

LAPORAN

HASIL KEGIATAN PENELITIAN

PROYEK PELAYANAN JASA PRAKIRAAN IKLIM

TAHUN ANGGARAN 2004



**PUSAT PEMANFAATAN SAINS ATMOSFER DAN IKLIM
DEPUTI BIDANG SAINS, PENGAJIAN DAN INFORMASI KEDIRGANTARAAN
LAPAN - BANDUNG
JANUARI 2005**

DAFTAR ISI

1	Kata Pengantar.....	ii
2	Daftar Isi.....	iii
3	Pendahuluan	1
4	Ringkasan Hasil Penelitian	3
5	Validasi Komprehensif Model Area Terbatas untuk Wilayah Indonesia	7
6	Perubahan Klimatologis Curah Hujan Di Sumatra	20
7	Pengembangan Dan Validasi Model Iklim	38

1. PENDAHULUAN

Iklm memegang peran penting dalam sistem pendukung kehidupan (*life support system*) nasional. Penyediaan dan pemanfaatan informasi cuaca dan iklim berkaitan erat dengan aspek kemakmuran (*prosperity*) dan aspek lingkungan hidup (*environment*), dan ketahanan nasional (*national resilience*).

Dalam era industri, banyak dari aktivitas manusia yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan emisi gas-gas rumah kaca. Pengamatan terhadap kondisi gas-gas rumah kaca di atmosfer, terutama gas CO₂, CH₄, N₂O dan CFCs, menunjukkan bahwa konsentrasi gas-gas tersebut sudah mencapai tingkat yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan akhirnya akan menyebabkan perubahan iklim di permukaan bumi. Model yang dapat digunakan untuk menduga kondisi cuaca dan iklim yang akan datang ialah model sirkulasi umum yang seringkali disebut sebagai model GCM (*General Circulation Model*). Dalam model iklim ini, berbagai hukum-hukum fisika yang menentukan iklim seperti hukum konservasi energi, konservasi massa, hukum gas, diekspresikan dalam bentuk persamaan matematik yang mengidentifikasikan hubungan antara berbagai perubah iklim seperti suhu, tekanan udara, angin dan hujan.

Akhir-akhir ini fenomena ENSO dan isu pemanasan global menjadi masalah yang sangat menarik, karena dampak negatifnya yang merugikan. Fenomena ENSO termasuk La Nina dapat menyebabkan kekeringan dan memicu terjadinya kebakaran hutan. Disamping itu fenomena La Nina dapat menyebabkan terjadinya peningkatan curah hujan sehingga menimbulkan banjir di beberapa daerah di Indonesia. Kedua fenomena tersebut telah membangkitkan kesadaran terhadap pentingnya informasi dan penanganan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang cuaca dan iklim termasuk aplikasinya. Pemanasan global dapat mengakibatkan kerugian bagi kehidupan, misal perubahan iklim dan kenaikan paras muka laut.

Model-model iklim dan cuaca yang saat ini berkembang di dunia antara lain adalah GCM (*General Circulation Model*), RCM (*Regional Climate Model*). Model ini merupakan model dasar yang di bangun dengan mempertimbangkan dasar-dasar karakteristik global, dan memperhitungkan keragaman topografi dan variasi meteorologi / klimatologi regional dan lokal. Model-model dasar semacam itu pada umumnya dikembangkan berdasarkan karakteristik meteorologi dan klimatologi daerah lintang menengah dan atas yang sangat berbeda dengan karakteristik kawasan ekuator seperti Indonesia. Dengan demikian model dasar dengan karakteristik global seperti GCM yang

1. PENDAHULUAN

Iklim memegang peran penting dalam sistem pendukung kehidupan (*life support system*) nasional. Penyediaan dan pemanfaatan informasi cuaca dan iklim berkaitan erat dengan aspek kemakmuran (*prosperity*) dan aspek lingkungan hidup (*environment*), dan ketahanan nasional (*national resilience*).

Dalam era industri, banyak dari aktivitas manusia yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan emisi gas-gas rumah kaca. Pengamatan terhadap kondisi gas-gas rumah kaca di atmosfer, terutama gas CO₂, CH₄, N₂O dan CFCs, menunjukkan bahwa konsentrasi gas-gas tersebut sudah mencapai tingkat yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan akhirnya akan menyebabkan perubahan iklim di permukaan bumi. Model yang dapat digunakan untuk menduga kondisi cuaca dan iklim yang akan datang ialah model sirkulasi umum yang seringkali disebut sebagai model GCM (*General Circulation Model*). Dalam model iklim ini, berbagai hukum-hukum fisika yang menentukan iklim seperti hukum konservasi energi, konservasi massa, hukum gas, diekspresikan dalam bentuk persamaan matematik yang mengidentifikasi hubungan antara berbagai perubahan iklim seperti suhu, tekanan udara, angin dan hujan.

Akhir-akhir ini fenomena ENSO dan isu pemanasan global menjadi masalah yang sangat menarik, karena dampak negatifnya yang merugikan. Fenomena ENSO termasuk La Nina dapat menyebabkan kekeringan dan memicu terjadinya kebakaran hutan. Disamping itu fenomena La Nina dapat menyebabkan terjadinya peningkatan curah hujan sehingga menimbulkan banjir di beberapa daerah di Indonesia. Kedua fenomena tersebut telah membangkitkan kesadaran terhadap pentingnya informasi dan penanganan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang cuaca dan iklim termasuk aplikasinya. Pemanasan global dapat mengakibatkan kerugian bagi kehidupan, misal perubahan iklim dan kenaikan paras muka laut.

Model-model iklim dan cuaca yang saat ini berkembang di dunia antara lain adalah GCM (*General Circulation Model*), RCM (*Regional Climate Model*). Model ini merupakan model dasar yang dibangun dengan mempertimbangkan dasar-dasar karakteristik global, dan memperhitungkan keragaman topografi dan variasi meteorologi / klimatologi regional dan lokal. Model-model dasar semacam itu pada umumnya dikembangkan berdasarkan karakteristik meteorologi dan klimatologi daerah lintang menengah dan atas yang sangat berbeda dengan karakteristik kawasan ekuator seperti Indonesia. Dengan demikian model dasar dengan karakteristik global seperti GCM yang

langsung diaplikasikan untuk wilayah regional/wilayah Indonesia diperkirakan akan menunjukkan "discrepancy" atau penyimpangan yang signifikan. Untuk itu, agar dapat diterapkan di Indonesia, model iklim seperti GCM perlu divalidasi dan disesuaikan, sehingga dapat diaplikasikan.

Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah :

- Diketuainya kinerja model iklim berbasis metoda statistik dan Metoda dinamik;
- Diketuainya perubahan klimatologis curah hujan di daerah Benua Maritim Indonesia.

Untuk mencapai tujuan tersebut perlu dilakukan kegiatan penelitian sebagai berikut

1. Validasi Komprehensif Model Area Terbatas untuk Wilayah Indonesia;
2. Perubahan Klimatologis Curah Hujan Di Sumatera;
3. Pengembangan Dan Validasi Model Iklim.

Dalam penelitian ini metode-metode utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Peningkatan pemahaman tentang berbagai proses meteorologi dan berbagai teknik validasi dilakukan melalui **studi pustaka** dengan prioritas pada pustaka mutakhir. Fasilitas jaringan komunikasi internet menjadi pendukung utama eksplorasi pustaka ini, baik yang telah dipublikasikan dalam jurnal-jurnal maupun naskah-naskah yang tersedia pada sejumlah besar *website* institusi-institusi internasional.
- Kebutuhan data atmosfer, baik sebagai masukan model meteorologi maupun sebagai acuan validasi model, dipenuhi melalui **pengumpulan data sekunder** yang diamati dan dikompilasi BMG serta sejumlah institusi riset internasional (melalui internet).
- **Pengembangan model-model** dengan teknik *multiple nesting* yang melibatkan model sirkulasi global dan model area terbatas (*limited area model*) skala meso dan skala lokal dengan resolusi tinggi. Validasi model dilakukan dengan membandingkan luaran model dengan hasil observasi yang diperoleh pada sejumlah titik uji. Hasil perbandingan ini digunakan sebagai pemandu dalam memperbaiki model.

II. RINGKASAN HASIL PENELITIAN

II.1. Validasi Komprehensif Model Area Terbatas untuk Wilayah Indonesia

Dalam model iklim, proses-proses interaksi antar komponen-komponen iklim dituangkan dalam persamaan-persamaan numerik yang merupakan penjabaran dari teori-teori yang sudah diakui sampai saat ini. Persamaan-persamaan numerik tersebut diselesaikan dalam kotak-kotak grid model. Dari berbagai macam variabel iklim hasil simulasi model, curah hujan merupakan salah satu variabel yang mempunyai tingkat korelasi rendah jika dibandingkan dengan hasil pengamatan. Salah satu sebabnya adalah kotak-kotak grid dalam model iklim mempunyai skala ruang yang lebih besar daripada proses-proses di atmosfer yang mengendalikan curah hujan. Dengan demikian sangat penting dilakukan pengkajian seberapa bagus sebuah model iklim (LAM) dalam mensimulasikan iklim Indonesia, yang biasa disebut dengan proses validasi model.

Busuioc dkk. (2001) menyebutkan berbagai masalah yang muncul dalam proses validasi model iklim. Salah satu kesulitan yang dihadapi dalam proses validasi adalah perbedaan antara skala ruang dalam kotak grid LAM dengan pengukuran dari berbagai titik-titik pengamatan. Masalah lainnya adalah pemilihan periode referensi untuk membandingkan iklim teramati dengan iklim hasil simulasi dan panjang data hasil simulasi LAM yang tersedia. Dalam model iklim banyak proses yang tidak dapat diuraikan secara terperinci sehingga digunakan parameterisasi, namun parameterisasi umumnya dibentuk dari proses-proses pengamatan dari waktu yang berbeda. Dalam selang waktu iklim teramati yang digunakan untuk perbandingan dengan hasil simulasi LAM terkontrol sebaiknya juga tidak mengandung kecenderungan (*trend*) atau pergeseran iklim dalam jangka waktu tersebut, yang merupakan hal yang sulit.

Validasi LAM dilakukan untuk variabel curah hujan dan tekanan muka laut (sea level pressure atau SLP). Curah hujan mewakili variabel iklim yang bersifat lokal, yang berarti bahwa daerah yang sangat berdekatan bias mempunyai karakter hujan (intensitas maupun lama hujan) yang berlainan. Sedangkan SLP adalah variabel iklim skala besar dan termasuk yang paling mudah disimulasikan oleh model.

Data observasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah deret waktu curah hujan bulanan dari 62 stasiun pengamatan di Indonesia (Haylock dan McBride, 2001) dan data SLP reanalisis dari National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR Reanalysis; Kalnay dkk., 1996). Lokasi 62 stasiun

pengamatan curah hujan tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Untuk SLP dari reanalisis NCEP/NCAR yang mempunyai resolusi $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ wilayah yang dipilih adalah antara 20° LS – 20° LU dan 85° – 160° BT. Data model yang digunakan merupakan hasil simulasi dari model DARLAM (*Division of Atmospheric Research Limited Area Model*) dari Maret 1979 – Februari 1996 yang dijalankan di CSIRO Melbourne (Suaydhi, 2001). Dalam simulasi ini digunakan resolusi horizontal $44 \text{ km} \times 44 \text{ km}$ dan 18 level vertikal. Forcing suhu permukaan laut (SST) juga digunakan dalam simulasi DARLAM ini, yang menggunakan kondisi batas dari reanalisis NCEP/NCAR.

Kinerja model area terbatas dalam mensimulasikan curah hujan di Indonesia akan dikaji dengan membandingkan curah hujan titik grid yang disimulasikan oleh DARLAM dengan curah hujan pengamatan dari 62 stasiun yang tersebar cukup merata di seluruh wilayah Indonesia. Perbandingan ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Keadaan rata-rata yang dinyatakan dengan rata-rata jangka panjang curah hujan periode Desember-Januari-Februari (DJF) dan periode Juni-Juli-Agustus (JJA)
- Variabilitas spasial dan temporal yang dinyatakan dengan dua komponen pertama hasil analisis *principal component analysis* (PCA).

Iklim di Indonesia dipengaruhi oleh dua sirkulasi umum, yaitu sirkulasi Hadley dan sirkulasi Walker. Adanya musim kemarau dan musim hujan di Indonesia diakibatkan oleh sirkulasi Hadley. Anomali SLP yang dihasilkan oleh DARLAM baik pada DJF maupun JJA sangat mirip dengan pengamatan. Variabilitas temporal SLP di atas wilayah Indonesia juga dapat disimulasikan oleh DARLAM dengan sangat baik. Hasil validasi pada curah hujan luaran DARLAM kurang memuaskan dibandingkan dengan hasil validasi pada SLP. Banyaknya faktor yang mempengaruhi perhitungan curah hujan dalam model menjadikannya sulit untuk mensimulasikan curah hujan secara baik. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah variabel-variabel iklim lain yang berpengaruh pada perhitungan curah hujan pada model harus tinggi tingkat validitasnya, dan skema konveksi dan skema presipitasi harus sesuai dengan karakter wilayah yang akan dijadikan domain simulasi DARLAM. Penelitian-penelitian lebih lanjut masih banyak yang harus dilakukan untuk memperbaiki kinerja DARLAM, antara lain: pengkajian efek damping pada grid terluar model dan perbaikan skema konveksi untuk kawasan Indonesia.

II.2. Perubahan Klimatologis Curah Hujan Di Sumatra

Hujan merupakan salah satu bentuk presipitasi yang paling dominan pada daerah tropika seperti Indonesia. Selain berfungsi sebagai unsur iklim, juga sebagai pengendali iklim. Bahkan juga sekali gus berfungsi sebagai pengendali terhadap berbagai faktor agroekologi terutama tanah, hama dan penyakit dan sumber daya air secara artifisial. Oleh karena itu curah hujan dalam bentuk penyebarannya atau pola curah hujan merupakan penentu utama dalam penentuan pola tanam.

Curah hujan selain bervariasi menurut lokasi atau daerah, juga bervariasi menurut waktu dalam harian, bulanan, musiman dan bahkan tahunan. Variasi ini terutama disebabkan tidak mantapnya pola curah hujan dari tahun ke tahun, ketidak mantapan pola ini bukan hanya masalah pada daerah kering tetapi juga pada daerah basah. Untuk mengurangi resiko dari masalah tersebut maka diperlukan suatu prakiraan iklim.

Pola curah hujan setiap daerah ditentukan apakah mempunyai pola monsun, ekuatorial atau lokal. Pola monsun dicirikan oleh bentuk pola curah hujan yang bersifat satu puncak musim hujan. Selama enam bulan curah hujan relatif tinggi biasanya disebut musim hujan dan enam bulan berikutnya rendah biasanya disebut musim kemarau. Pola ekuatorial dicirikan oleh pola curah hujan dengan bentuk dua puncak hujan yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan September atau pada saat matahari melalui ekuator yang sering disebut dengan istilah Equinok. Sedangkan pola lokal dicirikan dengan bentuk pola curah hujan satu puncak hujan bentuknya berlawanan dengan pola hujan monsun. Menurut (Tjasjono, 1998) bahwa dampak El-Nino kuat terjadi pada daerah monsun, sedangkan pada daerah dengan pola hujan lainnya umumnya tidak jelas atau lemah.

Perubahan rata-rata 30 tahun curah hujan memperlihatkan pola yang berfluktuasi dan distribusi peluang tampak banyak perubahan-perubahan yang terjadi sebesar 10 %, dan untuk bulan kering (JJA) nilai maksimum curah hujan di Aceh 584 mm/bln, sedangkan perubahan rata-rata 30 tahun trend curah hujan juga berfluktuasi dan terdapat puncak pada periode JJA-4(1930-1959), selanjutnya perubahan rata-rata 30 tahun curah hujan mempunyai trend naik turun dan tiga periode terakhir atau periode JJA-7, JJA-8 dan JJA-9 trend cenderung menaik. Kemudian untuk distribusi peluang terjadi perubahan sebesar 10 %, kondisi curah hujan di Aceh pada bulan basah(DJF) normal dan pada bulan kering(JJA) kondisi curah hujannya untuk JJA-7, JJA-8 dan JJA-9 berada dibawah normal.

III. Pengembangan Dan Validasi Model Iklim

Mengingat bahwa masalah aplikasi klimatik sektoral umumnya berkaitan dengan kawasan berukuran beberapa kilometer saja, maka upaya mensimulasikan dan memprediksi iklim kawasan tersebut membutuhkan model-model iklim dengan resolusi spasial yang tinggi.

Variabilitas dan perubahan iklim dapat mempengaruhi produksi pangan, ketersediaan air suatu wilayah, lingkungan dan kesehatan manusia. Dalam penelitian ini yang ingin dibuktikan adalah apakah model iklim, model penyebaran polusi udara dan model tanaman sudah sesuai dan dapat diaplikasikan secara langsung untuk wilayah Indonesia ? Dengan demikian harus dilakukan analisis mengenai : Seberapa jauh penyimpangan model-model tersebut dibandingkan dengan hasil observasi, Apakah sudah layak model-model tersebut dijadikan dasar untuk kebijakan pembangunan yang berwawasan lingkungan.

Anomali iklim cenderung meningkat intensitas, frekuensi, durasi dan wilayah yang terkena dampaknya memerlukan langkah-langkah antisipasi, agar dampak tersebut dapat diminimalkan, melalui : 1) penyesuaian dan 2) modifikasi input untuk menekan resiko. Dalam penelitian ini lebih ditekankan pada penyesuaian terhadap perilaku anomali iklim dengan meningkatkan kemampuan analisis model mensimulasi perilaku iklim dengan kinerja yang lebih baik. Untuk itu ada dua hal yang diperlukan untuk penyelesaian persoalan tersebut, yaitu analisis prakiraan curah hujan menggunakan model dinamis dan model statistik.

Dampak anomali iklim yang demikian luas serta sulitnya melakukan antisipasi dini, menuntut penanganan secara terencana. Agar kegiatan analisis iklim tidak hanya bersifat evaluasi saja, maka hal utama yang perlu ditingkatkan akurasi dan determinasinya adalah teknik prakiraan curah hujan. Meskipun pekerjaan ini tergolong sangat sulit, namun langkah awal yang telah dilakukan adalah pengembangan prakiraan iklim dilakukan dengan Teknik berbasis statistik seperti, ARIMA, ANVIS, Wavelet dan Kalman Filter dan teknik yang berbasis dinamis. Hasil penelitian menunjukkan prakiraan curah hujan memiliki akurasi cukup baik dengan nilai korelasi bervariasi dari 0.33 s/d 0.89

Validasi Komprehensif Model Area Terbatas untuk Wilayah Indonesia

Suaydhi, Nurzaman Adikusumah, Romdon Hamdan

Abstrak

Dalam penelitian ini, kinerja model iklim area terbatas dikaji secara lebih mendalam. Kajian tidak hanya dilakukan dengan membandingkan luaran model dengan hasil pengamatan secara langsung, namun juga dilihat variabilitas temporal dan spasialnya melalui teknik *principal component analysis* (PCA). Dua variabel iklim yang berbeda karakter, curah hujan yang merupakan variabel iklim lokal dan tekanan muka laut yang berskala regional, dari model DARLAM dibandingkan dengan pengamatan untuk melihat kemampuan model dalam mensimulasikan iklim Indonesia baik yang berskala lokal maupun regional. Hasil perbandingan antara model dengan pengamatan menunjukkan bahwa variabel iklim yang berskala besar lebih mudah disimulasikan oleh model. Untuk curah hujan, model hanya mampu mensimulasikan osilasi tahunan secara umum, namun belum mampu mensimulasikan penyebaran spasial maupun pengaruh fenomena El Nino atau La Nina dengan baik.

1. PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu variabel iklim yang paling sering digunakan dalam studi dampak iklim terhadap lingkungan. Hal ini sangat erat kaitannya dengan prediksi musim hujan/kemarau dan skenario perubahan iklim. Model iklim adalah salah satu alat terbaik yang tersedia bagi kita untuk melakukan prediksi ataupun untuk memperkirakan perubahan iklim global di masa mendatang. Untuk wilayah Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau dengan iklim tropis dan topografi yang sangat kompleks, model iklim yang mempunyai resolusi tinggi (50 km × 50 km atau lebih halus) diperlukan untuk dapat mensimulasikan iklim Indonesia dengan baik. Pada saat ini, model iklim global atau *general circulation model* (GCM) dengan resolusi demikian tinggi belum tersedia, karena sumber daya komputer untuk menjalankan GCM semacam ini masih terlalu mahal. Oleh karena itu model iklim area terbatas atau *limited area model* (LAM) menjadi alternative terbaik untuk melakukan simulasi iklim Indonesia.

Dalam model iklim, proses-proses interaksi antar komponen-komponen iklim dituangkan dalam persamaan-persamaan numerik yang merupakan penjabaran dari teori-

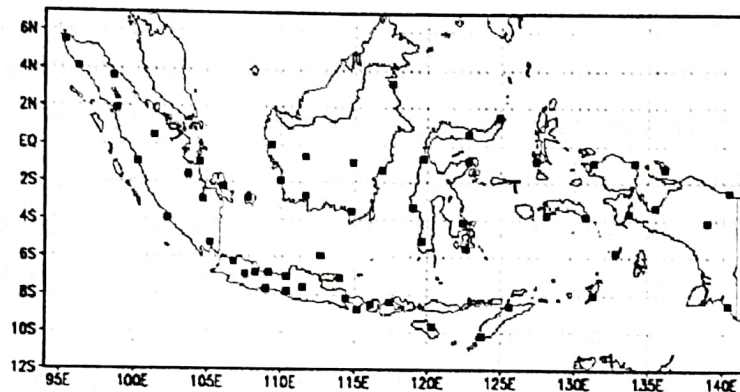
teori yang sudah diakui sampai saat ini. Persamaan-persamaan numerik tersebut diselesaikan dalam kotak-kotak grid model. Dari berbagai macam variabel iklim hasil simulasi model, curah hujan merupakan salah satu variabel yang mempunyai tingkat korelasi rendah jika dibandingkan dengan hasil pengamatan. Salah satu sebabnya adalah kotak-kotak grid dalam model iklim mempunyai skala ruang yang lebih besar daripada proses-proses di atmosfer yang mengendalikan curah hujan. Dengan demikian sangat penting dilakukan pengkajian seberapa bagus sebuah model iklim (LAM) dalam mensimulasikan iklim Indonesia, yang biasa disebut dengan proses validasi model.

Busuioc dkk. (2001) menyebutkan berbagai masalah yang muncul dalam proses validasi model iklim. Salah satu kesulitan yang dihadapi dalam proses validasi adalah perbedaan antara skala ruang dalam kotak grid LAM dengan pengukuran dari berbagai titik-titik pengamatan. Masalah lainnya adalah pemilihan periode referensi untuk membandingkan iklim teramati dengan iklim hasil simulasi dan panjang data hasil simulasi LAM yang tersedia. Dalam model iklim banyak proses yang tidak dapat diuraikan secara terperinci sehingga digunakan parameterisasi, namun parameterisasi umumnya dibentuk dari proses-proses pengamatan dari waktu yang berbeda. Dalam selang waktu iklim teramati yang digunakan untuk perbandingan dengan hasil simulasi LAM terkontrol sebaiknya juga tidak mengandung kecenderungan (*trend*) atau pergeseran iklim dalam jangka waktu tersebut, yang merupakan hal yang sulit.

Dalam laporan penelitian ini, validasi LAM dilakukan untuk variabel curah hujan dan tekanan muka laut (sea level pressure atau SLP). Curah hujan mewakili variabel iklim yang bersifat lokal, yang berarti bahwa daerah yang sangat berdekatan bias mempunyai karakter hujan (intensitas maupun lama hujan) yang berlainan. Sedangkan SLP adalah variabel iklim skala besar dan termasuk yang paling mudah disimulasikan oleh model. Laporan ini disusun dalam beberapa seksi. Seksi 2 menjelaskan data dan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil-hasil penelitian akan ditunjukkan di seksi 3, yang dilanjutkan dengan pembahasan di seksi 4. Kesimpulan dari penelitian ini disajikan di seksi 5.

2. DATA DAN METODOLOGI

Data observasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah deret waktu curah hujan bulanan dari 62 stasiun pengamatan di Indonesia (Haylock dan McBride, 2001) dan data SLP reanalisis dari National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR Reanalysis; Kalnay dkk., 1996). Lokasi 62 stasiun pengamatan curah hujan tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Untuk SLP dari reanalisis NCEP/NCAR yang mempunyai resolusi $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ wilayah yang dipilih adalah antara 20° LS – 20° LU dan 85° – 160° BT.



Gambar 1. Lokasi 62 stasiun pengamatan curah hujan Indonesia yang digunakan dalam studi ini.

Data model yang digunakan merupakan hasil simulasi dari model DARLAM (*Division of Atmospheric Research Limited Area Model*) dari Maret 1979 – Februari 1996 yang dijalankan di CSIRO Melbourne (Suaydhi, 2001). Dalam simulasi ini digunakan resolusi horizontal $44 \text{ km} \times 44 \text{ km}$ dan 18 level vertikal. Forcing suhu permukaan laut (SST) juga digunakan dalam simulasi DARLAM ini, yang menggunakan kondisi batas dari reanalisis NCEP/NCAR.

Kinerja model area terbatas dalam mensimulasikan curah hujan di Indonesia akan dikaji dengan membandingkan curah hujan titik grid yang disimulasikan oleh DARLAM dengan curah hujan pengamatan dari 62 stasiun yang tersebar cukup merata di seluruh wilayah Indonesia. Perbandingan ini dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Keadaan rata-rata yang dinyatakan dengan rata-rata jangka panjang curah hujan periode Desember-Januari-Februari (DJF) dan periode Juni-Juli-Agustus (JJA)

- Variabilitas spasial dan temporal yang dinyatakan dengan dua komponen pertama hasil analisis *principal component analysis* (PCA).

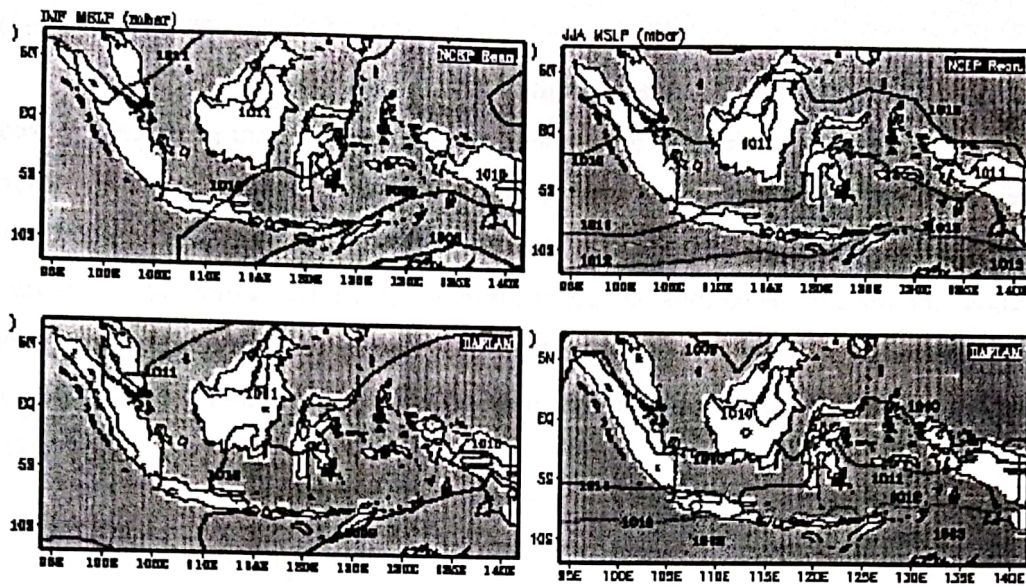
Dengan membandingkan keadaan rata-rata, bias yang potensial dalam simulasi curah hujan dari model dapat dikenali. Analisis PCA digunakan untuk mengkaji apakah model mampu mensimulasikan variabilitas temporal dan variabilitas spasial curah hujan secara baik.

3. HASIL

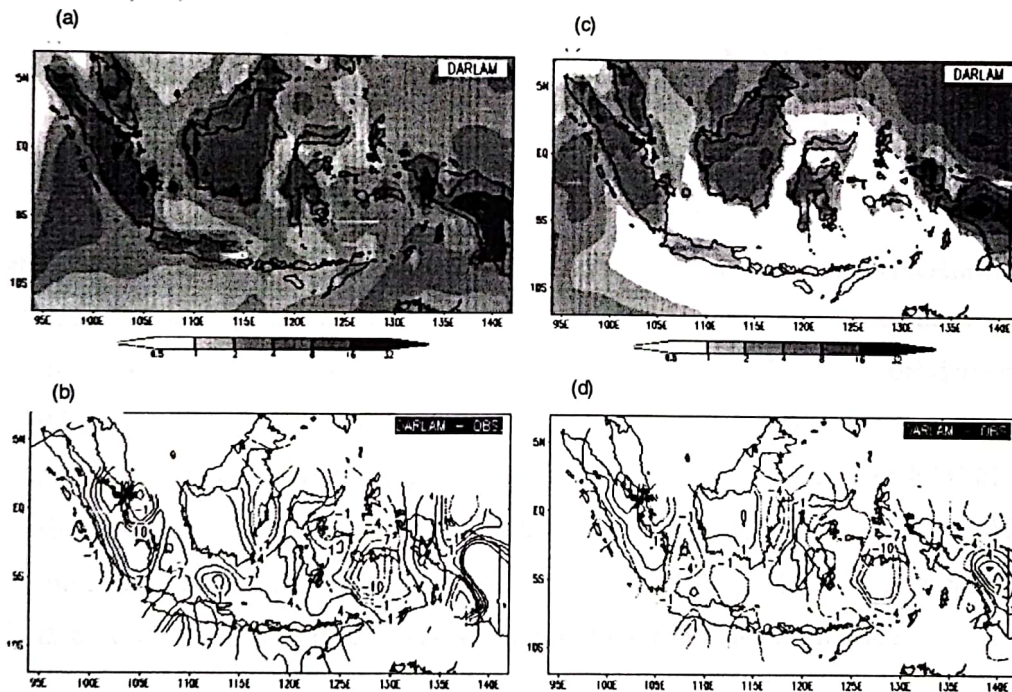
a. Keadaan Rata-rata

Tekanan muka laut (*sea level pressure* atau SLP) merefleksikan posisi matahari terhadap garis lintang permukaan bumi. Pada periode Desember-Januari-Februari (DJF), posisi matahari berada di sebelah selatan Indonesia. Selama DJF wilayah di sebelah selatan Indonesia, terutama di daratan benua Australia mempunyai SLP rendah, dan sebaliknya di benua Asia mempunyai SLP tinggi. Pada periode Juni-Juli-Agustus (JJA), matahari berpindah ke belahan bumi utara, sehingga SLP di utara Indonesia menjadi lebih rendah dibandingkan dengan wilayah di sebelah selatan Indonesia. Dari gambar 2, DARLAM terlihat dengan sangat baik mensimulasikan gradient SLP di atas wilayah Indonesia, baik untuk DJF maupun JJA.

Pada periode DJF sebagian besar wilayah Indonesia pada umumnya mengalami musim hujan dan sebaliknya pada JJA umumnya mengalami musim kemarau. Daerah-daerah di Indonesia yang mempunyai puncak musim hujan pada periode DJF disebut sebagai daerah hujan monsunial (*monsoonal*). Beberapa daerah yang berada di atau dekat garis ekuator seperti Padang dan Pontianak mendapat puncak curah hujan pada dua periode, yaitu sekitar Maret dan September, dikatakan sebagai daerah hujan ekuatorial. Tipe yang ketiga yang dikenal di Indonesia adalah daerah hujan lokal, yang puncak musim hujannya justru pada sekitar bulan Juni-Juli. Ambon dan Sorong adalah dua contoh daerah yang mempunyai tipe hujan lokal. Gambar 3 memperlihatkan penyebaran hujan pada DJF dan JJA serta perbedaannya dengan pengamatan. Bias curah hujan dari model di beberapa daerah seperti Maluku, Papua, dan Sumatra terlihat sangat besar dibandingkan dengan pengamatan.



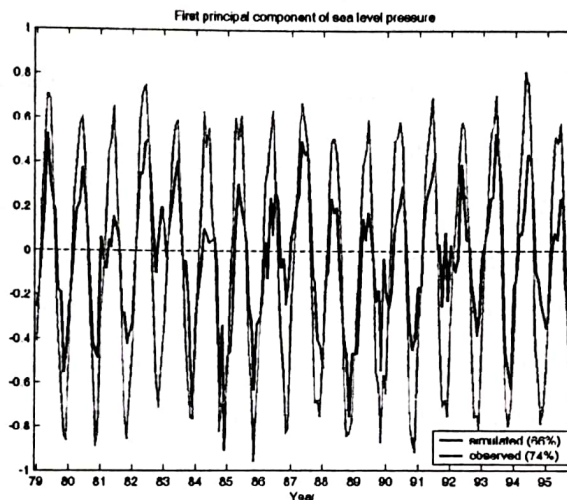
Gambar 2. Rata-rata jangka panjang SLP untuk DJF (panel kiri) dan JJA (panel kanan) dari reanalisis NCEP/NCAR (atas) dan DARLAM (bawah).



Gambar 3. Rata-rata jangka panjang curah hujan untuk DJF (panel kiri) dan JJA (panel kanan), dari simulasi DARLAM (atas) dan perbedaannya dengan pengamatan (bawah).

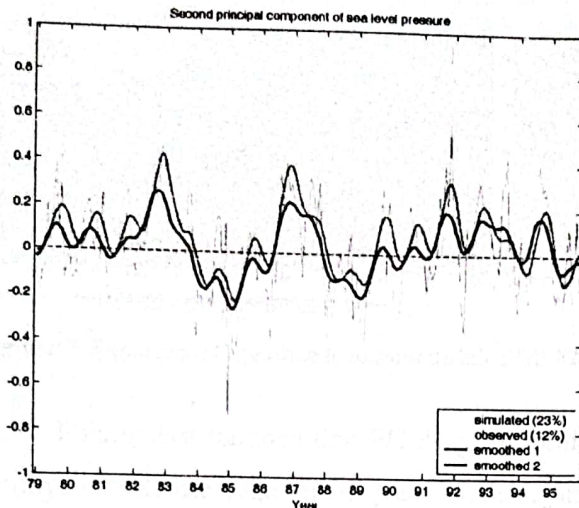
b. Variabilitas Temporal dan Spasial

Variabilitas temporal untuk SLP ditunjukkan pada gambar 4 dan 5, masing-masing komponen utama (*principal component* atau PC) telah dinormalisasi sehingga maksimum amplitudonya mempunyai harga 1 (satu). Osilasi tahunan SLP yang menjadi komponen utama pertama (PC #1) terlihat cukup baik disimulasikan oleh DARLAM, namun amplitudonya terlihat lebih berfluktuasi dibandingkan dengan PC pertama pengamatan (gambar 4). Persentase yang dijelaskan oleh PC pertama dari variansi total sebesar 66% dari model tampak tak beda jauh dengan PC #1 pengamatan yang besarnya sekitar 74%.



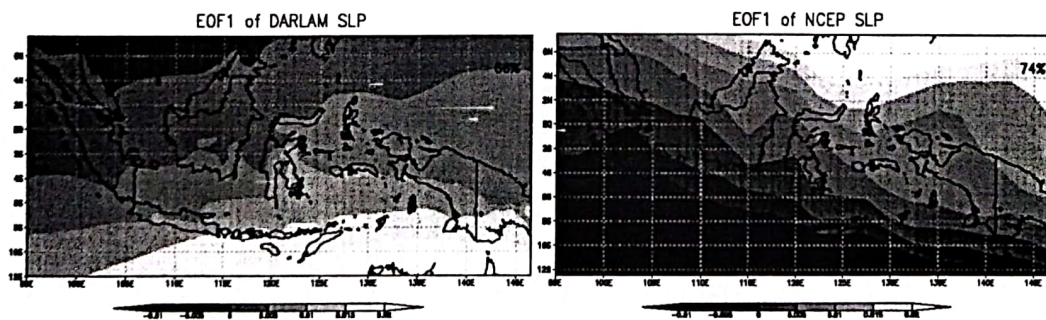
Gambar 4. PC #1 untuk SLP, observasi menunjukkan 74% dan simulasi 66% dari variansi total.

Pada gambar 5, pada masing-masing deret waktu dilakukan rata-rata berjalan (*moving average*) 12 bulan untuk memperjelas perbandingan antara PC #2 model dengan PC #2 pengamatan. Untuk komponen kedua ini hasil simulasi DARLAM terlihat sangat baik dalam menirukan PC #2 pengamatan. Variansi yang dijelaskan oleh PC #2 SLP simulasi adalah 23%, sementara untuk SLP pengamatan hanya 11%. PC #2 ini merupakan manifestasi kejadian El Nino pada 1982-1983, 1986-1987, dan pada awal dekade 1990-an; dan kejadian La Nina pada 1984-1985 dan 1988-1989.

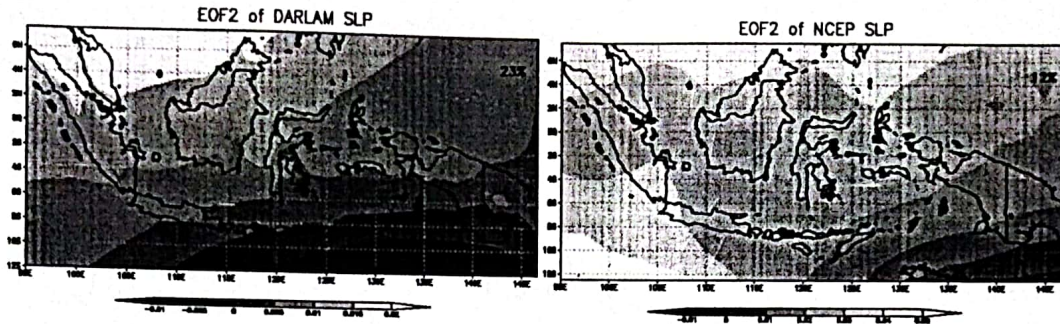


Gambar 5. PC #2 untuk SLP, observasi 12% dan simulasi 23%.

Meskipun pola temporal SLP hasil simulasi cukup bagus dalam menirukan pola temporal SLP pengamatan, namun pola spasialnya kurang memuaskan. Perbandingan pola spasial pertama (EOF #1) SLP hasil simulasi dan pengamatan dapat dilihat pada gambar 6. Gradien variansi EOF #1 SLP dari simulasi DARLAM terlihat berasal dari wilayah Asia Tenggara menuju Australia, sedangkan gradien variansi EOF #1 SLP pengamatan dari Lautan India menuju Lautan Pasifik. Untuk EOF #2 SLP dari DARLAM, pola spasialnya merupakan kebalikan dari EOF pertamanya., namun pola spasial EOF #2 untuk SLP pengamatan terlihat berorientasi timur-barat (gambar 7).



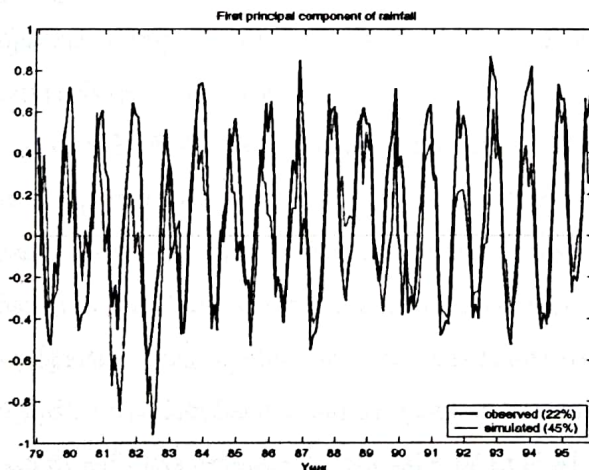
Gambar 6. Pola spasial pertama (EOF #1) untuk SLP, dari simulasi DARLAM (kiri) dan reanalisis NCEP/NCAR (kanan).



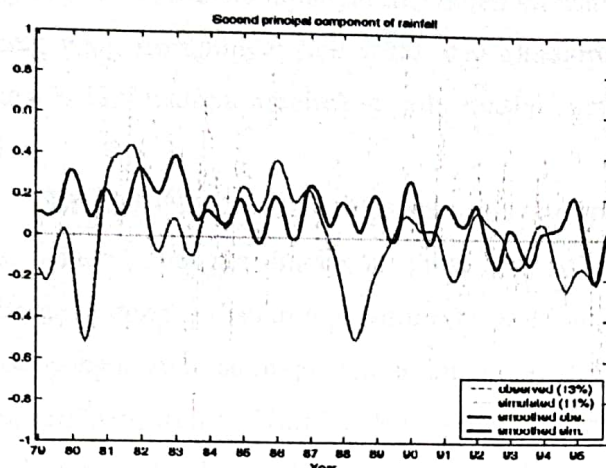
Gambar 7. Sama seperti gambar 6, namun untuk EOF #2.

Pola osilasi tahunan dari PC #1 yang terlihat dari hasil analisis PCA pada SLP tentunya diharapkan juga terjadi pada curah hujan. Hal ini memang terlihat pada hasil PCA curah hujan untuk PC #1 (gambar 8). Namun pola osilasi tahunan PC #1 curah hujan dari simulasi DARAM tampak lebih monoton osilasinya dibandingkan dengan PC #1 dari curah hujan pengamatan. Variansi curah hujan dari komponen pertama ini menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara hasil simulasi dengan pengamatan, 45% untuk hasil simulasi DARAM dan hanya 22% untuk pengamatan.

Pengaruh El Nino/La Nina pada curah hujan di Indonesia ditunjukkan oleh PC #2 pada data pengamatan (gambar 9). Namun efek tersebut tidak ditunjukkan oleh PC #2 data hasil simulasi DARAM. Hal ini pula yang menjadi sebab osilasi PC #1 pada data curah hujan hasil simulasi terlihat monoton. Pada PC #2 ini, variansi yang dijelaskan oleh kedua data agak serupa, 11% untuk hasil simulasi dan 13% untuk pengamatan.



Gambar 8. PC #1 untuk curah hujan Indonesia, observasi menunjukkan 22% dan simulasi 45% dari variansi total.



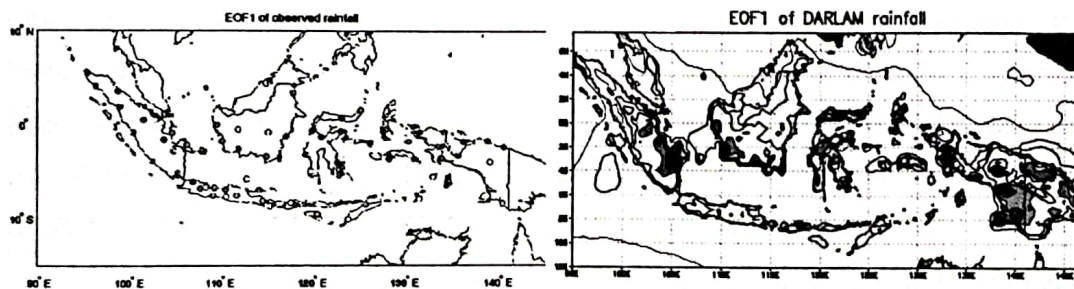
Gambar 9. PC #2 untuk curah hujan Indonesia, observasi menunjukkan 13% dan simulasi 11% dari variansi total.

Pola spasial hasil PCA untuk curah hujan ditunjukkan pada gambar 10 untuk EOF #1 dan pada gambar 11 untuk EOF #2. Untuk data pengamatan yang berupa data titik (yang merupakan lokasi stasiun penakar curah hujan), hasil EOF diperlihatkan dengan sebuah lingkaran terarsir yang bervariasi dari warna putih ke warna hitam. Lokasi dengan lingkaran putih berarti mempunyai sifat hujan yang berlawanan dengan lokasi dengan warna hitam. Lokasi dengan lingkaran abu-abu mempunyai sifat hujan yang berlainan dengan keduanya. Sedangkan untuk data curah hujan hasil simulasi DARLAM yang merupakan data grid, hasil EOF ditunjukkan dengan kontur. EOF positif ditunjukkan dengan garis tak terputus dan yang nilainya besar diberi arsiran, dan EOF negative ditunjukkan dengan garis terputus dan diarsir. Kontur yang bernilai nol ditunjukkan dengan garis tebal tak terputus.

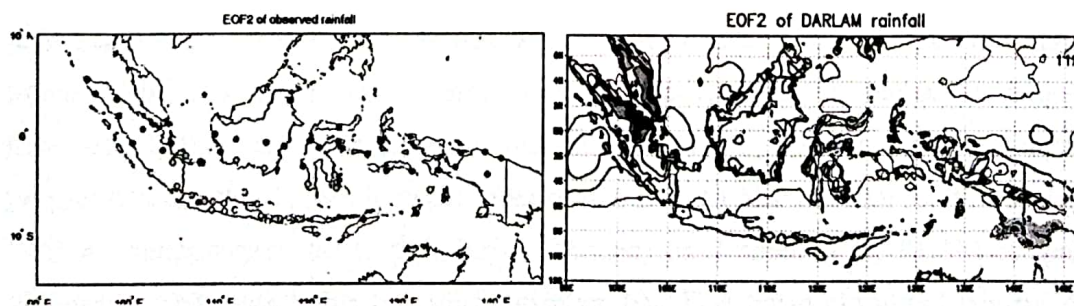
Hasil EOF #1 yang menunjukkan pola curah hujan tahunan, untuk data curah hujan dari pengamatan, daerah-daerah dengan tipe hujan monsunial diperlihatkan dengan lingkaran berwarna putih, daerah-daerah dengan tipe hujan ekuatorial (misalnya Pontianak dan Padang) dengan lingkaran abu-abu, dan daerah-daerah dengan tipe hujan lokal (seperti Sorong, Ambon dan Sulawesi Tengah) dengan lingkaran hitam (gambar 10, panel kiri). Dari data hasil simulasi (gambar 10, panel kanan), sebagian besar wilayah-wilayah di Indonesia terlihat mempunyai nilai EOF #1 yang positif, kecuali di bagian utara pulau Sumatra dan sekitar Sorong (ujung kepala pulau Papua) yang mempunyai nilai EOF #1 negatif atau mendekati nol. Hal ini bias diartikan bahwa sebagian besar wilayah-

wilayah di Indonesia mempunyai tipe hujan monsunial, kecuali Sumatra bagian utara dan Sorong yang mempunyai tipe lokal atau ekuatorial. Dengan demikian hasil simulasi terlihat belum mampu menirukan pola spasial curah hujan tahunan di Indonesia secara baik.

Untuk EOF #2 yang terlihat sebagai faktor pengaruh El Nino/La Nina pada curah hujan, daerah dengan lingkaran putih (seperti Sorong) mendapat pengaruh yang berlawanan dengan daerah dengan lingkaran hitam/abu-abu (yang terdapat pada lokasi-lokasi pengamatan lainnya). Curah hujan di daerah-daerah dengan lingkaran hitam mendapat pengaruh El Nino/La Nina yang lebih besar daripada curah hujan di daerah-daerah dengan lingkaran abu-abu (gambar 11, panel kiri). Sedang untuk hasil simulasi, EOF #2 dengan nilai negative (garis putus-putus) terlihat di daerah Jawa, Bali, Nusa Tenggara, sebagian Sulawesi dan Papua bagian selatan dan utara (gambar 11, panel kanan). Jadi menurut hasil simulasi DARLAM, curah hujan di daerah-daerah tersebut mendapat pengaruh El Nino/La Nina yang berlawanan dengan daerah-daerah di Sumatra, Kali-mantan, dan sebagian Sulawesi. Dengan demikian model DARLAM belum mampu mensimulasikan pola spasial pengaruh El Nino/La Nina terhadap curah hujan secara baik.



Gambar 10. EOF #1 untuk curah hujan Indonesia, dari observasi (kiri) dan hasil simulasi (kanan).



Gambar 11. Sama seperti gambar 10, namun untuk EOF #2.

4. PEMBAHASAN

Tekanan muka laut (SLP) merupakan variabel iklim yang bersifat skala besar (regional) dan independen, sehingga model iklim pada umumnya (termasuk DARLAM) mampu mensimulasikannya dengan baik. DARLAM juga mampu mensimulasikan dua PC pertama dengan baik, PC #1 merupakan manifestasi dari sirkulasi zonal (sirkulasi Hadley) dan PC #2 dari sirkulasi meridional (sirkulasi Walker). Model iklim area terbatas ini mampu menirukan perubahan kedua sirkulasi tersebut terhadap waktu di atas wilayah Indonesia.

Pada perbandingan pola spasialnya, pola EOF #1 SLP dari model dan dari pengamatan terlihat mirip namun berlawanan arah (lihat gambar 6). Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam variansi yang dijelaskan oleh komponen pertama ini, yakni model DARLAM mungkin menganggap variansi yang satu lebih penting daripada variansi lainnya. Sedangkan pada EOF #2, pola spasial model tidak mirip dengan pola spasial pengamatan. EOF #2 SLP pada hasil simulasi DARLAM masih tampak sebagai sirkulasi zonal, sedangkan pada EOF #2 SLP dari data reanalisis terlihat bahwa komponen kedua ini merupakan sirkulasi Walker. Salah satu penyebab ketidakmampuan model menirukan pola spasial komponen ini mungkin kondisi-kondisi batas (*boundary conditions*) yang berasal dari sirkulasi global tak terserap secara baik oleh model area terbatas. Kemungkinan lain adalah kondisi-kondisi batas ini terkena pengaruh *damping* yang ada pada beberapa grid terluar model area terbatas. Damping ini memang diterapkan untuk menyesuaikan kondisi batas dari sirkulasi global ke dalam domain LAM.

Variabel curah hujan dalam model iklim adalah hasil perhitungan dari berbagai teori yang ada sekarang dan bergantung pada variable-variabel iklim lainnya. Selain terpengaruh oleh pola sirkulasi udara di atas wilayah Indonesia, curah hujan di Indonesia juga tergantung pada interaksi sirkulasi skala regional dengan pengaruh lokal (misalnya topografi dan posisi dari garis ekuator). Sirkulasi monsun dapat disimulasikan dengan baik yang terlihat dari perbandingan rata-rata jangka panjang antara model dengan pengamatan (gambar 2), dan juga dari pola spasial EOF #1 SLP (gambar 6). Pola spasial EOF #1 curah hujan (yakni pola hujan tahunan) hasil simulasi DARLAM tampak didominasi oleh pola hujan musonal (gambar 10). Tipe hujan ekuatorial (seperti di Pontianak) dan tipe hujan lokal (misalnya di Ambon) tak tersimulasikan oleh DARLAM

secara baik. Dua tipe hujan terakhir ini mungkin tak terformulasikan secara baik oleh skema parameterisasi konveksi (dalam penelitian ini adalah skema Kuo) dan skema presipitasi yang ada dalam model.

Ketidakmampuan model dalam mensimulasikan pola spasial sirkulasi Walker berakibat pada tak tampaknya pengaruh El Nino/La Nina pada deret waktu curah hujan (PC #2 curah hujan, lihat gambar 9). Indonesia merupakan salah satu lokasi konvergensi dari sirkulasi Walker. Gangguan pada sirkulasi Walker yang terjadi saat munculnya El Nino/La Nina akan mengganggu jumlah dan periode curah hujan yang diterima oleh berbagai wilayah di Indonesia, karena posisi konvergensi bergeser menjauh dari atau makin masuk ke wilayah Indonesia. Meskipun demikian, kontribusi dan interaksi dengan kondisi lokal juga berpengaruh pada besarnya efek El Nino/La Nina ini pada curah hujan di Indonesia.

5. KESIMPULAN

Iklim di Indonesia dipengaruhi oleh dua sirkulasi umum, yaitu sirkulasi Hadley dan sirkulasi Walker. Adanya musim kemarau dan musim hujan di Indonesia diakibatkan oleh sirkulasi Hadley. Sedangkan gangguan pada sirkulasi Walker pada waktu terjadinya El Nino/La Nina akan tampak pada terganggunya osilasi tahunan curah hujan tersebut. Pengaruh kedua sirkulasi ini pada iklim Indonesia terlihat pada hasil analisis PCA pada data pengamatan. Model iklim (baik global maupun regional) diharapkan mempunyai kemampuan untuk mensimulasikan kedua pengaruh sirkulasi umum ini pada iklim Indonesia. Oleh karena itu dalam validasi model area terbatas untuk kawasan Indonesia, metoda PCA digunakan untuk melihat kedua komponen ini dalam hasil simulasi model, sehingga penyebab bias antara hasil luaran DARLAM dan pengamatan dapat dikenali. SLP dipilih untuk mewakili variabel iklim berskala regional dan bersifat bebas (dalam simulasinya tak bergantung pada variabel iklim lain) dan curah hujan untuk variabel iklim lokal dan bersifat tak bebas (bergantung pada hasil simulasi variabel iklim lain).

Anomali SLP yang dihasilkan oleh DARLAM baik pada DJF maupun JJA sangat mirip dengan pengamatan. Variabilitas temporal SLP di atas wilayah Indonesia juga dapat disimulasikan oleh DARLAM dengan sangat baik. Namun pada pola spasialnya,

hanya komponen PC pertama (manifestasi dari sirkulasi Hadley) yang dapat ditirukan oleh model, sedangkan pola sirkulasi Walker yang tampak terdapat pada data pengamatan tak terlihat pada hasil simulasi. Hal ini bisa disebabkan oleh efek *damping* yang ada pada beberapa grid terluar domain model.

Hasil validasi pada curah hujan luaran DARLAM kurang memuaskan dibandingkan dengan hasil validasi pada SLP. Banyaknya faktor yang mempengaruhi perhitungan curah hujan dalam model menjadikannya sulit untuk mensimulasikan curah hujan secara baik. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah variabel-variabel iklim lain yang berpengaruh pada perhitungan curah hujan pada model harus tinggi tingkat validitasnya, dan skema konveksi dan skema presipitasi harus sesuai dengan karakter wilayah yang akan dijadikan domain simulasi DARLAM. Penelitian-penelitian lebih lanjut masih banyak yang harus dilakukan untuk memperbaiki kinerja DARLAM, antara lain: pengkajian efek damping pada grid terluar model dan perbaikan skema konveksi untuk kawasan Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Busuioc, A., D. Chen, and C. Hellstrom, 2001: Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation. *Int. J. Climatology*, **21**, 557–578.
2. Haylock, M., and J. McBride, 2001: Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall. *Journal of Climate*, **14**, 3882–3887.
3. Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetma, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.
4. Suaydhi, 2001: Analysis of climate variability of Indonesia using a regional climate model. *M.Sc. Thesis*, Monash University, Australia.