

ANALISIS DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PRODUKSI TANAMAN PANGAN PADA LAHAN KERING DAN RANCANG BANGUN SISTEM INFORMASINYA

Analysis of Climate Change Impacts on Food Crops Production in Dry Land and Design of Information System

Yayan Apriyana, Erni Susanti, Suciantini, Fadhlullah Ramadhani dan Elza Surmaini

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1A PO. BOX. 830, Bogor 16111

Telp. (0251) 8312760, Fax. (0251) 8323909

E-mail: yanapri@yahoo.com

(Makalah diterima, 25 November 2015 – Disetujui, 3 Juni 2016)

ABSTRAK

Perubahan frekuensi dan tingkat keparahan kejadian iklim ekstrim dan variabilitas pola cuaca mempunyai konsekuensi bagi stabilitas sistem pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk a) menganalisis dampak perubahan iklim terhadap tanaman pangan pada lahan kering b) mengembangkan prototipe perangkat lunak analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi pangan, terutama padi gogo dan jagung pada lahan kering; dan c) membuat simulasi dengan beberapa skenario penanggulangan dampak perubahan iklim pada lahan kering. Penelitian dilakukan di Sulawesi Selatan, NTB dan NTT. Kegiatan mencakup pembuatan proyeksi curah hujan menggunakan skenario: a) SRESA2 (skenario perubahan iklim dengan mengasumsikan pertumbuhan ekonomi lebih rendah dan pertumbuhan populasi tetap tinggi sehingga laju emisi gas rumah kaca meningkat, b) SRESB1 (skenario perubahan iklim yang mengasumsikan upaya mitigasi melalui peningkatan efisiensi penggunaan energi dan perbaikan teknologi sehingga tingkat emisi lebih rendah), dan membuat proyeksi produksi padi gogo dan jagung menggunakan *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) sebagai bahan informasi dalam penyusunan protipe perangkat lunak sistem informasi dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan (SIDaPi TaPa). Sistem dibangun berdasarkan hasil analisis proyeksi produksi keluaran model simulasi DSSAT. Skenario SRESA1 menunjukkan penurunan curah hujan meningkat hingga tahun 2050 di beberapa kabupaten, di Sulawesi Selatan, NTT dan NTB. Perlakuan adaptasi melalui skenario SRESB1 efektif mengantisipasi penurunan curah hujan yang terjadi pada beberapa wilayah, baik pada tahun 2025 maupun tahun 2050. Pada umumnya wilayah yang mengalami penurunan curah hujan akan mengalami penurunan produksi baik produksi padi gogo maupun jagung. Penurunan produksi padi gogo menurut skenario SRESA2 hingga tahun 2050 antara 20-25%, dengan dilakukan perlakuan adaptasi melalui skenario SRESB1 penurunan produksi dapat diminimalkan hanya menjadi 7-10%. Penurunan produksi jagung menurut skenario SRESA2 hingga tahun 2050 antara 9-15%, dengan menggunakan skenario SRESB1 penurunan produksi menjadi 5-8%. SIDAPI TAPA merupakan perangkat lunak analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi pangan, terutama padi gogo dan jagung, pada lahan kering di Sulawesi Selatan, NTB, dan NTT.

Kata kunci: sistem informasi, perubahan iklim, tanaman pangan, lahan kering

ABSTRACT

Changes in the frequency and severity of extreme climate events and in the variability of weather patterns will have significant consequences for stability of agricultural system. Research objectives were to a) analyze the Impact of Climate Change on Food Crops in Dryland b) develop a software prototype analysis of the impact of climate change on food production, especially upland rice and maize on dry land; c) create a simulation with multiple scenarios of the impact of climate change on dry land. The study was conducted in South Sulawesi, West Nusatenggara and East Nusatenggara. The activities were carried out by projecting precipitation using scenarios: a) SRESA2 (Scenarios of climate change by assuming economic growth is lower and population growth remains high so the rate of greenhouse gas emissions increased, b) SRESB1 (scenario of climate change by assuming mitigation efforts through expanding efficient use of energy and technology improvements so that the emission levels are lower) and making projections of production of upland rice and maize using Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) as resource information in the preparation of prototype software information Systems Climate Change Impacts on Crop Production (SIDaPi TaPa). The system was built based on the analysis simulation model projections of production output DSSAT. Based on SRES scenarios A2, the decline in rainfall increased until 2050 in several districts, in South Sulawesi, West Nusatenggara and East Nusatenggara. Treatment of adaptation through SRESB1 scenarios could be effective to anticipate a decrease in rainfall in some regions, either in 2025 or 2050. In general, the region experiencing a decrease in rainfall will also decrease in production of both upland rice and maize production. The decline in upland rice production by SRESA2 scenario until 2050 was between 20-25%, and by a scenario adaptation SRESB1 the decline in production could be minimized to only between 7 -10%.The decline in maize production in the plot until 2050 by SRESA2 was between 9-15%, using scenarios to reduce production SRESB1 was only 5-8%. SIDAPI TAPA is a software analysis of the impact of climate change on food production, especially upland rice and maize on dry land in South Sulawesi, West Nusatenggara and East Nusatenggara.

Key words: information systems, climate change, food crops, dry land

PENDAHULUAN

Perubahan dan variabilitas iklim merupakan fenomena anomali iklim yang menjadi perhatian serius karena berdampak besar terutama terhadap sektor pertanian. Di Indonesia, dalam 30 tahun terakhir telah terjadi beberapa kali kondisi iklim ekstrim yang ditandai oleh frekuensi variabilitas iklim yang semakin tinggi. Variabilitas iklim Indonesia sangat berkaitan erat dengan ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) di Samudera Pasifik (Trenberth *et al.* 1995, Kirono & Khakim 1999; Naylor *et al.* 2002) dan IOD (*Indian Ocean Dipole*) di Samudera Hindia (Saji *et al.* 1999; Webster *et al.* 1999; Ashok *et al.* 2001; Mulyana 2001, Jourdain *et al.*, 2013). Munculnya fenomena El Niño kuat sebanyak tujuh kali sepanjang 20 tahun terakhir disertai dengan fenomena IOD positif yang hampir terjadi bersamaan yang mengakibatkan deraan kekeringan yang cukup serius. Berdasarkan peristiwa kekeringan yang terjadi 43 kali pada tahun 1844-1998, hanya enam peristiwa kekeringan yang tidak berkaitan dengan fenomena El Niño (Allan, 2000, Boer and Subbiah 2005). Kondisi tersebut menimbulkan dampak yang signifikan terhadap strategi budaya dan produksi pertanian, terutama tanaman pangan (Hamada *et al.* 2002; Haylock and McBride 2001; IPCC 2001; IPCC, 2007; Porter and Semenov 2005; Betts 2005; Osborne 2005).

Dampak relatif perubahan iklim terhadap ketahanan pangan berbeda antar daerah (Gutman *et al.* 2005; FAO 2005), baik di daerah tropis maupun subtropis. Namun dampak di daerah tropis lebih besar karena mempunyai variasi curah hujan yang cukup besar (Slingo *et al.* 2005) yang pada gilirannya mengganggu stabilitas sistem pertanian (Koesmaryono *et al.* 2008). Hasil kajian FAO (2005) menunjukkan variabilitas dan perubahan iklim mempengaruhi 11% lahan pertanian di negara-negara berkembang yang dapat mengurangi produksi bahan pangan dan menurunkan Produk Domesik Bruto (PDB) sampai 16%. Sementara itu dampak variabilitas dan perubahan iklim juga dapat menurunkan produksi tanaman pangan (serealia) di kawasan Asia Tenggara antara 2,5% sampai 7,8% (Fischer *et al.* 2002). Variabilitas dan perubahan iklim dengan segala dampaknya berpotensi menyebabkan kehilangan produksi tanaman pangan, 20,6% untuk padi, 13,6% jagung, dan 12,4% kedelai (Handoko *et al.* 2008). Sementara kebutuhan pangan terutama beras terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk. Diperkirakan pada tahun 2025 jumlah penduduk akan mencapai 262 juta jiwa dengan konsumsi beras 134 kg per kapita, dengan demikian kebutuhan beras nasional mencapai 35,1 juta ton atau 65,9 juta ton GKG (Budianto 2002).

Munculnya anomali iklim El Niño dan IOD positif secara bersamaan jelas implikasinya terhadap waktu

tanam. Misalnya pada tahun 1997/98 akibat kedua fenomena tersebut telah menggeser waktu tanam pada musim hujan 1997/98, hingga 2-3 bulan (6-9 dasarian) yang juga berpengaruh terhadap waktu tanam pada musim berikutnya (Las 2000). Fenomena ini menurunkan produksi padi sebesar 6,5% yang berdampak pada peningkatan impor beras menjadi 3 juta ton pada tahun 1998 (BPS 1998). Demikian pula terhadap masa tanam, terjadi pergeseran antara 10-20 hari dari masa tanam normal (Linderholm 2006). Menurut Cline (2007), pada tahun 2080 mendatang, penurunan produktivitas komoditas pertanian di Indonesia akibat pemanasan global berkisar antara 15-25%. Kalau pengayaan CO₂ di *atmosphere* ikut diperhitungkan, penurunan produktivitas berkisar antara 5-15% dari produktivitas saat ini. Selanjutnya FAO (2008) menyatakan usahatani lahan kering dengan kondisi stres kelembaban lahan yang moderat selama rentang waktu setahun memerlukan sistem budidaya dan teknologi yang mampu menjamin keuntungan bagi petani dalam sistem usahatani berkelanjutan.

Kajian pemanasan global erat kaitannya dengan pendugaan berapa besarnya emisi gas rumah kaca (GRK) pada masa yang akan datang. Skenario ini menggunakan asumsi pertumbuhan ekonomi ke depan berlangsung cepat, populasi global meningkat sampai pertengahan abad 21. Dalam menduga emisi GRK sampai tahun 2100 telah disusun beberapa skenario emisi, atau Special Report on Emission Scenarios (SRES), yaitu A1, A2, B1, dan B2. Keempat skenario emisi utama tersebut disusun menggunakan beberapa pendekatan pemodelan sehingga menghasilkan beberapa perkiraan emisi untuk masukan data penentu emisi yang sama (IPCC, 2000).

Pada tahun 2009, telah dibangun prototipe perangkat lunak sistem informasi prediksi kerusakan tanaman padi akibat banjir dan kekeringan dan dampaknya terhadap produksi padi di tingkat kabupaten di Pulau Jawa. Pada prototipe tersebut juga dapat ditampilkan periode ulang kejadian banjir dan kekeringan. Pada tahun 2010 dilakukan beberapa penyempurnaan terhadap perangkat lunak tersebut dengan mengintegrasikan spesialisasi data dalam prototipe interaktif dan melakukan simulasi dengan beberapa skenario penanggulangan dampak perubahan iklim. Pada tahun 2012 dibuat Sistem Informasi Dampak Perubahan Iklim Tanaman Pangan (SIDaPi TaPa) pada lahan kering di Indonesia karena prospektif bagi penyediaan pangan, dengan luas mencapai 88,6% dari total lahan. Di luar Jawa, lahan kering sangat luas dan belum banyak dimanfaatkan, terutama di Kawasan Timur Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk: a) menganalisis dampak perubahan iklim terhadap tanaman pangan pada lahan kering, b) mengembangkan prototipe perangkat lunak analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi

pangan terutama padi gogo dan jagung pada lahan kering; c) membuat simulasi dengan beberapa skenario penanggulangan dampak perubahan iklim pada lahan kering.

MATERI DAN METODE

Pengembangan perangkat lunak dilakukan secara *desk* studi pada tahun 2012 sampai 2013 di tiga provinsi, yaitu Sulawesi Selatan, NTB dan NTT. Lokasi penelitian merupakan perwakilan Indonesia Timur yang mempunyai lahan kering yang relatif luas sehingga dapat dijadikan sasaran utama pengembangan tanaman pangan.

Fokus Kegiatan

Membuat proyeksi curah hujan dengan skenario: a) SRESA2 (Skenario perubahan iklim dengan mengasumsikan pertumbuhan ekonomi lebih rendah dan pertumbuhan populasi tetap tinggi sehingga laju emisi GRK meningkat, b) SRESB1 (Skenario perubahan iklim yang mengasumsikan upaya mitigasi melalui peningkatan efisiensi penggunaan energi dan perbaikan teknologi sehingga tingkat emisi lebih rendah) dan membuat proyeksi produksi padi gogo dan jagung menggunakan *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) sebagai bahan informasi dalam penyusunan protipe perangkat lunak sistem informasi dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan (SIDaPi TaPa), dibangun berdasarkan hasil analisis proyeksi produksi keluaran model simulasi DSSAT.

Bentuk Kegiatan

Dalam pencapaian target *output*, tahapan pelaksanaan kegiatan berupa Analisis proyeksi produksi padi gogo dan jagung di lahan kering akibat dampak perubahan iklim adalah sebagai berikut:

Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan terdiri atas curah hujan bulanan, iklim harian, luas lahan kering, luas panen serta produktivita per kabupaten pada tahun 2005-2011, data teknologi budidaya tanaman padi gogo dan jagung, dan peta tanah tinjau. Teknologi budidaya tanaman pangan dikumpulkan melalui laporan tahunan dinas pertanian propinsi. Data fisika dan kimia tanah dikumpulkan dari berbagai hasil survei tanah detil dari Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.

Pemodelan downscaling untuk memperoleh proyeksi curah hujan

Proyeksi curah hujan menggunakan skenario: a) SRESA2 (Skenario perubahan iklim dengan mengasumsikan pertumbuhan ekonomi lebih rendah dan pertumbuhan populasi tetap tinggi sehingga laju emisi GRK meningkat, b) SRESB1 (Skenario perubahan iklim yang mengasumsikan upaya mitigasi melalui peningkatan efisiensi penggunaan energi dan perbaikan teknologi sehingga tingkat emisi lebih rendah).

Pemodelan *downscaling* diawali dengan membuat regresi berganda antara data observasi (data APHRODITE) tahun 1965-1998 dengan data GCM (NIES reanalysis) skenario SRESA2 dan SRESB1 pada periode yang sama. Model yang dihasilkan digunakan untuk validasi data tahun 2001-2007.

Prediksi curah hujan pada tahun 2015-2050 diperoleh dari hasil pemodelan *downscaling* data GCM. Kemudian dipilih data tahun 2025 dan 2050 yang digunakan untuk analisis proyeksi produksi.

Stasiun hujan terpilih yang digunakan untuk analisis proyeksi produksi menggunakan DSSAT diperoleh dari stasiun yang berada pada satu wilayah hujan. Wilayah hujan menggunakan *polygon thiessen* dari data hujan harian di stasiun pengamatan hujan.

Analisis perubahan produksi padi gogo dan jagung akibat dampak perubahan iklim

Untuk mempelajari pengaruh keragaman dan perubahan iklim terhadap hasil tanaman digunakan model simulasi DSSAT (Jones *et al.*, 2003). Model simulasi tanaman ini mensimulasikan pertumbuhan, perkembangan dan hasil sebagai fungsi dinamika tanah-tanaman-atmosfer. DSSAT dikembangkan untuk mengoperasionalkan pendekatan sistem dan membuatnya tersedia untuk aplikasi global. Model ini memerlukan masukan berupa data iklim, tanah, parameter genetik dan informasi teknologi budidaya.

Data tanah dimasukkan ke dalam Sbuild, yang berisi halaman untuk pengisian info general, input tabel dan kalkulasi/edit parameter tanah. Info general meliputi nama wilayah, site pengamatan, data lintang, bujur, klasifikasi tanah, nama series tanah, sumber data dll. Input tabel meliputi kedalaman pengambilan sampel tanah, master horizon tanah, persentase liat, pasir dan lempung, persentase C organik, total N, pH dan KTK. Kalkulasi/edit parameter tanah berisi saturasi, *bulk density*, *root growth factor*, dan informasi *albedo*, *run off* CN, dan laju *drainase*.

Sebelum data diproses untuk simulasi, data iklim dan tanah disiapkan terlebih dahulu pada file terpisah. Data iklim untuk beberapa tahun pengamatan disiapkan di *excel*, kemudian diproses menggunakan *mathlab* ver.7.

Output dari Matlab berupa *file.wth*, yang merupakan *input* untuk data iklim pada program DSSAT

File data iklim dan tanah merupakan *input* DSSAT. Data-data lain diinput di DSSAT, dengan pengisian data yang dibutuhkan pada *experiment*, *management* dan *treatment*. *Running* simulasi dilakukan setelah data yang dibutuhkan terisi. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk memperhitungkan produksi tanaman. Keluaran hasil simulasi (kg/ha) dikalikan dengan luas tanam per musim, untuk mendapatkan produksi. Simulasi dilakukan pada komoditas padi gogo dan jagung. Varietas yang digunakan pada simulasi disesuaikan dengan varietas yang digunakan menurut kondisi *existing* kabupaten setempat.

Evaluasi dampak keragaman dan perubahan iklim terhadap hasil dan produksi tanaman pangan dilakukan melalui beberapa tahapan analisis sebagai berikut:

Tahap pertama mempelajari hubungan keragaman dan perubahan iklim dengan hasil tanaman pada berbagai waktu tanam pada berbagai jenis tanah. Analisis pada tahapan ini untuk mempelajari respon tanaman secara umum terhadap kondisi keragaman hujan pada tahun normal, El-Nino, dan La-Nina berdasarkan data hujan historis. Untuk menilai dampak perubahan iklim, prediksi perubahan hujan bulanan pada dua skenario perubahan iklim (SRESA2 dan SRESB1) dari kajian Naylor *et al.* (2007) dijadikan dasar pertimbangan untuk memprediksi secara umum kemungkinan dampak perubahan iklim terhadap keragaman hasil tanaman.

Tahap kedua adalah analisis pengaruh kenaikan suhu terhadap keragaman hasil tanaman yang ditanam pada berbagai ketinggian tempat. Analisis ini untuk mempelajari apakah respon tanaman terhadap perubahan suhu dipengaruhi oleh ketinggian tempat. Analisis dilakukan dengan cara menaikkan data suhu yang digunakan dalam model DSSAT sebesar 0,5; 1,0; 1,5 dan 2,0°C dari suhu saat ini. Keragaman hujan diasumsikan sama dengan kondisi saat ini. Selanjutnya peta sebaran spasial perubahan hasil tanaman akibat kenaikan suhu pada berbagai ketinggian tempat dibuat dengan teknik interpolasi dengan metode kriging.

Dalam analisis tahap kedua, data hasil tanaman yang digunakan ialah rata-rata hasil terbobot untuk MH dan MK. Pembobotan perlu dilakukan karena produksi tanaman diduga dengan mengalikan rata-rata hasil tanaman dengan luas total per tanaman per musim, sementara hasil dan luas tanam tidak sama dari bulan ke bulan. Penggunaan nilai rata-rata hasil per musim yang pendugaannya tanpa memperhatikan waktu dan luas tanam menurut waktu tanam akan memberikan nilai perkiraan rata-rata hasil yang bias. Rata-rata hasil per musim tanam dihitung dengan formula:

$$Y_R = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A} * Y_i$$

Dimana A adalah total luas tanam musim hujan (MH) atau musim kemarau (MK), A_i luas tambah tanam bulan ke- i , dan Y_i ialah hasil tanaman pada bulan tanam ke- i . Musim kemarau berlangsung pada bulan April-September dan musim hujan pada bulan Oktober-Maret.

Tahap ketiga adalah menghitung perubahan produksi pada tingkat kabupaten akibat kenaikan suhu dan peningkatan konsentrasi CO₂ dengan cara mengalikan hasil rata-rata dengan luas sawah di kabupaten tersebut. Respon tanaman terhadap kenaikan suhu tidak sama untuk ketinggian yang berbeda, sehingga total produksi padi per kabupaten diduga dengan mengelompokkan wilayah sawah kabupaten ke dalam tiga kelompok ketinggian yaitu 0-400 m (A400-), 400-800 m (A400-800), dan yang lebih besar dari 800 m (A800+). Hasil rata-rata padi per kabupaten (Y_R) dibobot menggunakan data luas sawah menurut ketinggian tempat dengan rumus:

$$Y_R = \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{A} * Y_j$$

Dimana A adalah total luas sawah dan A_j luas sawah pada ketinggian ke- j , Y_j rata-rata hasil pada ketinggian ke- j , dan $j=1(400-)$, $2(400-800)$ dan $3(800+)$. Nilai rata-rata hasil pada tiga selang ketinggian ini diperoleh dengan menggunakan peta sebaran hasil menurut peningkatan suhu dan ketinggian tempat yang diperoleh dari analisis tahap ke tiga.

Peningkatan hasil akibat kenaikan konsentrasi CO₂ diduga dengan persamaan Goudriaan & Unsworth (1990), yaitu:

$$Y_{[CO_2]} = [1+bLn(C/C_0)]*Y_R$$

Dimana C_0 dan C adalah konsentrasi CO₂ kondisi saat ini dan mendatang. Nilai b untuk padi ialah sekitar 0.7. Y_R adalah rata-rata hasil sesuai dengan kondisi suhu saat konsentrasi CO₂ pada tingkat C . Hasil penelitian Long *et al.* (2006) menunjukkan bahwa pengaruh kenaikan hasil akibat peningkatan CO₂ dilapangan kurang dari 50% dari kenaikan hasil di tempat tertutup, sehingga dalam kajian ini nilai b yang digunakan ialah 0.35.

Penyusunan perangkat lunak analisis dampak perubahan iklim terhadap tanaman padi gogo dan jagung

Perangkat lunak dibangun berdasarkan hasil analisis produksi tanaman yang telah dihasilkan. Berdasarkan model tersebut kemudian dibangun perangkat lunak yang bersifat spasial dan interaktif, tersedia berbagai pilihan menu yang apabila dijalankan akan menampilkan hasil tabular dan spasial. Kemudian dilakukan integrasi analisis data dan spesialisasi hasil. Integrasi dalam proses

analisis dan spasialisasi data dilakukan menggunakan program Visual basic, map object dan arcview. Penggunaan ketiga software pendukung ini menjadikan perangkat lunak bersifat dinamis dan interaktif dengan menyediakan berbagai pilihan menu. Penggunaan dapat memasukan input secara langsung dan mendapatkan hasil spasial sesuai input yang dipilih.

Penambahan simulasi skenario non-iklim

Skenario non-iklim yang ditambahkan adalah konversi lahan kering, peningkatan indeks pertanaman, dan peningkatan produktivitas tanaman. Untuk menambahkan beberapa skenario konversi lahan, indeks pertanaman dan produktivitas dikumpulkan berbagai informasi berikut:

- a) Data historis konversi lahan kering menjadi *non-lahan kering* di setiap propinsi.
- b) Data historis luas areal tanam, luas lahan kering, pola tanam dan produktivitas.
- c) Berbagai kebijakan dan program pemerintah yang terkait dengan lahan kering.
- d) Wawancara dengan petugas di tingkat kabupaten mengenai implementasi dari kebijakan tersebut di tingkat daerah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyeksi Hujan Berdasarkan Analisis *Downscaling*

Proyeksi curah hujan menggunakan analisis *downscaling* dengan skenario SRESA2 dan SRESB1, hasil analisis ditunjukkan dengan tren curah hujan yang bervariasi, baik yang tetap naik maupun turun pada tahun 2025 dan 2050 di tingkat kabupaten. Tren penurunan curah hujan ditunjukkan dengan warna merah, tren yang tetap ditunjukkan dengan warna hijau, dan tren kenaikan curah hujan ditunjukkan dengan warna biru.

Sulawesi Selatan

Hasil analisis menunjukkan tren curah hujan bervariasi, baik tren tetap maupun naik atau turun. Berdasarkan skenario SRESA2 pada tahun 2025, tren penurunan curah hujan terjadi di wilayah Selatan Sulawesi Selatan, meliputi Kabupaten/Kota Makassar, Gowa, Takalar dan Jeneponto (Gambar 1a). Berdasarkan skenario SRESA2 pada tahun 2050, wilayah yang mengalami penurunan curah hujan semakin meningkat di sebagian besar Provinsi Sulawesi Selatan, yaitu di beberapa kabupaten sebelah utara Sulawesi Selatan meliputi Luwu Timur, Luwu Utara, Tana Toraja Utara, Tana Toraja, Kab/Kota

Palopo, Enrekang, Sidenreng Rappang, Kab/Kota Parepare serta kabupaten di sebelah selatan Sulawesi Selatan meliputi Kab/Kota Makassar, Gowa, Sinjai, Takalar, Bulukumba, Bantaeng, dan Jeneponto (Gambar 1b).

Dengan adanya skenario perubahan iklim yang mengasumsikan upaya mitigasi melalui peningkatan efisiensi penggunaan energi dan perbaikan teknologi agar tingkat emisi lebih rendah (skenario SRESB1) maka pada beberapa wilayah yang mengalami penurunan curah hujan berdasarkan skenario SRESA2 sebagian besar tidak terjadi lagi, tetapi ada beberapa wilayah yang diindikasikan akan mengalami penurunan curah hujan, yaitu Kabupaten Wajo dan Bantaeng (Gambar 1c). Pada tahun 2050 penurunan curah hujan tidak terjadi lagi, bahkan sebagian mengalami tren kenaikan (Gambar 1d). Hal tersebut sejalan dengan pendapat Acton, (2012) yang menyatakan adanya keterkaitan erat antara perbaikan teknologi dengan penurunan emisi dan curah hujan. Dengan adanya perbaikan struktur vegetasi dan proses hidrologi maka kandungan uap air di atmosfer akan meningkat.

Nusa Tenggara Barat

Hasil analisis berdasarkan skenario SRESA2 pada tahun 2025 menunjukkan penurunan curah hujan terjadi hampir di seluruh kabupaten di Pulau Lombok, kecuali Kabupaten Lombok Timur (Gambar 2a). Wilayah yang mengalami penurunan curah hujan yang semakin meningkat pada tahun 2050 meliputi seluruh kabupaten di Pulau Lombok dan Kabupaten Sumbawa Besar (Gambar 2b), Berdasarkan skenario SRESB1 pada tahun 2025, hanya Kabupaten Lombok Timur dan Sumbawa Barat yang mengalami penurunan curah hujan (Gambar 2c) bahkan Provinsi Nusa Tenggara Barat tidak mengalami penurunan curah hujan (Gambar 2d).

Nusa Tenggara Timur

Hasil analisis berdasarkan skenario SRESA2 menunjukkan bahwa pada tahun 2025 terjadi penurunan curah hujan di Kabupaten Sumba Barat Daya, Sumba Tengah dan Sumba Barat (Gambar 3a). Wilayah yang mengalami penurunan curah hujan yang semakin meningkat meliputi Kabupaten Ngada, Ngekeo, Ende, Sumba Barat Daya, Sumba Tengah dan Sumba Barat (Gambar 3b), Berdasarkan skenario SRESB1, tidak ada kabupaten yang mengalami penurunan curah hujan pada tahun 2050 (Gambar 3c), bahkan terjadi peningkatan curah hujan di Sumba Barat Daya, Sumba Tengah, dan Sumba Barat (Gambar 3d).

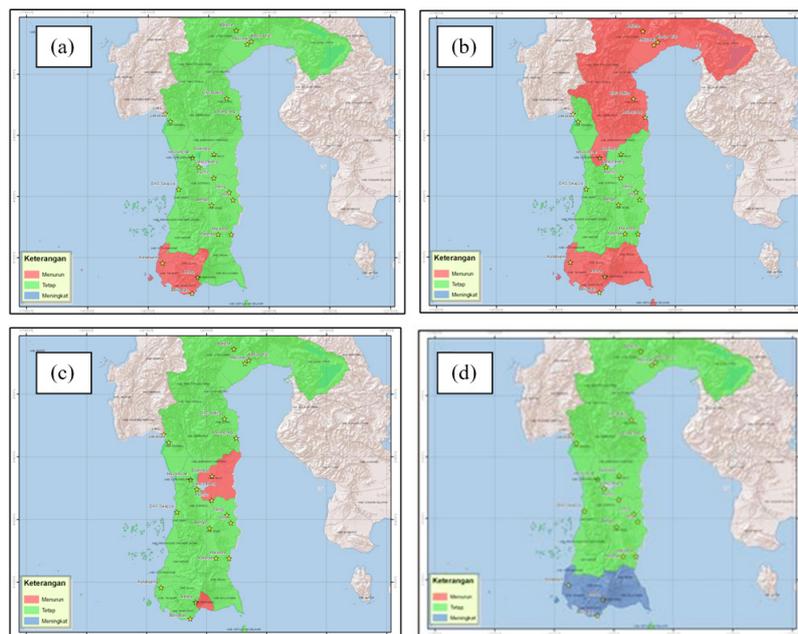
Analisis Proyeksi Penurunan Produksi Padi Gogo dan Jagung

Berdasarkan hasil analisis, wilayah yang mengalami penurunan curah hujan akan mengalami penurunan produksi padi gogo maupun jagung. Proyeksi penurunan produksi padi gogo menurut skenario SRESA2 hingga tahun 2050 berkisar antara 20-25%. Dengan perlakuan adaptasi melalui skenario SRESB1, penurunan produksi dapat diminimalkan menjadi 7-10%. Penurunan produksi jagung hingga tahun 2050 menurut skenario SRESA2

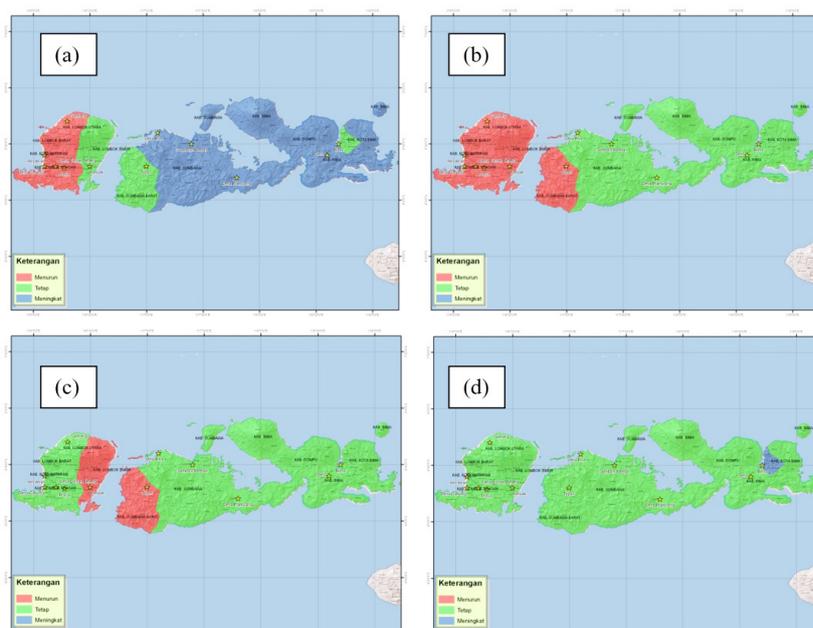
berkisar antara 9-15%, dengan menggunakan skenario SRESB1 produksi hanya menurun menjadi 5-8%.

Penyusunan Sistem Informasi

Untuk membangun aplikasi Sistem Informasi Dampak Perubahan Iklim Tanaman Pangan (SIDAPI TAPA) dilakukan: 1) perencanaan database dan aplikasi; 2) pembuatan database dan aplikasi; 3) analisis SIG; 4) testing dan upload ke server internet; 5) penggunaan Aplikasi SIDAPI TAPA



Gambar 1. Tren curah hujan berdasarkan analisis *downscaling* (a) SRESA1 tahun 2025 (b) SRESA2 tahun 2050, (c) SRESB1 tahun 2025 dan (d) SRESB1 tahun 2050 di Provinsi Sulawesi Selatan



Gambar 2. Tren curah hujan berdasarkan analisis *downscaling* (a) SRESA2 tahun 2025 (b) SRESA2 tahun 2050, (c) SRESB1 tahun 2025 dan (d) SRESB1 tahun 2050 di Provinsi Nusa Tenggara Barat

1. Perencanaan *database* dan aplikasi

a. Perencanaan *database*

Database untuk aplikasi ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

i. Data hasil analisis

Tabel ini untuk menyimpan data analisis DSSAT berdasarkan kabupaten, tahun, skenario, konversi lahan, dan perubahan suhu.

ii. Data untuk data SIG

Terdiri dari dua tabel yaitu kode kabupaten vertices dan kode provinsi vertices. Tabel-tabel ini untuk menyimpan koordinat titik bujur dan lintang per bagian dari data spasial per kabupaten dan provinsi.

iii. Data pendukung

Terdiri dari sembilan tabel, yaitu tabel untuk menyimpan data administrasi baik nama maupun kode standar BPS provinsi dan kabupaten, kode kabupaten, kode provinsi dan kode pulau. Selain itu juga terdapat enam tabel untuk menyimpan data tahun, skenario, perubahan suhu, konversi lahan, dan komoditas.

iv. Query

Query terdiri dari lima *view* (*Query* yang dapat disimpan dan digunakan seperti tabel), terdiri dari administrasi, rekap data SIG provinsi dan kabupaten, *query* hasil analisis per kabupaten dan rekap hasil analisis per provinsi.

b. Perencanaan aplikasi

Aplikasi dirancang berbasis web menggunakan konsep *tabbing* atau terdiri dari bagian-bagian khusus tanpa harus memuat ulang. Aplikasi ini terdiri dari tiga bagian yaitu:

i. Utama, yang terdiri dari peta berbasis Google Maps, tabular, dan chart.

ii. Perbandingan 1 terdiri dari dua peta berbasis Google Maps yang mandiri dengan administrasi yang terpisah.

iii. Perbandingan 2 terdiri dari dua peta berbasis Google Maps yang mandiri dengan administrasi terintegrasi.

Fitur-fitur yang dirancang adalah:

i. Pengguna dapat memilih provinsi dan kabupaten secara mudah menggunakan pohon administrasi atau melalui pencarian.

ii. Pengguna dapat memilih skenario iklim, konversi lahan, perubahan suhu, tahun, dan komoditas menggunakan *combo box*/pilihan di peta, tabular, dan grafik.

iii. Pengguna dapat memperbesar dan memperkecil tampilan di peta.

iv. Pengguna dapat mengurutkan data di data tabular.

v. Pengguna dapat menggeser pembatas antara data dengan pohon administrasi.

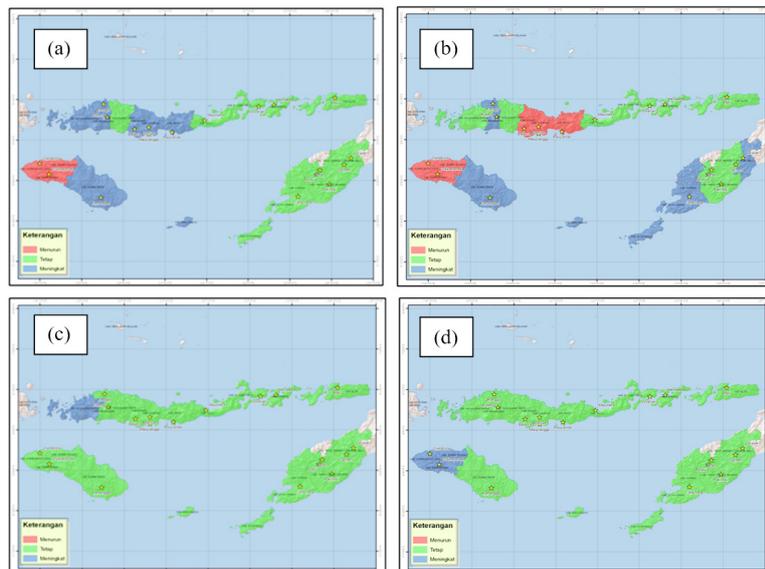
2. Pembuatan *database* dan aplikasi

a. Pembuatan *database*

Pembuatan tabel dan *view* dilakukan menggunakan aplikasi bawaan dari *SQL Server*, yaitu *SQL Server Management Studio*.

b. Pembuatan aplikasi

Pembuatan aplikasi menggunakan alat bantu pemrograman (IDE) Visual Studio 2010. Aplikasi web ini terdiri dari dua jenis pemrosesan, yaitu sisi pengguna menggunakan HTML, CSS, Javascript (ada di file yang berekstensi ASPX) dan sisi server menggunakan VB.NET.



Gambar 3. Curah hujan berdasarkan analisis *downscaling* (a) SRESA2 tahun 2025 (b) SRESA2 tahun 2050, (c) SRESB1 tahun 2025 dan (d) SRESB1 tahun 2050 di Provinsi Nusa Tenggara Timur

Aplikasi ini menggunakan beberapa *file* yaitu: a) *main.aspx* dan *main.aspx.vb*, *file* sebagai antarmuka utama untuk aplikasi. *File* ini menggunakan ASPxPage, dan ASPXsplitter dari DevExpress untuk antarmuka grafisnya.; b) *gmap_dinamis.aspx* dan *gmap_dinamis.aspx.vb*, untuk menampilkan peta berbasis google maps. Dalam *coding*-nya, *file* dapat menampilkan bentuk poligon provinsi dan kabupaten dan warna sesuai dengan aturan yang sudah dibuat. Di *file* ini juga terdapat fitur diagram pie yang berisi perbandingan tiap provinsi dan kabupaten dalam hasil analisis produksi tanaman pangan; c) *grid_dinamis.aspx* dan *grid_dinamis.aspx.vb* untuk menampilkan data tabular. Komponen ASPXgridview dari DevExpress digunakan untuk menampilkan tabel; d) *grafik.aspx* dan *grafik.aspx.vb*, untuk menampilkan grafik. Komponen ASPxChart dari DevExpress digunakan untuk menampilkan grafik sesuai dengan data kolom yang diinginkan, dan untuk data provinsi disediakan dalam bentuk diagram garis, sedangkan untuk

kabupaten disediakan dalam bentuk diagram batang; e) *default.aspx* untuk menampilkan halaman depan aplikasi menggunakan gambar cover halaman depan.

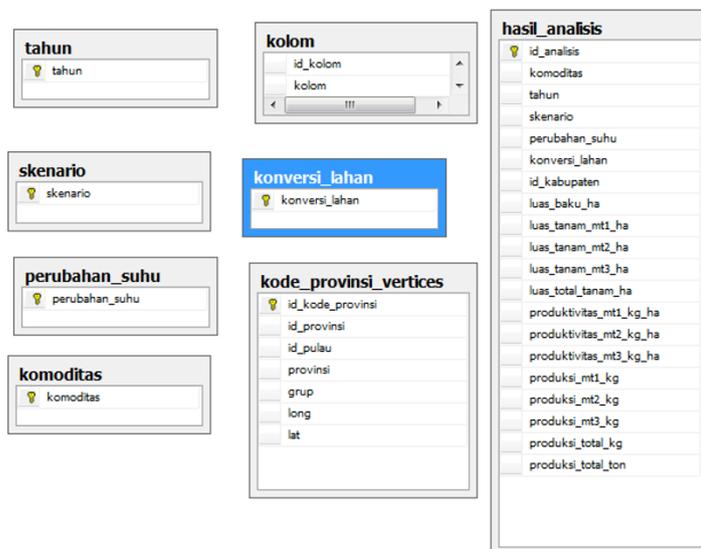
3. Analisis SIG

Analisis SIG dilakukan untuk mengekstrak data poligon dari kabupaten dan provinsi dalam bentuk shp ke dalam bentuk titik pada data tabular. Langkah-langkahnya adalah sbb: a) buka ArcMap, dan muat file poligon shp provinsi dan kabupaten; b) aktifkan *Toolbox*; c) jalankan fitur Features Vertices to Point; d) jalankan fitur Add XY Coordinates; d) buka file DBF di MS Excel dan kopikan ke tabel kode kabupaten *vertices* dan kode provinsi (gambar 7,8, dan 9)

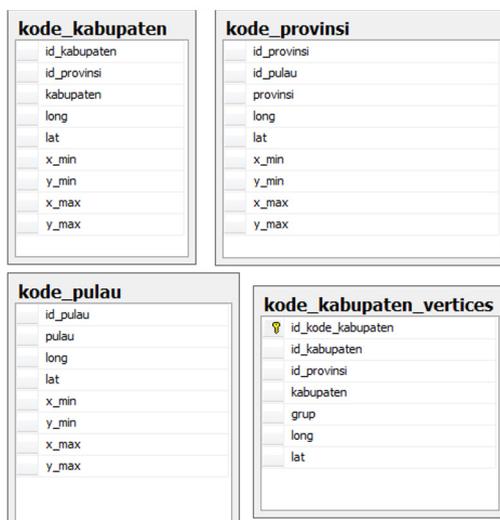
4. Testing dan upload ke server internet

a. Testing

Uji coba dilakukan dengan mencoba seluruh kemungkinan proses yang ada. Jika ada yang



Gambar 4. Diagram tabel bagian 1



Gambar 5. Diagram tabel bagian 2

salah perlu perbaikan. Uji coba dilakukan di komputer lokal menggunakan perambah/*browser Mozilla Firefox*.

b. Upload ke server internet

Aplikasi yang telah lolos uji coba lokal dipindahkan ke *server internet* menggunakan aplikasi *FTP client*, baik aplikasi maupun database. Konfigurasi lanjut dilakukan menggunakan aplikasi *Remote Desktop*. Konfigurasi *web server* menggunakan *Internet Information Server* versi 7 dan sistem operasi menggunakan *Windows Server 2008*, lisensi *BBSDLP*. *Domain name* yang digunakan mengikuti lisensi *BBSDLP* di bawah *folder* *ristek*. Aplikasi ini dapat diakses menggunakan *browser* dengan alamat <http://katam.info/ristek>.

5. Penggunaan Aplikasi SIDAPI TAPA

Aplikasi ini terdiri dari empat bagian, yaitu:

- a. Halaman depan, menampilkan gambar halaman depan.
- b. Utama, terdiri dari tiga bagian, yaitu peta, tabular dan diagram untuk menampilkan peta berbasis google map yang menampilkan poligon masing-

masing provinsi atau kabupaten dengan warna yang sesuai dengan produksi total dalam ton (Gambar 10).

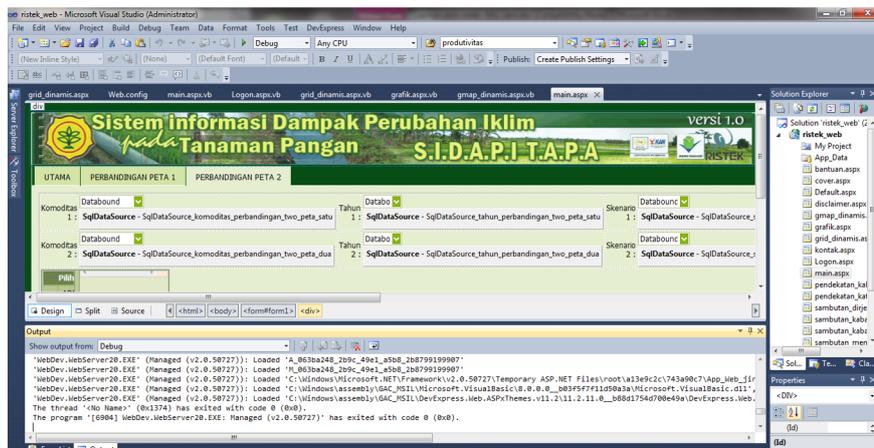
c. Perbandingan 1, terdapat dua peta yang dapat disandingkan sesuai keinginan dengan menggunakan pohon administrasi yang terpisah.

d. Perbandingan 2, terdapat dua peta yang dapat disandingkan sesuai keinginan dengan menggunakan pohon administrasi yang sama (Gambar 11)

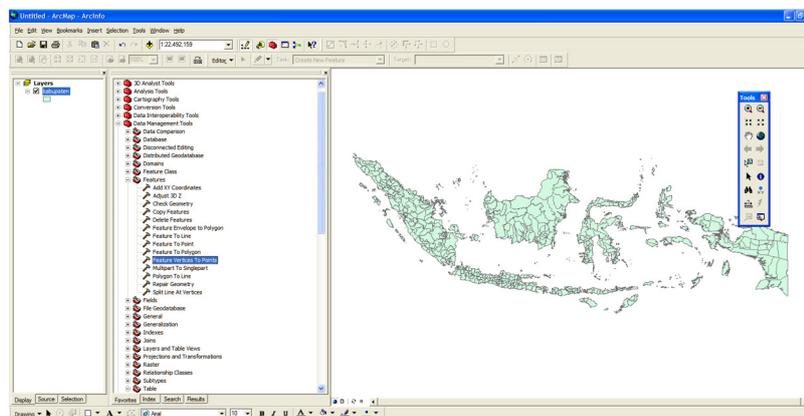
KESIMPULAN

Curah hujan menurun baik tahun 2025 maupun tahun 2050, baik di Sulawesi Selatan, NTT maupun NTB. Skenario SRESA1 menunjukkan penurunan curah hujan terjadi hingga tahun 2050 di beberapa kabupaten. Adaptasi yang dilakukan melalui skenario SRESB1 efektif mengantisipasi penurunan curah hujan yang terjadi.

Penurunan produksi padi gogo di Sulawesi Selatan, NTT maupun NTB menurut skenario SRESA2 hingga tahun 2050 berkisar antara 20-25%. Dengan perlakuan



Gambar 6. Antarmuka pada alat bantu pemrograman visual studio 2010



Gambar 7. Tampilan data spasial *tabular* di ArcMap dengan *toolbox* aktif

sistem informasi lahan kering yang dipadukan dengan pengembangan informasi proyeksi produksi palawija, baik jagung maupun kedelai, serta komparasi proyeksi produksi palawija di wilayah timur dan barat Indonesia. Uji validasi dapat dilakukan melalui penelitian lanjutan pada wilayah kajian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan pelaksanaan penelitian oleh Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Prekayasa (PKPP) Kementerian Riset dan Teknologi bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Muhrizal Sarwani, M.Sc atas dukungan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, eds Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (Cambridge Univ Press, Cambridge, UK).
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A.* (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104.
- Acton, Ashton. 2012. *Advances in Climate Change and Global Warming Research and Application*. Scholarly Editions. Atlanta, Georgia.
- Allan R. 2000. ENSO and climatic variability in the past 150 years, in *ENSO: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*, Diaz, H. & Markgraf, V. (Eds.), pp. 3-55. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Ashok K, Guan Z, and Yamagata T. 2001: Impact of the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian monsoon rainfall and ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4499–4502.
- Betts R. 2005. Integrated approaches to climate–crop modelling: needs and challenges. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 2049–2065. (doi:10.1098/rstb.2005.1739.)
- Boer R, and Subbiah. 2005. Agriculture drought in Indonesia. In V.J. Boken, A.P. Cracknell and R.L. Heathcote (eds). *Monitoring and predicting agriculture drought: A global study*. Oxford University Press, New York. p:330-344
- BPS [Biro Pusat Statistik]. 1998. *Kondisi Produksi Beras Tahun 1998 Statistik Pertanian*. Jakarta.
- Budianto J. 2002. Tantangan dan peluang penelitian padi dalam perspektif agribisnis. Dalam: B. Suprihatno *et al.* (Eds.). *Kebijakan perberasan dan inovasi teknologi*. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor. p. 1-17.
- Cline, William R. 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country* (Washington: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics).
- FAO. 2005. "Impact of Climate Change and Diseases on Food Security and Poverty Reduction". Special event background document for the 31st session of the committee on world food security. Rome, 23-26 May 2005.
- FAO. 2008. *Water and Cereals in Drylands*. FAO, Rome.
- Fischer G, Shah M, Velthuizen HV. 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability*. IIASA. Luxemburg, Austria.
- Gutman GI, Csiszar, and Romanov P. 2000. Using NOAA/AVHRR products to monitor El Niño impacts: focus on Indonesia in 1997-98., *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 1189–1205.
- Hamada J, Yamanaka MD, Matsumoto J, Fukao S, Winarso PA, Sribimawati, T. 2002. Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *J Meteorol Soc Jpn* 80:285–310.
- Handoko I, Sugiarto Y, Syaukat Y. 2008. *Keterkaitan Perubahan Iklim dan Produksi Pangan Strategis*. Telaah kebijakan independen bidang perdagangan dan pembangunan oleh Kemitraan/Partnership Indonesia. SEAMEO BIOTROP. Bogor.
- Haylock M, and McBride J. 2001. Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall, *J. Climate*, 14, 3882-3887.
- IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000. *Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of The IPCC*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkens PW, Singh U, Gijsman AJ, Ritchie JT. 2003. The DSSAT cropping system model. *Europ. J. Agronomy* 18 (2003) 235-265.
- Jourdain, N.C, Alexander Sen Gupta, Andréa S. Taschetto, Caroline C. Ummenhofer, Aurel F. Moise, Karumuri Ashok. 2013. The Indo-Australian monsoon and its relationship to ENSO and IOD in reanalysis data and the CMIP3/CMIP5 simulations. *Climate Dynamics*. Volume 41, Issue 11, pp 3073-3102
- Kirono DGC, and Khakim N. 1999. ENSO Rainfall Variability and Impacts on Crop Production in Indonesia. *Physical Geography*, Vol 20. 6, pp. 508-519.

- Koesmaryono Y, Las I, Aldrian E, Runtuwu E, Syahbuddin H, Apriyana Y, Ramadhani F, Trinugroho W. 2008. Laporan Hasil Kegiatan. Sensitivitas dan Dinamika Kalender Tanam Padi Terhadap Parameter ENSO (El-Nino Southern Oscillation) dan IOD (Indian Ocean Dipole) di Daerah Monsunal dan Equatorial. Laporan KKP3T. Litbang Deptan-IPB. (Tidak dipublikasi).
- Las I. 2000. Peluang Kejadian El Niño dan La Niña Tahun 1900-2000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Litbang Pertanian. Bogor. Tidak Dipublikasikan.
- Linderholm HW. 2006. Growing season changes in the last century. *Agric. For. Meteor.*, 137(1-2), 1-14.
- Mulyana E. 2001. Interannual Variation of Rainfall over Indonesia and Its Relation to the Atmospheric Circulation, ENSO and Indian Ocean Dipole Mode. Hokaido University. Japan.
- Naylor RL, Falcon W, Wada N, and Rochberg D. 2002. Using El-Niño Southern Oscillation climate data to improve food policy planning in Indonesia, *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 38, 75-91.
- Osborne TM. 2005 Towards an integrated approach to simulating crop-climate inter-actions. Ph.D. thesis, University of Reading.
- Porter JR, and Semenov MA. 2005. Crop responses to climatic variation. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 2021-2035. (doi:10.1098/rstb.2005.1752)
- Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran P N, Yamagata T. 1999 : A Dipole in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401, 360-363.
- Slingo JM, Challinor AJ, Hoskins, BJ, and Wheeler TR. 2005. Introduction: food crops in a changing climate. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360, 1983-1989. (doi:10.1098/rstb.2005.1755)
- Trenberth KE. 1997. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, No. 12, pp. 2771-2777.
- Webster PJ, Moore AM, Loschnigg JP, and Leben RR. 1999. Coupled ocean-Atmosphere Dynamics in the Indian Ocean during 1997-98, *Nature*, 401, 356-359.