

Berdasarkan dua definisi di atas, ada suatu perbedaan batasan yang jelas antara data dan informasi, data bersifat historis sedangkan informasi lebih dinamis dan mempunyai nilai lebih.

Permasalahan yang timbul adalah data dan informasi hasil penelitian yang berkaitan dengan perubahan iklim dan dampak perubahan iklim masih belum terkoleksi dengan baik, belum bisa tersampaikan dengan cepat dan tepat, padahal pada satu sisi perkembangan teknologi informasi yang ditandai dengan semakin meluasnya intranet dan internet, telah menciptakan situasi yang tidak lagi

dipengaruhi oleh jarak dan waktu. Semua pihak dapat menyampaikan dan menerima data dan informasi tanpa memandang batas-batas formal. Oleh karena itu diperlukan pengelolaan dan rancangan sistem informasi dampak perubahan iklim secara berkesinambungan.

Tujuan dibangunnya manajemen dan rancangan sistem informasi dampak perubahan iklim adalah tersedianya informasi yang dapat diakses dengan cepat dan tepat hasil generator skenario perubahan iklim, proyeksi iklim yang akan datang hasil skenario iklim yang berbeda dalam interval 5 tahunan dari 1995 sampai 2100 dan dampak perubahan iklim pada sektor-sektor.

TINJAUAN PUSTAKA

Kesiapan data dan informasi dampak perubahan iklim yang terintegrasi antar institusi terkait, yang dapat diakses dengan mudah, cepat dan akurat perlu dengan segera diwujudkan, agar memudahkan para pengguna dalam melaksanakan kegiatannya, untuk mengetahui dan mengantisipasi perubahan iklim global, polusi dan pemanfaatannya pada sektor-sektor terkait, perlu segera dipersiapkan integrasi koleksi data yang berkorelasi satu dengan lainnya, sehingga kompatibilitas data dan informasi yang diakses dapat segera terealisasi.

Sistem informasi erat kaitannya dengan manajemen, sehingga sering disebut sistem informasi manajemen yang diartikan sebagai sekumpulan hal atau elemen atau subsistem atau bagian yang saling berhubungan, berkumpul bersama-sama dan membentuk suatu kesatuan; saling berinteraksi dan bekerja bersama-sama antara bagian satu dengan bagian lainnya dengan cara-cara tertentu, untuk melakukan fungsi pengolahan data; menerima masukan (*input*) berupa data, kemudian mengolahnya (*processing*), dan menghasilkan keluaran (*output*) berupa informasi yang berguna dan mempunyai nilai nyata yang dapat dirasakan akibatnya, sebagai dasar bagi proses pengambilan keputusan, mendukung kegiatan manajemen dan operasional; dengan memanfaatkan berbagai sumber daya yang ada dan tersedia bagi proses tersebut guna mencapai tujuan.

Barry E. Cushing mendefinisikan sistem informasi manajemen sebagai kumpulan dari manusia dan sumber-sumber daya modal di dalam suatu organisasi yang bertanggung jawab mengumpulkan dan mengolah data untuk menghasilkan informasi yang berguna untuk semua tingkatan manajemen di dalam kegiatan-kegiatan perencanaan dan pengendalian. Sedangkan Frederick H. Wu mendefinisikan sebagai kumpulan dari sistem-sistem yang menyediakan informasi untuk mendukung manajemen. Juga Gordon B. Davis mendefinisikan sebuah sistem manusia-mesin yang terpadu (*integrated*), untuk menyajikan informasi guna mendukung fungsi operasi, manajemen dan pengambilan keputusan dalam sebuah organisasi.

Sistem ini menggunakan *hardware*, *software*, komputer, prosedur pedoman, model manajemen dan keputusan dan sebuah database.

Terbentuknya sistem informasi sangat ditunjang oleh sistem basis data, sebagaimana dijelaskan oleh Davis, bahwa sistem basis data merupakan salah satu dari beberapa komponen penting penyusunan sistem informasi manajemen. Sistem basis data sebagai sumber/penyedia utama kebutuhan data bagi para pemakai atau informasi bagi para pengambil keputusan. Basis data dibangun dan dirancang dengan orientasi para pemakai

James F. Courtney Jr dan Davis B. Paradise mendefinisikan sistem basis data adalah koleksi basis data yang terintegrasi dengan para *user* menggunakan basis data tersebut secara bersama-sama, berikut orang yang merancang dan mengelola juga melingkup sistem komputer yang menunjangnya.

Sedangkan pengertian basis data sendiri menurut James Martin adalah koleksi data yang terintegrasi yang disimpan bersama-sama pada suatu media tanpa mengatap satu sama lain atau tidak perlu suatu kerangkapan data dengan cara-cara tertentu, sehingga mudah untuk digunakan atau ditampilkan kembali, dapat digunakan oleh satu atau lebih program aplikasi secara optimal, data disimpan tanpa mengalami suatu ketergantungan pada program yang akan menggunakannya, data disimpan sedemikian rupa sehingga penambahan, pengambilan dan modifikasi data dapat dilakukan dengan mudah dan terkontrol.

Tujuan sistem basis data menurut James F. Courtney Jr, meliputi penyediaan sarana akses yang fleksibel, pemeliharaan integritas data, proteksi data dari kerusakan dan penggunaan yang tidak legal, penyediaan sarana untuk penggunaan bersama (*share*) dan keterhubungan data, pengurangan/minimalisasi kerangkapan data, menghilangkan ketergantungan data pada program-program aplikasi, menstandarkan definisi-definisi rinci data (data item) dan meningkatkan produktivitas personal sistem informasi.

Data dan informasi dampak perubahan iklim diperoleh dari hasil pengamatan dan penelitian-penelitian pengkajian yang pernah dilakukan, baik menggunakan metoda statistik, model numerik, atau melalui proses scenario model iklim.

Kebutuhan melakukan skenario iklim adalah :

- Untuk menyediakan data pada studi kajian dampak/adaptasi guna mengevaluasi dampak, adaptasi dan kerentanan terhadap perubahan iklim berdasarkan beberapa asumsi tentang bagaimana iklim akan berubah di masa datang; meskipun ada ketidakpastian yang berhubungan dengan pengendali sosio-ekonomi, emisi GRK dan aerosol, dan respon iklim regional dan global terhadap kendali radiasi emisi GRK dan aerosol.

- Untuk meningkatkan kesadaran peningkatan pemakaian alat (perubahan teknologi)
- Untuk membantu perencanaan strategi dan kebijakan
- Untuk meningkatkan struktur pengetahuan yang akan datang
- Untuk menyelidiki implikasi kebijakan.

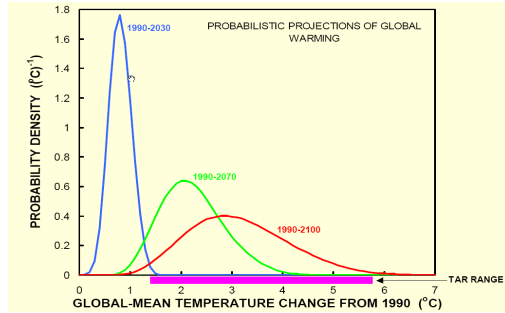
Skenario merupakan sesuatu yang terpadu, deskripsi yang logis dan secara internal konsisten terhadap keadaan dunia yang mungkin akan datang (Parry and Carter, 1998).

Skenario bukan suatu forecast atau bukan suatu prediksi, melainkan suatu pandangan alternatif dunia yang akan datang, karena *range* skenario dapat digunakan untuk mengidentifikasi sensitifitas suatu unit penunjukan perubahan iklim dan untuk menolong pengambil kebijakan memutuskan suatu respon, dan *range* skenario ini penting untuk menunjukkan bahwa skenario iklim bukanlah prediksi.

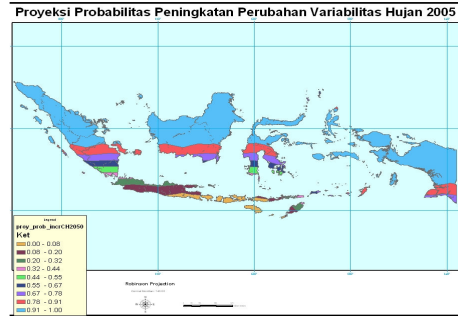
Skenario iklim adalah suatu kondisi iklim yang akan datang yang logis, dibangun secara tegas digunakan dalam penelitian konsekuensi potensi perubahan iklim antropogenik (IPCC, 2001), dan dapat juga diartikan bahwa skenario iklim merupakan representasi logis yang akan datang yang konsisten terhadap asumsi emisi GRK dan polutan lain yang akan datang, berdasarkan pemahaman efek peningkatan konsentrasi GRK pada iklim global

Contoh skenario berkaitan dengan perubahan iklim untuk probabilitas peningkatan perubahan variabilitas hujan 2005, menunjukkan adanya perbedaan peningkatan kejadian antara lintang utara dengan lintang selatan, makin ke utara mempunyai probabilitas peningkatan perubahan variabilitas hujan yang lebih tinggi, sedangkan makin ke lintang selatan mempunyai probabilitas peningkatan perubahan variabilitas hujan yang lebih rendah (Gambar 2).

Gambar 1 menunjukkan skenario probabilitas proyeksi pemanasan global untuk suhu global, dimana pada tahun 2030 adanya peningkatan suhu sebesar 1°C mempunyai probabilitas tertinggi sebesar 1.8 per °C, sedangkan pada tahun 2100 terjadi peningkatan suhu sebesar 3°C, tetapi mempunyai densitas probabilitas sebesar 0.4 per °C.



Tom M.L. Wigley, March 31, 2003



Gambar 1. Skenario suhu global 2100

Gambar 2. Skenario probabilitas peningkatan perubahan variabilitas hujan 2005

Banyak model global sirkulasi atmosfer yang digunakan untuk melakukan skenario, dan yang direkomendasikan oleh IPCC adalah :

1. CCSR - Japanese Centre for Climate Research Studies model (Emori *et al.*, 2000).
2. CGCM1 - Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis GCM #1 (Reader and Boer, 1998; Boer *et al.*, 2000)
3. CSIRO-Mk2b - Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Model #2b (Hirst *et al.*, 2000)
4. ECHAM4 - German Climate Research Centre, European Centre/Hamburg Model #4 (Roeckner *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 1998)
5. GFDL-R15 - US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-15 resolution model (Manabe and Stouffer, 1996)
6. HadCM2 - UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research Coupled Model #2 (Johns *et al.*, 1997; Mitchell and Johns, 1997)
7. NCAR-DOE - US National Centre for Atmospheric Research model, DOE version (Meehl *et al.*, 2000).

Spesifikasi output dari model diatas adalah sebagai berikut :

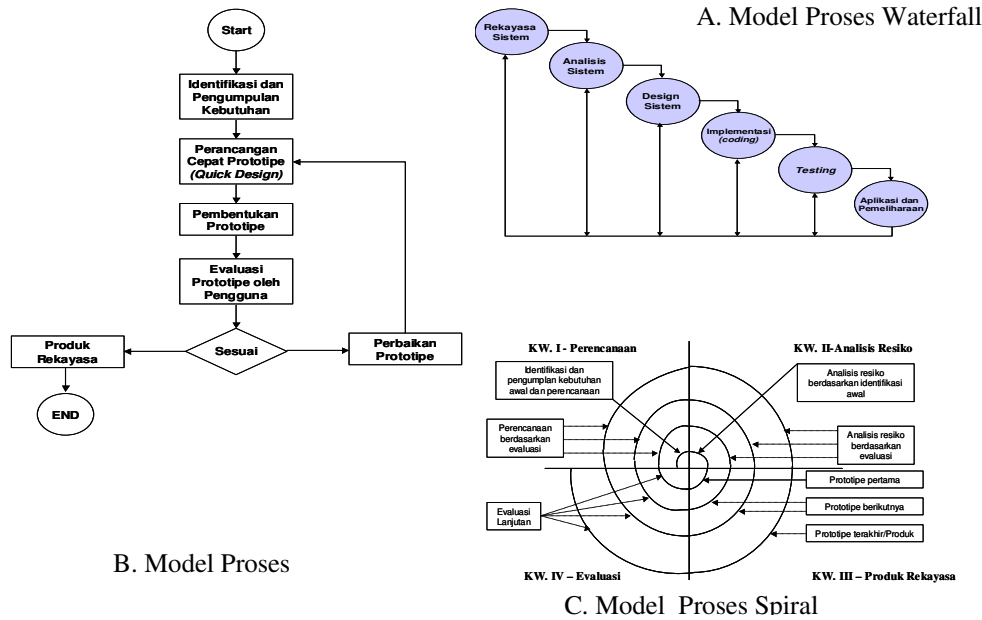
	ECHAM4	HadCM2	CSIRO	CGCM1	GFDL	NCAR	CCSR
AGCM	2.8°x2.8° L19	2.5°x 3.75° L19	3.2°x5.6° L9	3.7°x3.7° L10	4.5°x7.5° L9	4.5°x7.5° L9	5.6°x5.6° L20
OGCM	2.8°x2.8° L11	2.5°x 3.75° L20	3.2°x5.6° L21	1.8°x1.8° L29	4.5°x 3.75° L12	1°x1° L20	2.8°x2.8° L17
Features	prognostic CLW*, geostrophic ocean	prognostic CLW, isopycnal ocean diffusion			no diurnal cycle, isopycnal ocean diffusion	no diurnal cycle	prognostic CLW, ⁸⁰ explicit sulfate scattering
Flux correction	monthly mean heat, fresh water, stress	monthly mean heat, fresh water	heat, fresh water, momentum	heat, fresh water	monthly mean heat, fresh water	none	monthly mean heat, fresh water
Control CO ₂	354 ppmv	323 ppmv	330 ppmv	295 ppmv	300 ppmv	330 ppmv	345 ppmv
Transient CO ₂	1.0% yr ⁻¹ (compound)	1% yr ⁻¹ (compound)	0.9% yr ⁻¹	1% yr ⁻¹	1% yr ⁻¹ (compound)	1% yr ⁻¹ (linear)	1% yr ⁻¹ (compound)
Greenhouse Gases	CO ₂ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2099	CO ₂ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990- 2099	CO ₂ : Historic 1881-1989 IS92a : 1990-2100	CO ₂ : Historic 1900-1989 IS92a : 1990-2100	CO ₂ : Historic IS92a : 1958- 2057	CO ₂ : Historic 1901-1989 IS92a : 1990-2036	CO ₂ : Historic 1890-1989 IS92a : 1990- 2099
Greenhouse gases + Sulphate Aerosols	CO ₂ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2049 SO ₄ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2049	CO ₂ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990- 2099 SO ₄ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2099	CO ₂ : Historic 1881-1989 IS92a : 1990-2049 SO ₄ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2100	CO ₂ : Historic 1900-1989 IS92a : 1990-2100 SO ₄ : Historic 1860-1989 IS92a : 1990-2100	CO ₂ : Historic 1766-1989 IS92a : 1990- 2065 SO ₄ : Historic 1766-1989 IS92a : 1990- 2065	CO ₂ : Historic 1901-1989 IS92a : 1990-2036 SO ₄ : Historic 1901-1989 IS92a : 1990-2036	CO ₂ : Historic 1890-1989 IS92a : 1990- 2099 SO ₄ : Historic 1890-1989 IS92a : 1990- 2099
Simulation length (yr)	Control : 240 Greenhouse : 240 Greenhouse+ Aer : 240	Control : 240 Greenhouse : 240 Greenhouse+ Aer : 240	Control : 219 Greenhouse : 219 Greenhouse +Aer : 219	Control : 200 Greenhouse : 200 Greenhouse +Aer : 200	Control : 1000 Greenhouse : 100 Greenhouse+ Aer : 300	Control : 136 Greenhouse : 136 Greenhouse +Aer : 136	Control : 210 Greenhouse : 210 Greenhouse+ Aer : 210
Warming (°C) at CO ₂ doubling	1.3	1.7	2.0	2.7	2.3	2.3 (est.)	2.4
2 x CO ₂ sensitivity (°C)	2.6	2.5	4.3	3.5	3.7	4.6	3.5

Gambar 3. Spesifikasi model sirkulasi global

Pembuatan rancangan sistem informasi dampak perubahan iklim menggunakan konsep rekayasa perangkat lunak, dimana rekayasa perangkat lunak menurut definisi IEEE adalah studi dan aplikasi dari sebuah pendekatan-pendekatan kuantifiabel, disiplin dan sistematis pengembangan, operasi dan pemeliharaan perangkat lunak, yaitu aplikasi dari rekayasa perangkat lunak. Rekayasa perangkat lunak terjadi sebagai kansekuensi dari suatu proses yang disebut rekayasa sistem, rekayasa sistem mengfokuskan diri pada berbagai elemen, analisis, perancangan dan pengorganisasian elemen-elemen tersebut ke dalam suatu sistem yang dapat menjadi sebuah produk, jasa atau teknologi untuk mentransformasi informasi atau kontrol. Sistem mempunyai definisi yang bervariasi.

Model proses pada rekayasa perangkat lunak merupakan tahapan proses kegiatan pembuatan untuk menghasilkan suatu produk yang ditargetkan. Adapun tahapan tersebut adalah :

- **Rekayasa sistem;** Tahapan ini ditekankan pada identifikasi kebutuhan pengguna pada tingkatan sistem dengan mendefinisikan konsep sistem serta *interfaces* yang menghubungkannya. Hasil dari tahap ini adalah spesifikasi sistem
- **Analisis;** Identifikasi dan pengumpulan kebutuhan elemen-elemen perangkat lunak (*software requirement analysis*) dan data baik yang bersifat spasial maupun numerik. Dalam tahap ini harus dihasilkan domain data dan informasi, fungsi, prosedur, disain dari *interfacenya* dan kebutuhan perangkat lunak.
- **Perancangan;** Kebutuhan atau spesifikasi data dan perangkat lunak yang dihasilkan dalam tahap analisis akan ditransformasikan ke dalam bentuk arsitektur perangkat lunak yang memiliki karakteristik mudah dimengerti dan tidak sulit untuk diimplementasikan. Tahapan ini dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu *preliminary design* dan *detailed design*. *Preliminary design* menghasilkan rancangan global, sedangkan *detailed design* menghasilkan rancangan detil hingga semua modul, tipe data, fungsi, method dan prosedur dapat terdefinisi.
- **Implementasi;** implementasi dapat diartikan sebagai suatu aktifitas pemrograman atau *coding* dari hasil perancangan ke dalam baris/bahasa kode yang dapat dibaca oleh komputer.
- **Pengujian;** Proses pengujian dilakukan pada hasil implementasi. Tahapan awal dalam pengujian adalah menguji modul, setelah itu menguji integrasi antar modul dan tahap yang terakhir adalah pengujian pada tingkat perangkat lunak setelah modul-modul yang terintegrasi tersebut dikompile. Pengujian pada tingkat perangkat lunak ditekankan pada logika internal, fungsi eksternal dan potensi *error*.
- **Pengoperasian dan pemeliharaan;** Setiap perangkat lunak yang telah melewati tahapan pengujian dibuatkan standar operasional atau *manual guide* yang di dalamnya berisi panduan pengeoperasian, *error handling*, pemeliharaan dan potensi pengembangan.



Gambar 4. Model proses *waterfall*, model proses *prototype* dan model proses spiral

Model proses yang sering digunakan adalah model proses *prototype* (Gambar 4 B) dan model proses spiral (Gambar 4C), karena selalu terevaluasi dalam setiap langkah kegiatan, sehingga hasil/produk yang didapat sesuai dengan yang diharapkan.

Representasi teknis yang menggambarkan muatan dan aliran informasi (data dan informasi), menggambarkan esensi dari apa yang akan dibangun disebut model analisis, yang mempunyai sasaran sebagai berikut :

- Menggambarkan apa yang dibutuhkan.
- Membangun dasar bagi pembuatan rancangan perangkat lunak
- Membatasi serangkaian persyaratan yang dapat divalidasi begitu perangkat lunak dibangun.

Elemen-elemen dari model analisis adalah :

- Kamus data , penyimpanan yang berisi deskripsi dari semua objek data yang diproduksi oleh perangkat lunak
- Diagram hubungan entitas (ERD-*Entity Relationship Diagram*), menggambarkan hubungan antara objek data. Atribut dari masing-masing objek data yang ditulis pada ERD dapat digambarkan dengan menggunakan deskripsi objek data.

- Diagram aliran data (DFD-*Data Flow Diagram*), memberikan indikasi mengenai bagaimana data ditransformasi pada saat data bergerak melalui sistem, dan untuk menggambarkan fungsi-fungsi (dan subfungsi) yang mentransformasi aliran data. Deskripsi setiap fungsi yang disajikan pada DFD diisikan dalam sebuah spesifikasi proses (PSPEC).
- Diagram transisi *state* (STD- *State Transition Diagram*), menunjukkan bagaimana sistem bertingkah laku sebagai akibat dari kejadian eksternal. Untuk melakukannya STD menunjukkan berbagai model tingkah laku (*state*) sistem dan cara dimana transisi dibuat dari satu *state* ke *state* lainnya. STD berfungsi sebagai dasar bagi pemodelan tingkah laku. Informasi tambahan mengenai aspek kontrol dari perangkat lunak diisikan dalam spesifikasi kontrol (CSPEC).

Metodologi

Langkah-langkah dalam mendisain basis data secara garis besar dilakukan dengan membuat :

- Model konseptual, mendefinisikan data-data yang diperlukan
- Rancangan basis data logik, menentukan data-data yang akan dikelompokkan dalam satu *file* basis data
- Rancangan basis data fisik, mempertimbangkan kemampuan sistem yang akan dipakai, jika perlu dilakukan perubahan-perubahan yang sesuai dengan performansi sistem.

Perancangan basis data untuk mendapatkan basis data yang kompak dan efisien dalam penggunaan ruang penyimpanan, cepat dalam pengaksesan dan mudah dalam pemanipulasian (tambah, ubah, hapus) dilakukan dengan :

- Menerapkan normalisasi terhadap *table* yang telah diketahui. Atau
- Langsung membuat model model *Entity-Relationship*
- DFD (*Data Flow Diagram*) yang merupakan teknik grafis untuk menjelaskan aliran informasi dan transformasi data yang terdapat dalam sistem.

Hasil dan Analisis

Sistem informasi dampak perubahan iklim berisi informasi data hasil monitoring, data hasil skenario emisi SRESS, data bangkitan data iklim yang diturunkan berdasarkan resolusi skala, baik yang berasal dari model dinamik atau model statistik dan juga data hasil kajian kerentanan, dampak dan adaptasi terhadap perubahan iklim (Gambar 5).



Gambar 5. Skema sistem informasi dampak perubahan iklim

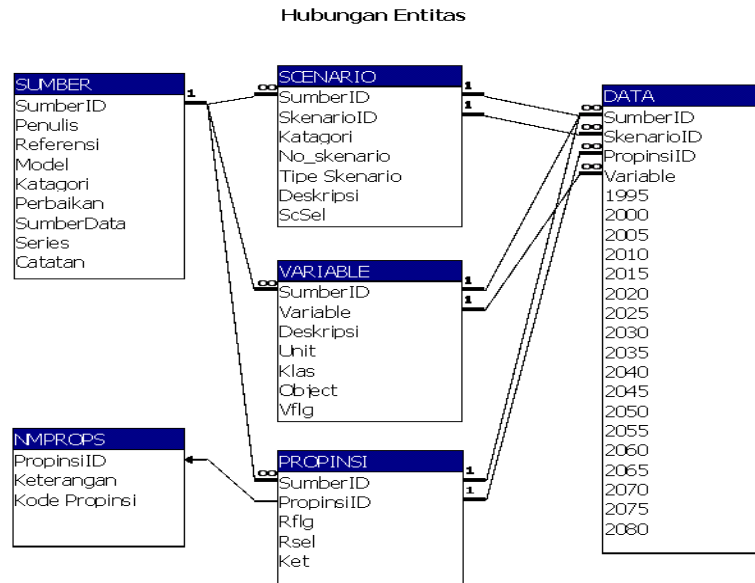
Berdasarkan inventarisasi objek data tersebut di atas dilakukan proses normalisasi data untuk menghindari terjadinya anomali data dalam arti, data harus bisa ditambah, dihapus, diubah dengan sifat data masih konsisten kebenarannya dan tidak terjadi entitas yang terisolasi, sehingga diperoleh kamus data.

Kamus data merupakan sebuah daftar entitas yang terorganisir dari elemen data yang berhubungan dengan sistem, sehingga pengguna dan analis sistem akan memiliki pemahaman yang umum mengenai *input*, output dan komponen penyimpanannya.

Kamus data dari entitas-entitas yang ada diperoleh sebagai berikut :

SUMBER	= { <u>SumberID</u> , Penulis, Referensi, Model, Katagori, Perbaikan, Sumber data, Serie, Catatan}
SCENARIO	= { <u>SumberID</u> , SkenarioID, Katagori, No scenario, Tipe scenario, Deskripsi, ScSel}
VARIABEL	= { <u>SumberID</u> , variabel, deskripsi, Unit, Klas, Objek, Vleg}
DATA	= { <u>SumberID</u> , SkenarioID, PropinsiID, Variabel, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2035, 2040,2045, 2050,2055, 2060, 2065, 2070,2075, 2080, 2085, 2090, 2095, 2100}
PROPINSI	= { <u>SumberID</u> , PropinsiID,Rflg, Rsel, Ket}
NMPROPINSI	= { <u>PropinsiID</u> , Keterangan, Kode Propinsi}

Hubungan antar entitas objek data yang mewakili karakteristik data dampak perubahan iklim, ada serangkaian komponen yang teridentifikasi untuk ERD (*Entity Relationship Diagram*), yang dituangkan pada Gambar 6, yaitu diagram hubungan antar entitas yang mempunyai relasi satu ke banyak, relasi banyak ke satu, banyak ke banyak, yang direlasikan berdasarkan *field* kunci yang ada pada setiap entitas.

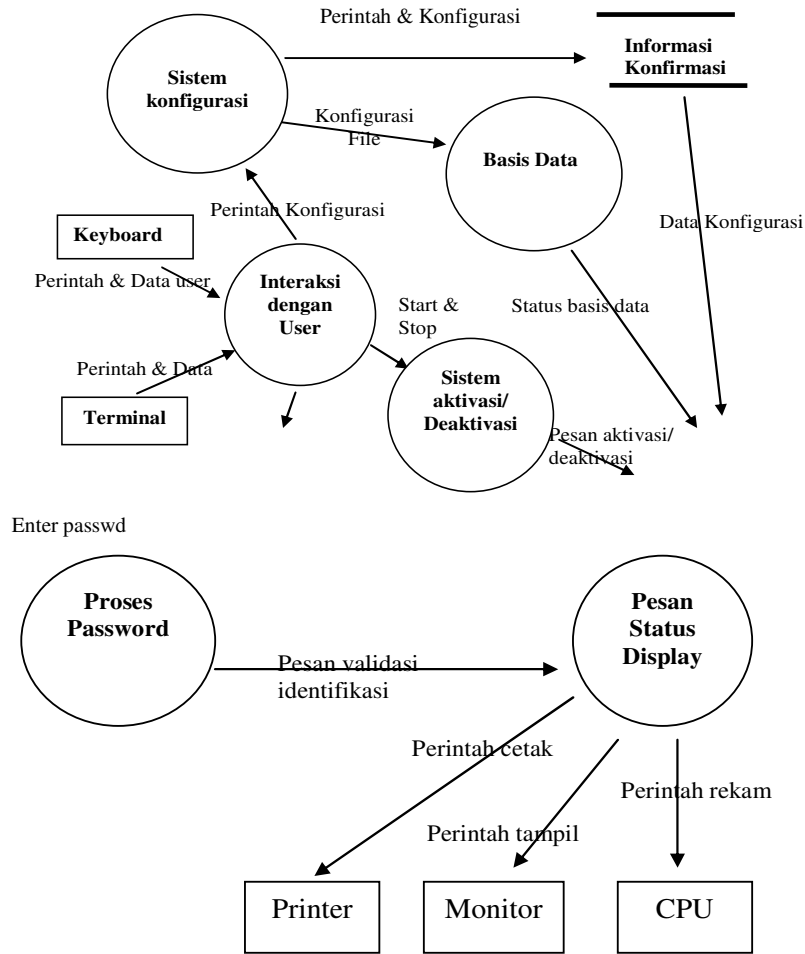


Gambar 6. Hubungan entitas basis data dampak perubahan

Sebuah teknis grafis yang menggambarkan aliran informasi dan transformasi yang diaplikasikan pada saat data bergerak dari *input* menjadi output di ilustrasikan dalam bentuk diagram aliran data.

Aliran data yang digunakan dalam kriteria mencari informasi dampak perubahan iklim dirangkum menjadi suatu sistem, dituangkan dalam Gambar 7, yang mana notasi gelembung menggambarkan proses, yaitu merupakan transfer informasi (fungsi) yang ada di dalam sistem untuk dimodelkan, sedangkan notasi kotak menggambarkan entitas eksternal, yaitu prosedur atau konsumen informasi yang ada di luar sistem untuk dimodelkan, panah menggambarkan arah aliran data, dan kotak tidak lengkap menggambarkan penyimpanan control, yaitu penyimpanan item control yang disimpan untuk digunakan oleh satu atau beberapa proses.

Model analisis meliputi representasi objek data dan control, dan untuk merepresentasikan karakteristik dari masing-masing objek data dan item control dilakukan dengan kamus data.



Gambar 7. Aliran informasi dan transformasi data yang ada dalam sistem

KESIMPULAN

Diagram hubungan entitas basis data dampak perubahan iklim yang mengintegrasikan objek data merupakan dasar file basis data hasil proses normalisasi terhindar dari kejadian anomali data dan dapat diimplementasikan untuk mengeluarkan informasi dampak perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Maududie *et al*, The Development of Geographic Database Design, Case study: Land Cover Information Sistem
- Ben Jou *et al*, Disaster Prevention Program in Taiwan, <http://www.ncdr.nat.gov.tw>
- Barry E. Cushing. 1981. Accounting Information System and Business Organisation, Addison Wesley Publishing Co., Edhy Sutanta, Sistem Basis Data Konsep dan peranannya dalam Sistem Informasi Manajemen, Andi Yogyakarta 1996.
- Frederic H. Wu. 1986. Accounting System Information, Theory and Practice, International Student Edition, Tokyo : Mc. Graw-Hill International, Co.,
- Gordon B. Davis. 1983. Kerangka Dasar Sistem Informasi Manajemen, Bagian I, Pengantar, Jakarta : PT Pustaka Binaman Pressindo, Gordon B. Davis, Kerangka Dasar Sistem Informasi Manajemen, Bagian II, Struktur dan Pengembangannya, Jakarta : PT Pustaka Binaman Pressindo, 1984
- IPCC Special Report on Emissions Scenarios, <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/036.htm>
- James F. Courtney, Jr., David B. Paradise. 1988. Database System Concept, USA: Mc. Graw-Hill International, Co.,
- Mahmud .2007. Rancangan Sistem Informasi Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan Sektor Pertanian, Publikasi Ilmiah LAPAN ISBN:978-979-1458-11-5
- Mahmud, skenario perubahan variabilitas iklim Indonesia, Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global Fakta Mitigasi dan Adaptasinya, ISBN:978-979-17490-0-8
- Mike Hulme *et al*, Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report, April 2002, ISBN 0 902170 60 0
- Ozclim, <http://www.csiro.au/ozclim/home.do;jsessionid=89609ED326EE1F1519F8F961369FEDD5>
- Roger S. Preassman, Ph.D. 2002. Rekayasa Perangkat Lunak, Pendekatan Praktisi, Indonesian translation copyright by Penerbit ANDI and McGraw-Hill Book Co.
- T.R. 1999. Carter, Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. IPCC-TGCIA.

PENGARUH INTERAKSI KOPEL ATMOSFER – SAMUDERA PASIFIK DAN HINDIA EKUATORIAL TERHADAP CURAH HUJAN DI INDONESIA

Bayong Tjasyono HK¹, Sri Woro Budiarti Harijono², Ina Juaeni³, dan Ruminta⁴

1. Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Institut Teknologi Bandung
2. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Jakarta
3. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Bandung
4. Fakultas Pertanian, Universitas Padjajaran, Bandung

Abstract

The mixture of sea and land of the Indonesian islands creates a large variety of local climates. Most of the Indonesian people live directly or indirectly depend on the agriculture and land produces, so that climate elements such as rainfall are very important factors in their lives. The phenomenon that influence rainfall is classified into El Niño and La Niña in the Pacific Ocean and Dipole Mode (+) or (-) in the Indian Ocean. El Niño/DM (+) cause decrease of rainfall and La Niña/DM (-) events cause increase of rainfall El Niño events cause dry longer period season that will delay planting season.

PENDAHULUAN

Iklim dibentuk dari interaksi 5 (lima) komponen lapisan bumi yaitu atmosfer (lapisan gas), hidrosfer (lapisan air), pedosfer (lapisan padat permukaan), kriosfer (lapisan es) dan biosfer (lapisan kehidupan). Lima komponen lapisan ini dimiliki oleh bumi Indonesia, misalnya kriosfer terdapat di puncak gunung Jaya Wijaya (Papua). Diantara kelima komponen lapisan bumi maka atmosfer cepat tanggap terhadap radiasi matahari. Atmosfer erat hubungannya dengan biosfer. Perubahan vegetasi akan mempengaruhi albedo dan siklus hidrologi. Manusia juga bagian dari biosfer yang aktivitas dan ulahnya mempunyai dampak terhadap iklim lokal dan global.

Wilayah Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia dengan panjang garis pantai total 80.791 km^[1] yang diapit oleh Samudera Pasifik dan Hindia. Indonesia termasuk pada daerah ekuatorial yang dibatasi oleh lintang tempat 10⁰ U dan 10⁰ S atau daerah yang dibatasi oleh vortisitas bumi $f = 2 \Omega \sin \phi = 2,5 \times 10^{-5} \text{ S}^{-1}$, dengan Ω adalah kecepatan sudut rotasi bumi = $7,29 \times 10^{-5} \text{ rad.s}^{-1}$ dan ϕ adalah lintang tempat. Daerah ekuatorial menerima surplus energi disegala musim. Atmosfer ekuatorial tidak stabil secara konvektif untuk segala musim^[2].

Interaksi kopel atmosfer Samudera Pasifik menyebabkan peristiwa *El Niño* dan *La Niña*. *El Niño* adalah episode panas dan *La Niña* episode dingin samudera Pasifik tengah dan timur. Interaksi kopel atmosfer – samudera Hindia menyebabkan Dipole Mode (DM) positif jika suhu permukaan laut (TPL) pantai timur Afrika lebih panas dan Dipole Mode (DM) negatif jika TPL pantai timur Afrika lebih dingin dibandingkan TPL pantai barat Sumatera. *El Niño*/DM (+) menyebabkan penurunan dan *La Niña*/DM (-) menyebabkan kenaikan jumlah curah hujan disebagian besar tempat-tempat di Indonesia.

SUMBER DATA

Data iklim yang dipakai adalah data curah hujan primer yang diamati di Kampus ITB, sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMG), dan dari informasi ilmiah^[3]. Data curah hujan bulanan dari beberapa stasiun selektif selama 40 tahun (1961 – 2000) diperoleh dari BMG. Fenomena alam yang mempengaruhi curah hujan di Indonesia yang disebabkan oleh variasi temperatur permukaan laut (TPL) Samudera Pasifik dan Hindia adalah *El Niño*/*La Niña* dan Dipole Mode (+) / (-) dan kondisi normal.

Tabel 1. Kejadian fenomena alam (*El Niño*/*La Niña*, DM (+)/(-)) dan kondisi normal^[3]

Tahun	Fenomena alam dan kondisi normal	Tahun	Fenomena alam dan kondisi normal
1961	<i>El Niño</i> / DM (+)	1981	Normal
1962	Normal	1982	<i>El Niño</i> / DM (+)
1963	<i>El Niño</i> / DM (+)	1983	<i>El Niño</i>
1964	<i>La Niña</i> / DM (-)	1984	DM (-)
1965	<i>El Niño</i>	1985	Normal
1966	Normal	1986	Normal
1967	<i>El Niño</i> / DM (+)	1987	<i>El Niño</i>
1968	Normal	1988	<i>La Niña</i>
1969	<i>El Niño</i>	1989	DM (-)
1970	<i>La Niña</i> / DM (-)	1990	Normal
1971	<i>La Niña</i>	1991	<i>El Niño</i>
1972	<i>El Niño</i> / DM (+)	1992	DM (-)
1973	<i>La Niña</i>	1993	<i>El Niño</i>
1974	Normal	1994	<i>El Niño</i> / DM (+)
1975	<i>La Niña</i> / DM (-)	1995	Normal
1976	<i>El Niño</i>	1996	DM (-)
1977	<i>El Niño</i> / DM (+)	1997	<i>El Niño</i> / DM (+)
1978	DM (-)	1998	DM (+)
1979	Normal	1999	<i>La Niña</i>
1980	Normal	2000	Normal

FENOMENA ALAM SAMUDERA PASIFIK DAN HINDIA

Peristiwa *El Niño* dan *La Niña*

Fenomena *El Niño* dan *La Niña* dapat menimbulkan bencana kekeringan (*drought*), banjir (*floods*) dan bencana lain yang dapat mengacaukan dan merusak pertanian, perikanan, lingkungan, kesehatan, kebutuhan energi, kualitas udara dan sebagainya. ENSO adalah fenomena alam yang muncul dari perangkai (kopel) interaksi atmosfer – osean di Samudera Pasifik Ekuatorial^[4]. *El Niño* (EN) sebagai komponen laut dan Osilasi Selatan (SO) sebagai komponen atmosfer dari fenomena ENSO.

Variabilitas iklim disebabkan oleh interaksi kompleks antara atmosfer, hidrosfer, kriosfer, litosfer dan biosfer. Usaha untuk memahami interaksi-interaksi ini terutama antara atmosfer dan laut difokuskan pada fenomena Osilasi Selatan tekanan udara antara Tahiti dan Darwin dengan fluktuasi tahunan antara fasa panas *El Niño* dan fasa dingin *La Niña* di Samudera Pasifik Ekuatorial bagian tengah dan timur. Episode *El Niño* dan Osilasi Selatan sering disebut peristiwa ENSO (*El Niño and Southern Oscillation*). ENSO pada tahun 1982 dan 1997 dimana fasa panas *El Niño* mencapai amplitudo besar menyebabkan bencana alam kekeringan di Pasifik Tropis sebelah barat, termasuk wilayah Indonesia dan bencana alam banjir di Pasifik Tropis sebelah timur seperti Peru dan Ekuador.

Istilah *La Niña* diberikan bila temperatur permukaan laut di Pasifik Tropis bagian tengah dan timur menjadi dingin, dimana angin pasat timuran menjadi sangat kuat. Kadang-kadang istilah “anti *El Niño*” dipakai sebagai pengganti *La Niña*, akan tetapi istilah anti *El Niño* sebaiknya jangan dipakai mengingat *El Niño* diartikan sebagai *The Christ Child* (anak Tuhan).

Dipole Osean Hindia

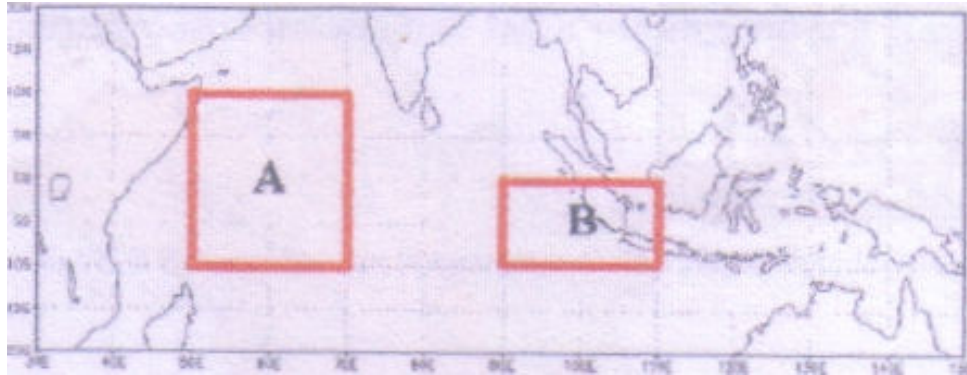
Fenomena Dipol Osean Hindia (*Indian Ocean Dipole*) dan ENSO mempunyai dampak terhadap curah hujan di Indonesia. Dalam keadaan normal terjadi konvergensi sirkulasi Walker (sirkulasi zonal) di atas wilayah Indonesia. Fenomena Dipol Osean Hindia disebabkan oleh interaksi atmosfer – laut di Samudera Hindia ekuatorial, dimana terjadi beda suhu permukaan laut antara Samudera Hindia tropis bagian barat atau (pantai timur Afrika) dan Samudera Hindia tropis bagian timur atau pantai barat Sumatera^[5].

Indeks IOD (*Indian Ocean Dipole*) atau indeks DM (*Dipole Mode*) didefinisikan sebagai beda anomali suhu permukaan laut (TPL) lintang 10° S – 10° U / bujur 50° – 70° T (kotak A) atau Samudera Hindia Ekuatorial bagian barat dan lintang 10° S – ekuator / bujur 90° – 110° T (kotak B) atau Samudera Hindia Ekuatorial bagian timur^[6]. Nilai indeks > 0,35 digolongkan sebagai IOD (+) dan < -0,35 digolongkan sebagai IOD (-).

Gerakan Kolam Panas

Model dasar interaksi osean-atmosfer adalah kenaikan suhu permukaan laut (TPL) di Samudera Pasifik Ekuatorial oleh gerakan kolam panas (*warm pool*) ke timur. Di atas kolam panas ini akan terjadi banyak penguapan dan konveksi kuat. Akibat konveksi dan gerak vertikal di atas kolam panas, terjadi pertumbuhan awan konvektif di atas kolam panas. Sistem konvektif ini menyebabkan angin pasat timuran (*easterly trade wind*) di sebelah barat kolam panas (pusat anomali TPL) akan diperlemah, sebaliknya angin pasat di sebelah timur pusat konvektif akan diperkuat.

Gerakan kolam panas ke arah timur dalam episode *El Niño* menyebabkan awan-awan konvektif bergerak ke timur sehingga angin pasat timuran menjadi angin baratan. Dalam episode *El Niño* terjadi subsidensi (gerak turun) udara atas di Pasifik barat termasuk Indonesia.



Gambar 1. Lokasi fenomena Dipol Osean Hindia. Kotak A : pantai timur Afrika dan Kotak B : pantai barat Sumatera

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam peristiwa *El Niño* terjadi subsidensi udara atas di Pasifik barat termasuk Indonesia, sehingga konveksi kurang aktif ketika tahun *El Niño*. Sebaliknya dalam peristiwa *La Niña* konveksi menjadi kuat di atas wilayah Indonesia. Pada umumnya jumlah curah hujan di bawah normal ketika tahun *El Niño* tetapi di atas normal ketika tahun *La Niña*. Peristiwa *El Niño* dan *La Niña* menyebabkan variasi non musiman di wilayah Indonesia^[17].

Fenomena Dipol Osean Hindia adalah interaksi atmosfer – laut di Samudera Hindia Equatorial bagian barat dan bagian timur, yaitu beda suhu permukaan laut (TPL) di pantai timur Afrika dan pantai barat Sumatera^[15,16]. Ketika IOD (+), konveksi di Samudera Hindia bagian timur lebih lemah ketimbang di Samudera Hindia bagian barat. Sebaliknya, ketika IOD (-), konveksi di Samudera Hindia bagian timur lebih kuat dari pada di Samudera Hindia bagian barat.

Dari data 1961 – 2000, diperoleh frekuensi kejadian *El Niño* (37,5%) dan *La Niña* (17,5%) di Samudera Pasifik Ekuatorial dan keadaan normalnya adalah (45%). Frekuensi kejadian IOD (+) dan IOD (-) di Samudera Hindia Ekuatorial masing-masing adalah 22,5% dan 20,0%, sedangkan keadaan normalnya adalah 57,5%. Kondisi normal di Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial lebih sering dari pada gejala alamnya (*El Niño*, *La Niña*, IOD (+), dan IOD (-)). Ini berarti kondisi jungkat-jungkit (*seesaw*) memanaskan dan mendinginkan Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial lebih jarang dari pada kondisi normalnya.

Tabel 2, menunjukkan jumlah bulan dengan curah hujan lebih kecil 150 mm (musim kemarau) pada tahun *El Niño* bersamaan (IOD (+) dan *La Niña* bersamaan IOD (-) untuk Stasiun Indonesia bagian barat, tengah dan timur. Seluruh stasiun hujan yang ditinjau menunjukkan bahwa jumlah bulan dengan curah hujan kurang dari 150 mm dalam fenomena *El Niño* bersamaan IOD (+) lebih besar dibandingkan dalam tahun-tahun *La Niña* bersamaan IOD (-).

Tabel 2. Jumlah bulan rata-rata curah hujan lebih kecil 150 mm (1961-2000)

Stasiun Hujan	Fenomena <i>El Niño</i> , IOD (+)	Fenomena <i>La Niña</i> , IOD (-)
Indonesia Bagian Barat		
Aceh	8,2	8,1
Padang	2,8	1,9
Medan	6,0	5,0
Jakarta	7,5	6,9
Indonesia Bagian Tengah		
Banjarmasin	6,0	3,1
Pontianak	3,3	1,7
Pangkal Pinang	5,9	3,3
Madiun	7,1	6,1
Indonesia Bagian Timur		
Ujung Pandang	6,9	4,7
Manado	4,9	1,9
Sentani	7,0	6,9
Sorong	5,4	2,4

Tabel 3a dan 3b, menunjukkan jumlah curah hujan musiman dan tahunan dalam fenomena *El Niño*/IOD (+) dan *La Niña*/IOD (-) untuk sampel tipe hujan musonal (Jakarta) dan tipe hujan ekuatorial (Pontianak). Pengaruh fenomena *El Niño*/IOD (+) adalah jumlah curah hujan tahunan dan JJASON menurun baik untuk tipe musonal maupun ekuatorial dibandingkan dalam fenomena *La Niña*/IOD (-). Menurunnya jumlah curah hujan disebabkan Samudera Pasifik Ekuatorial Barat dan Samudera Hindia Ekuatorial Timur (atau perairan di sekitar Indonesia)

mendingin, sehingga konveksi di atas wilayah Indonesia lemah, sedangkan di Samudera Pasifik Ekuatorial Timur dan Hindia Ekuatorial barat memanas pada tahun-tahun *El Niño*/IOD (+), sehingga di wilayah ini konveksi menjadi kuat.

IOD atau DM memberi dampak terhadap curah hujan di Sumatera barat. Ketika IOD (+), wilayah Sumatera Barat pada umumnya memiliki curah hujan di bawah normal yaitu < 85% dari rata-rata curah hujan periode normalnya (rata-rata selama 30 tahun). Sedangkan pada saat IOD (-) curah hujan di Sumatera barat mengalami peningkatan dari periode normalnya yang terjadi pada bulan JJA (Juni–Juli–Agustus) dan SON (September–Oktober–November). Jadi IOD (-) mempercepat datangnya musim hujan dan IOD (+) memperpanjang musim kemarau^[7].

Tabel 3a. Curah hujan musiman (mm) ketika fenomena *El Niño* bersamaan IOD (+)

Thn	<i>El Niño</i> / IOD (+)	Jakarta				Pontianak			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1961	<i>El Niño</i> / IOD (+)	977	573	41	92	529	1021	195	734
1963	<i>El Niño</i> / IOD (+)	1169	517	68	76	909	772	534	624
1965	<i>El Niño</i>	1145	484	91	242	489	760	361	1008
1967	<i>El Niño</i> / IOD (+)	1201	423	6	276	1037	910	214	1135
1969	<i>El Niño</i>	467	507	100	380	847	1199	1464	1382
1972	<i>El Niño</i> / IOD (+)	937	714	93	44	814	641	312	778
1976	<i>El Niño</i>	938	577	187	260	582	472	502	952
1977	<i>El Niño</i> / IOD (+)	1478	697	176	152	786	847	759	852
1982	<i>El Niño</i> / IOD (+)	773	207	159	54	712	652	241	1075
1983	<i>El Niño</i>	777	550	89	305	1272	795	829	1265
1987	<i>El Niño</i>	1274	298	59	265	719	1332	772	958
1991	<i>El Niño</i>	732	541	4	160	599	424	222	574
1993	<i>El Niño</i>	832	554	293	277	567	879	387	607
1994	<i>El Niño</i> / IOD (+)	801	624	78	73	961	584	392	587
1997	<i>El Niño</i> / IOD (+)	626	312	2	156	457	646	523	491
Rata-rata musiman		942	505	96	188	752	796	514	868
Rata-rata tahunan		1731 mm				2930 mm			

Tabel 3b. Curah hujan musiman (mm) ketika fenomena *La Niña* bersamaan IOD (-)

Tahun	<i>La Niña</i> / IOD (-)	Jakarta				Pontianak			
		DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON
1964	<i>La Niña</i> / IOD (-)	376	383	194	344	877	788	471	1095
1970	<i>La Niña</i> / IOD (-)	1085	533	171	393	901	1109	1076	1340
1971	<i>La Niña</i>	914	438	317	326	536	429	596	1556
1973	<i>La Niña</i>	908	731	168	415	1024	868	831	1272
1975	<i>La Niña</i> / IOD (-)	552	394	224	530	966	643	447	902
1988	<i>La Niña</i>	805	423	104	301	540	1021	852	1061
1999	<i>La Niña</i>	649	172	225	524	785	596	505	789
Rata-rata musiman		756	439	201	405	804	779	683	1145
Rata-rata tahunan		1801 mm				3411 mm			

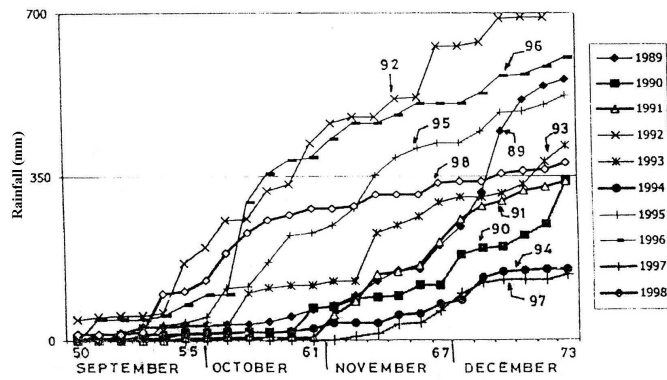
Tabel 4, menunjukkan jumlah bulan dengan curah hujan (R) < 150 mm yang pada tahun-tahun IOD (+) lebih besar (3,7) dibandingkan pada tahun-tahun IOD (-) yaitu sebesar 2,4. Pada tahun-tahun IOD (+), suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian timur (pantai barat Sumatera) mendingin sehingga konveksi lemah. Sedangkan pada fenomena IOD (-), suhu permukaan laut di Samudera Hindia bagian timur memanas, sehingga konveksi kuat akibatnya jumlah curah hujan meningkat atau jumlah bulan dengan R < 150 mm mengecil.

Tabel 4. Jumlah bulan dengan curah hujan lebih kecil 150 mm pada tahun-tahun IOD (*Indian Ocean Dipole*) di Stasiun Padang, Sumatera Barat (1961 – 2000)

Tahun	Fenomena IOD (+)	Tahun	Fenomena IOD (-)
1961	6	1964	8
1963	6	1970	0
1967	3	1975	1
1972	0	1978	1
1977	1	1984	1
1982	4	1989	4
1994	5	1992	1
1997	7	1996	3
1998	1		
Rata-rata : 3,7		Rata-rata : 2,4	

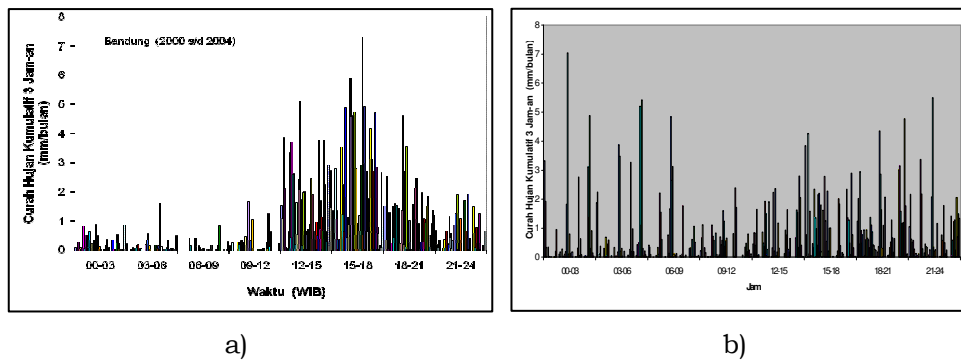
Jumlah curah hujan dalam periode transisi antara bulan-bulan kering dan musim hujan sangat penting dalam pertanian. Efek curah hujan dalam periode transisi adalah memberikan kelembapan tanah setelah mengalami kekeringan selama musim kemarau. Diambil 1 September atau pentad (5 hari) ke 50 sebagai permulaan periode transisi di area Jawa Barat. Diusulkan bahwa jumlah curah hujan kumulatif pada paras (*level*) 350 mm adalah kriteria yang cocok untuk menunjukkan akhir periode transisi. Kriteria 350 mm, terutama memperhitungkan budaya bercocok tanam padi, dimana jumlah curah hujan 350 mm ini setelah pentad ke 50, tanah pada umumnya cukup lembap sehingga petani menyiapkan benih untuk tanam padi musim hujan^[8].

Sifat hujan dinyatakan dalam durasi periode transisi yaitu lamanya waktu yang diperlukan setelah pentad ke 50 sehingga jumlah curah hujan mencapai suatu paras 350 mm. Gambar 2, menunjukkan curah hujan kumulatif dari pentad ke 50 sampai pentad ke 73 untuk area Jakarta. Peristiwa *El Niño* menyebabkan periode transisi lebih panjang dibandingkan rata-ratanya, seperti *El Niño* 1997. Dengan demikian, *El Niño* memperpanjang musim kemarau atau memperpendek musim hujan yang berarti bahwa bercocok tanam padi sangat terlambat karena jumlah curah hujan kumulatif 350 mm dicapai sangat terlambat^[9].



Gambar 2. Curah hujan kumulatif dari pentad ke 50 (3 September) sampai pentad ke 73 (31 Desember) di Jakarta.

Troposfer di atas Indonesia secara konvektif tidak stabil untuk segala musim sehingga awan-awan konvektif lebih dominan di Indonesia^[2]. Kebanyakan curah hujan konveksional terjadi setelah insolasi maksimum. Hujan ini berasal dari awan konvektif jenis cumulus yang disebabkan oleh ketidakstabilan troposfer melalui gaya apung konveksional. Hujan konveksional biasanya berlangsung sekitar satu jam atau kurang, lihat Gambar 3a.



Gambar 3. Curah hujan konveksional (a) di Bandung, dan (b) di Jakarta¹⁰

Laut mempunyai kapasitas panas lebih besar dibandingkan darat, sehingga laut lambat panas jika ada insolasi dan lambat dingin jika tidak ada insolasi. Karena itu ketika malam hari, konveksi di laut meningkat yang menghasilkan hujan konveksional pada tengah malam sampai pagi hari, lihat gambar 3b. Awan konvektif jenis cumulonimbus dapat menghasilkan hujan deras (*shower*), puting beliung (*tornado*), batu es (*hailstone*) dan petir, Gambar 4.



Gambar 4. Batu es di Wamena, Papua terjadi pada 3 Desember 2007 (Foto Metro TV)

KESIMPULAN

1. Frekuensi kejadian *El Niño* dan *La Niña* di Samudera Pasifik Ekuatorial kurang sering dibandingkan kondisi normalnya. Demikian juga frekuensi kejadian IOD (*Indian Ocean Dipole*) baik IOD (+) maupun IOD (-) di Samudera Hindia Ekuatorial menunjukkan kejadian kurang sering dibandingkan kondisi normalnya.
2. Jumlah bulan dengan curah hujan kurang dari 150 mm dalam fenomena *El Niño* bersamaan IOD (+) lebih besar dibandingkan dalam tahun-tahun *La Niña* bersamaan IOD (-).
3. Pengaruh fenomena *El Niño*/IOD (+) adalah penurunan jumlah curah hujan tahunan dan musiman terutama Juni – Juli – Agustus (JJA) dan September – Oktober – November (SON) baik untuk tipe hujan monsunial maupun tipe hujan ekuatorial. Sebaliknya *La Niña* dan IOD (-) menyebabkan kenaikan jumlah curah hujan.
4. Peristiwa *El Niño* memperpanjang musim kemarau atau memperpendek musim hujan yang berarti bahwa bercocok tanam padi sangat terlambat.

DAFTAR PUSTAKA

Bayong Tjasyono HK., 2006. Impact of El Niño on rice planting in the Indonesian monsoonal areas, the International Workshop on Agrometeorology, BMG, Jakarta.

- Bayong Tjasyono HK., 2007. Meteorology in Indonesian Region, Workshop on Validation of ASEAN Regional Climate Model, BMG, Indramayu, West Java.
- Dewan Hamkamnas, 1996. Benua Maritim Indonesia, BPPT, ISBN 979-95038-1, Jakarta.
- Eva Gusmira, 2005. Pengaruh Dipole Mode terhadap angin zonal dan curah hujan di Sumatera Barat, Tesis Magister bidang Sains Atmosfer, ITB, Bandung.
- Ina J., dan Bayong Tjasyono HK., 2005. Analisis Variabilitas Curah hujan diurnal di Jakarta, Bogor dan Bandung untuk mengidentifikasi proses konveksi. Prosiding Seminar Nasional Dies ke 50 FMIPA – UGM, Yogyakarta.
- Saji, N. H., B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran, and T. Yamagata, 1999. A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean, *Nature* Vol. 401, 360-363.
- Schmidt, F. H. And J. V. der Vecht, 1952. East monsoon fluctuation in Java and Madura during the period 1880 – 1940. *Verhandelingen* No. 43, Jakarta.
- Trenberth, K. E., 1996. El Niño - Southern Oscillation Workshop on ENSO and Monsoon, ICTP, Trieste, Italy.
- Yamagata, T., Lizuka, S. And Matsura, T., 2000. Successful Reproduction of the Dipole Mode Phenomenon in the Indian Ocean Using a Model – Advance toward the Prediction of Climate Change, *Geophysical Research Letter*.
- Yamagata, T., Swadhin K. Behera, S. A. Rac, Zhooyong Guan, Karamuri A., and H. N. Saji, 2002. The Indian Dipole, A. *Physical Entity Exchanges* No. 24, Southamton UK.

IMPLEMENTASI SEKOLAH LAPANG IKLIM DALAM PENANGANAN RISIKO IKLIM: MASALAH DAN TANTANGAN

Widjatmiko dan Endang Titi Purwani²

Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Ditjen Tanaman Pangan
Departemen Pertanian

Abstrak

Dalam rangka menghadapi ancaman fenomena iklim yang ekstrim, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan telah melakukan berbagai program aksi salah satunya melalui program Sekolah Lapang Iklim kepada petugas pertanian dan petani di daerah-daerah yang rawan kekeringan maupun banjir dengan tujuan petani akan menggunakan informasi iklim untuk merancang strategi dan pola tanam yang sesuai dengan kebutuhan pasar dan kondisi iklim. Namun demikian, kemampuan petani untuk menggunakan informasi iklim dalam pengelolaan usahatannya masih sangat terbatas. Tidak hanya petani, bahkan petugaspun belum mampu berbuat banyak dalam menterjemahkan informasi iklim yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMG) ke dalam bahasa yang dapat dimengerti oleh petani. Dalam pelaksanaan SLI di masa yang akan datang diharapkan agar: (1) kemampuan dan pengetahuan petani dalam penggunaan informasi prakiraan iklim terus ditingkatkan dan mampu mengelola usahatani berdasarkan kondisi spesifik lokasi dengan memperhatikan kondisi iklim, (2) SLI dapat diselenggarakan dan melembaga di seluruh sentra produksi tanaman pangan yang rawan banjir maupun kekeringan, (3) modul SLI perlu memuat upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, (4) teknologi dalam pemanfaatan informasi iklim terus dikembangkan dan transfer teknologinya kepada petugas lapangan maupun petaniannya berjalan dengan baik, dan (5) SLI diterapkan tidak hanya untuk kegiatan "on-farm" (petani), tetapi dapat dikembangkan untuk seluruh subsistem dalam sistem agribisnis.

Kata kunci: sekolah lapang iklim, masalah dan tantangan

PENDAHULUAN

Ketahanan pangan nasional merupakan salah satu tujuan dari Revitalisasi Pertanian, Perikanan dan Kehutanan (RPPK) dan menjadi mandat yang harus dicapai oleh pemerintah. Pada tatanan nasional, ketahanan pangan adalah kemampuan bangsa untuk menjamin seluruh

penduduknya memperoleh pangan dalam jumlah yang cukup, mutu layak dan aman dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya domestik. Mengingat jumlah penduduk sangat besar dan untuk menjaga agar ketahanan pangan nasional tetap kokoh, maka pemerintah harus dapat meningkatkan produksi pangan dari dalam negeri untuk mewujudkan swasembada beras lestari.

Untuk mencapai swasembada beras lestari, produksi beras harus terus meningkat sekitar 5-6% pertahun. Namun dalam upaya pencapaian produksi ini banyak tantangan dan masalah yang dihadapi dan perlu segera diatasi, salah satu diantaranya adalah fenomena iklim ekstrim. Iklim, selain menjadi faktor produksi yang penting dalam budidaya tanaman pangan, juga dapat menjadi faktor pembatas produksi, khususnya dalam kondisi yang ekstrim. Iklim ekstrim dapat menyebabkan banjir atau kekeringan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan puso dan penurunan produksi yang sangat signifikan.

Dalam rangka menghadapi ancaman fenomena iklim yang ekstrim tersebut, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan telah melakukan berbagai program aksi salah satunya adalah melaksanakan sosialisasi penggunaan informasi iklim kepada petugas pertanian dan petani di daerah-daerah yang rawan kekeringan maupun kebanjiran. Tujuannya adalah agar petani dapat menggunakan informasi iklim untuk merancang strategi dan pola tanam yang sesuai dengan kebutuhan pasar dan kondisi iklim. Namun demikian, kemampuan petani untuk menggunakan informasi iklim dalam pengelolaan usahatannya masih sangat terbatas. Tidak hanya petani, bahkan petugaspun belum mampu berbuat banyak dalam menterjemahkan informasi iklim yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) ke dalam bahasa yang dapat dimengerti oleh petani.

Mengingat hal tersebut di atas, maka pemberdayaan sumberdaya manusia (baik petugas pertanian maupun petani) merupakan salah satu langkah strategis dalam pengamanan produksi dari dampak fenomena iklim. Dalam kaitan ini, Direktorat Perlindungan, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, pada tahun 2007 melaksanakan Sekolah Lapang Iklim (SLI) baik bagi petugas (Pelatihan bagi Pemandu Lapang di Tingkat Nasional maupun Propinsi) dan bagi petani. SLI diharapkan merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan pengetahuan petani yang dilakukan melalui suatu proses *learning by doing*.

KEBIJAKAN TANAMAN PANGAN

Dalam RPPK disebutkan bahwa upaya meningkatkan produksi tanaman pangan adalah sebagai berikut :

- 1). Beras: mempertahankan swasembada berkelanjutan melalui upaya peningkatan produksi beras 2 juta ton pada tahun 2007 dan peningkatan 5% per tahun hingga tahun 2009.

- 2). Jagung: mencapai swasembada pada tahun 2007 dan daya saing ekspor tahun 2008.
- 3). Kedelai: mengakselerasi peningkatan produksi dan produktivitas kedelai untuk mengurangi ketergantungan pada impor.

Untuk mencapai sasaran yang telah ditetapkan di atas, maka strategi yang ditempuh adalah:

- 1). Peningkatan produktivitas dengan upaya antara lain memperbaiki mutu benih, pemupukan berimbang dan organik, penyediaan air yang cukup, penyediaan alsintan, dan pengawalan serta pendampingan.
- 2). Perluasan areal tanam melalui cetak sawah, pemanfaatan lahan sub-optimal, dan peningkatan Indeks Pertanaman.
- 3). Pengamanan produksi dengan upaya pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT), Penanganan dampak fenomena iklim dan pengurangan kehilangan hasil.
- 4). Pemberdayaan kelembagaan pertanian dan dukungan pembiayaan usahatani.

Sekolah Lapang Iklim (SLI) merupakan salah satu kegiatan operasional yang tercakup dalam salah satu strategi tersebut di atas yaitu strategi pengamanan produksi. Seperti halnya Sekolah Lapang Pengendalian Hama Terpadu (SLPHT), maka SLI menjadi salah satu upaya nasional dalam mengamankan produksi tanaman pangan. Dengan demikian lokasi prioritas sebagai pelaksana SLI adalah pada daerah-daerah sentra produksi yang rawan banjir dan kekeringan atau daerah rawan banjir dan kekeringan sekaligus. Dalam SLI teknologi tepat guna untuk mengantisipasi dampak iklim ekstrim juga disampaikan kepada petani peserta. Setelah mengikuti SLI petani diharapkan dapat menggunakan informasi prakiraan iklim yang spesifik lokasi untuk mengelola usahatani mereka dengan hasil yang lebih menguntungkan sehingga pada akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan mereka.

Untuk mempersiapkan pelaksanaan SLI, pada tahun 2007 telah diselenggarakan Pelatihan untuk para Pemandu Lapang I (PL-I) di tingkat nasional maupun Pelatihan untuk Pemandu Lapang II (PL-II) di tingkat propinsi. Para pemandu ini setelah mendapatkan sertifikat pelatihan melaksanakan SLI bagi petani di 19 provinsi sejumlah 235 unit. Pembiayaan untuk pelaksanaan SLI bersumber dari APBN Direktorat Jenderal Tanaman Pangan dan Badan Sumber Daya Manusia, Departemen Pertanian.

DAMPAK FENOMENA IKLIM PADA PERTANAMAN PADI

Luas areal pertanaman padi yang terkena banjir dan kekeringan di Indonesia cenderung terus meningkat seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas areal tanaman padi yang terkena dan puso akibat banjir dan kekeringan, 1991-2007

Tahun	Banjir (ha)		Kekeringan (ha)	
	Terkena	Puso	Terkena	Puso
1991	37.977	5.707	867.930	192.331
1992	59.323	9.595	42.382	7.262
1993	83.002	27.348	66.987	20.411
1994	127.666	32.881	654.807	205.305
1995	218.137	46.462	28.580	4.614
1996	107.385	38.167	59.560	12.482
1997	58.197	13.953	517.614	87.099
1998	143.344	33.152	180.701	32.557
1999	190.466	42.275	104.539	12.631
2000	243.594	58.816	91.105	5.116
2001	196.164	32.765	151.390	12.434
2002	219.580	63.459	348.512	41.690
2003	263.181	66.838	568.619	117.006
2004	311.246	84.588	163.923	26.384
2005	245.497	80.384	283.660	44.829
2006	322.588	136.090	267.117	65.034
2007	314.169	95.591	436.857	58.641
Rata-Rata	184.795	51.081	284.370	55.637

Sumber : Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan (2008)

Tabel 1 menunjukkan bahwa areal pertanaman padi yang terkena banjir maupun kekeringan cukup luas. Rata-rata areal yang terkena banjir selama 17 tahun terakhir mencapai 185 ribu hektar di antaranya 51 ribu hektar mengalami puso. Areal yang terkena kekeringan bahkan lebih luas lagi pada periode yang sama yaitu 284 ribu hektar dengan areal puso 56 ribu hektar. Pada saat terjadi *El-Nino*, areal yang mengalami kekeringan menjadi sangat luas, seperti pada tahun-tahun 1991, 1994, 1997 dan 2002/2003. Sebaliknya pada saat terjadinya *La-Nina*, dengan curah hujan yang sangat tinggi menyebabkan luas areal pertanaman padi yang terkena banjir cukup luas.

Dampak fenomena iklim ekstrim selain mengakibatkan penurunan produktivitas pada areal pertanaman yang terkena juga menyebabkan gagal panen (puso) yang cukup luas serta mundurnya musim tanam. Kondisi ini mempengaruhi produksi padi tidak hanya pada skala petani tetapi juga menyebabkan cadangan produksi beras nasional terganggu.

PELAKSANAAN SEKOLAH LAPANG IKLIM

Sekolah Lapang Iklim diharapkan menjadi salah satu upaya terobosan dalam meminimalkan kehilangan hasil produksi petani

tanaman pangan akibat dari banjir maupun kekeringan. Pada prinsipnya SLI dilaksanakan untuk memberdayakan petani melalui transfer pengetahuan mengenai iklim untuk digunakan dalam pengelolaan usahatani mereka sesuai dengan prinsip agribisnis serta memperhatikan kondisi iklim. SLI diadopsi dari Sekolah Lapang Pengendalian Hama Terpadu (SL-PHT) dan dikembangkan atas kerjasama beberapa instansi, yaitu Direktorat Jenderal Tanaman pangan, Institut Pertanian Bogor (IPB), BMG, Pemerintah Daerah Kabupaten Indramayu dan *Asian Disaster Preparedness Center* (ADPC). Pada tahun 2002, kerjasama ini menghasilkan pilot proyek SLI di kabupaten Indramayu. Setelah itu, SLI dilaksanakan di beberapa kecamatan di Indramayu. Kabupaten ini dipilih menjadi pelaksana SLI karena banyak areal pesawahan yang rawan banjir dan kekeringan.

Tujuan dari SLI adalah:

- 1) Meningkatkan pengetahuan dan kemampuan petani dalam menggunakan informasi iklim dalam mengelola usahatani mereka.
- 2) Meningkatkan kemampuan petani dalam mengantisipasi dampak fenomena iklim pada kegiatan usahatannya sehingga dapat meminimalkan kehilangan hasil produksi.

Peserta SLI adalah para petani/kelompok tani berjumlah sekitar 20-25 orang setiap kelasnya. Jangka waktu pelaksanaan SLI adalah satu musim tanam yang dibagi menjadi 14 waktu pertemuan. Sampai saat ini yang menjadi pemandu SLI baik PL I maupun PL II adalah petugas Pengendali Organisme Pengganggu Tumbuhan (POPT). Sebelumnya PL-I mendapatkan pelatihan yang diselenggarakan oleh Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan mengenai pelaksanaan SLI dan informasi iklim. Selanjutnya PL-I akan mengembangkan modul dan menyampaikannya dalam pelatihan untuk PL-II di tingkat provinsi. Setelah itu, PL-II akan menjadi fasilitator dalam SLI untuk para petani (kelompok tani).

Secara garis besar materi yang diberikan dalam SLI adalah :

1. Pengenalan istilah musim/iklim,
2. Pengaruh cuaca dan iklim terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman,
3. Perkembangan, pengamatan dan pengendalian Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT),
4. Penggunaan informasi prakiraan iklim untuk mengatur strategi pola tanam,
5. Menilai arti ekonomi informasi prakiraan iklim dan analisa sederhana usahatani,
6. Penyusunan rencana tindak lanjut,
7. Demonstrasi proses terjadinya hujan
8. Dinamika kelompok (kerjasama, komunikasi, kepemimpinan dan kreativitas).

Melihat keberhasilan dari pelaksanaan di Kabupaten Indramayu maka pada tahun 2007, SLI sebanyak 235 unit SLI telah dilaksanakan di 19 provinsi. Dari hasil pemantauan dan laporan dari beberapa daerah pelaksana SLI, terlihat indikasi bahwa SLI merupakan suatu cara yang cukup efektif untuk meningkatkan pengetahuan mengenai informasi iklim bagi pertanian. Umumnya para peserta SLI menyatakan bahwa penggunaan informasi iklim bagi pengelola usahatani sangat penting. Untuk lebih meningkatkan pengetahuan mereka dalam penggunaan informasi tersebut, mereka menginginkan adanya SLI lanjutan. Para petugas/pemandu lapang juga cukup antusias dalam melaksanakan SLI kepada para petani. Walaupun demikian hasil evaluasi secara menyeluruh belum dilakukan.

MASALAH DAN TANTANGAN

Tahun 2007 merupakan tahun pertama kali SLI menjadi kegiatan nasional dilaksanakan dengan jumlah yang cukup besar dan tersebar di berbagai provinsi. Oleh karenanya, dirasakan masih banyak permasalahan yang dihadapi di dalam melaksanakan kegiatan ini, antara lain:

1. Jumlah Pemandu Lapang, baik PL-I maupun PL-II yang telah mengikuti latihan (TOT) pelaksanaan SLI masih terbatas untuk melaksanakan sekaligus lebih dari 230 unit SLI. Hal ini diatasi dengan segera menyelenggarakan TOT tingkat propinsi. Selain itu, karena pelaksanaan SLI ini masih baru (dibandingkan dengan SLPHT), pengalaman dan pengetahuan mereka di bidang informasi iklim masih dirasakan kurang.
2. Tingkat akurasi informasi prakiraan iklim yang dikeluarkan oleh BMG masih perlu ditingkatkan. Dengan tingkat akurasi prakiraan yang lebih tinggi akan sangat membantu para pemandu dalam menyelenggarakan pelatihan.
3. Modul dan kurikulum SLI yang sekarang dipakai masih perlu disempurnakan untuk dapat disesuaikan dengan kondisi lapang yang spesifik. Diharapkan dengan pengetahuan dan pengalaman para petugas di lapangan, mereka dapat menerapkan teknologi tepat guna dalam mengantisipasi banjir dan kekeringan serta strategi dan pola tanam yang sesuai dengan kondisi iklim dan lokasi.
4. Peralatan yang digunakan dalam praktek dirasakan masih kurang memadai. Peralatan yang dipakai untuk praktek SLI merupakan peralatan yang sederhana dan umumnya dapat disediakan atau dibuat oleh peserta pelatihan sendiri. Namun peserta mengharapkan dapat menggunakan peralatan yang standar untuk mengukur kondisi iklim.

5. Anggaran dalam pelaksanaan SLI terbatas dan dengan adanya pengurangan anggaran perjalanan pada tahun 2007 mempengaruhi pelaksanaan kegiatan ini.
6. Informasi prakiraan iklim sering terlambat sampai kepada petugas. Apabila informasi tersebut dapat sampai pada waktu yang tepat (*near real time*), akan sangat membantu dalam merencanakan strategi dan pola tanam.
7. Belum berkembangnya teknologi pemanfaatan informasi iklim.

Selain permasalahan yang dihadapi seperti tersebut di atas, juga terdapat berbagai tantangan dalam pelaksanaan SLI, antara lain :

1. Degradasi lingkungan yang mengakibatkan berkurangnya ketersediaan air di musim kemarau dan meningkatnya kejadian banjir di musim hujan menyebabkan sulitnya para petani mengatasi dampak fenomena iklim. Sebagai contoh, walaupun daerah hilir tidak turun hujan lebat, namun dengan rusaknya lingkungan di daerah hulu dapat menyebabkan banjir di daerah hilir.
2. Perubahan iklim global mempengaruhi pola hujan dan peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim.
3. Informasi prakiraan iklim spesifik lokasi yang dapat digunakan sebagai "*early warning system*" belum tersedia.
4. Daya dukung sumberdaya alam yang makin berkurang karena peningkatan jumlah penduduk terutama di Jawa. Hal ini sangat berhubungan dengan degradasi lingkungan dan alih fungsi lahan yang mengakibatkan intensitas banjir dan kekeringan meningkat.

PENUTUP

Tahun 2007 merupakan tahap awal dari pelaksanaan SLI di Indonesia dengan segala permasalahan dan tantangannya. Dalam pelaksanaan SLI di masa yang akan datang diharapkan agar :

1. Kemampuan dan pengetahuan petani dalam penggunaan informasi prakiraan iklim terus ditingkatkan sehingga mereka benar-benar mampu mengelola usahatani mereka berdasarkan kondisi spesifik lokasi dengan memperhatikan kondisi iklim.
2. SLI dapat diselenggarakan dan melembaga di seluruh sentra produksi tanaman pangan yang rawan banjir maupun kekeringan.
3. Dengan adanya perubahan iklim, maka modul SLI perlu memuat upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

4. Teknologi dalam pemanfaatan informasi iklim terus dikembangkan dan transfer teknologinya kepada petugas lapangan maupun petaniannya berjalan dengan baik.
5. SLI diterapkan tidak hanya untuk kegiatan "*on-farm*" (petani), tetapi dapat dikembangkan untuk seluruh subsistem dalam sistem agribisnis.

ANALISA HIDROLOGIS DARI BERBAGAI PENUTUPAN PERMUKAAN TANAH SEBAGAI METODE EVALUASI KONDISI DAERAH TANGKAPAN AIR

Tumiari Katarina Damanik

Abstrak

Konversi lahan akibat penebangan hutan berdampak rusaknya daerah aliran sungai (DAS) akibat hilangnya produktivitas lahan karena erosi dan masalah kaitannya dengan kualitas dan kualitas air. Hal ini terjadi di Sumber Jaya, Lampung akibat konversi hutan menjadi perkebunan kopi dan permukiman. Penelitian bertujuan mempelajari hubungan curah hujan dan debit di DAS Way Besai, Sumber Jaya. Pengukuran curah hujan dilakukan di setiap Sub DAS dengan menggunakan penakar hujan otomatis dan pengukuran debit sungai dengan memasang Parshal flume. Hasil analisis hydrograph menunjukkan bahwa aliran air lebih lambat dan menurunnya limpasan permukaan. Secara umum kondisi DAS Sumber Jaya masih cukup dan tindakan pengelolaan DAS masih belum terlambat untuk mencegah kerusakan di masa datang dengan tidak melanjutkan konversi hutan menjadi pertanaman kopi.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perubahan penggunaan lahan terutama untuk kegiatan pertanian telah terjadi secara terus menerus sejak manusia mendirikan pemukiman bagi hidupnya (Bellot, *et.al.*, 2001). Perubahan penggunaan lahan diseluruh dunia telah mempengaruhi sumber daya alam melalui penurunan kualitas tanah dan air, kehilangan bio-diversitas dan dalam jangka panjang perubahan terhadap system iklim. Hal itu telah mendorong banyak penelitian yang bertujuan memahami lebih jelas factor-faktor yang mendorong perubahan penggunaan lahan dan pengaruhnya terhadap lingkungan (de Koning *et al.*, 1998).

Pada skala lokal dan regional, hutan sangat penting untuk mempertahankan stabilitas sungai dan daerah aliran sungai. Kekuatiran terhadap konversi dan penebangan hutan kebanyakan berfokus pada hilangnya fungsi hutan dan daerah aliran sungai yang berkaitan dengan hilangnya produktivitas lahan karena erosi dan masalah kaitannya seperti kuantitas dan kualitas air (Krairapanod and Atkinson, 1998; Susswein *et al.*, 2000).

Sumber Jaya (54.194 ha) adalah sebuah kecamatan di Lampung Barat dan berlokasi di ujung akhir barisan Pegunungan Bukit Barisan. Sumber Jaya berada di hulu daerah aliran sungai (DAS) Tulang Bawang

yang dikenal sebagai DAS Way Besai yang mengairi areal seluas 998.300 ha (Verbist dan Pasya, 2004). Karena itu, pemerintah setempat memperhitungkan Sumber Jaya sebagai sumber air utama di Propinsi Lampung dan membangun sebuah pembangkit listrik di hilir Sungai Way Besai. Perubahan wilayah hutan di Sumber Jaya kebanyakan adalah untuk penanaman kopi dan pembangunan wilayah pemukiman.

Penanaman kopi memang mendukung ekonomi masyarakat lokal bahkan pada saat Indonesia mengalami krisis ekonomi di tahun 1997 (Budidarsono *et al.*, 2000) dan kopi adalah salah satu produksi andalan Propinsi Lampung. Tetapi, konversi hutan yang terus berjalan dalam jangka panjang akan menghasilkan persoalan yang serius.

Persoalan ini telah pernah menghasilkan konflik antara pemerintah lokal dengan masyarakat pengguna hutan terutama karena pernah terjadi banjir dan longsor di areal pembangkit listrik pada tahun 2002. Tanpa banyak komunikasi dengan masyarakat, pemerintah setempat membuat batas hutan yang baru untuk mencegah berlanjutnya penggunaan hutan dan mengusir masyarakat dari wilayah yang selama ini telah mereka tempati dan usahakan. Meskipun hutan memang sangat penting, menghentikan kehidupan masyarakat dan penghasilannya tidak akan menyelesaikan persoalan, bahkan akan menimbulkan banyak persoalan sosial (Kusworo, 2000).

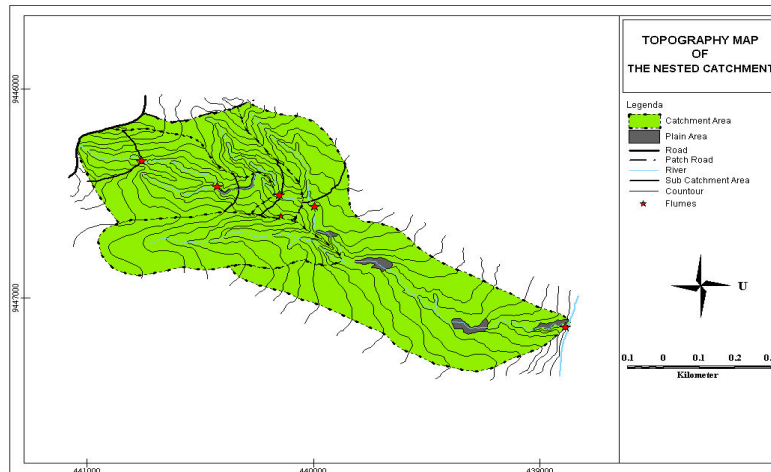
Dalam situasi ini ICRAF mengajukan konsep *agroforestry* sebagai alternative pemecahan masalah. Mosaik tanaman dalam konsep agroforest memiliki kesetaraan efektifitas dalam menjaga fungsi daerah aliran sungai; sehingga ada keuntungan mutual antara kepentingan petani penggarap hutan dengan kepentingan pemerintah setempat dalam menjaga lingkungan. Sejalan dengan program promosi agroforest, penting untuk tetap dilakukan penelitian untuk mengevaluasi fungsi DAS yang meliputi beberapa aspek seperti distribusi curah hujan, kuantitas dan kualitas air dan sedimentasi. Penelitian ini adalah bagian dari penelitian tersebut yang berfokus pada mempelajari hubungan antara curah hujan dan jumlah air yang mengalir dari DAS dengan menggunakan beberapa metode hidrologi.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sumber Jaya (54.200 ha) di dalam DAS besar Way Besai di Lampung Barat.

Sub-DAS dalam struktur tersarang (nested; Gambar 1) dipilih untuk penelitian ini sehingga hubungan curah hujan-limpasan permukaan dalam skala yang makin besar dan dalam tipe penutupan tanah yang berbeda dapat dihitung. Sub-DAS ini berlokasi pada bagian hilir DAS Sumber Jaya membentang dari Desa Bodong Jaya ke Suka Jaya termasuk areal hutan di Bukit Rigis. Ada 8 (delapan) sub-DAS dengan luasan berkisar dari 2.81 ha sampai 67.68 ha dan dengan penutupan permukaan tanah yang berbeda (Tabel 1).



Gambar 1. Sub-Das lokasi penelitian yang merupakan bagian dari DAS Sumber Jaya

Tabel 1. Sub-DAS pada lokasi penelitian, luasan, kemiringan dan tipe vegetasi penutup tanah

Sub-DAS	Luas (ha)	Rata-rata kemiringan (%)	Vegetasi penutup
Sub-DAS 1	2.84	29	Mono kopi, semak (<i>Imperata cylindrical</i>)
Sub-DAS 2	8.21	46	Mono kopi, <i>Imperata cylindrical</i>
Sub-DAS 3	12.39	33	Mono kopi, <i>Imperata Cylindrica</i> , kopi bersama <i>Gliricida sepium</i> ,
Sub-DAS 4	20.45	20	Mono kopi, <i>Imperata Cylindrica</i> , kopi bersama <i>Gliricida sepium</i>
Sub-DAS 5	27.22	26	Kopi bersama pohon buah-buahan dan pohon naungan (<i>Agro-forrest</i>), mono kopi, <i>Imperata cylindrical</i>
Sub-DAS WB	67.68	26	Sawah, kayu manis, kopi bersama <i>Gliricida sepium</i> , <i>Imperata cylindrical</i>
Sub-DAS AF	4.39	29	Kopi bersama pohon buah-buahan
Sub-DAS FR	10.33		Berbagai tanaman keras

Pengukuran curah hujan dilakukan di setiap sub-DAS dengan menggunakan penakar hujan otomatis sedangkan pengukuran aliran air pada anak sungai dilakukan dengan memasang *Parshal flume* dan tinggi air diukur dengan pengukur ketinggian muka air otomatis (Gambar 2 dan 3).

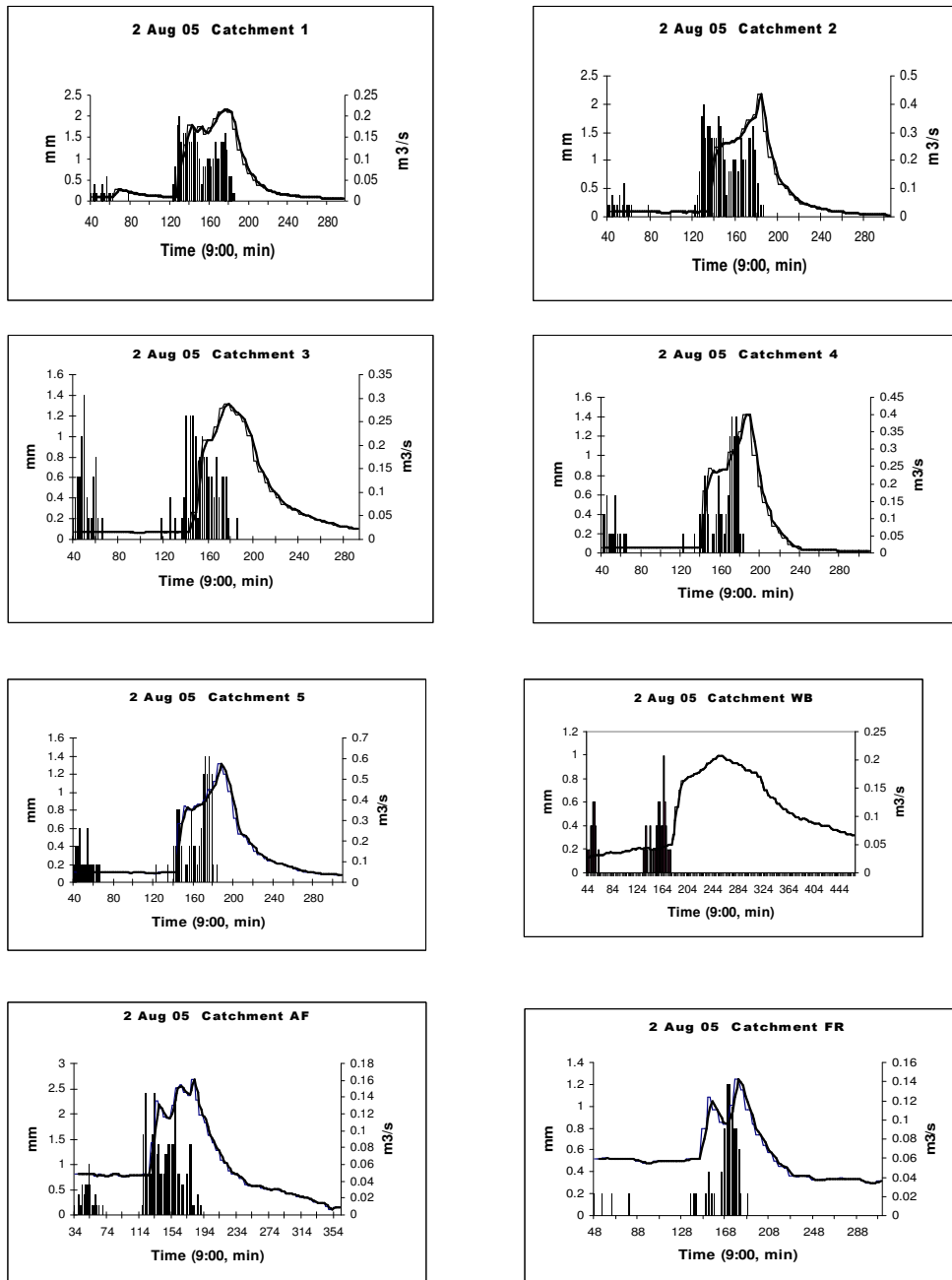


Gambar 2. Penakar hujan otomatis pada setiap sub-DAS

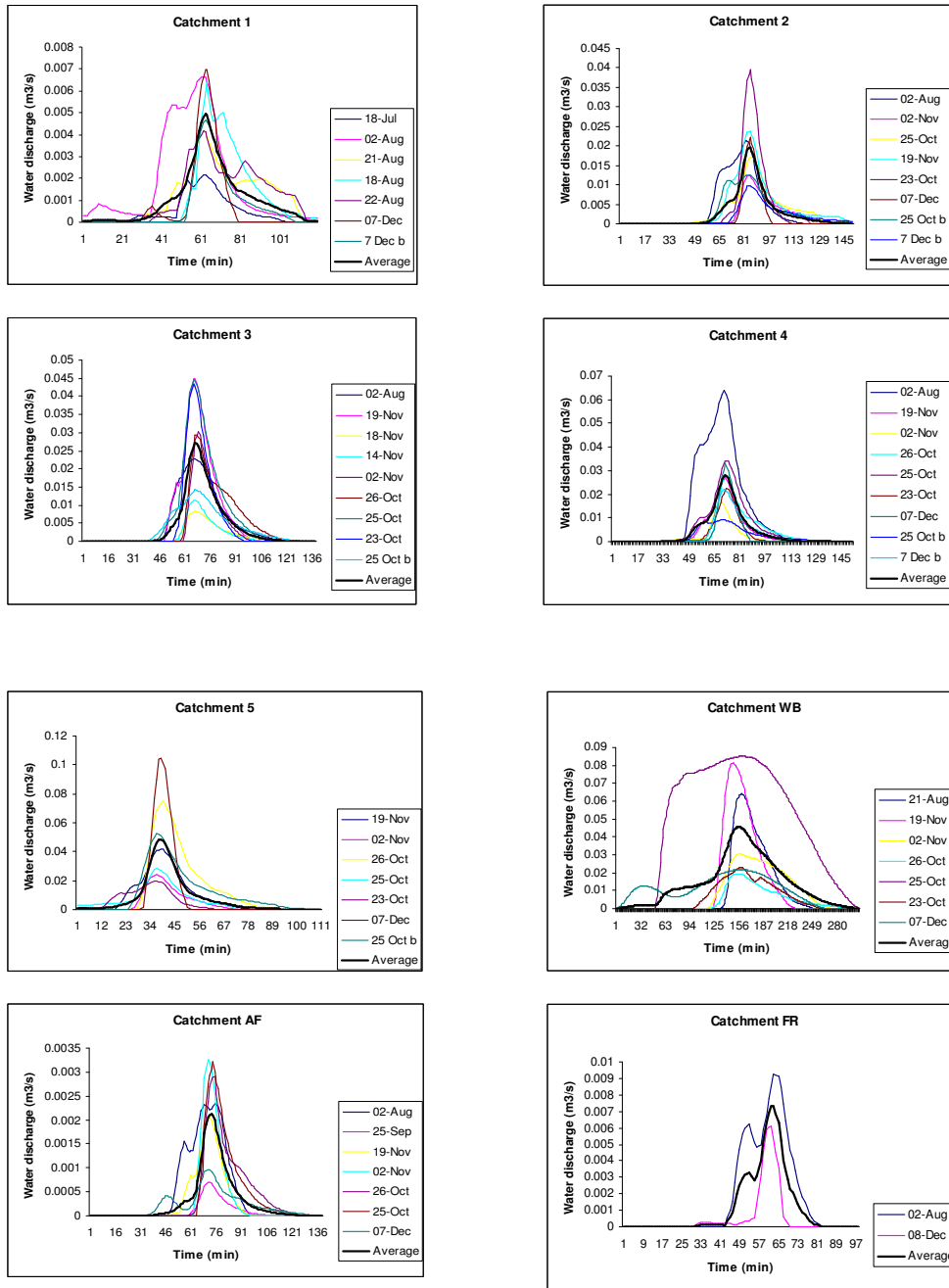


Gambar 3. *Parshall flume* yang dilengkapi alat pengukur tinggi muka air otomatis

Hasil pengukuran curah hujan dan tinggi muka air pada setiap kejadian hujan di plot dalam satu grafik dan menghasilkan hidrograph (Gambar 4). Setelah *base-flow* dihilangkan dari hidrograph, hasil pengukuran limpasan permukaan dibagi dengan jumlah curah hujan pada setiap kejadian hujan sehingga didapat limpasan permukaan untuk setiap 1 mm curah hujan disebut sebagai unit hydrograph; kemudian semua hidrograph dari semua kejadian hujan diplotkan bersama-sama (Gambar 5). Unit hydrograph dari setiap kejadian hujan dihitung nilai rata-rata sehingga didapat satu hidrograph yang merupakan hidrograph rata-rata dari semua kejadian hujan.



Gambar 4. Contoh hydrograph pada setiap sub-DAS untuk kejadian hujan 2 Agustus 2005



Gambar 5. Unit hidrograph dari setiap kejadian hujan dan unit hidrograph rata-rata (garis hitam)

Persamaan laju kenaikan dan penurunan pada hidrograph rata-rata kemudian dapat dihitung (Tabel 2) dan nilainya merupakan laju kenaikan muka air pada anak sungai pada saat hujan turun dan laju penurunan muka air pada saat hujan berhenti.

Tabel 2. Persamaan laju kenaikan dan penurunan muka air pada masing-masing sub- DAS (t= waktu dalam menit)

Sub-DAS	Laju kenaikan	Laju penurunan
1	$Q = 0.0739 \ln(t) + 0.6948$	$Q = -0.0054t + 1.0516$
2	$Q = 0.0834 \ln(t) + 0.6903$	$Q = -0.0056t + 1.0576$
3	$Q = 0.1116 \ln(t) + 0.626$	$Q = -0.0083t + 1.0762$
4	$Q = 0.0798 \ln(t) + 0.6998$	$Q = -0.0080t + 1.0670$
5	$Q = 0.0939 \ln(t) + 0.6581$	$Q = -0.0071t + 1.0704$
WB	$Q = 0.0837 \ln(t) + 0.5776$	$Q = -0.0021t + 1.0874$
AF	$Q = 0.0729 \ln(t) + 0.7345$	$Q = -0.0058t + 1.0487$
FR	$Q = 0.0833 \ln(t) + 0.7103$	$Q = -0.0253t + 1.0919$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hampir semua sub-DAS menunjukkan laju kenaikan terhadap waktu yang hampir sama (antara $0.0729 - 0.0837 \ln(t)$); kecuali untuk catchment 3 dan 5 yang menunjukkan laju yang lebih tinggi (0.0939 and $0.1116 \ln(t)$). Hal ini berarti aliran air meningkat dengan lambat; lebih banyak air yang lebih dulu diserap kedalam tanah daripada yang langsung mengalir sebagai limpasan permukaan.

Untuk sub-DAS *agroforestry* (AF) laju kenaikan hampir sama dengan sub-DAS 1 ($0.0729 \ln(t)$ dibanding $0.0739 \ln(t)$); sedangkan sub-DAS hutan hampir sama dengan sub-DAS 2 ($0.0833 \ln(t)$ dibanding $0.0834 \ln(t)$). Hasil ini tidak berarti bahwa perbedaan kondisi penutupan tanah tidak mempengaruhi limpasan permukaan. Limpasan permukaan dari sub-DAS agroforest jauh lebih rendah ($0.041 \text{ m}^3/\text{s}$) dibandingkan sub-DAS lain (0.1 sampai $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$). Begitu juga dengan sub-DAS hutan (FR) dengan limpasan permukaan ($0.114 \text{ m}^3/\text{s}$) yang hampir sama dengan sub-DAS 1 ($0.129 \text{ m}^3/\text{s}$), tetapi dari 7 kejadian hujan limpasan permukaan hanya terjadi pada 2 kejadian saja.

Sub-DAS WB menunjukkan laju penurunan air terlambat ($-0.0021t$), diikuti oleh sub-DAS 1,2 dan AF (masing-masing $-0.0054t$, $-0.0056t$ and $-0.0058t$) dan sub-DAS 3, 4, 5 yang tercepat (masing-masing $-0.0083t$, $-0.008t$ and $-0.0071t$). Dalam 2 kejadian hujan sub-DAS AF menunjukkan laju penurunan tercepat ($-0.0253t$).

Deskripsi kuantitatif dari limpasan permukaan untuk 1 mm curah hujan efektif juga dapat diduga dari metode ini. Jika diasumsikan bahwa limpasan permukaan memberikan tanggapan secara linier terhadap curah

hujan maka pada sub-DAS 1,1 mm curah hujan efektif akan menghasilkan 0.000106 m³/s dan akan meningkat atau waktu hujan berhenti akan menurun menurut persamaan yang dihasilkan pada unit hydrograph.

Hasil ini menunjukkan bahwa tanah di masing-masing sub-DAS masih mampu menahan dan menyimpan air. Saat hujan turun, air terinfiltrasi kedalam tanah sebelum mengalir ke sungai dan kenaikan muka air terjadi dengan lambat. Pada waktu hujan berhenti, permukaan tanah masih mengalirkan airnya sehingga laju penurunan air di sungai/anak sungai lambat; tanah masih memegang air yang tersisa dari hujan

KESIMPULAN

Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa kondisi permukaan tanah DAS Sumber Jaya yang digambarkan dari sub-DAS dalam penelitian ini masih cukup baik. Tindakan pengelolaan DAS masih belum terlambat untuk mencegah kerusakan dimasa mendatang. Namun demikian tidak berarti bahwa pembukaan wilayah hutan untuk perluasan perkebunan kopi dapat dibiarkan; hutan yang tersisa (12%) sangat perlu dijaga kondisinya. Pemeliharaan kondisi hutan dapat dilakukan bekerja sama dengan petani setempat yang dengan banyak penyuluhan menjadi sadar akan pentingnya memelihara kelestarian alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellot, J., A. Bonet, J.R. Sanchez and E. Chirino. 2001. Likely effects of land use change on the runoff and aquifer recharge in a semiarid landscape using a hydrological model. *Landscape and Urban Planning* 55:41-53.
- Budidarsono, S., Adi Kuncoro, S. and T.P. Tomich. 2000. A profitability assessment of Robusta coffee system in Sumber Jaya watershed, Lampung, Sumatra, Indonesia. ICRAF Southeast Asia, Bogor, Indonesia.
- De Koning, G.H.J., A. Veldkamp, L.O. Fresco. 1998. Land use in Ecuador: A statistical analysis at different aggregation levels. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 70: 231 – 247.
- Kusworo, Ahmad. 2000. Perambah Hutan atau kambing hitam. Pustaka Latin, Bogor, Indonesia.
- Krairapanod, N. and A. Atkinson. 1998. Watershed management in Thailand: Concepts, problems and implementations. *Regulated Rivers: Research and Management* 14: 485 – 498.

- Susswein, P.M., M. Van Noordwijk and B. Verbist. 2000. Forest watershed functions and tropical land use change. ASB Lecture note 7. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia.
- Verbist, B. and Gamal Pasya. 2004. Perspektif sejarah status kawasan hutan, konflik dan negosiasi di Sumber Jaya, Lampung Barat-Propinsi Lampung. *Agrivita* 26(1): 20-28.

SIMULASI IKLIM REGIONAL UNTUK MENDUKUNG AKSI ADAPTASI SEKTORAL MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM

Dodo Gunawan dan Mezak A. Ratag

Pusat Penelitian dan Pengembangan
Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

Abstrak

Untuk mempelajari dampak dari perubahan iklim serta langkah-langkah adaptasi dan mitigasi yang harus dilakukan, diperlukan aksi pada skala yang lebih detail yaitu regional atau lokal. Guna memenuhi kebutuhan data meteorologi tentang skenario proyeksi perubahan iklim untuk mendukung aksi adaptasi dan mitigasi pada skala tersebut diperlukan suatu model iklim yang dapat menurunkan skala grid dari model global yang rata-rata berukuran 250 km ke ukuran grid berskala regional sesuai skala adaptasi dan mitigasi yang akan dilakukan. Teknik penurunan skala dari model global ke model regional ini dikenal dengan teknik downscaling. Studi pendahuluan simulasi iklim dengan metode dynamical downscaling di wilayah Indonesia untuk mendukung aksi adaptasi dan mitigasi berbagai sektor telah dilakukan menggunakan model iklim regional REMO. Tahap awal simulasi model iklim regional dilakukan dengan menjalankan model pada periode waktu 1979 – 1999 sebagai gambaran kondisi iklim saat ini. Hasil simulasi ini digunakan untuk mempelajari variabilitas iklim di daerah dimana penurunan skala dibuat. Penurunan skala dilakukan dua tahap sampai ukuran grid 18 km untuk wilayah Sulawesi. Studi variabilitas dibatasi pada salah satu faktor penyebabnya yaitu ENSO. Verifikasi luaran model dilakukan terhadap parameter curah hujan sebagai unsur iklim yang sangat berpengaruh terhadap aktivitas kehidupan di wilayah tropis. Penelitian ini dimotivasi oleh tugas pokok Badan Meteorologi dan Geofisika sebagai organisasi yang berkompeten dalam menyediakan data baik hasil observasi maupun data dari hasil simulasi model iklim tentang skenario perubahan iklim berskala regional dan lokal di wilayah Indonesia.

PENDAHULUAN

Gejala pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim sebagaimana yang dilaporkan IPCC (2007) sudah terjadi dan tidak dapat kita hindari. Salah satu upaya dalam menghadapi perubahan iklim adalah melakukan aksi penyesuaian (*adaptation*) dan mitigasi. Gejala pemanasan global yang terjadi saat ini lebih disebabkan oleh kegiatan manusia (*anthropogenic*) dalam menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan gas buang karbon dioksida (CO₂). Gas CO₂ di atmosfer bertindak sebagai Gas Rumah Kaca, yang bila konsentrasinya bertambah banyak

mengakibatkan suhu di permukaan bumi semakin meningkat akibat efek rumah kaca sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan iklim. Upaya mengurangi dampak pemanasan global agar tidak terjadi ke taraf yang sangat membahayakan kehidupan umat manusia di bumi adalah menurunkan tingkat emisi gas rumah kaca.

Untuk mengantisipasi perubahan iklim, IPCC telah menyarankan agar setiap negara melakukan adaptasi pada berbagai sektor dan wilayah terutama yang rentan terhadap perubahan iklim. Hasil Konferensi ke 12 para pihak (COP 12) dari Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim PBB (UNFCCC) di Nairobi tahun 2006 telah menghasilkan Program Kerja upaya-upaya yang dapat dilakukan setiap negara untuk mengatasi perubahan iklim, diantaranya adalah melalui adaptasi dan mitigasi. Salah satu program kerja tersebut adalah membuat downscaling model iklim untuk mendukung aksi adaptasi pada tingkat regional dan lokal, mengingat model skenario perubahan iklim yang tersedia saat ini masih berskala global dan kurang mendukung untuk digunakan dalam skala regional atau lokal.

Sebelum menggunakan hasil-hasil keluaran model iklim yang memproyeksikan perubahan iklim dimasa mendatang dalam kurun waktu 50-100 tahun maka terlebih dahulu harus dilakukan validasi model dengan cara membandingkan hasil keluaran model dengan data observasi. Validasi ini dapat dilakukan dengan simulasi model dimasa yang lalu menggunakan data reanalisis sehingga akan diperoleh tingkat kepercayaan terhadap model tersebut untuk dapat digunakan membuat proyeksi perubahan iklim dimasa yang akan datang.

Makalah ini menyajikan hasil studi variabilitas model iklim regional REMO sebagai langkah awal penerapan model untuk simulasi skenario perubahan iklim. Data proyeksi perubahan iklim hanya dapat diperoleh dari model iklim dan untuk mendapatkannya pada skala yang lebih detail dilakukan dengan tehnik penurunan skala model (downscaling) baik secara numerik dinamis maupun secara statistik.

Studi variabilitas iklim ini dibatasi pada salah satu faktor penyebabnya yaitu ENSO, mengingat fenomena global tersebut sangat signifikan mempengaruhi variabilitas iklim di Indonesia. Lokasi kajian dibatasi pada hasil penurunan skala model REMO di daerah Sulawesi. Diharapkan hasil simulasi iklim regional tentang variabilitas iklim ini dapat diterapkan untuk membuat proyeksi perubahan iklim dimasa mendatang yang sangat diperlukan untuk mendukung aksi adaptasi pada berbagai sektor.

TINJAUAN PUSTAKA

Penyebab variabilitas iklim antar tahunan di wilayah Indonesia adalah fenomena berskala global yang dikenal dengan *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Secara umum peristiwa ENSO berulang antara 2

sampai 7 tahun. Di Indonesia peristiwa ENSO menyebabkan kekeringan selama kejadian *El Niño* atau curah hujan yang tinggi pada saat kejadian *La Niña* (Roppelweski dan Halpert, 1987). Terdapat hubungan yang erat antara curah hujan di Indonesia dan indikator ENSO seperti dengan suhu permukaan laut di wilayah pasifik timur (dikenal dengan daerah NINO) atau dengan Indeks Osilasi Selatan (SOI) sebagaimana yang telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti (Malcolm dan McBride 2001; McBride *et al.*, 2003; Hendon, 2003; Aldrian, 2002; Gunawan dan Gravenhorst, 2005a).

Variabilitas curah hujan dalam ruang dan waktu dapat dianalisa dengan menggunakan data observasi ataupun data dari keluaran model atmosfer. Pada model berskala global (GCM) beberapa peneliti telah memfokuskan kajiannya untuk wilayah Indonesia (Slingo *et al.*, 2003). Dalam skala model regional Aldrian *et al.* (2004) telah menggunakan model regional REMO untuk mempelajari variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia. Keuntungan menggunakan model dalam studi variabilitas adalah cakupan wilayahnya yang lebih luas dibandingkan dengan data observasi.

BAHAN DAN METODE

Data Curah Hujan Observasi

Data curah hujan hasil pengamatan diperoleh dari jaringan stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) dengan data tambahan yang diperoleh dari instansi yang melakukan pengukuran curah hujan yaitu Departemen Pertanian dan Pekerjaan Umum. Data stasiun yang penyebarannya tidak seragam diolah dengan metode interpolasi Cressman untuk menghasilkan data pada skala grid yang seragam dan sesuai dengan resolusi model. Data curah hujan dalam skala grid 0.5 derajat lintang-bujur untuk seluruh dunia tersedia pada *Global Rainfall Climatology Center*, GPCC. Kedua set data tersebut digunakan untuk perbandingan dengan keluaran model. Periode data yang digunakan adalah dari tahun 1979 sampai tahun 1993.

Data Input Model

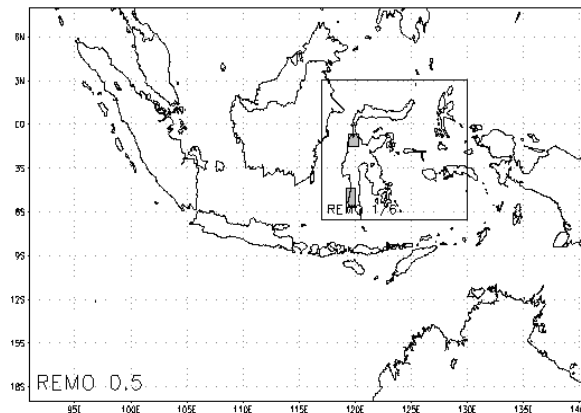
Data yang digunakan untuk menjalankan model REMO adalah data Reanalisis dari Pusat Prediksi Cuaca Jangka Menengah Eropa (ECMWF) periode 15 tahun dari 1979-1993 yang dikenal dengan data ERA-15 (ECMWF Re-Analisis 15 tahun). Perpanjangan data sampai tahun 2002 juga tersedia dengan nama set data ERA-40. Simulasi dengan model REMO dilakukan sampai periode 1999.

Deskripsi Model

Model atmosfer untuk studi iklim regional REMO (*REgional MOdel*), berasal dari model operasional NWP (*Numerical Weather Prediction*) LM, (*Local Model*) yang digunakan untuk prediksi cuaca di badan meteorologi Jerman, DWD. REMO dikembangkan sebagai model untuk studi iklim di *Max Planck Institute for Meteorology* dan *German Climate Computing Center* (DKRZ) Hamburg, Jerman. Uraian lebih lanjut tentang model-model tersebut dapat dilihat pada Gunawan (2006).

Setting Model

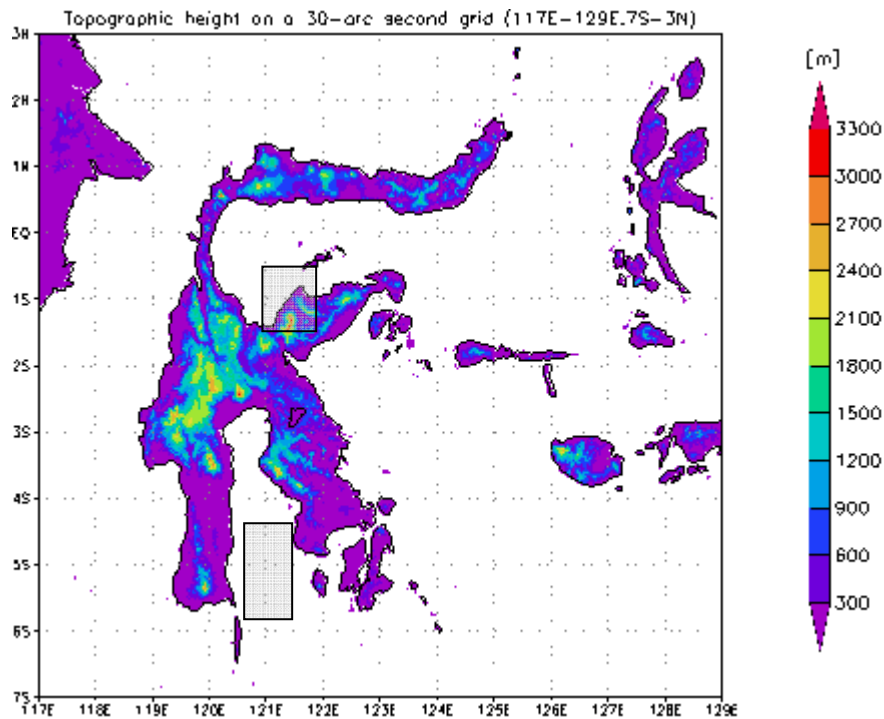
Model di rancang untuk resolusi grid $1/6^\circ$ lintang-bujur atau sekitar 18 km² dengan ranah model meliputi pulau Sulawesi, bagian timur Kalimantan dan kepulauan Maluku (Gambar 1). Batas geografisnya adalah 117° BT; 7° LS sebagai batas kiri bawah dan pada posisi 129° BT; 3° LU sebagai batas kanan atas sehingga membentuk bujur sangkar dengan total grid 73 x 61 atau 4453 titik grid. Model REMO dirancang untuk dijalankan pada supercomputer sebagaimana halnya LM untuk memproduksi NWP. Untuk penelitian di Sulawesi REMO dijalankan pada PC dengan sistim operasi Linux. Dua sub ranah di bagian selatan dan tengah Sulawesi digunakan untuk melihat kemampuan model dalam mensimulasi curah hujan pada kondisi gtopografi yang berbeda. Kedua daerah tersebut diberi kode SS dan ST.



Gambar 1. Ranah model REMO dengan skema penurunan skala dari REMO $1/2^\circ$ (wilayah Indonesia, kotak luar) sampai REMO $1/6^\circ$ yang mencakup pulau Sulawesi (kotak dalam). Dua kotak di dalam kotak kedua adalah sub ranah Sulawesi Selatan (SS) dan Sulawesi Tengah (ST) untuk membandingkan hasil model dan observasi.

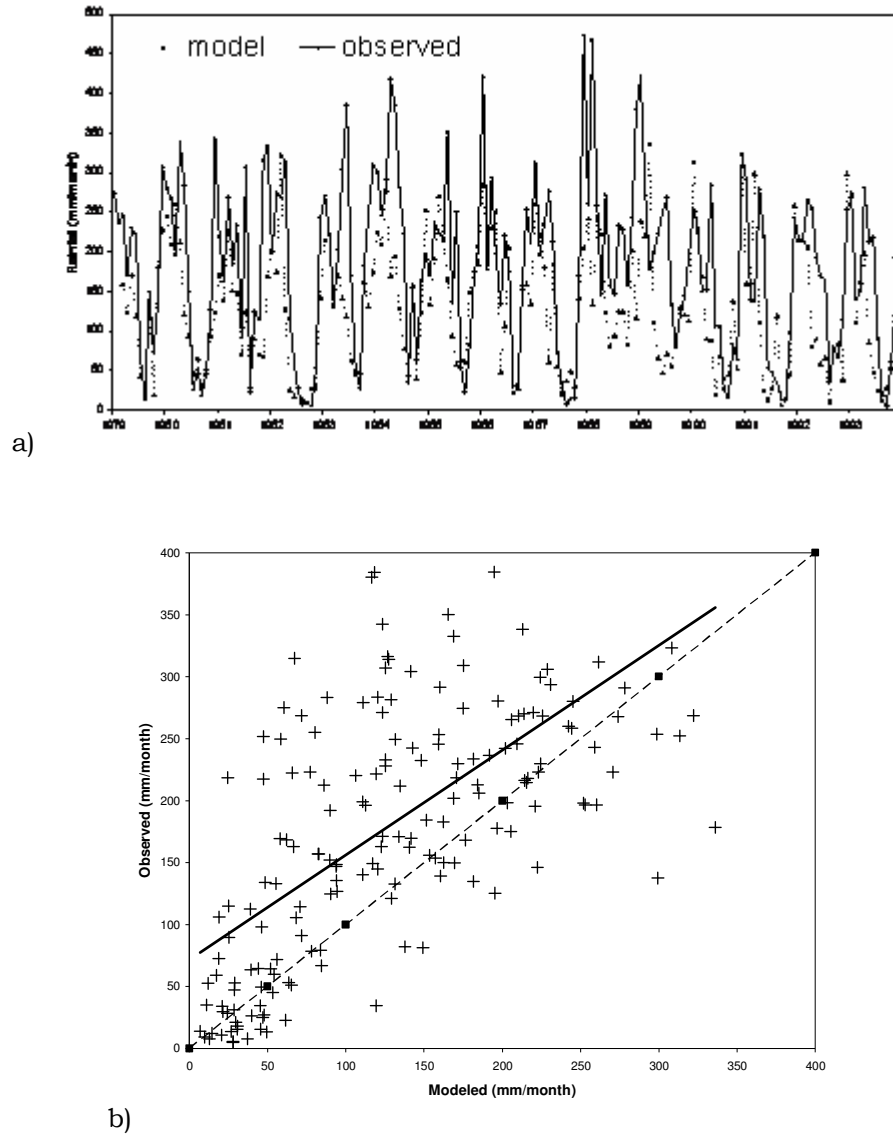
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pulau Sulawesi memiliki bentuk topografi yang bervariasi besar mulai dari selatan yang relatif landai sampai ke bagian tengah pulau yang memiliki beberapa rangkaian pegunungan dengan perubahan ketinggian pada jarak yang relatif pendek. Pembahasan hasil simulasi model REMO di fokuskan pada dua wilayah yang mewakili topografi yang berbeda yaitu di bagian selatan Sulawesi Selatan dan di bagian tengah Sulawesi Tengah (Gambar 2).



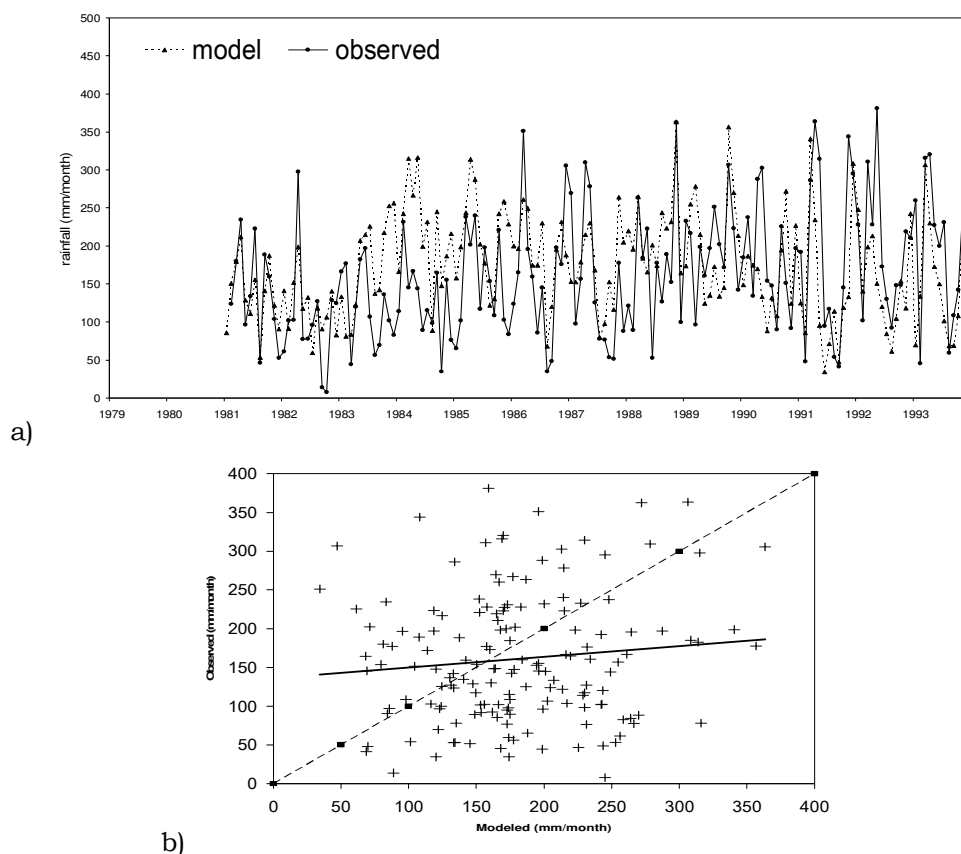
Gambar 2. Topografi ranah model REMO $1/6^\circ$ model domain. Dua bingkai di dalamnya adalah sub ranah di Sulawesi Selatan (SS) dan Sulawesi Tengah (ST)

Hasil simulasi curah hujan yang diakumulasikan secara bulanan dan data pengamatan curah hujan di wilayah SS disajikan pada Gambar 3. Selama periode 15 tahun simulasi diperoleh koefisien korelasi antara model dan observasi sebesar 0.64.

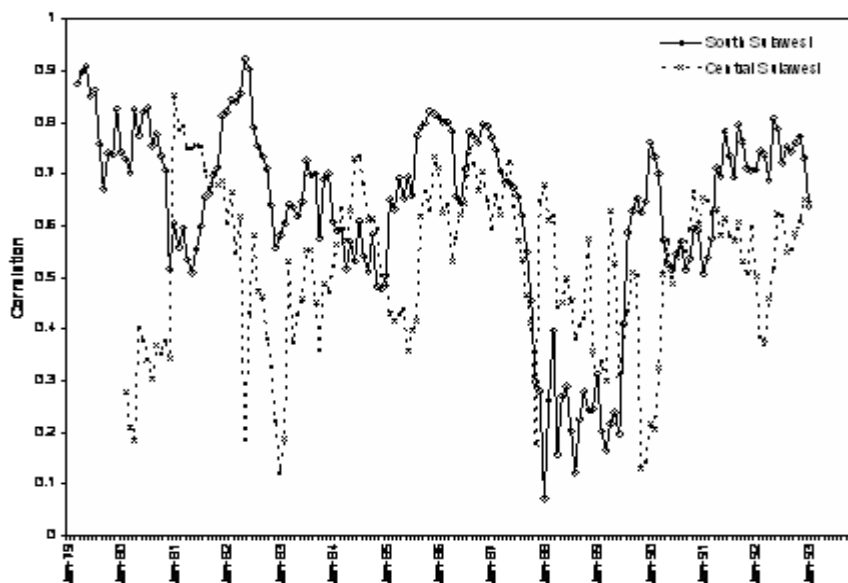


Gambar 3. Curah hujan bulanan (mm/bulan) di sub ranah SS hasil simulasi model REMO dan data obsesrvasi, dalam bentuk grafik garis (a) dan diagram sebaran (b). Garis putus pada gambar (b) adalah garis perbandingan 1:1 dan garis penuh adalah garis kecenderungan linier.

Jumlah curah hujan hasil model dan observasi di wilayah ST disajikan pada Gambar 4. Tampak bahwa curah hujan bulanan di wilayah ST lebih rendah dibandingkan dengan wilayah SS. Hal ini disebabkan di wilayah ST terdapat lembah Palu yang merupakan daerah terkering di Indonesia (Braak, 1929). Curah hujan maksimum hasil simulasi adalah 363 mm/bulan, terjadi pada November 1988, sementara dari data observasi nilai maksimumnya adalah 381 mm/bulan dan terjadi pada bulan May 1992. Karena sub aranaah ST ini memiliki topografi yang sangat bervariasi, hasil perbandingan model dan observasi berkorelasi pada nilai koefisien 0.52. Penyebab rendahnya nilai korelasi ini dapat disebabkan karena pengaruh topografi yang sangat bervariasi sehingga model tidak dapat mensimulasi curah hujan dengan lebih baik begitu juga metode interpolasi data pengamatan stasiun (titik) ke grid masih perlu di perbaiki. Nilai koefisien korelasi tertinggi adalah 0.85 di sub ranah SS. Di wilayah ini REMO mensimulasi curah hujan lebih tinggi Korelasi maksimum adalah 0.85 (Gambar 5).



Gambar 4. Sama seperti Gambar 3 tetapi untuk sub ranah Sulawesi Tengah (ST).

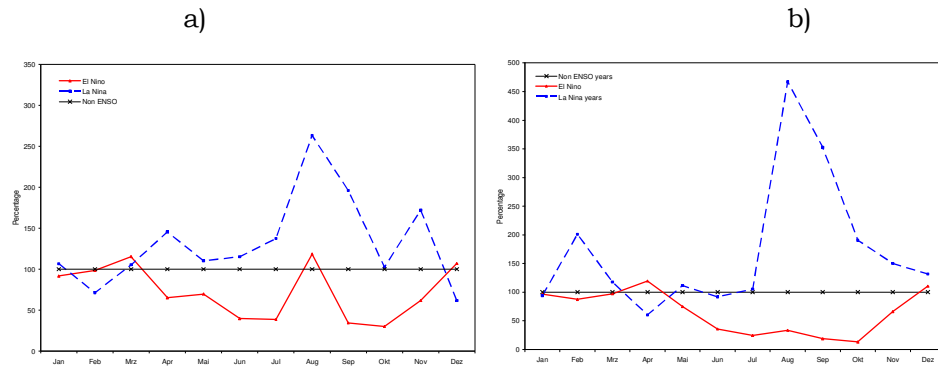


Gambar 5. Koefisien korelasi curah hujan bulanan antara model REMO dan data observasi untuk sub ranah SS (garis penuh) dan sub ranah ST (garis putus). Jendela koefisien korelasi 12 bulan berjalan diletakkan pada awal bulan. Kegunaan korelasi berjalan ini adalah untuk melihat pengaruh ENSO.

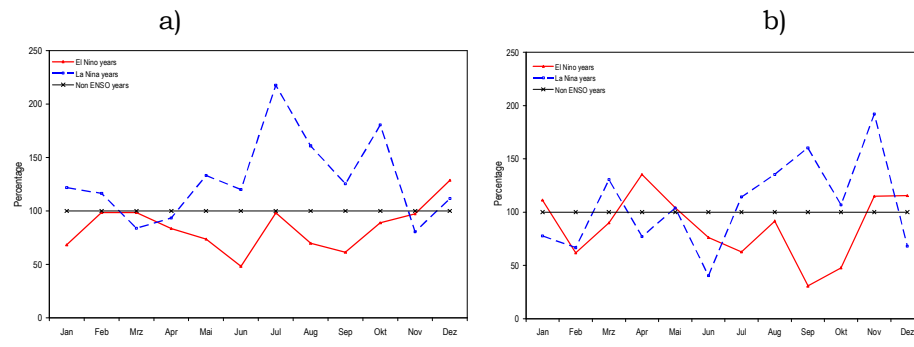
Untuk melihat korelasi yang lebih detail, telah dibuat analisa korelasi bulanan yang berjalan pada jendela 12 bulan selama 15 tahun (Gambar 5). Tampak bahwa sebagian besar koefisien korelasi (86% dari seluruh korelasi 12 bulanan) mempunyai nilai lebih dari 0.50 untuk series data di sub ranah SS. Pada tahun-tahun *El Niño* 1982/1983 dan 1986/1987 nilai koefisien korelasi mencapai 0.80. Kejadian *El Niño* pada kedua waktu tersebut termasuk dalam kategori intensitas kuat. Hal ini terlihat dari indeks bENSO (SOI) yang mencapai nilai -19.5 pada periode tersebut. Pada kondisi normal tanpa ENSO indeks tersebut berada pada kisaran nilai -5 dan 5, pada kondisi ENSO intensitas menengah, tahun-tahun *El Niño (La Niña)* ditunjukkan oleh nilai SOI antara -5 dan -10 (5 dan 10). Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa model REMO dapat mereproduksi jumlah curah hujan yang ekstrim rendah seperti pada tahun 1982, 1987 dan 1992 yang merupakan tahun-tahun *El Niño* dengan intensitas kuat. Sementara itu pada tahun *La Niña* (1988/1989) hasil simulasi REMO lebih rendah dari data observasi (Gambar 3b). Curah hujan maksimum dari model selama periode simulasi adalah 336 mm/bulan yang terjadi pada Maret 1989, sementara dari data observasi curah hujan maksimum terjadi pada bulan Desember 1987 sebesar 473 mm/bulan.

Simulasi Curah Hujan Model REMO Hubungannya Dengan Fenomena ENSO

Untuk mengidentifikasi kejadian ENSO digunakan Multivariat ENSO Indeks (MEI) yang didefinisikan oleh NOAA. Keterangan tentang MEI dapat dilihat pada http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.mei_index.html. Dengan definisi tersebut kejadian *El Niño* adalah pada tahun-tahun 1982, 1987, 1992 dan 1997 sementara peristiwa *La Niña* terjadi pada tahun-tahun 1988, 1989, 1990 and 1999-2000. Grafik curah hujan hasil model dan observasi selama tahun-tahun *El Niño*, *La Niña* dan Non-ENSO untuk sub ranah SS disajikan pada Gambar 6a dan 6b, sementara Gambar 7a dan 7b adalah untuk sub ranah ST.



Gambar 6. Persentase curah hujan di wilayah SS periode 1979 -1993 selama tahun-tahun *El Niño*-, *La Niña*- dan Non-ENSO. a). model REMO, b) observasi.



Gambar 7. Seperti Gambar 6 tapi untuk sub ranah ST.

Kedua pasang gambar tersebut menunjukkan kesamaan pola curah hujan yaitu lebih rendah selama musim kemarau pada tahun *El Niño* dan lebih tinggi selama musim kemarau pada tahun *La Niña*. Bulan-bulan yang dipengaruhi oleh kejadian ENSO adalah pada saat periode

monsoon Australia. Di sub ranah SS periode rendahnya curah hujan sebagai akibat *El Niño* hasil simulasi REMO (Gambar 6a) terjadi dari April - November, sementara data observasi (Gambar 6b) rendahnya curah hujan terjadi dari Mei - November. Curah hujan yang tinggi sebagai dampak *La Niña* hasil simulasi model adalah periode Mei - November sementara hasil observasi ada pada periode Mei - Oktober. Di sub ranah ST curah hujan rendah akibat *El Niño* hasil simulasi terjadi pada periode April - November (Gambar 7a) sementara berdasarkan data pengamatan terjadi pada periode Mei - Oktober (Gambar 7b). Pada kejadian *La Niña*, curah hujan tinggi hasil simulasi terjadi pada periode Mei - Oktober dan dari data observasi curah hujan tinggi terjadi pada periode Juli - November. Secara umum kejadian ENSO hanya berhubungan dengan curah hujan selama periode monsoon Australia termasuk bulan transisinya dan tidak menunjukkan adanya pola korelasi selama monsoon Asia. Hasil penelitian Haylock dan McBride (2001) menunjukkan bahwa curah hujan secara spasial koheren dengan ENSO selama musim kering dan transisi [Juni-Juli-Agustus sampai September-Oktober-November (JJA-SON)] untuk seluruh wilayah Indonesia tetapi tidak koheren secara spasial selama musim hujan [Desember-Januari-Februari (DJF)], dimana tidak ada korelasi signifikan dengan kejadian ENSO. Hasil penelitian yang lain seperti Kirono dan Tapper (1999); McBride *et al.* (1998); Aldrian (2002); Chang *et al.* (2004); Gunawan dan Gravenhorst (2005b); Juneng dan Tangang (2005) memperkuat hasil seperti yang diuraikan tersebut.

Distribusi spasial anomali curah hujan model REMO selama *El Niño* dan *La Niña* untuk kejadian tahun ENSO tertentu disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Peristiwa *El Niño* diwakili oleh tahun 1987 sementara untuk tahun *La Niña* diwakili oleh tahun 1999. Karena bulan-bulan yang dipengaruhi ENSO adalah antara April - Oktober sebagaimana yang didiskusikan sebelumnya, pergerakan distribusi bulan-bulan yang dipengaruhi ENSO hanya disajikan pada periode tersebut. Penyimpangan curah hujan akibat pengaruh ENSO disajikan sebagai perbedaan relatif jumlah curah hujan selama periode ENSO dengan seluruh periode simulasi. Dengan demikian deviasi atau penyimpangan bulanan pada suatu tahun dihitung sebagai berikut :

$$RainAnom_{m,y} = \frac{rain_{m,y} - rain_{m,ave}}{rain_{m,ave}} \times 100$$

dimana,

$RainAnom_{m,y}$ = anomali curah hujan bulan m pada tahun ENSO y ,

$rain_{m,y}$ = jumlah curah hujan pada bulan m pada tahun ENSO y

$rain_{m,ave}$ = curah hujan bulan m rata-rata seluruh periode simulasi REMO.

Anomali curah hujan pada periode pengaruh ENSO secara keseluruhan mempengaruhi jumlah curah hujan tahunan yang mengakibatkan adanya variabilitas antar tahun. Ini adalah ciri dari pengaruh ENSO terhadap curah hujan. Kejadian ENSO mempengaruhi atmosfer lebih dari setengah tahun sebab tidak hanya merubah intensitas hujan tetapi juga memperpanjang periode musim. Oleh karena itu sangat beralasan untuk membandingkan jumlah curah hujan untuk seluruh tahun. Variasi curah hujan tahunan untuk simulasi model REMO dan data observasi GPCC pada periode 1986 sampai 1999 di Sulawesi disajikan pada Gambar 8. Variasi antar tahun akibat pengaruh ENSO jelas teramati pada gambar tersebut. Misalnya pada tahun *La Niña* 1999, adalah tahun terbasah diantara tahun-tahun kejadian *La Niña* seperti tahun 1988 dan 1996 dan tanpak baik pada data REMO maupun GPCC. Tahun-tahun kering yang berkaitan dengan *El Niño* terjadi selama periode tahun 1987, 1991-1994 dan 1997.

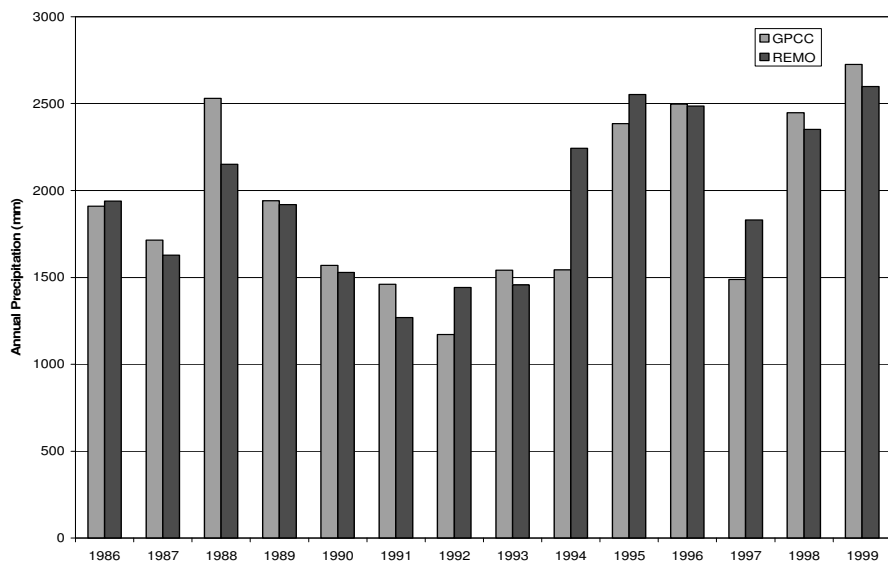
Perbedaan terbesar jumlah curah hujan untuk seluruh Sulawesi antara REMO dan GPCC terjadi pada tahun 1994. Untuk periode ini REMO menghitung curah hujan mencapai 700 mm/tahun lebih banyak dari GPCC. Situasi yang sama terjadi untuk tahun *El Niño* 1997 dengan perbedaan 341 mm. Perbedaan terkecil terjadi tahun 1996 sebesar 12 mm. Model REMO menghitung curah hujan dibawah nilai untuk sebagian besar curah hujan tahunan selama periode 1986 -1999 (lihat Tabel 1).

Tabel 1: Perbedaan curah hujan tahunan (mm) antara GPCC dan model REMO

Year	GPCC	REMO	REMO-GPCC
1986	1910	1940	29
1987	1714	1628	-86
1988	2531	2152	-379
1989	1940	1919	-22
1990	1569	1529	-40
1991	1461	1270	-191
1992	1171	1442	271
1993	1542	1456	-86
1994	1543	2243	701
1995	2384	2553	169
1996	2498	2486	-12
1997	1489	1830	341
1998	2448	2352	-96
1999	2724	2598	-126

Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan tahunan selama periode simulasi (1980 – 1999) adalah 1957 mm dari hasil model REMO dan sebesar 1923 mm dari data observasi (GPCC). Rata-rata curah hujan tahunan selama tahun *El Niño* adalah 1714 mm untuk model

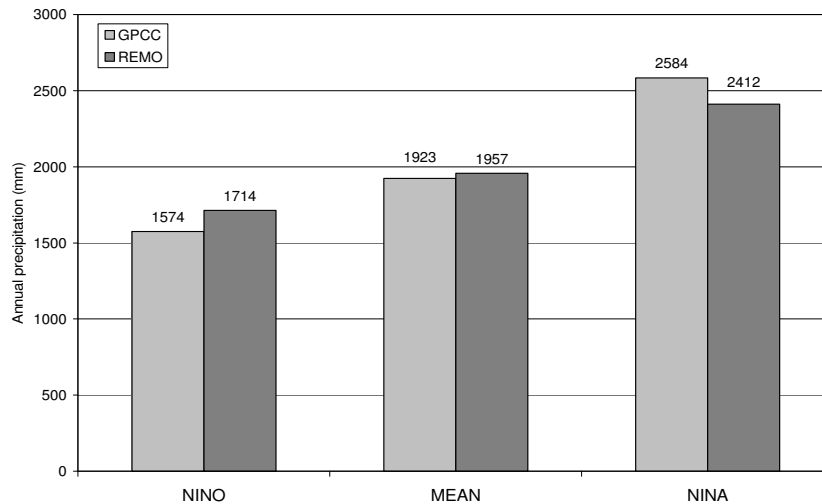
REMO dan 1574 mm untuk observasi. Pada seluruh tahun *La Niña* curah hujan tahunan rata-rata hasil model REMO adalah 2412 mm dan dari observasi adalah 2584 mm. Dengan kata lain pada tahun *El Niño* (*La Niña*) curah hujan model REMO berjumlah lebih tinggi (rendah) dibanding data observasi GPCC. Seluruh situasi variabilitas curah hujan yang berhubungan dengan kejadian ENSO tersebut dirangkum pada Gambar 9. Pada tahun *El Niño* yang relatif lebih kering model REMO *overestimated* jumlah curah hujan dibandingkan dengan GPCC. Selama tahun-tahun *La Niña* yang relatif lebih basah model REMO *underestimated* jumlah curah hujan dibandingkan dengan curah hujan dari GPCC. Ini menunjukkan bahwa model REMO mampu menangkap kecenderungan dari tahun ke tahun secara benar; tetapi ia cenderung *underestimate* tingkat anomali curah hujan akibat kejadian ENSO dibandingkan dengan data observasi pengamatan titik yang dikembangkan ke skala grid. Penyebab kondisi tersebut adalah cara parameterisasi curah hujan yang tidak dapat menguraikan kondisi ekstrim basah dan kering.



Gambar 8. Curah hujan tahunan (mm/tahun) hasil simulasi model REMO (warna gelap) dan data observasi dari data set (GPCC, warna terang) periode 1986 sampai 1999 untuk seluruh daratan Sulawesi.

Sebagai model dengan pendekatan hydrostatic, REMO $1/6^\circ$ tidak memperhitungkan kecepatan vertikal dalam hal pengangkatan masa udara yang membentuk curah hujan. Kecepatan vertikal dapat menjadi faktor signifikan dalam proses konveksi yang intensif seperti di daerah tropik dan terjadi pada kondisi ekstrim seperti saat peristiwa *La Niña*. Di

sub ranah SS awal periode rendahnya curah hujan akibat *El Niño* pada model REMO adalah satu bulan lebih awal dibandingkan data observasi. Periode curah hujan tinggi yang ditunjukkan oleh tahun *La Niña* pada model REMO adalah satu bulan lebih panjang dari pada data observasi. Di sub ranah ST model REMO memiliki pola bulanan yang jelas dengan rendah (tinggi) curah hujan sebagai akibat dari *El Niño* (*La Niña*) selama musim kemarau sementara dari data observasi polanya hanya tampak pada periode yang pendek selama musim kemarau.



Gambar 9. Curah hujan tahunan (mm/tahun) pada kejadian ENSO. Bagian kiri adalah tahun-tahun *El Niño*, bagian tengah adalah rata-rata seluruh periode simulasi dan bagian kanan adalah tahun-tahun *La Niña*. Grafik warna gelap adalah hasil simulasi model REMO dan warna terang adalah data observasi dari GPCC.

KESIMPULAN

Model iklim regional REMO dengan resolusi 1/6 derajat atau sekitar 18 km resolusi horisontal untuk simulasi jumlah curah hujan selama periode 1979 sampai 1999 untuk ranah Sulawesi. Dari studi ini tampak bahwa model atmosfer REMO 1/6° mensimulasi variasi curah hujan bulanan yang sesuai dengan data observasi. Dengan demikian curah hujan dapat dijadikan indikator keberhasilan *performance* model. Di sub ranah SS korelasi 12 bulan berjalan mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan sub ranah ST. Dengan membandingkan antara dua sub ranah yang mempunyai topografi berbeda telah menunjukkan bahwa model REMO mensimulasi curah hujan lebih

mendekati dengan nilai observasi di daerah yang relatif lebih datar seperti di sub ranah SS dibandingkan dengan daerah yang memiliki bentuk topografi bergelombang seperti di sub ranah ST. Terdapat bias dari Model baik secara temporal maupun spasial.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. 2002. Spatial patterns of ENSO impact on Indonesian rainfall. *J. Sains & Tek. Mod. Cuaca, BPP Teknologi* 3:5-15.
- Aldrian, E. 2003. Simulations of Indonesian rainfall with a Hierarchy of Climate Models. Examensarbeit Nr. 92, [Available from Max-Planck - Institut für Meteorologie, Bundesstrasse 55, D-20146, Hamburg, Germany.], 159 pp.
- Aldrian, E., L. Dümenis-Gates, D. Jacob, R. Podzum and D. Gunawan. 2004. Long-term simulation of Indonesian rainfall with the MPI-M regional model. *Climate Dynamic* 22: 975-814.
- Braak, C. 1929. The Climate of the Netherlands Indies. Vols. I and II. *Verhandelingen No. 8, Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia*, 1602 pp.
- Chang, C-P., Z. Wang, J. Ju, and T. Li. 2004. On the relationship between western maritime continent monsoon rainfall and ENSO during northern winter. *J.Climate* 17:665-672.
- Gunawan, D. 2006. Atmospheric Variability in Sulawesi, Indonesia-Regional Atmospheric Model Results and Observations. Georg-August University. Goettingen. Germany. 132 pp.
- Gunawan, D., and G. Gravenhorst. 2005a. Die Auswirkung von ENSO auf Niederschläge in Zentral-Sulawesi, Indonesien. German Climate Research Program, Final Symposium.
- Gunawan, D., and G. Gravenhorst. 2005b. Correlation between ENSO indices and Indonesian rainfall, *Journal Meteorologi dan Geofisika*, Accepted.
- Haylock, M., and J. McBride. 2001. Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall, *J. Clim.* 14:3882-3887.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local air-sea interaction. *J.Clim.* 16 (11):1775-1790.
- IPCC. 2007. Climate Change. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

- Juneng, L., and F. T. Tangang. 2005. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in Southeast Asia region and its relationship with atmosphere-ocean variations in Indo-Pacific sector, *Climate Dynamics*, 25: 337-350.
- Kirono, D.G.C., and N.J. Tapper. 1999. ENSO rainfall variability and impacts on crop production in Indonesia, *Physical Geography*, 20(6): 508-519.
- McBride, J., W. Drosowsky, D.G.C. Kirono, D. Gunawan, Soetamto, and P.A. Winarso. 1998. Interannual Variability of the Indonesia Monsoon. Extended Abstracts of the International Conference on Monsoon and Hydrologic Cycle. Kyongju, Korea: Korean Meteorological Society.
- Ropelewski, C.F., and M.S. Halpert. 1987. Global and regional scale rainfall pattern associated with the El Niño Southern Oscillation (ENSO), *Mon. Wea. Rev.* 115:1606 - 1626.
- Slingo, J., P. Innes, R. Neale, S. Woolnough, and G-Y. Yang. 2003. Scale interactions on diurnal to seasonal timescales and their relevance to model systematic errors, *Annals of Geophysics* 46:139 - 155.

I.

KAJIAN KONTRIBUSI RUANG TERBUKA HIJAU (RTH), KEPADATAN POPULASI, RUANG TERBANGUN (RTB) DAN KEPADATAN KENDARAAN TERHADAP URBAN HEAT ISLAND JABOTABEK

Sobri Effendy dan Imam Santosa

Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB

Abstract

The aim of this study is to estimate the contribution of various forcing, urban green space, population density, urban area, and automobile density to urban heat island using Landsat data. Air temperature series are derived from Landsat data, including the NDVI which is used as the bases for generating urban green space of the study area. Principal Component Analysis is utilized in order to establish the relative importance of forcing variables on urban heat island; in order to simplify the structure of factor loadings a varimax rotation is carried out. Automobile density is found to be the most important cause of urban heat island in Jakarta, the increase of developed area is the mayor factor of urban heat island in Bogor, on the other hand, a decreased urban green space is the most force factor in Tangerang and Bekasi.

Key words: urban green space, urban heat island, temperature humidity index, jabotabek

PENDAHULUAN

Ruang Terbuka Hijau (RTH) JABOTABEK berkurang 23% selama periode 1972-1997. Dalam periode yang sama terjadi peningkatan ruang terbangun (RTB) sebesar 23% (Zain, 2002). Pengurangan RTH diduga salah satu penyebab peningkatan suhu udara. Peningkatan suhu udara perkotaan merupakan fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yakni peningkatan suhu udara perkotaan (*urban*) dibandingkan wilayah *suburban* dan *rural*.

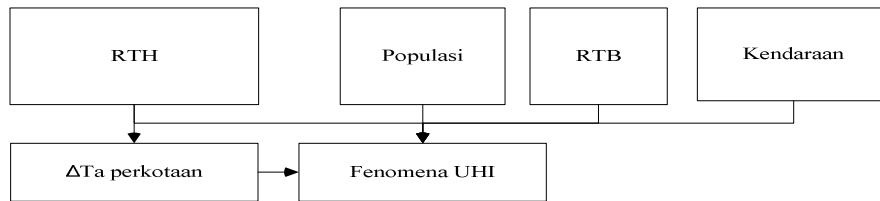
Kajian UHI dengan pendekatan analisis data stasiun cuaca telah dilakukan oleh Hidayati (1990); Karyoto *et al.* (1992); Adiningsih (1997) dan Santosa (1998) didapatkan suhu udara kota Jakarta lebih tinggi 0.02-1.0 °C dibandingkan wilayah *suburban/rural*. Dalam studi yang bertema keterkaitan RTH dan UHI di wilayah JABOTABEK dilakukan analisis dengan menggunakan data penginderaan jauh. Kelebihan penginderaan jauh dalam hal penyediaan data spasial rapat dengan akurasi baik serta cakupan wilayah yang luas telah dibuktikan oleh Streutker (2003). Sehingga keterbatasan jumlah stasiun cuaca konvensional secara spasial

dapat ditutupi dengan penggunaan penginderaan jauh. Keunggulan lainnya dalam hal tersedianya multikanal, sehingga untuk sekali pengambilan data dapat dikeluarkan beberapa parameter secara bersamaan, dengan demikian penentuan hubungan keterkaitan antara RTH dan suhu udara menjadi potensial sebagai bahan kajian.

Keterkaitan RTH dengan UHI dibuktikan oleh Oke (1998) dan McPherson (2000), keterkaitan kepadatan populasi dengan UHI dikaji oleh Stalling (2004) dan Pongracz *et al.*(2005), keterkaitan peningkatan ruang terbangun (RTB) dengan UHI dikemukakan oleh Belaid (2003) dan Weng (2003) serta keterkaitan kepadatan kendaraan dengan UHI diungkap oleh Adiningsih (1997) serta Yani dan Effendy (2003). Keberadaan RTH, populasi, RTB dan kepadatan kendaraan masing-masing secara terpisah terbukti sebagai penyebab UHI. Perlu ditelaah lebih jauh bagaimana kontribusi pengurangan RTH, kepadatan populasi, peningkatan luasan RTB dan kepadatan kendaraan bila dikaji secara bersamaan. Sehingga dapat ditelaah lebih jauh kontributor paling dominan dari ke empat peubah yang secara terpisah berperan besar terhadap UHI.

Pemilihan kajian pada wilayah JABOTABEK berdasarkan pada potensi terjadinya UHI lebih besar dan sebagai pusat pemerintahan serta sebagai aset nasional bangsa, diharapkan keluaran hasil penelitian bernilai strategis.

Berdasarkan uraian di atas, disusunlah kerangka pemikiran kajian kaitan RTH dengan UHI seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran kontribusi RTH, kepadatan populasi, RTB dan kepadatan kendaraan terhadap UHI JABOTABEK

Berdasarkan Gambar 1 dapat dijelaskan kerangka pemikiran penelitian didasarkan pada keberadaan RTH pada skala mikro memiliki fungsi ekologis dalam hal mengatur suhu udara, sehingga setiap kebijakan mengubah RTH akan mengubah suhu udara. Kajian suhu udara pada wilayah perkotaan merupakan fenomena UHI. Fenomena UHI berdasarkan kajian pustaka disebabkan banyak faktor, selain RTH. Faktor lain tersebut diantaranya kepadatan populasi, luasan RTB dan kepadatan kendaraan.

Permasalahan yang muncul dari kerangka pemikiran tersebut adalah: Bagaimana kontribusi RTH, peningkatan kepadatan populasi, RTB dan kepadatan kendaraan terhadap UHI? Penelitian diarahkan untuk menjawab permasalahan tersebut.

Adapun tujuan yang hendak dicapai sebagai berikut: Mengkaji kontribusi RTH, kepadatan populasi, RTB dan kepadatan kendaraan terhadap UHI

Luaran yang diharapkan dari penelitian adalah untuk:

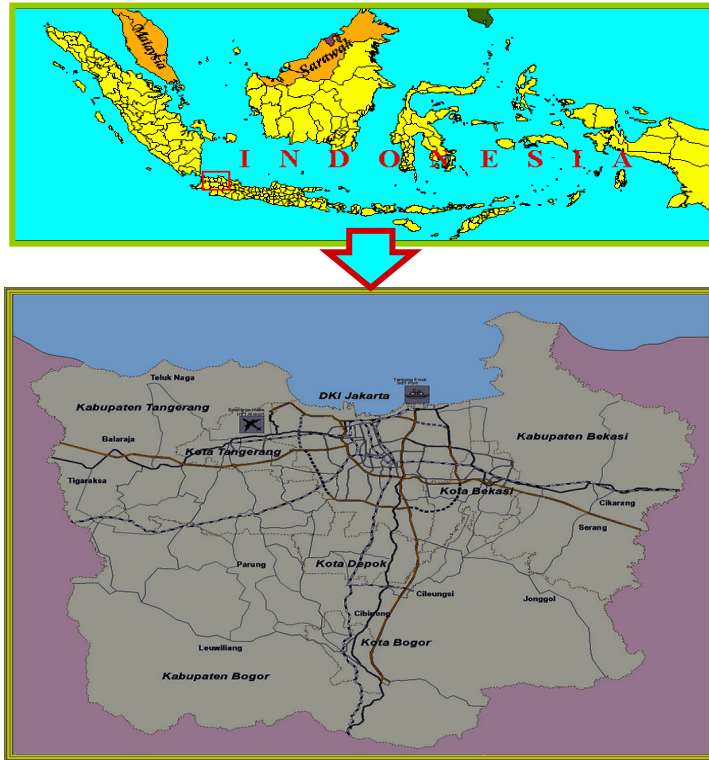
1. Memperkaya pengetahuan bidang klimatologi terapan khususnya keterkaitan UHI JABOTABEK dengan RTH, RTB, kepadatan populasi dan kendaraan.
2. Mengungkap potensi pemanfaatan penginderaan jauh, khususnya data Landsat dalam kajian Klimatologi Terapan.
3. Masukan bagi pengambil kebijakan dan instansi terkait tentang pentingnya mempertahankan luasan RTH untuk menekan terjadinya UHI.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian meliputi dua tahapan: Tahap pertama kajian pustaka dimulai periode Juni 2005 hingga Desember 2005. Tahap kedua pengumpulan, pengolahan, analisis, interpretasi, kalibrasi dan verifikasi data serta penulisan laporan dimulai Januari 2006 hingga Juli 2007 di Laboratorium Meteorologi dan Pencemaran Atmosfer, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA-IPB. Wilayah kajian melingkupi JABOTABEK (tiga provinsi: DKI Jakarta, Jawa Barat dan Banten) seperti terlihat pada Gambar 2.

Wilayah JABOTABEK seperti yang tersaji pada Gambar 2 meliputi empat kota besar Jakarta, Bogor, Tangerang dan Bekasi dan tiga Kabupaten yakni, Bogor, Tangerang dan Bekasi. Jadi secara administrasi meliputi tujuh wilayah otonomi (termasuk Depok). Wilayah JABOTABEK meliputi 6 752 km², merupakan metropolitan terbesar di Indonesia.



Gambar 2. Wilayah studi

Alat dan Bahan

Seperangkat PC sebagai instrumen untuk menganalisis dan mengekstrak data NDVI, RTH, suhu permukaan, neraca energi, suhu udara dan THI.

Bahan – bahan yang digunakan antara lain:

- Citra Landsat *path/raw* : 122/64-65 (JABOTABEK) akuisisi 1 Juli 1991, 20 Juli 1997 serta 23 Juli 2004 digunakan sebagai bahan untuk diekstraks menjadi data NDVI, RTH, suhu permukaan, neraca energi, suhu udara, serta THI. Sebagai penelitian lanjutan pemilihan Landsat mengikuti penelitian terdahulu yakni 1972, 1983, 1991, dan 1997. Sebagai tambahan data adalah Landsat 2004, merupakan tahun terakhir dari data Landsat yang tersedia (saat penelitian berlangsung).
- Peta spasial administrasi JABOTABEK skala 1: 25.000 digunakan sebagai bahan *cropping* atau pemotongan wilayah kajian.
- Data jumlah penduduk dan kendaraan di JABOTABEK periode 1970-2004 digunakan sebagai input data analisis regresi berganda.

- Data suhu udara periode 1970-2004 wilayah JABOTABEK sebagai data referensi dan kalibrasi hasil estimasi suhu udara Landsat, serta data suhu udara 2005 sebagai bahan verifikasi model. Stasiun yang tersedia di wilayah JABOTABEK meliputi 12 stasiun iklim.

Metode Penelitian

Ekstraksi Citra Landsat

- Ekstraksi citra Landsat untuk mendapatkan data RTH, RTB dan suhu udara perkotaan serta besaran UHI.
- Pemotongan citra dengan menggunakan peta digital administrasi JABOTABEK, pada kanal 3 dan 4 dilakukan ekstraksi nilai NDVI dengan menerapkan Rumus: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$.
- Berdasarkan Persamaan yang didapatkan Zain (2002): $Persen\ RTH = 382.4\ NDVI + 20.793$, data RTH (%) dibangkitkan sebagai peubah prediktor.
- Pada kanal 1, 2 dan 3 diekstrak neraca energi sehingga didapatkan nilai-nilai $R_s\ in$, $R_s\ out$ dan $R_l\ in$, $R_l\ out$ sehingga didapat R_n , G , H dan LE .
- Pada kanal 6 diekstrak nilai suhu permukaan.
- Berdasarkan suhu permukaan dan fluks energi H diekstrak nilai suhu udara (T_a). Agar sesuai dengan data observasi dari 12 stasiun iklim dilakukan kalibrasi terhadap suhu udara hasil ekstraksi, dengan cara analisis regresi.

Adapun tahapan dan rumus-rumus yang digunakan untuk mendapatkan data suhu udara adalah sebagai berikut:

1. Pendugaan Suhu Permukaan (Surface Temperature)

Estimasi suhu permukaan dari citra Landsat menggunakan kanal enam pada kisaran panjang gelombang 10.40 hingga 12.50 μ m, dikenal sebagai kanal *thermal infrared*. Konversi *Brightness Temperature* (T_B) ke suhu permukaan (T_s) Persamaan yang digunakan merupakan persamaan yang ditentukan pertama kali oleh Artis dan Canahan (1982) serta Weng (2001):

$$T_s = \frac{T_B}{1 + \frac{\lambda T_B}{\rho} \times \ln \epsilon} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- T_s = Suhu permukaan (K)
- λ = Panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan sebesar

- λ = 11,5 μm nilai tengah dari kanal 6
- δ = hc/σ (besarnya = 1.438×10^{-2} mK)
- H = Konstanta Planck's (6.26×10^{-34} J sec)
- C = Kecepatan cahaya (2.998×10^8 m.sec⁻¹)
- Σ = Konstanta Stefan-Boltzman (1.38×10^{-23} JK⁻¹)
- E = Emisivitas objek, untuk lahan RTH=0.95 sedangkan non-RTH=0.92 (Weng, 2001)
- T_B = Suhu kecerahan (*brightness temperature*)

2. Penentuan Neraca Energi:

Radiasi Netto dan Albedo

Radiasi netto mempunyai rumus sebagai berikut:

$$R_n = R_{s\ in} - R_{s\ out} + R_{l\ in} - R_{l\ out} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\ in} + \epsilon_a \sigma T_a^4 - 0.7(1 + 0.17N^2) - \epsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- R_n : Radiasi netto (Wm⁻²)
- R_{s in} : Radiasi gelombang pendek yang datang (Wm⁻²) ekstraksi Landsat
- R_{s out} : Radiasi gelombang pendek yang keluar (Wm⁻²)
- R_{l in} : Radiasi gelombang panjang yang datang (Wm⁻²)
- R_{l out} : Radiasi gelombang panjang yang keluar (Wm⁻²)
- α : Albedo permukaan (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
- T_s : Suhu permukaan (K) (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
- T_a : Suhu udara (K) (diduga dari ekstraksi Landsat)
- ϵ : Emisivitas permukaan (Weng, 2001)
- ϵ_a : Emisivitas udara ($0.938 \times 10^{-5} T_a^2$ K⁻²)
- σ : Tetapan Stefan-Boltzman (5.67×10^{-8} Wm⁻² K⁻⁴)
- N : Faktor keawanan (%), pada kondisi cerah=0

Albedo (α) merupakan perbandingan radiasi gelombang pendek yang dipantulkan permukaan dengan radiasi radiasi gelombang pendek yang datang pada permukaan tersebut dirumuskan sebagai:

$$\alpha = \frac{R_{s\ out}}{R_{s\ in}} \dots\dots\dots(4)$$

Radiasi gelombang pendek yang diterima permukaan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan berikut:

$$R_{s\ in} = \frac{R_{s\ out}}{\alpha} \dots\dots\dots(5)$$

Radiasi gelombang panjang yang dipantulkan (R_{out}) dapat diturunkan dari persamaan Stefan-Boltzman, dimana ϵ = emisivitas, T_s merupakan Suhu permukaan objek (K) dan σ = Tetapan Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$):

$$R_{out} = \epsilon \sigma T_s^4 \dots\dots\dots (6)$$

Radiasi gelombang panjang yang datang (R_{in}) merupakan emisi dari atmosfer, uap air dan awan diperhitungkan dengan menggunakan persamaan: $R_{in} = \epsilon_a \sigma T_a^{0.7} (1 + 0.17 N^2)$ dapat juga menggunakan persamaan Stull (1995):

$$R_{in} = R_{netto} - R_{out} = 98.5(1 - 0.1\sigma H - 0.3\sigma M - 0.6\sigma L) - R_{out}$$

Di mana σH , σM dan σL adalah persentase penutupan awan tinggi, menengah dan rendah. Karena data Landsat yang diolah cerah tanpa awan, sehingga persamaan menjadi:

$$R_{in} = 98.5 - R_{out} \dots\dots\dots (7)$$

Di mana 98.5 adalah konstanta dengan satuan Wm^{-2} .

Fluks panas tanah, Allen *et al* (2001) dan Chemin (2003) menghitung *soil heat flux* dari radiasi netto, suhu permukaan, albedo dan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sebagai berikut:

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

- G : Fluks energi untuk memanaskan permukaan secara konduksi (Wm^{-2})
- R_n : Radiasi netto (Wm^{-2})
- T_s : Suhu permukaan (K) (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
- α : Albedo permukaan (diturunkan dari ekstraksi Landsat)
- NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index* (diturunkan dari ekstraksi Landsat)

Fluks Panas Udara (*Sensible Heat Flux*):

$$H = \frac{\beta(R_n - G)}{1 + \beta} \dots\dots\dots (9)$$

Fluks panas laten (*latent heat flux*), disingkat fluks LE:

$$\lambda E = R_n - G - H \dots\dots\dots(10)$$

Suhu udara diduga dari nilai *sensible heat flux* (Montheith dan Unsworth 1990):

$$H = \frac{\rho_{air} C_p (T_s - T_a)}{r_{aH}} \dots\dots\dots(11)$$

Berdasarkan persamaan 11, dapat ditentukan persamaan untuk menduga suhu udara (T_a) sebagai:

$$T_a = T_s - \left[\frac{H \times r_{aH}}{\rho_{air} \times C_p} \right] \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

- H = Fluks pemanasan udara (Wm^{-2})
- ρ_{air} = Kerapatan udara lembab (1.27 kg m^{-3})
- C_p = Panas spesifik udara pada tekanan konstan ($1004 \text{ J Kg}^{-1}K^{-1}$)
- T_s = Suhu permukaan (K)
- T_a = Suhu udara (K)
- r_{aH} = Tahanan aerodinamik (sm^{-1}) Rosenberg (1974):
 $r_{aH} = 31.9 \times u^{-0.96}$ u: kecepatan angin normal pada ketinggian
 1-2 m untuk RTB= 1.79 ms^{-1} dan RTH= 1.41 ms^{-1}

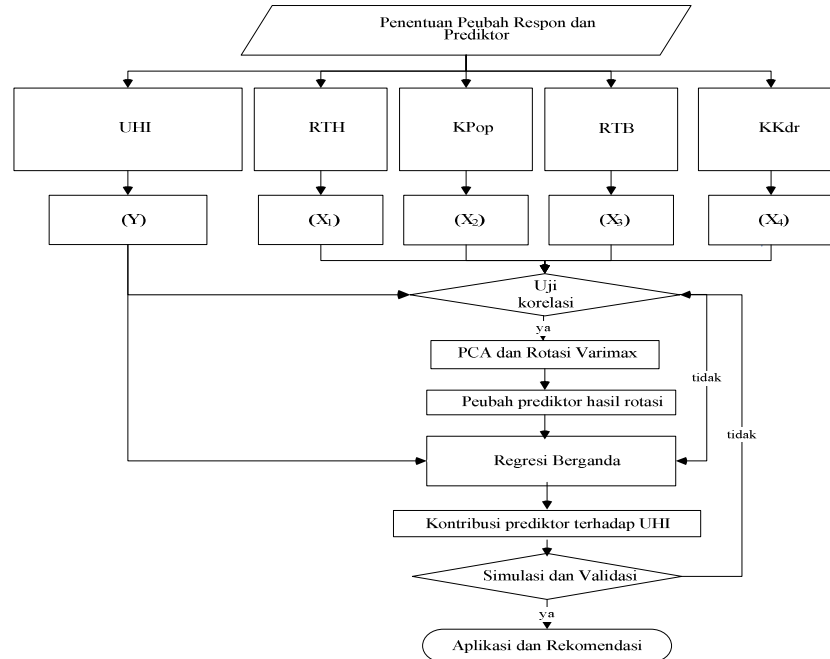
Adapun bentuk model persamaan regresi berganda sebagai berikut:

$$Y_i = f(X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}, \epsilon_i) \dots\dots\dots(13)$$

Di mana Y_i merupakan peubah respon (UHI), merupakan fungsi dari peubah prediktor (X) satu hingga ke n ($n=4$), dan ϵ_i (sisaan atau *error*). Adapun penentuan bentuk akhir persamaan regresi ditetapkan melalui langkah-langkah pengujian:

- a. Uji plot tebaran data (*scatterplot matrix*) dilakukan secara simultan sehingga tidak hanya pola hubungan antara Y dengan masing-masing X_i tetapi juga pola hubungan antar peubah X_i . Karena ada korelasi nyata antara peubah prediktor dilakukan metode *Principal Components Analysis* (PCA). Kemudian dilakukan rotasi *varimax*, untuk mengetahui kontribusi peubah prediktor.
- b. Simulasi dan validasi, bertujuan untuk melihat kecenderungan UHI di masa mendatang yaitu tahun 2005, 2015 dan 2025. Untuk simulasi tahun 2005 sekaligus validasi dengan membandingkan antara nilai simulasi dengan hasil pengukuran (observasi lapang)

pada lokasi dan tahun yang sama. Validasi dilakukan dengan cara visual serta ditentukan besarnya korelasi atau koefisien determinasi antara keduanya. Bila hasil validasi baik dicirikan oleh besarnya koefisien determinasi maka persamaan terpilih dapat diaplikasikan dan direkomendasikan pada berbagai pihak terkait. Secara grafis uraian metodologi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir kajian kontribusi RTH, kepadatan populasi, RTB dan kepadatan kendaraan terhadap UHI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis korelasi disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa antar peubah prediktor terdapat korelasi sangat nyata (*multicolinearity*). Karena itu analisis dilanjutkan dengan analisis komponen utama (PCA), untuk mengatasi masalah *multicolinearity*. Berdasarkan Tabel 1 terlihat pula bahwa korelasi UHI dengan keempat peubah prediktor juga relatif besar antara 71-87%.

Hasil analisis PCA disajikan pada Tabel 2. Berdasar Tabel 2 jumlah peubah baru (komponen utama) diputuskan pada dua peubah baru, namun mampu menjelaskan keragaman total peubah asal dengan maksimal yakni sebesar 99%.

Tabel 1. Hasil uji korelasi antar peubah empat kota JABOTABEK

Peubah	UHI	RTH	Kepadatan Populasi	RTB
Kota Jakarta				
• RTH	-0.870**			
• Kepadatan Populasi	0.768**	-0.966**		
• RTB	0.869**	-1.000**	0.967**	
• Kepadatan Kendaraan	0.871**	-0.971**	0.855**	0.970**
Kota Bogor				
• RTH	-0.781**			
• Kepadatan Populasi	0.719**	-0.928**		
• RTB	0.721**	-0.978**	0.935**	
• Kepadatan Kendaraan	0.713**	-0.972**	0.962**	0.992**
Kota Tangerang				
• RTH	-0.834**			
• Kepadatan Populasi	0.785**	-0.953**		
• RTB	0.788**	-0.969**	0.956**	
• Kepadatan Kendaraan	0.766**	-0.938**	0.975**	0.984**
Kota Bekasi				
• RTH	-0.871**			
• Kepadatan Populasi	0.768**	-0.890**		
• RTB	0.836**	-0.981**	0.921**	
• Kepadatan Kendaraan	0.772**	-0.828**	0.976**	0.846**

Keterangan: ** : sangat nyata pada taraf $\alpha=1\%$

Hasil analisis rotasi *varimax* mampu membuat kontribusi setiap peubah asal terlihat saling mendominasi, meskipun perbedaan dominasi tidak berbeda jauh. Secara singkat besarnya kontribusi prediktor terhadap UHI disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, nilai dominasi peubah prediktor terhadap UHI, secara persentase relatif tidak berbeda jauh, hal ini disebabkan korelasi antar peubah prediktor sangat nyata, sehingga metode rotasi *varimax* hanya mampu menonjolkan dominasi peubah yang satu dari yang lain dengan perbedaan relatif kecil.

Tabel 2. Korelasi antar peubah baru dengan peubah asal dan total ragamnya untuk empat kota JABOTABEK

Peubah	Z' ₁	Z' ₂	Total
Kota Jakarta			
• KKdr	86	-52	
• RTH	-72	70	
• RTB	71	-71	
• KPop	52	-86	
• Ragam	2.0211	1.9742	3.9953
• Persen Ragam	50	49	99
Kota Bogor			
• RTH	-82	56	
• RTB	81	-56	
• KKdr	76	-65	
• KPop	57	-82	
• Ragam	2.2315	1.7365	3.9680
• Persen Ragam	56	43	99
Kota Tangerang			
• KKdr	82	-57	
• KPop	77	-62	
• RTB	72	-68	
• RTH	-58	81	
• Ragam	2.1315	1.8223	3.9538
• Persen Ragam	53	46	99
Kota Bekasi			
• RTH	-87	48	
• RTB	85	-52	
• KPop	59	-81	
• KKdr	46	-89	
• Ragam	2.0366	1.9325	3.9691
• Persen Ragam	51	48	99

Tabel 3. Kontribusi peubah prediktor dalam persen terhadap UHI

No.	PEUBAH	JKT	BGR	TGR	BKS	RATAAN
1	RTH	20	14	19	23	19.0
2.	KPop	17	13	16	19	16.3
3.	RTB	19	15	18	22	18.5
4.	KKdr	22	14	16	17	17.3
5	Total	78	56	69	81	71.0

Berdasarkan Tabel 3, untuk Jakarta, peningkatan UHI seiring dengan meningkatnya kepadatan kendaraan, diikuti oleh peubah pengurangan RTH, penambahan RTB dan kepadatan populasi. Padatnya kendaraan mendominasi UHI di Jakarta didukung oleh hasil analisis Ernawi (2007) bahwa laju peningkatan kendaraan kota Jakarta untuk berbagai jenis kendaraan bermotor meningkat dengan laju 11% pertahun,

peningkatan untuk dua tahun terakhir didominasi oleh kendaraan roda dua. Sektor transportasi perkotaan pada beberapa kajian (Purnomohadi, 1995; Adiningsih, 1997) pengemisi gas rumah kaca terbesar. Emisi gas rumah kaca dari transportasi baik dengan bahan bakar solar maupun bensin adalah NO_x. NO_x merupakan gas rumah kaca yang mempunyai daya 300 kali lipat dalam menyerap panas dibandingkan gas CO₂, akibatnya pada skala lokal hingga regional, aktivitas transportasi menjadi pengemisi terbesar dari sektor energi mengalahkan sektor industri. Hal lain yang memperbesar dampak aktivitas transportasi adalah kepadatan disertai kemacetan secara langsung mengakumulasikan sejumlah panas dan secara tidak langsung mengemisikan gas rumah kaca (NO_x) ke udara dalam jumlah yang lebih besar sehingga secara total mengalahkan peubah lain sebagai penyebab UHI Jakarta, hal serupa terjadi di Depok hasil kajian Yani dan Effendy, 2003.

Fenomena UHI di Bogor, dominasinya dipicu oleh makin luasnya RTB, hal ini didukung oleh Carolita *et al.* (2002) dan Sitorus *et al.* (2005) di wilayah JABOTABEK ditemukan bahwa RTH Bogor berupa ladang dan tegalan banyak beralih fungsi menjadi areal pemukiman, perdagangan dan jasa serta atribut perkotaan lainnya. Sehingga konsisten dengan penelitian ini perluasan ruang terbangun (RTB) menjadi kontribusi dominan bagi fenomena UHI di Bogor.

Fenomena UHI di Tangerang, kontribusi terbesar akibat pengurangan RTH, berbeda dengan Bogor, berkurangnya RTH di Tangerang beralih menjadi kawasan industri, pemukiman dan perdagangan dan jasa. Tipe RTH yang banyak beralih fungsi berupa lahan persawahan (Sitorus *et al.*, 2005), hal serupa yang terjadi di Bekasi. Fenomena UHI di Bekasi dipicu oleh berkurangnya keberadaan RTH yang beralih fungsi menjadi pemukiman, jasa dan perdagangan. Tipe RTH yang banyak beralih fungsi berupa lahan persawahan (Sitorus *et al.*, 2005).

Total korelasi tertinggi keempat prediktor terdapat di Bekasi (81%) disusul Jakarta (78%), Tangerang (69%) dan terendah di Bogor (56%). Rendahnya korelasi di Bogor disebabkan terdapat peubah lain penyebab UHI, yaitu ketinggian (*altitude*). Kawasan kota Bogor di kelilingi wilayah kabupaten yang mempunyai ketinggian 50 m hingga 3 000 m di atas permukaan laut. Laju penurunan suhu adiabatik kering menunjukkan bahwa setiap peningkatan ketinggian tempat 100 m dpl suhu akan berkurang sebesar 0.65°C. Laju penurunan suhu dengan bertambahnya ketinggian tempat lebih dominan mempengaruhi fenomena UHI di Bogor dibandingkan keempat peubah yang dikaji. Sehingga faktor ketinggian tempat menjadi penyebab rendahnya total korelasi keempat peubah prediktor (RTH, kepadatan populasi, RTB dan kendaraan) terhadap UHI di kota Bogor.

Secara rata-rata pengurangan RTH merupakan faktor dominan penyebab UHI di ke empat kota diikuti oleh RTB, KKdr serta terakhir Kpop. Penelitian ini menunjukkan bahwa keempat peubah prediktor, seperti

pengurangan RTH, perluasan RTB, KKdr dan Kpop secara bersama memberikan kontribusi terhadap UHI perkotaan rata-rata sebesar 71% dengan kisaran 56 hingga 81%. Tidak maksimalnya nilai total korelasi keempat prediktor terhadap UHI, mengindikasikan adanya faktor lain berperan terhadap UHI. Faktor lain selain keempat peubah prediktor tersebut diduga ketinggian tempat dari permukaan laut (*altitude*) khususnya untuk kota Bogor dengan kisaran ketinggian 200-450 m dpl.

Simulasi dan Validasi Model Fenomena UHI

Untuk mendapatkan gambaran tentang kelayakan model persamaan UHI dan empat peubah prediktor RTH, kepadatan populasi, luasan RTB dan kepadatan kendaraan, dilakukan simulasi dan validasi, disajikan pada Tabel 4, untuk melihat kecenderungan di masa datang (simulasi tahun 2015 dan 2025) serta untuk validasi (simulasi 2005).

Tabel 4. Hasil simulasi dan validasi UHI empat kota JABOTABEK

No.	Kota	UHI (°C) Simulasi	UHI (°C) Observasi
1	Jakarta		
	2005	1.2	1.1-1.3
	2015	1.5	
	2025	1.8	
2	Bogor		
	2005	0.8	0.7-0.9
	2015	1.0	
	2025	1.2	
3	Tangerang		
	2005	1.1	1.1-1.3
	2015	1.4	
	2025	1.7	
4	Bekasi		
	2005	1.1	1.0-1.2
	2015	1.3	
	2025	1.6	

Berdasar Tabel 4 didapatkan hasil validasi model dengan membandingkan nilai simulasi 2005 dengan hasil observasi.

KESIMPULAN

Peubah yang memberikan kontribusi terhadap UHI didominasi oleh pengurangan RTH untuk Tangerang dan Bekasi, padatnya kendaraan untuk Jakarta dan perluasan urban pemicu UHI di Bogor. Secara rata-rata pengurangan RTH menjadi faktor dominan penyebab UHI pada keempat kota JABOTABEK, diikuti oleh makin luasnya RTB, kepadatan

kendaraan (KKdr) serta kepadatan populasi (Kpop). Keempat peubah prediktor tersebut secara bersamaan terbukti mempunyai kontribusi nyata dan relatif tinggi terhadap UHI, kecuali Bogor. Kontribusi keempat prediktor di Bogor lebih rendah akibat adanya peranan peubah di luar keempat prediktor yaitu ketinggian tempat dari permukaan laut.

Penggunaan data penginderaan jauh untuk menutupi kekurangan kerapatan stasiun cuaca, dinilai mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan di masa-masa mendatang. Tanpa mengurangi pentingnya pengukuran secara insitu pada stasiun-stasiun cuaca sebagai bahan referensi atau rujukan, yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi atau memvalidasi model-model pendugaan berdasarkan ekstraksi data penginderaan jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E.S. 1997. Perkembangan perkotaan dan dampaknya terhadap kualitas udara dan iklim di Jakarta dan sekitarnya. *Majalah Lapan* 68: 38-52.
- Agrissantika, T., E. Rustiadi dan D.P.T. Baskoro. 2007. Model dinamika spasial ruang terbangun dan ruang terbuka hijau (studi kasus kawasan JABODETABEK). Makalah pada Seminar Menuju Jabodetabek Berkelanjutan. IPB ICC. Bogor.
- Allen, *et al.* 2001. Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi State Water Compacts. Univ. of Idaho, Kimberly, ID 83341.
- Belaid, M.A., 2003. Urban-rural land use change detection and analysis using GIS and technologies. 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, December 2-5.
- Carolita, I., A.M. Zain, E. Rustiadi dan B.H. Trisasonko. 2002. The Land use pattern changes of JABOTABEK region. *Jurnal IRSA*. IRSA International Conference 4th. Bali 20-21 Juli 2002.
- Chemin, Y.H. 2003. Fusion of Spatiotemporal Remotely Sensed Evapotranspiration by Data Assimilation for Irrigation Performance. Asian Institute of Technologies Bangkok, Thailand.
- Holman, J.P and P.R.S.White. 1992. Heat Trensfer. 7th Ed. in SI unit. McGraw-Hill Inc. UK. 713pp.
- Karjoto, et al. 1992. Kota sebagai pusat panas (City as an Urban Heat Island). Prosiding Seminar Sehari Iklim Perkotaan. PERHIMPI. Jakarta.
- Kato, S and Y. Yamaguchi. 2005. Analysis of urban heat island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat

- discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment* 99: 44-54.
- McPherson, G.E. 2000. *Urban Forests and Climate Change. Global Climate Change and the Urban Forest.* Franklin Press, Inc., Baton Rouge, LA. 58-69pp.
- Monteith, J.L. and Unsworth M.H. 1990. *Principles of environmental physics.* 2nd. Edward Arnold. London.
- Ohmura, A. 1982. Objectives criteria for rejecting data for Bowen Ratio flux calculation. *J. Appl.Meteorol.* 21: 595-598.
- Oke, T.R. 1997. Urban climate and global change, in *Applied Climatology: Principles and Practices*, eds A Perry & R Thompson. London, 273-287pp.
- Oke, T.R., A. Spronken-Smith, E. Jauregui, and C.S.B. Grimmond. 1998. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment* 33(24-25): 3919-3930.
- Perez, P.J., F. Castellvi, M. Ibanez and J.I. Rosell. 1999. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agric. For. Meteorol.* 97: 141-150.
- Pongracz, R *et al.* 2005. Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research.* Article in press. Elsevier Ltd.
- Purnomohadi, S. 1995. Peran ruang terbuka hijau dalam pengendalian kualitas udara di DKI Jakarta. [Disertasi] Program Pascasarjana-IPB.Bogor.
- Santosa, I dan Bey, A. 1992. Kenyamanan Kebun Raya Bogor sebagai tempat rekreasi ditinjau dari segi iklim mikro dan kualitas udara. LPPM-IPB dan Dirjen Dikti DepDikBud RI. Bogor.
- Sitorus, J., E. Rustiadi, dan M. Ardiansyah. 2005. Analisis pola spasial perubahan penggunaan lahan dan suburbanisasi di kawasan JABOTABEK periode 1992-2000. *Jurnal LAPAN* 2005. 6-20 pp.
- Stallings, J.A. 2004. Characteristics of urban lightning hazards for Atlanta, Georgia. *Climatic Change* 66(1-2): 137-150.
- Stull, R.B. 1995. *Meteorology Today for Scientists and Engineers*, a Technical Companion Book. West Publishing Company Co. USA. 385 pp.
- Weng, Q.H. 2003. Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(5): 555-566.

- Voogt, J.A. 2002. Urban heat island: causes and consequences of global environmental change. John Wiley and Sons, Ltd. Chichester. 660-666pp.
- Yani, M dan S. Effendy. 2003. Assessment of carbon emission from industries and transportation, a case study at Depok City, Java. Environmental Research Center-Bogor Agricultural University and Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange.
- Zain, A.F.M. 2002. Distribution, stucture and function of urban green space in Southeast Asian Mage-cities with special reference to Jakarta Metropolitan Region (JABOTABEK). [Doctoral Degree Program]. Department of Agricultural and Environmental Biology. The University of Tokyo.

STRATEGI ADAPTASI KELANGKAAN AIR AKIBAT PERUBAHAN IKLIM MELALUI PENINGKATAN PRODUKTIVITAS AIR DAN MODIFIKASI BUDIDAYA PADI SAWAH

Didiek Setiobudi

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya IX Sukamandi, Ciasem. Subang 41256
Telp : (0260) 520157, Faks : (0260) 520158

Abstract

The scarcity of water was one of the phenomena of global climate change. How the mitigation and adaptation to the water scarcity in lowland rice cultivation under irrigated condition through modification of cultivation techniques were evaluated in this paper. Under water scarcity condition or decreasing in water supply so it's required the adjusting of cultivation techniques which in turn water productivity increased. In the second dry season, lowland rice is grown with zero soil tillage and three days interval irrigation consumed of water 522 mm or 5,200 m³/ha per season and saved water of 54% when compared with conventional soil tillage (full tillage) with continuously flooded 3-5 cm (farmers' practice) as well as water use efficiency increased by 4.31 kg grain/mm.ha whereas the water use efficiency based on farmers' practice about 2.79 kg grain/mm.ha. Zero tillage method had the potential advantage in acceleration of planting time (reduced turn around time) around with two till four weeks per season. Direct wet seeding method under water scarcity over yielded than transplanting method. By wet seeding method was required flooding 2-3 cm during vegetative stage and then field saturation until a week preceding harvest (ripening stage) to obtain optimum yield level, saved water and water use efficiency enhanced.

Keywords : Lowland rice, zero tillage, wet direct seeding and water productivity

PENDAHULUAN

Kejadian iklim ekstrem semakin kerap dengan intensitas dan durasi yang meningkat, berdampak sangat serius terhadap sektor pertanian. Sektor pertanian adalah sektor yang secara langsung paling dirugikan. Terjadinya pergeseran musim dan perubahan pola hujan berimbas pada keterlambatan musim tanam atau panen. Bahkan perubahan iklim yang drastis tak jarang merugikan petani dengan meningkatnya gagal panen dan memperluas tanaman padi yang puso. Banyak faktor yang mempengaruhi keragaman musim. Salah satu faktor

yang dominan adalah fenomena *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO). Frekuensi El-Nino meningkat sejalan dengan naiknya suhu rata-rata bumi.

Perubahan iklim yang ekstrem bisa mengancam kondisi ketahanan pangan yang sudah mulai goyah beberapa tahun terakhir. Jika tidak diantisipasi serta dilakukan upaya mitigasi dan adaptasi secara sungguh-sungguh perubahan iklim akan membawa dampak sosial, ekonomi dan politik yang sangat serius bagi Indonesia (Kompas, 2007).

Iklim dan cuaca merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat sulit diduga perilakunya sekalipun dengan teknologi yang canggih. Oleh karena itu tindakan yang paling tepat dan bijaksana untuk memanfaatkan sumberdaya iklim dan mengurangi dampak sifat ekstremnya adalah melakukan penyesuaian kegiatan pertanian dengan perilaku iklim di masing-masing wilayah secara lokal spesifik.

Dampak kekeringan meningkat baik dari segi luas maupun intensitasnya apabila bersamaan dengan kejadian fenomena iklim global seperti *El-Nino* yang pernah terjadi di Indonesia pada tahun 1991, 1994 dan 1997. Kekeringan rata-rata 5 tahun (1998-2002) mengakibatkan kerusakan pertanaman padi lebih dari 175.000 ha (20.000 ha diantaranya puso). Kekeringan agronomis dimungkinkan terjadi karena penerapan pola tanam oleh petani yang tidak sesuai dengan kondisi agroklimat setempat (Alimoeso, 2004).

Adaptasi dan mitigasi adalah dua strategi di dalam konvensi kerangka kerja PBB mengenai perubahan iklim (UNFCCC). Strategi mitigasi adalah upaya pencarian cara untuk menahan emisi dan mempercepat pengurangan emisi gas rumah kaca melalui upaya perbaikan pengelolaan lahan dan air.

Sementara itu strategi adaptasi adalah cara-cara mengatasi dampak perubahan iklim dengan melakukan langkah-langkah penyesuaian yang tepat dan bertindak untuk mengurangi berbagai efek negatif atau memanfaatkan efek-efek positifnya. Penerapan konservasi tanah dan air dengan berbagai kegiatannya adalah merupakan upaya baik mitigasi maupun adaptasi terkait dengan perubahan iklim global (Menteri Pertanian, 2007).

Pada saat ini pemakaian air untuk irigasi mencapai 80-95 persen dari pemakaian air total. Air tersebut dipakai mengairi kurang lebih 4,5 juta hektar sawah yang terdiri atas 3,8 juta hektar layanan irigasi yang dikelola PU, tersebar di 6.731 daerah irigasi (DI) dan sisanya merupakan irigasi desa. Tingkat pemanfaatan air irigasi di Indonesia umumnya berkisar antara 50-65 persen dari 59-73 persen yang dituju dalam baku rancang bangunnya (Pusposutardjo, 1996).

Berdasarkan jumlah pemakaian air dan efisiensi yang masih rendah tersebut, maka peningkatan efisiensi air irigasi akan sangat dirasakan manfaatnya oleh para pengguna air untuk keperluan lainnya.

Kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi irigasi akhir-akhir ini semakin terasa karena: a) air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan hidup yang selalu berkembang semakin tidak mencukupi, b) adanya tekanan yang semakin meningkat terhadap pemenuhan tuntutan kelestarian daya dukungan lingkungan, c) nilai produktivitas air untuk irigasi secara finansial kurang kompetitif dibandingkan dengan untuk keperluan lainnya terutama untuk industri, keperluan domestik sehari-hari dan sektor non pertanian lainnya (Pusposutardjo, 1996).

Penghematan penggunaan air dapat dilakukan baik untuk budidaya di lahan basah (sawah) maupun di lahan kering. Penghematan air untuk tanaman padi sawah dilakukan dengan penggunaan varietas unggul berumur genjah dan toleran terhadap kekeringan, pengairan terputus-putus (*intermittent flooding*), alternasi basah-kering, selang hari pemberian air, teknik tanpa olah tanah (TOT) dan tanam benih langsung (TABELA). Untuk mendukung penghematan air ini perlu adanya perbaikan jaringan serta adanya kelambagaan yang berfungsi dengan baik.

Kesadaran petani mengenai hemat air dalam budidaya padi sawah di wilayah irigasi teknis beragam antar lokasi (*location specific*) namun umumnya masih rendah, hal ini terbukti penggenangan air secara terus menerus dengan tinggi genangan air lebih dari 5 cm bahkan ada yang lebih dari 10 cm (Jawa Barat) serta adanya penggenangan air pada waktu yang tidak diperlukan, misalnya masa menjelang panen (Jawa Timur). Dengan berbagai teknologi budi daya serta penyempurnaan jaringan dan penggunaan air diperkirakan dapat dihemat pemakaian air 40% dari pemakaian selama ini. Air yang dihemat ini dapat dipergunakan untuk memperluas areal tanam padi sawah atau palawija di musim kemarau atau perikanan (Sjamsudin dan Karama, 1996).

Air untuk keperluan pertanian menjadi tambah langka, penyebabnya beragam dan spesifik lokal tetapi termasuk penurunan sumberdaya, penurunan kualitas, kemunduran fungsi sistem irigasi serta meningkatnya dengan sektor lain seperti pengguna di perkotaan dan industri. Menurut Tuong dan Bouman (2003 *Dalam*: Bouman, Lampayan dan Tuong, 2007) diperkirakan pada tahun 2025, 15-20 juta hektar lahan sawah beririgasi akan menderita kelangkaan air. Untuk merespon kelangkaan air diperlukan teknologi hemat air untuk budidaya padi sawah. Tanaman padi sawah konsumen terbesar air irigasi.

Salah satu upaya untuk mengatasi kendala kelangkaan tenaga maupun untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan air pada budidaya padi sawah dewasa ini sedang dipelajari, yaitu melalui penerapan sistem TOT dengan pertimbangan diantaranya yaitu: a) keterlambatan tanam terutama wilayah irigasi hilir dengan lapisan pelumpuran yang dalam, b) jumlah traktor yang relatif terbatas dengan sistem operasi berpindah-pindah, c) sistem tanam serempak yang membutuhkan tenaga kerja cukup banyak, d) jadwal alokasi air yang ketat dalam suatu golongan air

sehingga menuntut ketepatan waktu tanam, e) pada jenis tanah tertentu, pengolahan tanah yang intensif (tingkat pelumpuran) yang tinggi dapat mengakibatkan kepadatan tanah yang tinggi (struktur tanah secara fisik kurang cocok untuk pengembangan tanaman palawija) bila terjadi kekeringan dan f) tersedianya jenis herbisida pra tumbuh yang efektif dalam pengendalian gulma dan pembenah tanah (*soil conditioner*).

Pengembangan tanaman atau budidaya padi sawah yang adaptif terhadap kelangkaan air serta upaya penghematan air bagi tanaman dipandang perlu dilakukan untuk menanggulangi ketergantungan terhadap perubahan iklim.

Pada makalah ini akan diuraikan teknik pengairan hemat air melalui modifikasi cara budidaya tanaman padi sawah yaitu TABELA dan TOT dalam merespon kelangkaan air.

STRATEGI PENINGKATAN PRODUKTIVITAS AIR DALAM BUDIDAYA PADI SAWAH DI LAHAN BERIRIGASI

Dalam kondisi kelangkaan air atau pasokan air terbatas yang sering terjadi selama musim kemarau maka peningkatan produktivitas air merupakan strategi yang krusial. Peningkatan produktivitas air dalam budidaya padi sawah dapat ditempuh melalui perbaikan teknik pengelolaan air di tingkat usahatani dan adaptasi teknik budidaya yang produktif dan efisien dalam pemanfaatan air.

Perbaikan Teknik Pengelolaan Air di Tingkat Usahatani Atau Tersier

Kelangkaan air tidak hanya berpengaruh terhadap kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering tetapi juga lingkungan dan ekosistem yang lain pada lahan sawah. Dampak non penggenangan air secara permanen cenderung mempunyai pertumbuhan gulma serta spektrum jenis gulma lebih lebar sehingga frekuensi penggunaan herbisida meningkat sehingga lingkungan terbebani residu herbisida. Pencucian nitrat lebih intensif pada tanah yang beraerasi baik dari pada tanah tergenang air, selain itu emisi gas metan juga berkurang.

Kekeringan atau kekurangan air yang terjadi pada wilayah irigasi PJT II (Kabupaten Indramayu dan Subang) antara lain disebabkan oleh: a) pendistribusian air dimonopoli wilayah hulu (head) sehingga debit air berkurang sampai ke wilayah hilir, b) kurang efektifnya kerjasama lembaga atau institusi yang mengatur air di tingkat tersier, c) pelanggaran jadwal tanam sehingga menyilitkan alokasi pembagian air, d) pola tanam yang beragam sehingga menurunkan efisiensi penggunaan air dan e) kerjasama atau interaksi antara kelompok petani dan petugas air relatif kurang.

Bila terjadi kelangkaan air atau musim kemarau berkepanjangan, kemungkinan debit air di saluran sekunder menurun. Bila debit air turun 40% dari batas normal dapat diterapkan teknik gilir giring (selang pemberian air ke petakan tersier 4-5 hari) dan bila debit turun 60% dari batas normal dapat diterapkan gilir glontor (selang pemberian air ke petakan tersier 2-3 hari) (Fagi, 1997).

Tanaman padi sawah yang ditanam secara tanam pindah (TAPIN) lebih peka terhadap cekaman kekurangan air. Hal ini antara lain disebabkan oleh sistem perakaran yang dangkal. Cekaman kekurangan air pada waktu singkatpun dapat menurunkan hasil tanaman padi sawah, bila fase kritis air dipengaruhi.

Perbaikan teknik pengelolaan air padi sawah di tingkat usahatani untuk peningkatan produktivitas air dapat dicapai melalui: a) peningkatan produktivitas tanaman, b) mengurangi tingkat kehilangan air di petakan sawah (evaporasi, perkolasi dan rembesan), c) meningkatkan keefektifan curah hujan dan d) meningkatkan kapasitas penyerapan air melalui perbaikan sistem perakaran dan efisiensi transpirasi. Pemilihan atau seleksi tindakan hemat air yang tepat berpengaruh terhadap efisiensi faktor produksi yang lain. Metode irigasi dapat ataupun tidak dapat secara langsung berpengaruh terhadap produktivitas air. Produktivitas air merupakan perbandingan antara hasil atau luaran produksi biologis per satuan input air.

Secara ideal, hasil padi harus meningkat pada input air berkurang untuk memenuhi baik peningkatan produktivitas lahan dan air. Input air pada sistem berbasis padi dapat dikurangi melalui alternasi basah (tergenang air) dan kering (jenuh lapang sampai kapasitas lapang). Pada periode tanpa genangan air yang lama akan mengurangi kehilangan air melalui evaporasi, perkolasi dan rembesan kesamping meskipun keretakan tanah terbentuk. Biasanya hasil padi berkurang hampir linier dengan reduksi input air, hal ini mungkin disebabkan oleh faktor pengelolaan tanaman yang lain kurang optimal serta perbedaan dalam waktu dan durasi cekaman air. Percobaan terakhir tentang pengairan dengan teknik alternasi basah-kering menunjukkan tidak adanya penurunan hasil diatas reduksi input air 20% dan reduksi hasil 25% terjadi pada reduksi input air 60% (Tabbal *et al.*, 2002 *Dalam* : Bindraban, van Keulen dan Warner, 2006).

Produktivitas air dapat ditingkatkan dua kali lipat tanpa mengalami kehilangan hasil yaitu dengan menggenangi air pada sebagian periode pertumbuhan tanaman dan transformasi ke kondisi non genangan air memerlukan varietas yang toleran terhadap kekeringan.

Secara umum, adopsi teknik hemat air dalam budidaya padi sawah akan terbatas bila modifikasi anjuran terutama tenaga kerja serta tidak meningkatkan hasil yang substansial dalam keuntungan. Di samping itu kondisi sosio-ekonomi harus baik.

Produktivitas air merupakan suatu konsep produktivitas parsial (*partial productivity*) dan menyatakan banyaknya atau nilai dari produk (hasil gabah) dibagi volume atau nilai air yang digunakan. Perbedaan yang besar mengenai nilai produktivitas air untuk padi sawah hal ini disebabkan oleh keragaman yang tinggi hasil gabah dengan kisaran 3 sampai 8 ton per hektar. Tetapi perbedaan tersebut juga disebabkan oleh banyak air yang digunakan dalam penghitungan produktivitas air. Batasan umum produktivitas air dapat didekati oleh transpirasi, evapotranspirasi, irigasi, irigasi plus curah hujan dan pengaruh kapilaritas (muka air tanah dangkal), sehingga produktivitas air yaitu bobot hasil dibagi akumulasi bobot air yang ditranspirasikan atau bobot hasil dibagi akumulasi bobot air yang dievapotranspirasikan, atau bobot hasil dibagi bobot input air melalui irigasi, atau bobot hasil dibagi bobot input air plus curah hujan dan hasil gabah dibagi bobot input air plus curah hujan dan air kapiler (Bouman, Lampayan dan Tuong, 2007).

Pada umumnya petani atau petugas irigasi tertarik dalam pengoptimalan produktivitas air irigasi namun bagi perencana pengembangan sumber daya air regional lebih tertarik dalam banyaknya pangan (*food*) yang dihasilkan oleh sumber daya air total (curah hujan dan air irigasi) dari suatu wilayah.

Padi sawah varietas unggul baru yang ditanam pada kondisi tanah tergenang mempunyai produktivitas air sama seperti serealia (tanaman C₃) seperti terigu yaitu 2 g biji atau gabah kg⁻¹ air yang ditranspirasikan (Tuong *et al.* 2005 *Dalam* : Bouman, Lampayan dan Tuong, 2007).

Pembandingan produktivitas air menurut musim tanam dan lokasi dapat tidak tepat karena perbedaan iklim, potensi hasil, kebutuhan evaporasi dari atmosfer atau praktek pengelolaan tanaman seperti aplikasi pupuk. Lebih relevan mengkaji nilai potensial dan aktual produktivitas air pada lingkungan tertentu dan mengidentifikasi tindakan agronomis untuk mendekatkan kesenjangan antara nilai potensial dan aktual produktivitas air dari pada membandingkan produktivitas air antar lingkungan atau tahun. Konsep produktivitas air menjadi penting bilamana air dalam ketersediaan terbatas (langka).

Budidaya padi sawah jenuh air (*saturated soil culture*) yaitu memepertahankan tanah mendekati batas jenuh lapang sehingga mengurangi muka hidraulik dari genangan air yang pada akhirnya mengurangi aliran perkolasi dan rembesan. Bouman dan Tuong (2001 *Dalam* : Bouman, Lampayan dan Tuong, 2007) menemukan bahwa input air rata-rata berkurang 23% (berkisar 5% sampai 50%) dibanding metode penggenangan air kontinyu dengan tidak nyata mengurangi hasil (sekitar 6%). Hasil percobaan di Australia, budidaya tanaman padi jenuh air mengurangi input air dan hasil sekitar 10%. Teknik pengairan dengan alternasi basah-kering mempunyai hasil yang sama dengan perlakuan penggenangan air secara kontinyu bahkan dapat menghemat 16-24% biaya air dan 20-25% dalam biaya produksi. Potensi keuntungan dari

teknik alternasi basah-kering adalah memperbaiki sistem perakaran tanaman, mengurangi kerebahan batang, aerasi tanah meningkat dan mengendalikan hama seperti keong mas dan wereng coklat atau punggung putih.

Peningkatan efisiensi penggunaan air tergantung pada tujuan dan sasaran yang akan dicapai. Efisiensi produksi (E_p) merupakan nisbah antara hasil gabah (kg/ha) dan konsumsi air (m^3/ha). Upaya untuk meningkatkan E_p yaitu: a) mempertahankan produktivitas dan mengurangi konsumsi air, b) meningkatkan tingkat produktivitas tanpa menambah konsumsi air dan c) meningkatkan tingkat produktivitas walaupun tanpa menambah konsumsi air. Efisiensi penggunaan air dalam suatu sistem pengairan akan tercapai bila rata-rata hasil per satuan luas naik, luas tanam/panen sesuai rencana atau bahkan lebih luas. Pengurangan konsumsi air per satuan luas akan menekan konsumsi air dan surplus air ini bisa digunakan untuk memperluas area tanam atau area panen terutama pada musim kemarau (Fagi, 1997).

Modifikasi Budidaya Padi Sawah TABELA dan TOT

Introduksi metode tanam TABELA secara drastis mengurangi kebutuhan tenaga kerja dan dilakukan pada tanah jenuh lapang (*field saturation*) dari pada tanah kondisi tergenang (*inundated soil*) yangmana menunjukkan penghematan air.

Metode tanam TABELA dan teknik TOT dapat memberikan pengaruh positif terhadap produktivitas air. Metode tanam TABELA memberikan pengaruh terutama terhadap evaporasi, perkolasi dan rembesan sedangkan teknik TOT berpengaruh terhadap rembesan dan perkolasi.

Pada tanah sawah bertekstur liat, pengaruh pengolahan tanah terhadap perubahan sifat fisik tanah umumnya sangat kecil, sehingga pengaruhnya terhadap hasil juga rendah. Tujuan pengolahan tanah sempurna terutama untuk mengurangi laju perkolasi namun memerlukan proses waktu cukup lama untuk sampai siap tanam yaitu antara 25 sampai 30 hari. Penurunan laju perkolasi dapat menghambat pencucian hara terjadi akumulasi nitrat dalam kondisi tanah kering. Untuk meningkatkan efisiensi usahatani padi dapat ditempuh metode TOT dan TABELA. Sistem TOT biasanya diintegrasikan dengan sistem tanam pindah (TAPIN) karena dengan metode TABELA kemampuan tumbuh benih menurun. Metode TOT tidak boleh dilakukan dalam jangka panjang (maksimum 3 musim tanam) untuk penyehatan lahan (Astanto, 2004).

TABELA dapat menghemat biaya tenaga kerja untuk penanaman sekitar 77% karena pembuatan pesemaian, penebaran benih, pemeliharaan bibit, pencabutan dan pengangkutan bibit, mencaplak dan penanaman bibit praktis tidak dilakukan. Sistem TABELA dapat meningkatkan produksi padi 10-25%, menghemat waktu pertanaman 2-3 minggu per musim karena hanya membutuhkan waktu 95-105 hari sejak

tanam benih hingga panen dibandingkan sistem TAPIN yang membutuhkan waktu 120 hari sejak persemaian sampai panen. Dengan demikian dihemat waktu 4-6 minggu per tahun yang dapat dimanfaatkan untuk memperpanjang musim tanam palawija dan sayuran setelah tanam dua kali padi. Hasil gabah varietas Memberamo dapat mencapai 8,47 t/ha dengan metode TABELA sementara dengan sistem TAPIN hanya menghasilkan 6,65 t/ha (Zaini, 1996 *Dalam* : Munandar, Achadi dan Nusyirwan, 1999).

TABELA mempunyai jumlah akar per m² dan nisbah bobot akar-tajuk lebih tinggi dibanding sistem TAPIN. Akar-akar tersebut juga mempunyai percabangan yang lebih banyak per satuan panjang akarnya, selain itu mempunyai batang yang lebih tinggi. TABELA pada kondisi air tergenang terus mudah rebah, oleh sebab itu hanya membutuhkan pasokan air yang lebih rendah dibanding sistem TAPIN (Munandar, Achadi dan Nusyirwan, 1999).

Mengingat ketersediaan air permukaan terus menurun, sementara areal sawah yang perlu diairi terus meningkat, maka agar swasembada beras dapat dipertahankan teknologi hemat air perlu dicari. Faktor yang menyebabkan berkurangnya persediaan air sebenarnya bukan hanya karena kerusakan daerah aliran sungai bagian hulu saja tetapi juga oleh pengelolaan air dalam budidaya padi sawah yang belum optimal.

Tindakan yang menyebabkan pemborosan air selama proses produksi padi sawah sebenarnya telah terjadi sejak pengolahan tanah dan terus berlangsung sewaktu penggenangan air untuk pertumbuhan tanaman. Pemborosan air selama proses produksi tersebut dapat mencapai 60% (Lubis, 1984 *Dalam*: Abdulrachman, 1996).

Jika tujuan dari pengolahan tanah di lahan sawah adalah untuk menyiapkan media tumbuh dan mengendalikan gulma, maka penggunaan air untuk pelumpuran dinilai kurang efisien. Pengolahan tanah intensif memerlukan sepertiga dari total kebutuhan air atau total waktu musim tanam. Pelumpuran tanah pada tanah bertekstur liat memerlukan relatif banyak air (200-300 mm) sedangkan dengan TOT dapat menghemat air sampai 40% dengan produksi sebanding dengan yang diolah sempurna (Utomo, 1994 *Dalam*: Abdulrachman, 1996). Hasil gabah dengan metode TOT plus 4l Glifosat 240 memberikan hasil 6,27 t/ha sedangkan sistem olah tanah sempurna (OTS) tanpa herbisida mampu menghasilkan 6,29 t/ha (Abdulrachman, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian di Filipina tentang teknik penghematan air padi sawah dengan sistem TAPIN ditunjukkan pada Tabel 1. Penghematan air sekitar 40% dapat dicapai tanpa mengurangi hasil yaitu pada perlakuan penggenangan air dangkal (2-3 cm) dari tanam sampai primordia bunga

dan selanjutnya jenuh lapangan selama periode pertumbuhan tanaman. Penghematan air lebih 80% bilamana kondisi tanah dipertahankan jenuh lapangan selama periode pertumbuhan tanaman.

Dalam kondisi tanah jenuh lapangan, pengendalian gulma perlu dilakukan seefektif mungkin untuk mempertahankan tingkat hasil yang optimal.

Hasil pengukuran kandungan nitrat dan amonium di dalam tanah lapisan olah pada tanah yang digenang air terus menerus dan jenuh lapang secara kontinyu ternyata tidak nyata berbeda, hal ini menunjukkan bahwa tingkat kehilangan N pada dua kondisi regim air tersebut relatif tidak berbeda.

Tabel 1. Rata-rata hasil, konsumsi air dan produktivitas air pada berbagai regim air. Nueva Ecija. MK 1991. Filipina

Tolok ukur	Regim air			
	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄
Hasil (kg/ha)				
1988 dan 1989	5.552 a	5.237 a	5.153 a	4.336 b
1990 dan 1991	5.102 a	4.833 a	4.198 b	3.757 c
Konsumsi air (mm)				
1988 dan 1989	1.793 a	1.168 b	1.068 b	728 b
1990 dan 1991	2.785 a	1.804 b	1.644 bc	1.065 c
Konsumsi air relatif (%)				
1988 dan 1989	100	65	60	41
1990 dan 1991	100	65	59	38

Sumber : IRRI (1992)

Keterangan : w₁ : digenang air 2-7 cm secara terus menerus, w₂ : sama seperti w₁ hanya sampai primordia bunga selanjutnya tanah jenuh lapang, w₃ : tanah jenuh lapang terus menerus w₄ : alternasi tanah jenuh lapang dan kering (sebelum terjadi keretakan tanah)

Pada baris yang sama, nilai yang ditandai oleh huruf yang sama tidak nyata berbeda pada taraf 5% menurut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

Penggenangan air selama fase vegetatif antara lain ditujukan untuk pengendalian gulma. Dengan penggenangan air dangkal selama fase vegetatif ternyata mampu menekan pertumbuhan gulma secara efektif. Penggenangan air mengakibatkan peningkatan laju perkolasi, namun dengan kondisi jenuh lapang laju perkolasi relatif kecil. Bila populasi atau pertumbuhan gulma dapat ditekan dengan baik, maka teknik pengairan yaitu penggenangan air dangkal (2-7 cm) selama fase vegetatif dan jenuh lapang selama fase reproduktif merupakan alternatif pengelolaan air yang relatif efisien. Pada kondisi pasokan air yang terbatas, ternyata teknik pengairan alternasi basah-kering memberikan tingkat

hasil maupun produktivitas air yang relatif rendah meskipun dengan penghematan air cukup tinggi yaitu 40% dibanding cara pengairan kontinyu 2-7 cm.

Hasil percobaan lain IRRI di Filipina pada tanah bertekstur liat (kandungan fraksi liat 65%), ternyata sistem TABELA basah memberikan hasil gabah nyata lebih tinggi dibanding sistem TAPIN pada rata-rata status air (*water regim*), tetapi menurut individu "*water regim*" perbedaan rata-rata hasil secara statistik tidak nyata. TABELA basah menghasilkan 1,2 t/ha (atau 29% lebih tinggi) pada kondisi kekurangan air moderat. Pada kondisi kekurangan air yang berat (*severely water short*) rata-rata hasil gabah dari TABELA basah 17% lebih tinggi dibanding hasil gabah dari sistem TAPIN. Pada kondisi tergenang air 5-7 cm atau jenuh lapangan, hasil gabah dari sistem TABELA basah tidak nyata berbeda dengan sistem TAPIN.

Pada perlakuan pengairan kembali dengan kedalaman genangan air 5 cm setelah tanah timbul keretakan tanah memerlukan waktu selang 7 hari ternyata mengkonsumsi air 993 mm (termasuk 275 mm air untuk pengolahan tanah) lebih banyak dibandingkan perlakuan pemberian air antara jenuh lapangan (pF 2,0) sampai kapasitas lapang (pF 2,54) yang mengkonsumsi air total yaitu 713 mm (termasuk 275 mm air untuk pengolahan tanah). Hal ini terjadi akibat laju perkolasi pada tanah yang mengalami keretakan tanah lebih tinggi sehingga perlakuan irigasi intermiten sebaiknya dilakukan tidak sampai menimbulkan keretakan tanah untuk mendapatkan produktivitas air yang lebih tinggi.

Pada kondisi tanah tergenang air 5-7 cm secara kontinyu, sistem TABELA basah mengkonsumsi air sebanyak 1.303 mm yang nyata lebih tinggi dibandingkan sistem TAPIN yang mengkonsumsi air 1.255 mm. Penghematan air relatif tinggi dari sistem TABELA basah yaitu mempertahankan tanah jenuh lapangan dengan satu hari selang pemberian air.

Padi dengan sistem TABELA memberikan hasil gabah nyata lebih tinggi dibanding sistem TAPIN pada kondisi regim air dari jenuh lapang (field saturation) sampai pada cekaman kekurangan air sedang (*mild water stress*) atau 10 hari tanpa pemberian air sejak tanah jenuh lapang dan cekaman kekurangan air tinggi (*severe water stress*) atau 20 hari tanpa pemberian air dari kondisi tanah jenuh lapang. Pada kondisi tanah digenang air 5-7 cm secara terus menerus, padi dengan sistem TABELA memberikan hasil sedikit lebih tinggi (200 kg/ha) dibanding sistem TAPIN (IRRI, 1992).

Tabel 2. Konsumsi air total untuk metode tabel basah dan tanam pindah pada MK 1990

Regim air ¹	Konsumsi air total (mm) ¹			
	TABELA	TAPIN	Perbedaan	Rataan
w ₁ : 5-7 cm digenang kontinyu	1.303 a	1.255 a	48**	1.279 a
w ₂ : jenuh lapangan dengan selang sehari pengairan	1.068 b	1.042 b	26 ^{tn}	1.055 b
w ₃ : jenuh lapangan sampai kapasitas lapang	713 d	725 d	- 12 ^{tn}	719 d
w ₄ : diairi 5 cm setelah timbul retak tanah	993 c	1.015 c	-22 ^{tn}	1.004 c

Sumber : IRRI (1991).

1. Termasuk 275 mm air yang digunakan untuk persiapan lahan Pada suatu kolom, rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama tidak nyata berbeda pada taraf 1% menurut uji Beda Nyata Terkecil (BNT) tn : tidak nyata

Tabel 3. Pengaruh regim air terhadap hasil gabah sistem TABELA dan TAPIN. MK 1991 di wilayah irigasi Pampanga, Filipina

Regim air	Hasil (t/ha)		
	TABELA	TAPIN	Perbedaan
w ₁ : 5-7 cm digenang air terus menerus	7,6	7,4	0,2 ^{tn}
w ₂ : jenuh lapang terus	7,3	6,7	0,6**
w ₃ : cekaman air sedang fase vegetatif	7,0	6,3	0,7**
w ₄ : cekaman air berat fase vegetatif	6,1	5,3	0,8**
w ₅ : cekaman air sedang fase reproduktif	6,4	6,0	0,4*
w ₆ : cekaman air berat fase reproduktif	5,2	4,2	1,0**
Rataan	6,6	6,0	0,6

Sumber : IRRI (1992)

Pada lajur yang sama, * nyata pada taraf 5% menurut DMRT dan ** sangat nyata pada taraf 1%.

Padi dengan sistem TABELA memberikan keuntungan yang lebih besar dibanding sistem TAPIN pada kondisi cekaman kekurangan air yang berat baik selama fase vegetatif maupun fase reproduktif dari pada kondisi cekaman kekurangan air sedang. Pada kondisi cekaman kekurangan air berat selama fase vegetatif, sistem TABELA memberikan hasil 772 kg/ha lebih tinggi dibanding sistem TAPIN dan 1.005 kg/ha lebih tinggi pada kondisi cekaman kekurangan air berat selama fase reproduktif. Tanaman

padi dengan sistem TABELA pada seluruh regim air mempunyai populasi tanaman nyata lebih banyak, jumlah malai per satuan luas maupun persentase gabah isi lebih tinggi, faktor ini yang memberikan kontribusi perbedaan hasil gabah (IRRI, 1992).

Tabel 4. Perbedaan komponen hasil padi sistem TABELA dan TAPIN MK 1991 di wilayah irigasi Pampanga, Filipina

Regim air	Perbedaan komponen hasil		
	Anakan (jumlah/m ²)	Malai (jumlah/m ²)	Gabah hampa (%)
w ₁ : 5-7 cm digenang air terus menerus	336**	164**	- 4,0**
w ₂ : jenuh lapang terus	314**	142**	- 3,3**
w ₃ : cekaman air sedang fase vegetatif	267**	167**	- 4,3**
w ₄ : cekaman air berat fase vegetatif	266**	160**	- 3,3**
w ₅ : cekaman air sedang fase reproduktif	278**	143**	- 1,8 ^{tn}
w ₆ : cekaman air berat fase reproduktif	171**	92**	- 9,8**
Rataan	272	144	- 4,4

Sumber : IRRI (1992)

Pada lajur yang sama, * nyata pada taraf 5% menurut DMRT dan ** sangat nyata pada taraf 1%.

Tabel 5 menunjukkan bahwa pemberian air 2-3 cm selama fase vegetatif dan kemudian macak-macam sampai panen merupakan alternatif yang paling baik karena tidak menurunkan hasil bahkan mengurangi konsumsi air atau meningkatkan efisiensi penggunaan air. Pemberian air secara macak-macam tidak sesuai untuk padi sistem TABELA karena menurunkan hasil.

Sifat perakaran padi TABELA yang dangkal mengakibatkan peka terhadap status air tanah atau membutuhkan frekuensi pemberian air yang tinggi. Dengan sistem TABELA kebutuhan air yaitu 5.550 m³/ha. musim atau dapat menghemat air sekitar 50% dibanding anjuran dari PJT II yaitu 12.000 m³/ha. musim.

Hasil penelitian Balitpa Sukamandi tanam padi sistem TABELA di Desa Sukasari, Kecamatan Pamanukan, Kabupaten Subang yang melibatkan 8 petani maju yang mencakup 8 ha tertera pada Tabel 6.

Tabel 5. Pengaruh cara pemberian air terhadap rata-rata hasil gabah, konsumsi air total dan efisiensi penggunaan air. MK 1997. Inlitpa Sukamandi

Cara pemberian air	Hasil GKG (t/ha)	KAT (mm)	EPA (kg/mm.ha)
a ₁ : digenang 2-3 cm terus menerus	6,24 a	705 a	8,85 b
a ₂ : digenang air 2-3 cm fase vegetatif	5,71 ab	555 c	10,2 a
a ₃ : digenang air 2-3 cm fase reproduktif	5,21 bc	610 b	8,54 b
a ₄ : digenang air 2-3 cm fase pematangan	4,84 c	606 b	7,99 b
a ₅ : digenang air 2-3 cm fase vegetatif dan reproduktif	4,89 c	620 b	7,88 b
a ₆ : macak-macak terus menerus	4,24 c	595 d	7,12 b

Sumber : Setiobudi (1999)

Pada lajur yang sama, rata-rata yang ditandai oleh huruf yang sama tidak nyata berbeda pada taraf 5% menurut Uji Jarak Berganda Duncan. KAT : konsumsi air total EPA : Efisiensi penggunaan air

Tabel 6. Keragaan hasil gabah sistem TAPIN dan TABELA di Kabupaten Subang MH 1993/1994

Varietas padi	Hasil GKP (t/ha)		
	TAPIN	TABELA	Kenaikan hasil (%)
IR64 (110 kg dibutiran)	5,2	5,9	13,4
IR64 (60 kg IRR I seeder)	5,2	6,6	26,9
Gata (60 kg IRR I seeder)	3,2	3,8	18,7
Dodokan (60 kg IRR I seeder)	3,0	3,2	6,7
Rata-rata	4,15	4,87	16,4

Sumber : Gurning dan Pane (1996).

Pada Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa TABELA dengan benih dilarik dalam barisan tanaman nyata meningkatkan hasil lebih tinggi (16,4%) dibanding hasil dari metode TAPIN. Perbedaan hasil tersebut antara lain disebabkan oleh jumlah malai per m² dari TABELA yang lebih tinggi dibanding sistem TAPIN.

Pada Tabel 7 menunjukkan bahwa padi ketiga (MK II) yang ditanam di tingkat petani Kabupaten Subang bahwa sistem TOT dan olah tanah sempurna (OTS) dengan cara pengairan yang sama atau berbeda secara statistik tidak nyata berbeda. Sistem OTS dengan penggenangan air 3-5 cm secara terus menerus memberikan rata-rata hasil yaitu 3.809 kg/ha GKG, mengkonsumsi air 1.124,4 mm dari 10 hari setelah tanam sampai 7 hari menjelang panen dan efisiensi penggunaan air paling rendah yaitu 2,79 kg gabah/mm.ha. Sistem TOT dengan pengairan selang 3 hari menunjukkan rata-rata hasil yaitu 3.435 kg/ha GKG, mengkonsumsi air 522,7 mm dan efisiensi penggunaan air relatif tinggi yaitu 4,31 kg gabah/mm.ha.

Tabel 7. Pengaruh cara pengolahan tanah terhadap hasil, konsumsi air total dan efisiensi penggunaan air pada Padi MK II. Subang

Cara pengolahan tanah dan pemberian air	Hasil GKG (kg/ha)	KAT (mm)	EPA (kg gabah/mm.ha)
OTS; digenang air 3-5 cm terus menerus	3.809 a	1.124 a	2,79 c
TOT; digenang air 3-5 cm terus menerus	3.662 a	788 b	3,44 b
OTS; selang 3 hari	3.357 a	716 b	3,72 b
TOT; selang 3 hari	3.435 a	527 c	4,31 a
OTS; intermiten fase vegetatif dan pematangan	3.241 a	738 b	3,39 b
TOT; intermiten fase vegetatif dan pematangan	3.299 a	563 c	3,98 ab

Sumber : Setiobudi (1999)

Pada lajur yang sama, rata-rata yang ditandai oleh huruf yang sama tidak nyata berbeda pada taraf 5% menurut Uji Jarak Berganda Duncan. KAT : konsumsi air total EPA : Efisiensi penggunaan air

Tidak adanya perbedaan antara hasil gabah sistem TOT dan OTS diduga disebabkan tidak adanya perbedaan status air di daun, laju fotosintesis dan indeks luas daun. Perbedaan konsumsi air total antara sistem TOT dan OTS antara lain disebabkan oleh perbedaan laju perkolasi dan rembesan pada OTS lebih besar (tanah mudah timbul retak). Konsumsi air total pada OTS yang lebih tinggi mengakibatkan rendahnya efisiensi penggunaan air.

PENUTUP

1. Pertanaman padi MK II dengan teknik tanpa olah tanah (TOT) disertai pengairan selang 3 hari selama fase vegetatif dan pematangan tidak nyata menurunkan hasil, mengkonsumsi air 522 mm atau 5.220 m³/ha.musim atau 54% dalam menghemat air dibanding teknik olah tanah sempurna dengan penggenangan air 3-5 cm secara kontinyu (cara petani) selain itu meningkatkan efisiensi penggunaan air yaitu 4,31 kg gabah/mm.ha.
2. Efisiensi penggunaan air menurut cara pengairan petani yaitu 2,79 kg gabah/mm.ha. Sistem TOT mempunyai potensi keuntungan yaitu mempercepat waktu tanam sekitar dua minggu sampai empat minggu per musim.

3. Sistem tanam TABELA pada kondisi kelangkaan air mempunyai rata-rata hasil nyata lebih tinggi dibanding metode TAPIN. Pada metode TABELA memerlukan pengairan 2-3 cm hanya selama fase vegetatif selanjutnya macak-macak untuk mendapatkan hasil yang optimal, hemat air dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, S. 1996. Budidaya Padi Sawah Tanpa Olah Tanah. *Dalam* : Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Padi. Buku II. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. 23-25 Agustus 1995. Hal : 15-24.
- Alimoeso, S. 2004. Sinkronisasi Program Penanggulangan Dampak Fenomena Iklim di Sektor Pertanian. Departemen Pertanian. Direktorat Jenderal Bina Produksi Tanaman Pangan. Direktorat Perlindungan Tanaman. Jakarta. 20 Halaman.
- Astanto. 2004. Peranan Pengolahan Tanah dalam Sistem Produksi Padi Sawah. *Dalam* : Suprihatno, B., *dkk (Penyunting)*. Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. Hal : 605-617.
- Bindraban, P., H. Van Keulen and J. Warner. 2006. Water for Food and Ecosystems. *In* : Tortajada, C (Edt). International Journal of Water Resources Development. Vol. 22. No.1. Third World Centre for Water Management. Mexico.
- Bouman, B.A.M., R.M Lampayan and T.P Tuong. 2007. Water Management in Irrigated Rice. Coping with Water Scarcity. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines. 54 pp.
- Fagi, A.M. 1997. Pengkajian Sistem Usahatani Berbasis Padi (SUTPA) pada Lahan Sawah Irigasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. 23 halaman.
- Gurning, T dan H. Pane. 1996. Percobaan Padi Tanam Benih Langsung di Balitpa. *Dalam* : Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Balai Penelitian Tanaman Padi. Buku II. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. 23-25 Agustus 1995. Hal : 25-37.
- IRRI. 1991. Program Report for 1990. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines. p : 32-33.
- IRRI. 1992. Program Report for 1991. International Rice Research Institute. Los Banos. Philippines. p : 26-27.
- Kompas. 2007. Ketahanan Pangan Terancam. Tanggal 1 Desember 2007. Halaman 37.

- Menteri Pertanian. 2007. Penerapan Teknik Konservasi Tanah dan Air sebagai Upaya Adaptasi dan Mitigasi terhadap Perubahan Iklim. *Dalam* : Seminar dan Kongres Nasional VI Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia (MKTI). 17-18 Desember 2007. Cisarua. Bogor. 22 halaman.
- Munandar, T. Achadi dan Nusyirwan. 1999. Masalah Kerebahan, Pengelolaan Pupuk Nitrogen dan Karakteristik Varietas Padi yang Sesuai untuk Tabela. *Dalam* : Sriyani, N., *dkk (Editor)*. Prosiding Seminar Peningkatan Produksi Padi Nasional Melalui Sistem Tabela Padi Sawah dan Pemanfaatan Lahan Kurang Produktif. Kerjasama HIGI, PERAGI Komisariat Lampung, UNILA. Bandar Lampung. 9-10 Desember 1998. Hal : 230-236.
- Pusposutardjo, S. 1996. Rancangbangun dan Sistem Jejaring Irigasi serta Agihan Air Dalam Kaitannya dengan Gerakan Hemat Air. *Dalam* : Pawitan, H., *dkk (Penyunting)*. Prosiding Seminar Nasional. Pemantapan Gerakan Hemat Air untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Sumberdaya Air. Kerjasama Lemhamnas, Perhimp, Peragi dan Perhepi. Hal : 85-100.
- Setiobudi, D. 1999. Alternatif Teknik Penghematan Air Irigasi untuk Tanaman Padi dengan Sistem Tabela. *Dalam* : Sriyani, N., *dkk (Editor)*. Prosiding Seminar Peningkatan Produksi Padi Nasional Melalui Sistem Tabela Padi Sawah dan Pemanfaatan Lahan Kurang Produktif. Kerjasama HIGI, PERAGI Komisariat Lampung, UNILA. Bandar Lampung. 9-10 Desember 1998. Hal : 61-65.
- Setiobudi, D. 1999. Strategi Penghematan Penggunaan Air Irigasi dalam Budidaya Padi Sawah melalui Teknik Tanpa Olah Tanah, Tabela Basah dan Cara Pemberian Air. *Dalam* : Prosiding Seminar Sehari Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional VII. Teknologi Pengembangan Lahan dan Air untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian. Kerjasama HATTA dan FOPI. Puspitek Serpong. 8 September 1999. Hal : 69-80.
- Sjamsudin, E dan A.S Karama. 1996. Budidaya Hemat Air dan Panen Hujan. *Dalam* : Pawitan, H., *dkk (Penyunting)*. Prosiding Seminar Nasional. Pemantapan Gerakan Hemat Air untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Sumberdaya Air. Kerjasama Lemhamnas, Perhimp, Peragi dan Perhepi. Hal : 69-76.

DAFTAR PESERTA

PROCEEDINGS
AGRICULTURE METEOROLOGY SYMPOSIUM VII

INCREASING NATIONAL CAPACITY OF ADAPTATION FOR
CLIMATE CHANGE THROUGH CROSS SECTORAL AND
REGIONAL COOPERATION

Jakarta, Januari 15 – 16th 2008

Penanggungjawab:

Ketua Umum Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI)

Penyunting:

Le Istiqlal Amien
Hidayat Pawitan
Irsal Las
Rizaldi Boer
Sobri Effendi
Haris Syahbuddin
Aris Pramudia

Penyunting Pelaksana:

Woro Estiningtyas
Erni Susanti
Popi Rejekiningrum
Elza Surmaini
Suciantini
Yayan Apriyana
Ana Turyanti
Adang Hamdani
Kiki Kartikasari

Setting/Layout:

Aris Dwi Saputra
Sukmara

Diterbitkan tahun 2009 oleh:

Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI) Pusat
Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB, Kampus IPB Darmaga Wing 19 LV 4
Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No.1 Bogor 16111
Telp. (0251) 8623850, 8312760; Faks. (0251) 8623850, 8312760
Email : perhimpi_pusat@gmail.com

ISBN : 978-979-546-012-1

Makalah ini tidak masuk prosiding

**PENGARUH PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP IMBUHAN
DAERAH ALIRAN SUNGAI
(STUDI KASUS CICATIH-CIMANDIRI, KABUPATEN SUKABUMI)**

Ria Emilia Sari¹, H.Pawitan², M.R.Djuwansah³

Abstract

One of watershed function is buffering, which would response to rainfall. Rainfall will be formed into run off and recharge. This research purposed is to identify hydrological Cicatih watershed function that studied about land use effect to watershed recharge. Hydrological analysis was done in spatial and temporal using Geographical Information System (GIS) technique. After that, to know about Soil Conservation Service (SCS) method efficiency in forecast run off, in this research was done base flow separation from daily stream flow with filter technique. Land use gave significant effect to watershed run off and recharge. Land use with human disturbed such as rice field and farm area gave contribution to run off more than natural area. Base flow index (BF/SF) can be used to identify hydrological watershed function. Result of analysis have showed that BF/SF ratio in Cicatih watershed was a little high that is about 0,65 with didn't significant variation in monthly.

Keywords: land use effect, watershed recharge, SCS method, hydrological watershed.

Abstrak

Salah satu fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu fungsi penyangga yang akan merespon curah hujan yang terjadi menjadi bagian limpasan dan imbuhan DAS tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fungsi hidrologis DAS Cicatih yaitu dengan melakukan kajian tentang pengaruh penggunaan lahan terhadap imbuhan Daerah Aliran Sungai (DAS). Analisis hidrologi dalam penelitian ini dilakukan secara spasial dan temporal dengan menggunakan teknik Sistem Informasi Geografi (SIG). Selanjutnya untuk mengetahui efisiensi metode SCS (Soil Conservation Service) dalam menduga limpasan permukaan, dalam penelitian ini dilakukan pemisahan baseflow dari data debit harian dengan teknik filter. Penggunaan lahan memberikan pengaruh yang nyata terhadap limpasan dan imbuhan DAS. Penggunaan lahan dengan campur tangan manusia (disturbed) seperti lahan sawah dan lahan ladang memberikan

kontribusi limpasan permukaan yang lebih besar dari pada lahan alami. Baseflow index (BF/SF) dapat digunakan untuk mengidentifikasi fungsi hidrologi DAS. Hasil analisis memperlihatkan bahwa rasio BF/SF di DAS Cicatih adalah cukup tinggi yaitu sekitar 0,65 dengan variasi tiap bulan yang tidak begitu signifikan.

Kata kunci: pengaruh penggunaan lahan, imbuhan DAS, metode SCS, hidrologi DAS.

I. PENDAHULUAN

DAS Cicatih-Cimandiri yang kaya akan sumber mata air telah mengalami eksploitasi sumberdaya air akhir-akhir ini yaitu dengan menjamurnya industri air kemasan di DAS tersebut. Kajian tentang fungsi hidrologi DAS Cicatih telah diinisiasi Pawitan et al. (2004; 2006a; 2006b) untuk memberikan gambaran umum tentang kondisi biofisik dan sosial ekonomi DAS tersebut. Salah satu fungsi hidrologi DAS yaitu fungsi penyangga (Farida dan Noordwijk, 2004) yang akan merespon curah hujan yang terjadi menjadi bagian limpasan dan infiltrasi air tanah. Suatu DAS yang baik akan mampu meredam lonjakan fluktuasi aliran permukaan dan mampu menstabilkan besarnya aliran debit sungai sehingga ketersediaan air di musim kemarau terjamin.

Penelitian ini berusaha untuk melengkapi usaha-usaha yang telah dilakukan yaitu dengan melakukan kajian tentang pengaruh penggunaan lahan terhadap imbuhan daerah aliran sungai (DAS). Dari literatur yang diperoleh, penggunaan lahan tanaman pertanian memberikan kontribusi yang besar terhadap imbuhan DAS dari pada penggunaan lahan semak dan tegakan (Prych, 1998).

II. BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan

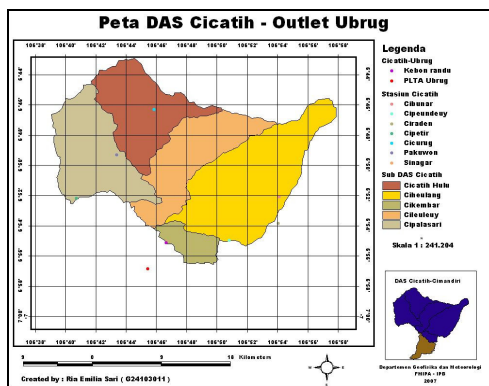
Penelitian ini menggunakan input data curah hujan harian tahun 2000 (dari PSDA Kab.Sukabumi), data debit sungai harian tahun 2000 (dari PLTA Ubrug, Kabupaten Sukabumi), peta penggunaan lahan tahun 2001 (diperoleh dari GEOTEK LIPI, Bandung), dan peta tekstur tanah (dari Puslitanak). Daerah kajian hanya sampai pada outlet Ubrug dikarenakan analisis hidrograf menggunakan data debit yang tercatat pada outlet Ubrug. Jika menggunakan keseluruhan DAS, maka dianggap data debit tidak mewakili seluruh daerah kajian.

2.2. Metode

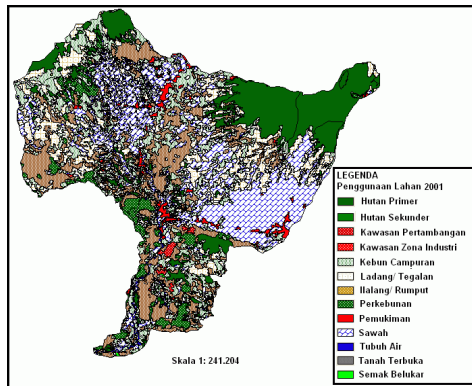
A. Penyiapan Data Curah Hujan

Tahapan dari proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

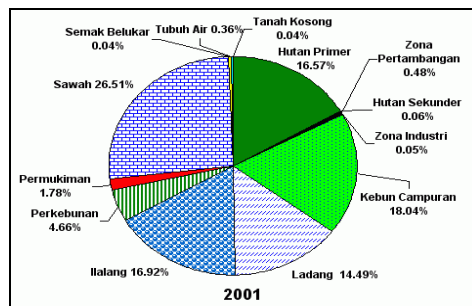
1. Pemilihan tahun dan stasiun berdasarkan kelengkapan data pengamatan hujan harian. Dari tahapan ini dipilih tahun 2000 dan sebanyak tujuh stasiun pengamatan hujan di DAS Cicatih. Stasiun dimaksud yaitu: Ciraden, Cipeundeuy, Cibunar, Cipetir, Cicurug, Pakuwon dan Sinagar (Gambar 1).
2. Pengisian data kosong bulanan untuk stasiun-stasiun terpilih dengan menggunakan metode isohyet dalam *software ArcView GIS*.



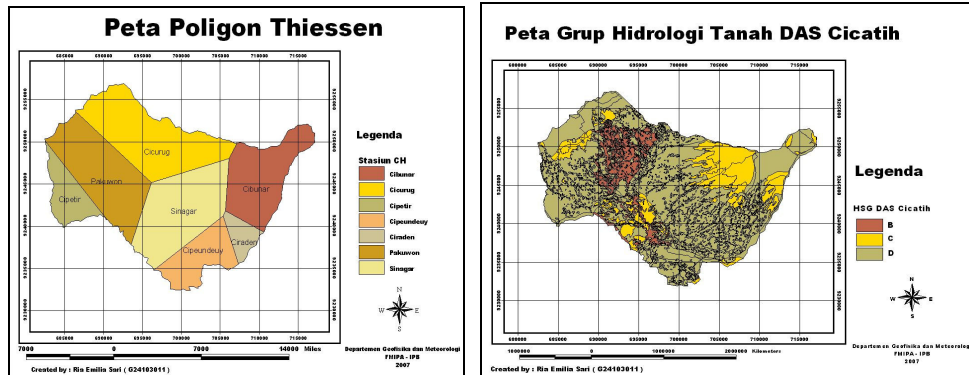
Gambar 1. Peta lokasi penelitian, stasiun curah hujan, dan stasiun debit



Gambar 2. Peta penggunaan lahan tahun 2001



Gambar 3. Grafik persentase penggunaan lahan tahun 2001 di DAS Cicatih-Cimandiri



Gambar 4. Peta poligon thiessen dari tujuh stasiun terpilih

Gambar 5. Peta klasifikasi hidrologi tanah di DAS Cicatih

3. Proses lanjutan dari tahap 2 yaitu membangkitkan data hujan harian pada bulan-bulan kosong dengan input data hujan bulanan hasil dari tahap 2. Proses pembangkitan data hujan harian menggunakan *software* CLIMGEN (Boer, 1999).
4. Tabulasi data hujan harian tahun 2000 untuk input pemodelan hidrologi.

B. Penyiapan Peta Spasial

Adapun tahapan pengolahan peta spasial dimaksud yaitu:

1. Delineasi outlet DAS dengan outlet yang baru di Bendungan PLTA Ubrug. Luas DAS yang baru yaitu 47.700 ha. Tabel 1 berikut menyajikan luasan tiap penggunaan lahan yang baru.
2. Pembuatan poligon thiessen dengan tujuh stasiun terpilih.
3. Penentuan grup hidrologi tanah berdasarkan nilai tekstur.
4. Penentuan nilai CN berdasarkan penggunaan lahan dan grup hidrologi tanah. Rata-rata nilai CN untuk tiap LU di DAS Cicatih telah disajikan pada Tabel 1.
5. Seluruh peta yang dihasilkan dari tahapan ini kemudian diubah ke format spasial dengan ukuran grid 90 m. Lalu tiap peta spasial yang diperoleh kemudian di konversi ke format *ASCII file*.

C. Pemodelan Spasial Dinamik

Untuk menentukan jumlah limpasan dan imbunan harian sebagai respon dari suatu kejadian hujan, maka dibuat suatu pemodelan spasial dinamik harian dengan menggunakan *PCRaster programming language*. Adapun tahapan penghitungan model dapat diuraikan dalam penjelasan berikut:

1. Penghitungan limpasan permukaan dengan metode SCS dengan rumus berikut:

$$Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} \dots\dots\dots (1)$$

Simbol P mewakili curah hujan harian (mm), Q adalah limpasan permukaan harian (mm) dan S menyatakan kapasitas simpan maksimum. Pemodelan ini akan menghitung limpasan permukaan sebagai fungsi produksi hujan jika curah hujan melebihi nilai I_a yaitu sebesar $0.2 * S$.

Nilai S ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (2)$$

Nilai CN bervariasi antara 1 – 100 yang mencerminkan karakteristik DAS seperti: (1) tipe tanah, (2) penggunaan tanah dan perlakuannya, (3) kondisi air tanah. Volume limpasan yang dihitung tanpa menyesuaikan nilai CN berdasarkan AMC akan menyebabkan model *over* atau *under* prediksi. Oleh karena itu nilai CN harus disesuaikan dengan persamaan berikut (Chow et al., 1988):

$$CN_I = \frac{4.2 * CN_{II}}{10 - 0.058 * CN_{II}} \dots\dots\dots (3)$$

$$CN_{III} = \frac{23 * CN_{II}}{10 + 0.13 * CN_{II}} \dots\dots\dots (4)$$

2. Setelah memperoleh nilai Q , imbunan (F) dihitung berdasarkan metode neraca air SCS dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = I_a + F + Q \dots\dots\dots (5)$$

Dari *running* model spasial dinamik harian tersebut diperoleh peta spasial harian dan data tabular limpasan dan imbuan berdasarkan penggunaan lahan dan sub-DAS. Selanjutnya hasil yang diperoleh tersebut dianalisa secara bulanan.

Tabel 1. Luas dan nilai CN tiap penggunaan lahan tahun 2001

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Luas (%)	CN
Hutan Primer	8491.37	17.80	62.01
Hutan Sekunder	30.69	0.06	60.96
Kawasan Pertambangan	159.92	0.34	87.75
Zona Industri	29.16	0.06	85.98
Kebun Campuran	8131.38	17.05	75.54
Ladang	7653.35	16.04	83.64
Ilalang	6962.15	14.60	72.76
Perkebunan	1777.95	3.73	69.84
Permukiman	928.54	1.95	84.00
Sawah	13475.44	28.25	76.78
Tubuh Air	38.60	0.08	100.00
Tanah Kosong	21.96	0.05	74.41
Total	47700.51	-	75.18

D. Pemisahan Hidrograf Harian

Dalam penelitian ini pemisahan *baseflow* menggunakan algoritma *Lyne dan Hollick* (Nathan dan McMahon, 1990) sebagai berikut:

$$Q_{f(i)} = \alpha Q_{f(i-1)} + (Q_{(i)} - Q_{(i-1)}) \frac{1 + \alpha}{2} \dots\dots\dots (6)$$

$Q_{(i)}$ adalah debit pada hari ke-i

$Q_{f(i)}$ adalah nilai quickflow untuk hari ke-i

$Q_{(i-1)}$ adalah data debit pada hari i-1

α , parameter filter yang besarnya yaitu 0.925

Selanjutnya nilai baseflow dihitung sebagai selisih antara debit dengan quickflow pada hari ke-i ($Q_b = Q - Q_f$).

E. Pengujian Model SCS

Mishra *et al.* (2005) menyatakan bahwa untuk evaluasi dari tampilan model, error akar dari rata-rata dikuadratkan (RMSE) dapat

diambil sebagai suatu index identifikasi dari variasi antara nilai perhitungan dan observasi limpasan permukaan. Persamaannya yaitu :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{scs})^2} \dots\dots\dots(7)$$

dimana Q_{obs} adalah limpasan permukaan hasil pengamatan (mm) sedangkan Q_{scs} adalah limpasan permukaan hasil perhitungan (mm). N adalah angka total dari kejadian limpasan permukaan dan i adalah integer dari 1 sampai N.

Selain itu, pengukuran tampilan model untuk mengkarakterisasi kecocokan antara hidrograf hasil observasi dan model, dapat juga menggunakan koefisien efisiensi E (Nash and Sutcliffe, 1970). Koefisien efisiensi E didefinisikan sebagai:

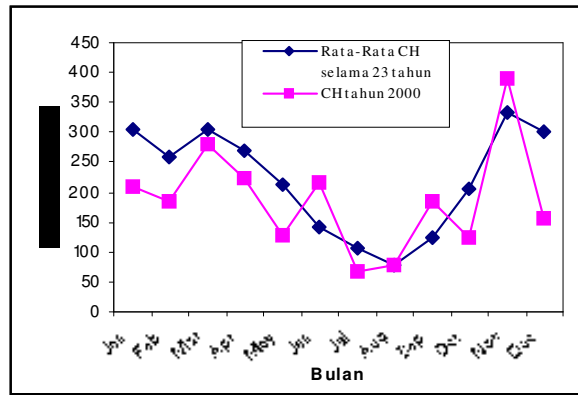
$$E = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{scs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \right] \dots\dots\dots(8)$$

Koefisien efisiensi E biasa digunakan untuk mengukur tampilan model hidrologi dan ilmu tanah. Nilai E berkisar antara 0 sampai 1, dengan nilai maksimal E sebesar 1 artinya hasil simulasi sempurna dibandingkan pengukurannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

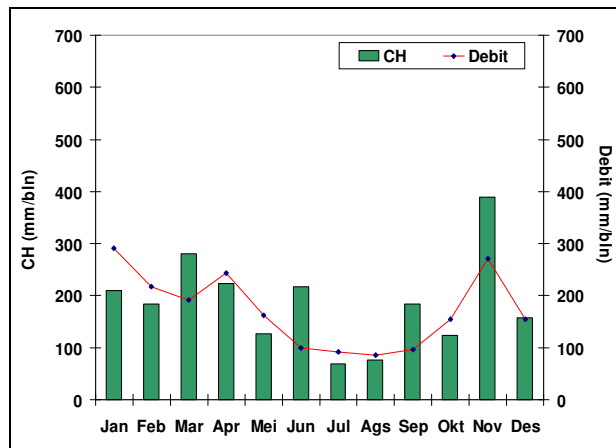
Karakteristik Hidrologi Daerah Kajian

Pola curah hujan DAS Cicitih mengikuti pola muson (Gambar 6). Begitu pula halnya dengan tahun 2000 yang merupakan tahun observasi data penelitian. Puncak hujan bulanan pada tahun ini terjadi pada bulan November sebesar 389 mm dan curah hujan terendah adalah pada bulan Juli yaitu sebesar 69 mm. Tahun 2000 merupakan tahun dengan curah hujan rendah (Gambar 8). Total curah hujan tahunan yaitu sekitar 2245 mm, sedangkan curah hujan tahunan selama 23 tahun rata-rata dari tujuh stasiun di DAS Cicitih menunjukkan nilai mencapai 2641 mm/tahun.



Gambar 6. CH bulanan rata-rata dari 7 stasiun di DAS Cicatih

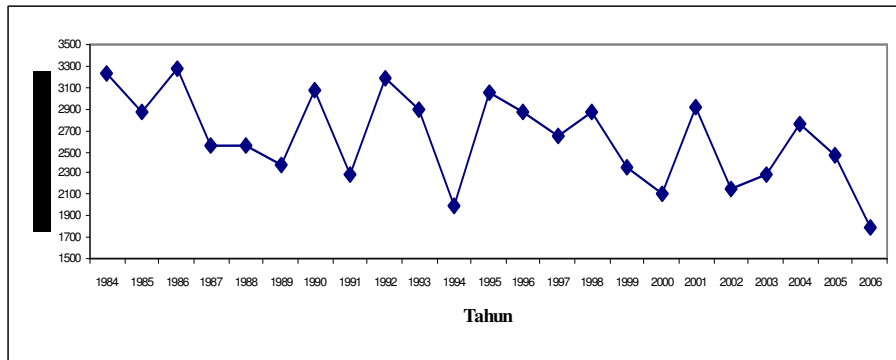
Seperti data curah hujan, data debit bulanan tahun 2000 juga menunjukkan pola musiman yang jelas (Gambar 7). Debit maksimum terjadi pada bulan Januari sebesar $1606,43 \text{ m}^3/\text{s}$ (291 mm) dan terendah pada bulan Agustus sebesar $477.06 \text{ m}^3/\text{s}$ (86,41 mm). Sebagai respon dari kejadian hujan, data debit terukur pada bulan-bulan tertentu tidak sinkron dengan jumlah asupan curah hujan DAS. Hal ini dapat dikenali dari Gambar 7 untuk bulan Maret, Juni, dan Oktober. Sebagai contoh, total debit bulan Maret seharusnya lebih besar dari bulan Februari dan Bulan April karena pada bulan Maret asupan curah hujan lebih tinggi, tetapi yang terjadi adalah sebaliknya. Pencatatan data curah hujan dan data debit yang kurang akurat dapat menjadi salah satu faktor penyebab.



Gambar 7. Grafik curah hujan dan debit bulanan (mm) tahun 2000

Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Q dan F

Penggunaan lahan memberikan pengaruh yang nyata terhadap fungsi hidrologi DAS yaitu dalam kajian ini berupa limpasan dan imbuan DAS. Dari penghitungan dengan metode SCS diperoleh besar limpasan dan imbuan DAS Cicatih tahun 2000 berturut-turut sebesar 398 mm dan 560 mm. Penggunaan lahan dengan campur tangan manusia (*disturbed*) seperti lahan sawah dan lahan ladang memberikan kontribusi limpasan permukaan yang lebih besar dari pada lahan alami. Lahan sawah memberikan kontribusi terhadap limpasan DAS terbesar yaitu sebesar 30% dari total limpasan DAS (sekitar 119 mm).



Gambar 8. Curah hujan tahunan rata-rata dari 7 stasiun di DAS Cicatih

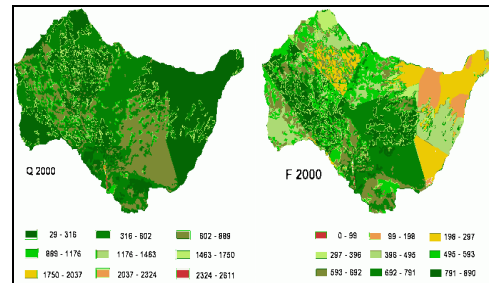
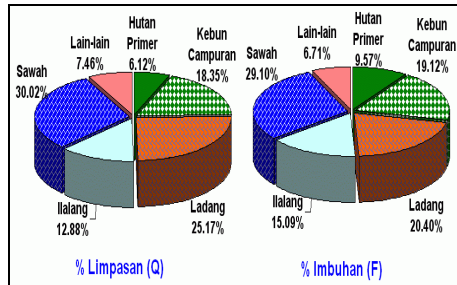
Dengan % luasan yang hampir sama (lihat Tabel 1, sesi Penyiapan peta spasial) bahkan lebih besar dari lahan ladang; lahan kebun campuran; dan lahan ilalang, lahan hutan memberikan kontribusi yang kecil terhadap limpasan total DAS yaitu sebesar 6% (sekitar 24mm). Sedangkan lahan ladang menyumbang sekitar $\frac{1}{4}$ dari limpasan total DAS (100 mm), diikuti lahan kebun campuran dan lahan ilalang masing-masing sebesar 18% (73 mm) dan 13% (51 mm). Gambar 9 memberikan gambaran persentase kontribusi tiap penggunaan lahan terhadap limpasan total. Untuk kategori lain-lain, perkebunan memberikan kontribusi sekitar 3.12% dan pemukiman sekitar 2.84%, serta kontribusi yang sangat kecil dari lahan tanah kosong, kawasan tambang, zona industri, hutan sekunder dan tubuh air.

Untuk imbuan DAS, urutan penyumbang imbuan tiap tipe penggunaan lahan sama dengan urutan penyumbang limpasan yaitu lahan sawah menyumbang 29% (163 mm), lahan ladang dan lahan kebun campuran berkontribusi sekitar 40% dari imbuan total (221 mm), lahan ilalang berkontribusi sebesar 15%, diikuti lahan hutan primer yang memberikan kontribusi kurang dari 10% (Gambar 9).

Lahan sawah selalu menempati urutan pertama baik dalam memberikan kontribusi limpasan maupun imbuan DAS. Keadaan ini lebih disebabkan oleh persentase luasannya yang melebihi seperempat luas DAS Cicitih (Tabel 1). Lagipula lahan sawah pada waktu-waktu tertentu berada dalam kondisi tergenang, sehingga cenderung melimpaskan air yang jatuh di atasnya.

Distribusi Spasial dan Temporal Q dan F

Distribusi spasial limpasan (Q) dan imbuan (F) DAS Cicitih disajikan pada Gambar 10. Limpasan tertinggi sebesar 2611 mm terjadi pada tubuh air dan terendah sebesar 137 mm pada hutan primer. Tubuh air memang cenderung untuk mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya. Sedangkan pada hutan primer, serasah serta materi organik yang terdapat di dalamnya memberikan pengaruh besar dalam menghambat limpasan. Imbuan tertinggi DAS Cicitih yaitu sebesar 807 mm pada zona industri dan terendah adalah pada tubuh air yang nilainya mendekati nol. Luasan dari penggunaan lahan tubuh air sangat kecil, hanya 0,08% dari luas total DAS. Tubuh air juga berperilaku seperti penggunaan lahan sawah dikarenakan kondisinya yang sering digenangi. Maka pada tampilan neraca air metode SCS untuk tiap penggunaan lahan, tubuh air digabung pada penggunaan lahan sawah.



Gambar 9. Persentase sumbangan tiap penggunaan lahan terhadap Q dan F DAS Cicitih-Cimandiri tahun 2000

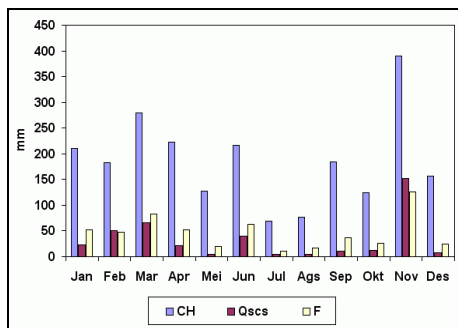
Gambar 10. Peta spasial Q (mm) dan F(mm) DAS Cicitih tahun 2000

Secara temporal limpasan tertinggi terjadi pada bulan November dan terendah pada bulan Mei. Imbuan tertinggi terjadi bulan November dan terendah adalah pada bulan Juli. Keadaan ini bisa dikatakan wajar, karena curah hujan paling tinggi juga terjadi pada bulan November yaitu sekitar 389 mm. Pada saat tanah telah sampai pada titik jenuh, maka

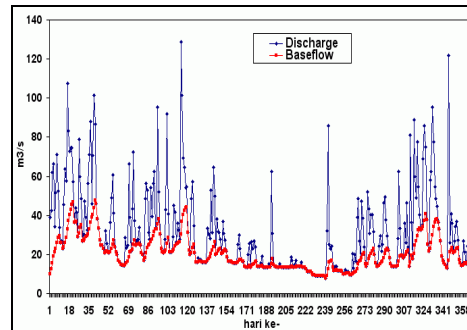
curah hujan yang terjadi akan menjadi limpasan. Intensitas hujan yang tinggi yang melebihi laju infiltrasi juga mengakibatkan sebagian besar curah hujan berubah menjadi limpasan. Sedangkan pada bulan Mei, curah hujan memang cukup rendah, akan tetapi curah hujan terendah adalah pada bulan Juli yang berdampak pada menurunnya jumlah imbunan (Gambar 11).

Komponen Hidrograf

Dengan menggunakan teknik filter, hasil dari pemisahan *baseflow* harian disajikan dalam Gambar 12. Sekitar 65% debit sungai Cicitih tahun 2000 merupakan sumbangan *baseflow* yaitu 1350 mm. Sedangkan debit sungai sebagai respon DAS dari kejadian hujan (*quickflow*) hanya sekitar 712 mm. Pada periode kering, sumbangan *baseflow* sangat tinggi lebih dari 70% seperti pada Juni hingga September (Tabel 3). Dengan nilai *baseflow index* yang tinggi berarti fungsi hidrologi DAS dalam menyediakan air di musim kemarau terjamin.



Gambar 11. Histogram distribusi temporal CH, Qscs, dan F tahun 2000.



Gambar 12. Hidrograf harian DAS Cicitih tahun 2000 (m^3/s)

Fungsi Hidrologis DAS

Fungsi hidrologis Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah peranan daerah tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh yang kemudian mengalir menjadi air permukaan. Suatu DAS dikatakan memiliki fungsi hidrologis yang baik apabila berperan baik dalam meredam lonjakan fluktuasi limpasan permukaan yang diakibatkan oleh turunnya hujan, menstabilkan besarnya *discharge*, serta memperpanjang ketersediaan limpasan permukaan dimusim kering.

Tabel 2. Parameter biofisik DAS Cicatih

Parameter biofisik DAS	m ³	mm	Ket
Luas DAS	-	-	47.700,51 ha
Debit harian			
Debit harian max	121,78	22,06	10 Des 2000
Debit harian min	8,00	1,45	26 Agus 2000
Debit harian rata-rata	31,10	5,63	-
Debit bulanan			
Debit bulanan max	1606,73	291,03	Januari
Debit bulanan min	477,06	86,41	Agustus
Debit tahunan	11.383,33	2.061,86	-
CH bulanan			
CH bulanan max	-	389,94	November
CH bulanan min	-	69,00	Juli
CH tahunan	-	2.245,48	-
Koefisien Runoff (Debit/CH)	-	-	0.92

Tabel 3. Komponen parameter hidrograf DAS Cicatih (dalam mm) tahun 2000

Bulan	CH	SF	QF	BF	Rc*	BI*
Jan	210	291	127	164	1.38	0.56
Feb	183	217	67	150	1.18	0.69
Maret	280	191	70	121	0.68	0.63
Apr	223	243	88	156	1.09	0.64
Mei	127	163	53	110	1.28	0.68
Jun	217	100	15	85	0.46	0.85
Jul	69	92	15	77	1.34	0.84
Agus	77	86	22	64	1.12	0.75
Sep	184	97	28	69	0.53	0.71
Okt	125	155	57	98	1.24	0.63
Nov	389	271	122	149	0.69	0.55
Des	157	155	48	107	0.99	0.69
Total	2246	2062	712	1350	-	-
Rataan	-	-	-	-	0.92	0.65

Ket : CH curah hujan, SF debit bulanan, QF quick flow, BF baseflow,
Rc Koefisien runoff (SF/CH), BI (BF/SF) baseflow index
* tidak berdimensi

Pada pemisahan *baseflow* juga telah ditetapkan *baseflow index* (BF/SF). Hasil analisis memperlihatkan bahwa rasio BF/SF di DAS Cicatih adalah cukup tinggi yaitu sekitar 0,65 dengan variasi tiap bulan yang tidak begitu signifikan. Nilai ini mengindikasikan bahwa DAS Cicatih masih memiliki fungsi hidrologis yang baik.

Fungsi hidrologi DAS dalam menyediakan air di musim kemarau dapat terjamin dengan tingginya nilai *baseflow index*. Pada bulan kemarau nilai BI sangat tinggi yang dapat menjadi indikasi kondisi cadangan airbumi DAS Cicatih masih bagus. Pada musim kemarau, aliran airbumi (*groundwater flow*) merupakan sumber utama debit sungai. Dari Gambar 12 terlihat jelas kontribusi *baseflow* (ditunjukkan oleh garis merah) ke DAS Cicatih terutama pada bulan-bulan kemarau.

Tipe penggunaan lahan dengan campur tangan manusia memberikan sumbangan yang besar terhadap limpasan permukaan dan imbuhan. Lahan sawah, lahan ladang dan lahan kebun campuran memberikan kontribusi hampir $\frac{3}{4}$ dari limpasan total. Sedangkan lahan hutan hanya memberikan kontribusi sekitar 6%. Besarnya limpasan pada tipe lahan campur tangan manusia karena tingginya nilai CN pada lahan tersebut (lihat Tabel 1). CN lahan sawah sebesar 76.8, lahan ladang 83.6, dan CN lahan kebun campuran 75.5, sedangkan CN lahan hutan primer sebesar 62. Nilai CN berkorelasi positif dengan besarnya limpasan yang terjadi karena dalam model SCS hubungan hujan dan limpasan dikontrol oleh potensi simpanan maksimum (Weng, 2001; USDA, 2004). Banyaknya serasah dan tutupan vegetasi yang rapat pada lahan hutan dapat menjadi penyebab rendahnya limpasan permukaan. Infiltrasi dan limpasan dipengaruhi oleh kekasaran permukaan (Govers *et al.*, 2000).

Selain faktor tersebut, secara umum persentase area juga menentukan besarnya kontribusi tiap tipe lahan terhadap besarnya limpasan dan imbuhan DAS. Tipe penggunaan lahan sawah dengan luasan terbesar menjadi penyumbang terbesar bagi limpasan dan imbuhan. Sedangkan daerah sub-urban (seperti zona industri dan pemukiman) meskipun nilai CN sangat tinggi (lebih dari 84) akan tetapi kontribusinya terhadap limpasan dan imbuhan dalam skala DAS sangat kecil karena persentase luasan yang kecil. Neraca air metode SCS disajikan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Neraca air metode SCS (mm) tahun 2000 berdasarkan sub-DAS

No	Sub DAS	Luas (ha)	% Area	CH (mm)	Ia (mm)	Qscs (mm)	F (mm)
1	Ciheulang	16085.7	33.7	1972.3	1119.7	357.1	495.5
2	Cikembar Ubrug	2553.5	5.4	2487.6	1288.7	531.0	667.8
3	Cileuleuy	9332.4	19.6	2370.6	1426.4	380.4	563.9
4	Cipalasari	10327.9	21.7	2527.0	1392.9	471.5	662.6
5	Cicatih hulu	9401.0	19.7	2214.9	1323.0	367.5	524.4
		47700.5	100.0				

Tabel 5. Neraca air metode SCS (mm) tahun 2000 berdasarkan tipe penggunaan lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	% Area	CH (mm)	Ia (mm)	Qscs (mm)	F (mm)
1	Hutan Primer	8491.4	17.8	1929.5	1491.8	136.8	301.0
2	Hutan Sekunder	30.7	0.1	2582.2	1932.9	213.9	435.4
3	Kawasan Pertambangan	159.9	0.3	2454.9	777.5	903.8	773.6
4	Zona Industri	29.2	0.1	2468.0	845.2	815.4	807.3
5	Kebun Campuran	8131.4	17.0	2400.8	1344.9	428.0	627.9
6	Ladang	7653.4	16.0	2293.2	957.8	623.6	711.7
7	Ilalang	6962.1	14.6	2401.5	1471.9	351.0	578.7
8	Perkebunan	1777.9	3.7	2494.9	1595.5	332.8	566.6
9	Permukiman	928.5	1.9	2130.9	893.9	579.4	657.6
10	Sawah	13514.04	28.3	2215.2	1211.5	428.7	575.0
11	Tanah Kosong	22.0	0.0	2364.6	1387.0	389.7	587.9
		47700.5	100.0				

Pengujian Model SCS

Semakin tinggi nilai RMSE, maka semakin buruk tampilan model, begitu pula sebaliknya. Pengujian yang dilakukan oleh Mishra et al. (2005) pada 5 kelas curah hujan yang masing-masing diuji dengan 10 model memperlihatkan bahwa nilai RMSE sebesar 3,4 berada dalam selang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa model SCS baik digunakan untuk perkiraan nilai limpasan di DAS Cicatih.

Hasil pengujian tampilan model SCS dengan menggunakan persamaan Nash dan Sutcliffe, diperoleh nilai $E = 0,4$. Nilai 0,4 ini mengindikasikan bahwa prediksi nilai limpasan permukaan dengan menggunakan model SCS adalah cukup baik dibandingkan dengan prediksi limpasan permukaan dengan menggunakan nilai observasi rata-rata.

KESIMPULAN DAN SARAN

Tipe penggunaan lahan memberikan pengaruh yang nyata terhadap limpasan dan imbuan pada skala DAS. Neraca air metode SCS di DAS Cicatih pada tahun 2000 menunjukkan bahwa limpasan tertinggi pada kawasan pertambangan dan terendah adalah pada hutan primer. Sedangkan imbuan tertinggi adalah pada zona industri dan terendah adalah pada hutan primer.

Penelitian ini sampai pada tahap mengetahui jumlah imbuan DAS Cicitih baik secara spasial maupun temporal. Oleh karena itu perlu dilanjutkan untuk menghitung jumlah air yang berperkolasi sehingga diketahui imbuan airbumi. Setelah itu, evapotranspirasi tanah juga dapat diketahui dengan menghitung selisih antara imbuan DAS dan imbuan airbumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : IPB Press.
- Boer, R. 1999. *Model Pembangkit Data Iklim*. Bogor: Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA-IPB.
- Farida, Noordwijk, M. 2004. Analisis debit sungai akibat alih guna lahan dan aplikasi model Genriver pada DAS Way Besai, Sumberjaya. *J.Agrivita* 26:39-47.
- Hidayat, P, Kolopaking, L, Taufik, M, Kurnianto, S, dan Nawireja, K. 2006a. Assessing the biophysical indicators of forested watershed functions. *Final Report for IPB/CIFOR research Collaboration Phase II*; Bogor, Februari 2006. Bogor: Lab of hydrometeorology, IPB.
- Hidayat, P, Kolopaking, L, Taufik, M, dan Nawireja, K. 2006b. Assessing the biophysical and socio-economic indicators of watershed functions: a case study of Cicitih-Cimandiri watershed. *Final Report for IPB/CIFOR research Collaboration Phase III*; Bogor, Desember 2006. Bogor: Lab of hydrometeorology, IPB.
- McCuen, RH. 1982. *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*. New York : Prentice-Hall, Inc.
- Melesse, AM, Graham, WD, Jordan, JD. 2003. Spatially distributed watershed mapping and modeling: GIS-based storm runoff response and hydrograph analysis: part 2. *J. Hydrol* 3:14-16.
- Mishra, SK, Jain, MK, Bhunya, PK, Singh, VP. 2005. Field applicability of SCS-CN based Mishra-Singh general model and its variants. *Water Resources Management* 19:37-62.
- Taufik, M. 2006. Analisis limpasan permukaan dengan sistem informasi geografis untuk mendukung penentuan indikator kuantitatif fungsi hidrologi DAS Cicitih. *J. Ilmu Pertanian Indonesia* 11(1): 31-36.
- USDA. 2004. Hydrologic soil-cover complexes. NEH, Chapter 9, July 2004. *Natural Resources Conservation Service*.
- USDA. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. NEH, Chapter 10, July 2004. *Natural Resources Conservation Service*.

- USDA. 2007. Hydrologic soil groups. NEH, Chapter 7, May 2007. *Natural Resources Conservation Service*.
- USDA. 2007. Hydrograph. NEH, Chapter 16, March 2007. *Natural Resources Conservation Service*.
- Vink, APA. 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. Berlin: Springer-Verlag.



ISBN : 978-979-546-012-1