

# STUDI SENSITIVITAS DARLAM TERHADAP SKEMA KONVEKSI BERDASARKAN JUMLAH BULAN HUJAN

**Ina Juaeni, Halimurrahman, Bambang Siswanto**  
Peneliti Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim, LAPAN

## ABSTRACT

To support conclusion concerning performance of DARLAM (Division of Atmospheric Research Limited Area Model), this article presents performance of the model through its ability to simulate number of wet month in Indonesia. Based on ratio value between simulated and observed number of wet months a year, Hal scheme has the worst performance compared to another schemes. This can be shown by the low ratio. Kuo scheme shows good performance for Papua, Kalimantan, Sumatera and Jawa. A good performance of Arakawa and Betts-Miller schemes is shown for following locations: Papua, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi and Jawa. Arakawa, Kuo and Betts-Miller convection schemes tend to produce excessive precipitation for NT (Nusa Tenggara) and Bali and for ENSO period, also.

## ABSTRAK

Untuk mendukung kesimpulan tentang kinerja DARLAM, dalam tulisan ini disampaikan kinerja model melalui jumlah bulan hujan di wilayah Indonesia. Berdasarkan nilai perbandingan jumlah bulan hujan simulasi dan jumlah bulan observasi pertahun, skema Hal mempunyai kinerja paling buruk dibanding skema lainnya. Hal ini ditunjukkan dengan nilai perbandingan jumlah bulan hujan simulasi dan jumlah bulan hujan observasi yang sangat rendah. Skema Kuo menunjukkan kinerja yang baik untuk Papua, Kalimantan, Sumatera dan Jawa. Kinerja skema Arakawa dan skema Betts-Miller yang baik ditunjukkan untuk lokasi berikut: Papua, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, NT & Bali, dan Jawa. Skema konveksi Ak, Kuo dan BM DARLAM cenderung menghasilkan curah hujan berlebih untuk NT, dan Bali dan juga pada periode ENSO 1982.

Kata kunci : *Jumlah bulan hujan, Skema konveksi, DARLAM*

## 1 PENDAHULUAN

Studi terhadap kinerja model atmosfer baik dalam skala global maupun skala regional, telah dilakukan sejak berkembangnya pemodelan atmosfer/iklim. Dimulai dari penelitiannya tentang siklon tropis pada tahun 1965, Kuo (1974) melakukan kajian parameterisasi konveksi cumulus. Kajian parameterisasi Cumulus juga dilakukan oleh Grell (1991) dan Kain and Fritsch (1990). Parameterisasi radiasi matahari dilakukan Lacis and Hansen (1974) karena radiasi merupakan variabel yang berpengaruh dalam berbagai proses di atmosfer. Model atmosfer dibangkitkan oleh kondisi awal dan kondisi batas yang sangat menentukan hasil simulasi, karena itu kondisi batas/kondisi awal adalah salah satu aspek yang harus mendapat perhatian (Davies, 1976; Perkey and Kreitzberg, 1976 serta Sashegyi and Madala, 1994). Model global dan model regional pada umumnya diaplikasikan untuk simulasi atau prediksi variabel iklim (Errico and Baumhefner, 1987; Cohen and Frank, 1987; Dickinson et al., 1989; Giorgi and Bates, 1989; Kitoh, 1992; Gates, 1992; Giorgi et al., 1994; Horel et al., 1994, Deque and Piedlievre, 1995; Christensen et al., 1996; Giorgi and Marinucci, 1996; Ji and Vernekar, 1997; Renwick et al., 1998; Giorgi and Bi, 2000 serta Lee and Suh, 2000). Bersamaan dengan aplikasi model untuk simulasi/prediksi variabel iklim, dilakukan kajian untuk pengembangan model (Frank, 1983; Giorgi et al., 1993). Wilayah kajian pemodelan difokuskan di Amerika dan Eropa.

Sejak tahun 1990an di Australia dikembangkan model iklim GCM CSIRO9 (*General Circulation Model, Commonwealth Scientific Industrial Research Organization level 9*) dan model regional CSIRO/DARLAM. Dua model CSIRO ini digunakan untuk simulasi iklim di New Zealand (Katzfey, 1995; Renwick et al., 1998), untuk wilayah Australia (McGregor and Walsh, 1993; Walsh and McGregor, 1995; 1997), untuk Antartika (Walsh and McGregor, 1996) dan untuk wilayah Asia Tenggara (McGregor et al., 1998). Model DARLAM juga digunakan untuk simulasi jejak badai (Katzfey, 1999) dan simulasi emisi dan perpindahan gas telusur (Kowalczyk and Mc Gregor, 2000). Pada tahun 2001, Suaydhi menggunakan model iklim regional DARLAM untuk simulasi variabilitas iklim di wilayah Indonesia. Dalam kajiannya, diperlihatkan bahwa DARLAM mensimulasikan mslp (*mean sea level pressure*) dan angin pada 850 mb lebih baik dibandingkan GCM. Simulasi curah hujan dengan skema Kuo menunjukkan hasil yang baik pada bulan kering (JJA), sementara variabilitas dalam skala di bawah satu tahun menunjukkan hasil yang masih kasar. Simulasi iklim di wilayah Indonesia dengan menggunakan model regional yang lain yaitu model REMO (*Regional Model-MPI(Max Planck Institute)*) dilakukan oleh Aldrian et al. (2004) dan Gunawan et al. (2004). Kemampuan model tertinggi terjadi pada bulan Juni/Juli/Agustus. Dengan demikian, jika dibandingkan dengan wilayah

lintang menengah, kajian pemodelan iklim untuk wilayah Indonesia selain masih sangat terbatas dalam jumlah penelitian dan pengembangan, juga dalam akurasi. Akurasi simulasi model iklim untuk curah hujan di wilayah tropis masih kurang baik (Gates, 1992; Gadgil and Sajani, 1998). Sedangkan McGregor et al. (1998) menyatakan aplikasi model regional untuk wilayah tropis perlu penanganan secara hati-hati. Peningkatan akurasi simulasi curah hujan untuk wilayah Indonesia sangat tergantung kepada kemampuan untuk menterjemahkan proses-proses fisis/dinamis/termodinamis atmosfer ke dalam model matematis. Frank (1983) menyatakan bahwa simulasi curah hujan di wilayah tropis sangat tergantung kepada parameterisasi cumulus. Pernyataan ini didukung oleh Sperber (1998), yang menyatakan bahwa revisi pada skema cumulus memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan revisi pada skema permukaan. Ditunjukkan oleh intensitas curah hujan pertigajam-an di tiga lokasi (Bandung, Bogor, Jakarta) bahwa terdapat paling sedikit dua pola curah hujan, yaitu pola *late morning* (curah hujan maksimum terjadi pada malam sampai pagi hari) dan pola *late afternoon* (curah hujan maksimum terjadi sore hari) (Ina J. dan Bayong Tjasyono HK., 2005; Ina J. dkk., 2007). Ini dapat dijadikan indikator bahwa wilayah Indonesia memiliki karakter proses pembentukan curah hujan/konveksi yang bervariasi terhadap ruang, sehingga diperlukan lebih dari dua skema konveksi untuk mensimulasikan curah hujan di wilayah Indonesia. Uraian di atas menunjukkan bahwa menentukan skema parameterisasi yang sesuai menjadi sangat penting untuk wilayah Indonesia. Berdasarkan hal tersebut dilakukan kajian terhadap kinerja skema konveksi model DARLAM yang bertujuan untuk memperoleh skema-skema yang paling sesuai untuk diterapkan di wilayah Indonesia. Dengan demikian, simulasi curah hujan selanjutnya menggunakan skema yang sudah terpilih. Dalam penelitian ini digunakan parameter jumlah bulan hujan, sementara itu dilakukan studi sensitivitas model dengan menggunakan parameter lain seperti curah hujan rata-rata dan deviasinya, pola curah hujan (temporal dan spasial) dan spektrum curah hujan (tidak ditampilkan di sini). Masing-masing kajian meninjau kinerja skema konveksi berdasarkan parameter yang berbeda yang akan memberikan kontribusi yang sangat berarti untuk memperoleh kesimpulan tentang kinerja model.

## 2 MODEL, DATA DAN METODE

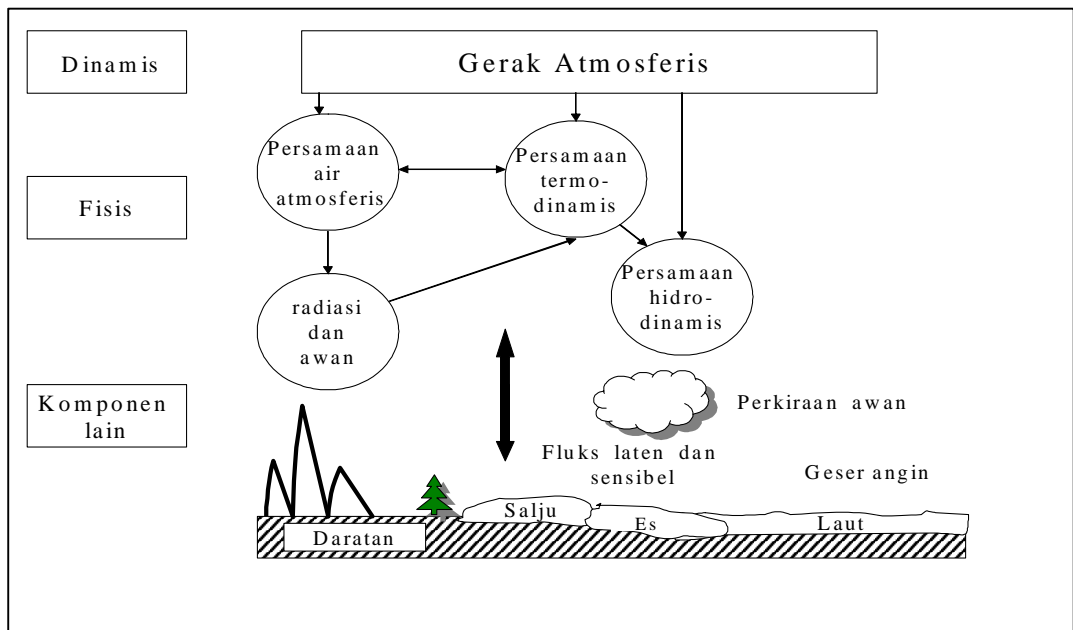
### 2.1 Model

Curah hujan simulasi diperoleh dari hasil *running* model resolusi tinggi DARLAM CSIRO (*Division of Atmospheric Research Limited Area Model-Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation-Australia*) dengan resolusi 50 km. Sementara itu, syarat batas dan syarat awal model di ambil dari model global GCM CSIRO-9 (*Global Circulation/Climate Model CSIRO-9*). Model GCM CSIRO dan DARLAM digunakan karena model ini sudah diuji dalam proyek perbandingan model skala Internasional (AMIP,

AMEX dan COMPARE). Kemampuan GCM CSIRO sekilas dengan model GFDL (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA*) berdasarkan Gadgil dan Sajani (1998). Sementara DARLAM memiliki kemampuan yang baik dalam mensimulasikan curah hujan tropis pada wilayah daratan (Mc Gregor et al., 1998). Adapun gambaran umum dari kedua model iklim tersebut disampaikan dalam uraian di bawah ini.

Ada tiga komponen utama dalam GCM CSIRO9 (Gambar 2-1), yaitu komponen dinamis, komponen fisis dan komponen lain. Komponen dinamis meliputi skema numeris untuk gerak atmosferis skala besar. Komponen dinamis ini dihitung dalam skala ruang grid berbentuk segi-empat (GCM grid kartesian) atau dalam skala ruang spektral (GCM spektral). GCM CSIRO9 adalah GCM spektral. Komponen fisis dihitung dalam skala ruang grid meskipun dalam GCM spektral, karena komponen ini menyangkut lokasi, permukaan, gerak vertikal dan fenomena atmosfer lain seperti hujan badai yang harus dievaluasi dalam ruang grid. Sedangkan yang dimaksud komponen lain model adalah model interaksi atmosfer-laut.

Model global ini menggunakan koordinat sigma ( $\sigma = p/p_s$ ;  $p$  = tekanan udara pada suatu ketinggian,  $p_s$  = tekanan udara permukaan). Model GCM CSIRO9 dijalankan pada resolusi spektral R21 (Pemotongan kesalahan pada bilangan gelombang (berbentuk jajaran jentang) ke 21). Skema waktu semi implisit leapfrog digunakan bersama dengan filter waktu Robert (Asselin). Step waktu yang digunakan adalah 30 menit.



Gambar 2-1: Komponen model dalam GCM (Reproduksi dari Sellers and Mc Guffie, 1987)

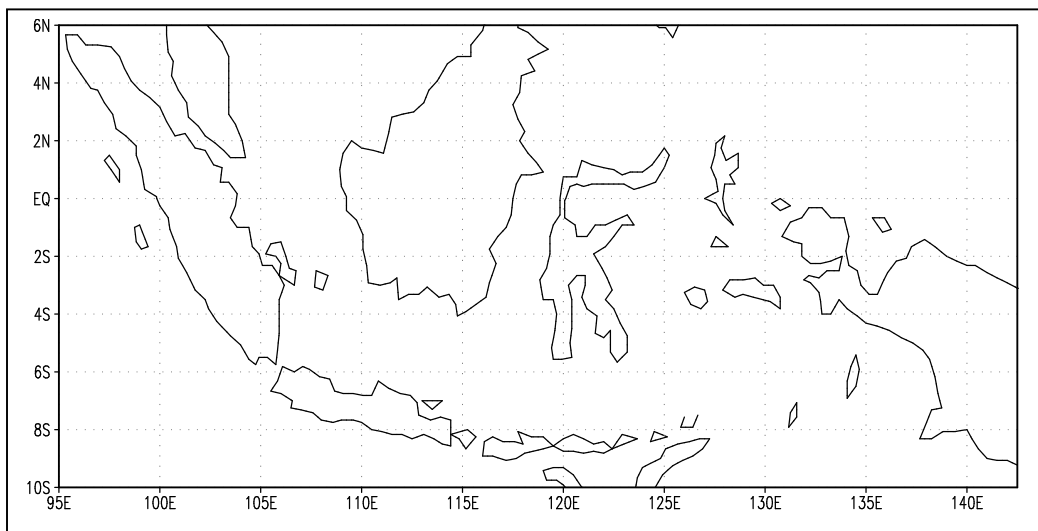
Koordinat vertikal, skema waktu, filter waktu dan step waktu yang digunakan dalam model area terbatas DARLAM sama dengan yang digunakan dalam GCM CSIRO9. Penyelesaian numeris dalam DARLAM menggunakan grid Arakawa C.

Parameterisasi Fisis dalam DARLAM, meliputi skema konveksi cumulus (Kuo, Arakawa, Hal, Betts-Miller, Arakawa-Shubert), evaporasi, curah hujan, parameterisasi untuk radiasi gelombang panjang dan pendek, diagnosis distribusi awan, kestabilan lapisan batas dan pencampuran vertikal, tiga lapisan temperatur tanah, skema tumbuhan/tutupan (*vegetation/canopy*), serta parameterisasi hidrologis.

Pada penelitian ini, DARLAM di-set pada resolusi 50 km dengan skema konveksi Kuo, Arakawa (Ak), Hal dan Betts-Miller (BM). Wilayah model mencakup wilayah Indonesia seperti diperlihatkan pada Gambar 2-2.

### 2.2 Data

Curah hujan simulasi model resolusi 50 km pada periode 1980 sampai dengan 1985 dibandingkan dengan data curah hujan pengamatan bulanan yang diperoleh dari BMG pada periode yang sama.



Gambar 2-2: Wilayah Indonesia dalam daerah model

### 2.3 Metode

Kinerja model diuji dengan perbandingan antara jumlah bulan hujan model dengan jumlah bulan hujan pengamatan pertahun. Nilai perbandingan  $< 1$  menunjukkan model mensimulasikan bulan hujan lebih sedikit daripada pengamatan, sedangkan nilai perbandingan  $> 1$  berarti sebaliknya. Kriteria kinerja ditentukan dari banyaknya nilai perbandingan yang tidak sama dengan 1 (satu) selama periode pengamatan. Model disebut memiliki kinerja baik jika seluruh atau hampir seluruh nilai perbandingannya sama dengan 1

(satu), kinerja cukup jika nilai perbandingan lebih besar/lebih kecil dari satu tidak lebih dari dua kejadian, kinerja kurang jika nilai perbandingan jauh lebih besar/jauh lebih kecil dari satu (selanjutnya disebut nilai perbandingan ekstrim) lebih dari dua kali kejadian dan kinerja buruk jika nilai perbandingan ekstrim lebih dari dua kali.

Wilayah kajian (Indonesia) dipisahkan berdasarkan pulau-pulau besar (Kalimantan, Sumatera, Sulawesi, Jawa, Papua, NT (Nusa Tenggara) dan Bali). Data curah hujan observasi masing-masing pulau dirata-rata dari data curah hujan stasiun yang tersedia, yaitu 4 stasiun masing-masing untuk Kalimantan dan Sumatera, 2 stasiun untuk Sulawesi, 3 stasiun masing-masing untuk Papua dan NT (Nusa Tenggara)/Bali serta 6 stasiun untuk Jawa.

### **3 HASIL**

Kinerja masing-masing skema dievaluasi secara spasial dan temporal. Di Papua, skema Kuo dan Arakawa bekerja dengan baik pada seluruh tahun pengamatan (1980 s.d. 1985). Sementara skema Betts-Miller bekerja baik pada lima dari enam tahun pengamatan. Skema Hal menunjukkan kinerja yang buruk karena hanya bekerja dengan baik pada satu tahun pengamatan (Gambar 3-1). Skema Kuo, Arakawa dan BM menunjukkan  $r$  sedikit di atas satu pada tahun 1982 (tahun kejadian ENSO). Ini menunjukkan bahwa berkurangnya bulan basah pada tahun tersebut tidak dapat disimulasikan dengan baik oleh model.

Hampir sama dengan di Papua, skema Kuo, Arakawa bahkan skema BM menunjukkan kinerja baik di Kalimantan. Sedangkan skema Hal hanya dapat mensimulasikan jumlah bulan hujan yang sesuai pengamatan pada tahun 1980. Periode ENSO 1982 terdeteksi di Kalimantan melalui  $r_{Kuo}$ ,  $r_{Ak}$  dan  $r_{BM}$  yang sedikit lebih besar dari 1 (satu).

Di Sulawesi, kemampuan skema Kuo mensimulasikan jumlah bulan hujan diberi kategori cukup karena  $r_{Kuo} > 1$  ada tiga kejadian sedangkan skema Ak dan BM diberi kategori kurang karena  $r > 1$  lebih dari 3 kejadian. Sementara itu skema Hal kinerjanya buruk, ditandai dengan adanya nilai perbandingan yang sangat rendah lebih dari dua kali.

Skema Kuo, Arakawa dan BM diberi kategori baik untuk Sumatera karena perbandingan jumlah bulan hujan simulasi dan jumlah bulan observasi sama dengan satu/hampir sama dengan satu untuk seluruh periode pengamatan. Skema Hal hanya bekerja baik pada tahun 1980.

Skema Kuo dan BM menunjukkan kinerja yang baik untuk Jawa, kecuali pada tahun 1982. Skema Ak diberi kategori cukup karena ada dua perbandingan lebih kecil dari satu. Skema Hal tidak bekerja dengan baik di Jawa.

Untuk NT, dan Bali tidak ada skema yang diberi kategori baik. Skema Kuo diberi kategori cukup, sedangkan skema Ak dan skema BM diberi kategori kurang. Skema Hal tetap memperlihatkan kinerja yang buruk.

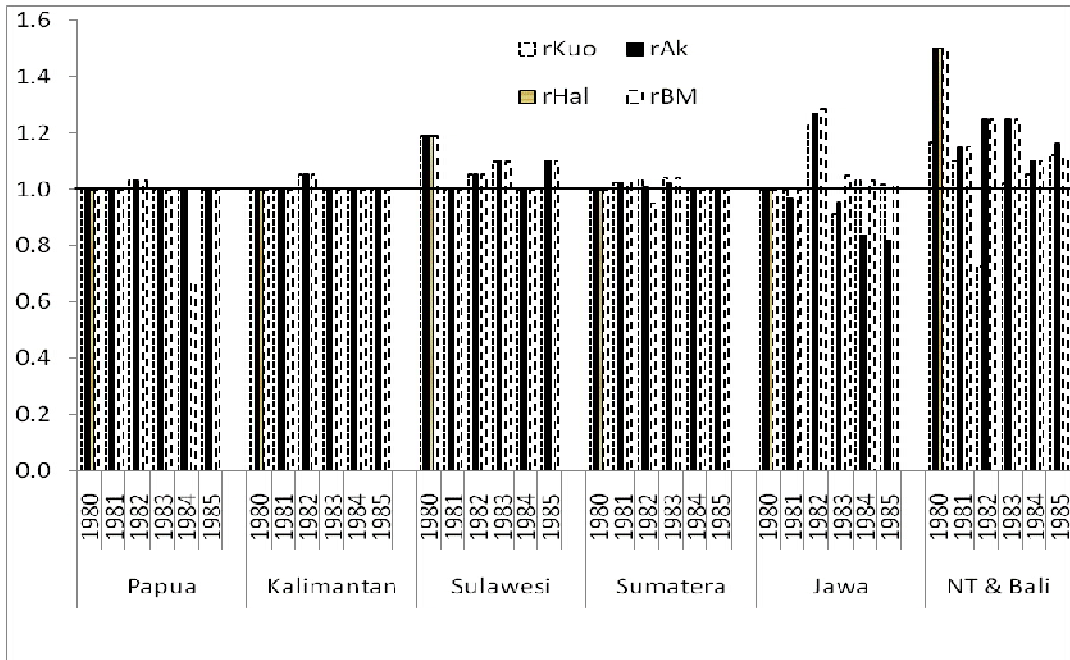
Periode ENSO tahun 1982 model mensimulasikan jumlah bulan hujan yang lebih tinggi dibanding pengamatan, artinya penurunan jumlah bulan basah/meningkatnya bulan kering kurang terdeteksi oleh model di Papua, Kalimantan, Sulawesi, NT, dan Bali. Penurunan jumlah bulan basah/meningkatnya bulan kering tidak terdeteksi oleh skema Ak, BM dan Hal di Jawa.

Secara keseluruhan, skema konveksi Ak, Kuo dan BM DARLAM memiliki kinerja yang kurang baik untuk NT & Bali dan periode ENSO 1982. Skema Hal mempunyai kinerja buruk untuk seluruh lokasi baik pada periode normal maupun periode ENSO.

Perbedaan kinerja yang ditunjukkan oleh masing-masing skema konveksi DARLAM berdasarkan perbandingan bulan hujan terhadap lokasi menjadi salah satu bukti bahwa curah hujan di wilayah Indonesia sangat bervariasi terhadap ruang dan waktu. Variasi perbandingan bulan hujan terhadap waktu tampak lebih jelas untuk NT, Bali dan Jawa.

#### 4 PEMBAHASAN

Empat skema konveksi menunjukkan kinerja kurang baik untuk NT, dan Bali yang merupakan wilayah Indonesia paling selatan. Pada monsun musim panas Asia/musim panas BBU (Gambar 4-1a) sirkulasi angin yang melalui NT dan Bali berasal dari timur-selatan/barat (dari arah daratan Australia). Massa udara yang dibawa bersama angin tersebut adalah massa udara kering, sehingga hujan yang terjadi di lokasi tersebut pada saat itu kurang mendapat suplai massa konveksi dari skala meso/regional. Pada monsun musim dingin Asia/musim panas BBS (Gambar 4-1b) sirkulasi angin yang melalui NT dan Bali berasal dari timur utara/timur (dari arah Pasifik) yang mengandung banyak uap air. Massa udara ini mempunyai potensi meng-hasilkan curah hujan yang tinggi. Namun karena sudah menjatuhkan hujan di wilayah lain yang dilewati sebelumnya, maka kadar air sudah jauh berkurang. Hal inilah yang menyebabkan curah hujan di dua lokasi tersebut memiliki jumlah curah hujan yang relatif lebih kecil dibanding wilayah lain (Jawa, Sumatera, Sulawesi dan Papua). Dalam kondisi normal (tanpa ENSO), NT, dan Bali berpotensi mendapatkan hujan dari konveksi skala meso/ITCZ (*Inter Tropical Convergence Zone*) yang melalui dua lokasi tersebut pada musim monsun panas BBS, sehingga curah hujan tidak nol. Suplai massa lembab dari sekitar lokasi adalah salah satu parameter yang diperlukan untuk pembentukan awan/hujan. Namun tidak hanya itu, kelembaban permukaan menjadi syarat penting lainnya.



Gambar 3-1: Perbandingan jumlah bulan hujan pertahun antara curah hujan skema konveksi dengan curah hujan pengamatan

Keterangan:

- rKuo = jumlah bulan hujan skema Kuo dibagi jumlah bulan hujan observasi (n),
- rAk = jumlah bulan hujan skema Arakawa dibagi n,
- rHal = jumlah bulan hujan skema Hal dibagi n,
- rBM = jumlah bulan hujan skema Betts-Miller dibagi n,
- n = jumlah bulan hujan observasi (hujan > 0 mm/bulan).

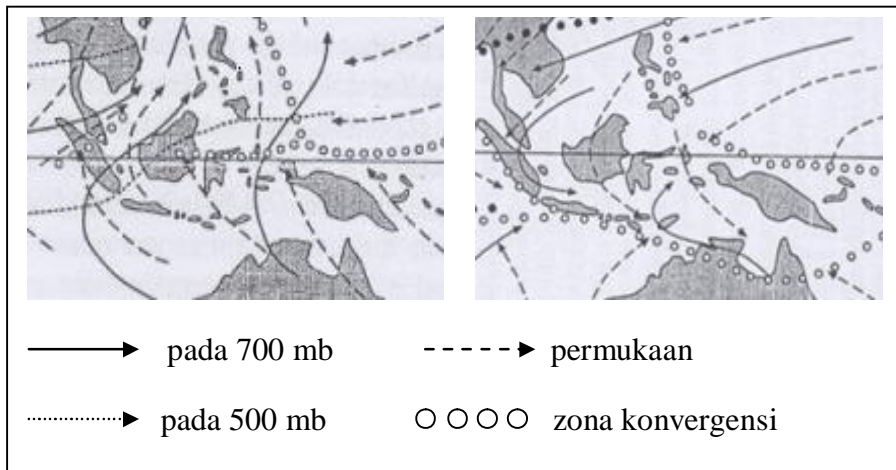
Skema konveksi DARLAM mensyaratkan kelembaban permukaan dengan nilai yang sama untuk seluruh wilayah Indonesia. Nilai itu terlalu tinggi untuk diaplikasikan di NT, dan Bali sebagai wilayah Indonesia paling selatan dan didominasi oleh dataran rendah dengan luas area tutupan yang sempit. Dengan demikian, berdasarkan perbandingan jumlah bulan hujan simulasi dan observasi, persyaratan kelembaban permukaan dalam skema konveksi DARLAM harus dikaji ulang agar mendapatkan nilai yang sesuai.

Perbandingan jumlah bulan hujan yang disimulasikan oleh skema konveksi DARLAM dengan jumlah bulan observasi merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan kriteria kinerja skema konveksi DARLAM. Namun demikian kajian ini harus didukung oleh kajian serupa dengan kriteria lain sehingga memberikan kesimpulan tentang kinerja model yang lebih realistis. Hal ini disebabkan jumlah bulan hujan hanya ditentukan berdasarkan jumlah bulan dengan hujan > nol mm selama satu tahun,



sementara curah hujan terukur di wilayah Indonesia memiliki variasi yang besar dalam skala bulanan.

Kinerja model yang kurang baik seperti di NT, dan Bali dapat dievaluasi dari resolusi horizontal model yang digunakan. Model DARLAM menggunakan ukuran grid 50 km. Sementara itu proses konveksi/proses pembentukan curah hujan di wilayah tropis skala kecil berlangsung dalam skala 10-20 km<sup>2</sup>. Ini menjadi sumber terjadinya perbedaan antara jumlah bulan hujan observasi dan jumlah bulan hujan simulasi.



Gambar 4-1: Sistem angin monsun pada monsun panas Asia (a) dan monsun dingin Asia (b) (Reproduksi dari Tropical Climatology (McGregor and Nieuwolt, 1998))

Kesalahan juga bisa berasal dari pemilihan kondisi batas/kondisi awal yang kurang tepat. Kondisi batas DARLAM berasal dari *output* GCM yang mengandung variabel angin, temperatur, tekanan, kelembaban, angin dan SST. Nilai variabel tersebut berupa nilai klimatologis (rata-rata), sehingga nilai-nilai yang ekstrim rendah/tinggi menjadi tidak tampak karena faktor perata-rataan.

Perbedaan yang timbul antara curah hujan simulasi dan curah hujan observasi bisa berasal dari jumlah sampel pengamatan yang kurang banyak. Penambahan jumlah sampel tidak selalu memperkecil perbedaan tersebut karena tergantung dari variasi curah hujan spasial. Jika variasi spasial sangat besar maka penambahan sampel justru akan semakin menambah perbedaan. Namun demikian penambahan jumlah sampel diperlukan untuk menguji konsistensi model.

Kesalahan yang bersifat umum dari model berasal dari penyederhanaan proses fisis/dinamis/termodinamis yang terjadi di alam. Curah hujan dihasilkan dari suatu rangkaian proses yang saling berkaitan. Massa konveksi yang bergerak ke atas baik yang dihasilkan dari proses pemanasan permukaan maupun yang berasal dari proses konvergensi atau karena faktor

orografi, harus memiliki kadar uap air yang cukup agar terjadi kondensasi. Butir-butir air hasil kondensasi akan melalui proses tumbukan dan penggabungan agar mencapai ukuran butiran air yang lebih besar. Pada saat butir-butir hujan sudah terbentuk, diperlukan kondisi lingkungan (P, T dan RH) tertentu sehingga bisa menghasilkan hujan. Rangkaian proses penghasil hujan yang kompleks yang garis besarnya diuraikan di atas diterjemahkan menjadi persamaan-persamaan dinamis, fisis dan termodinamis. Namun karena sifat atmosfer memiliki ketidakpastian yang sangat tinggi, persamaan-persamaan matematis tersebut tidak benar-benar eksak, atau mengandung kesalahan. Persamaan dinamis, fisis dan termodinamis atmosfer yang sudah mengandung kesalahan ini dalam penyelesaian numerisnya seringkali disederhanakan dengan berbagai asumsi sehingga lebih mudah diselesaikan. Berarti ada dua sumber kesalahan utama yang terkandung dalam pemodelan atmosfer. Pertama, kesalahan menginterpretasi proses atmosfer menjadi persamaan matematis. Kedua, kesalahan karena asumsi yang dibuat untuk penyederhanaan solusi numeris.

## 5 KESIMPULAN

Skema Kuo, Arakawa dan skema BM menunjukkan kinerja baik di Papua, Kalimantan, Jawa dan Sumatera. Tetapi kinerja tiga skema tersebut kurang baik untuk NT, dan Bali pada periode ENSO 1982.

Skema Hal mempunyai kinerja paling buruk dibanding skema lainnya untuk seluruh lokasi pengamatan baik pada periode normal maupun periode ENSO. Hal ini ditunjukkan dengan nilai perbandingan jumlah bulan hujan simulasi dan jumlah bulan hujan observasi yang sangat rendah.

Perbandingan jumlah bulan hujan yang disimulasikan oleh skema konveksi DARLAM dengan jumlah bulan observasi merupakan salah satu parameter yang dapat dijadikan kriteria kinerja DARLAM. Namun demikian harus ditunjang oleh hasil kajian terhadap parameter lain.

## DAFTAR RUJUKAN

- Aldrian, E.; Gates, L. D.; Jacob, D.; Podzun, R. and Gunawan, D., 2004. *Long-term Simulation of Indonesian Rainfall with the MPI Regional Model*. Climate Dynamics, Volume 22, Issue 8, pp.795-814.
- Christensen, J. H.; Christensen, O. B.; Lopez, P.; van Meijgaard, E. and Botzet, M., 1996. *The Hirham4 Regional Atmospheric Climate Model*. Scientific Report 96-4, Danish Meteor. Inst., Copenhagen.
- Cohen, C. and Frank, W. M., 1987. *Simulation of Tropical Convective Systems*. Part 1: A Cumulus Parameterization. J. Atm. Sci., 44.
- Davies H. C., 1976. *A Lateral Boundary Formulation for Multi-Level Prediction Models*. Quart J. Royal Meteor. Soc. 102, 405-418.

- Deque, M. and Piedlievre, J. P., 1995. *High Resolution Climate Simulation over Europe*. *Climate Dyn.* 11, 321-339.
- Dickinson, R. E.; Errico, R. M.; Giorgi, F. and Bates, G. T., 1989. *A Regional Climate Model for the Western United States*. *Climate Change*, 15, 383-422.
- Errico, R. and Baumhefner, D., 1987. *Predictibility Experiments Using a High-resolution Limited-area Model*. *Monthly Weather Review*, 115, 488-504.
- Frank, W. M., 1983. *Review: The Cumulus Parameterization Problem*. *Monthly Weather Review*, Volume 111.
- Gadgil, S. and Sajani, S., 1998. *Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP), Monsoon Precipitation in AMIP Runs*. Centre for Atmospheric and Oceanic Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore-India.
- Gates, W. L., 1992. *AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project*. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, 1962-1970.
- Giorgi, F. and Bates, G. T., 1989. *On the Climatological Skill of a Regional Model Over Complex Terrain*. *Monthly Weather Review*, 117, 2325-2347.
- Giorgi, F. and Bi, X., 2000. *A Study of Internal Variability of a Regional Climate Model*. *J. Geophys. Res.*, 105 (D24), 29503-29521.
- Giorgi, F. and Marinucci, M. R., 1996. *An Investigation of the Sensitivity of Simulated Precipitation to Model Resolution and its Implications for Climate Studies*. *Monthly Weather Review*, 124, 148-166.
- Giorgi, F.; Brodeur, C. S. and Bates, G. T., 1994. *Regional Climate Change Scenarios Over the United States Produced with a Nested Regional Climate Model*. *J. Climate*, 7, 375-399.
- Giorgi, F.; Marinucci, M. R. and Bates, G. T., 1993. *Development of a Second-Generation Regional Climate Model (regcm2). Part 1: Boundary-Layer and Radiative Transfer Processes*. *Monthly Weather Review*, 121, 2794-2813.
- Grell, G. A., 1991. *Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations*. *Monthly Weather Review*, Volume 121.
- Gunawan, D; Gravenhorst, D; Jacob, D.; and Podzun, R., 2004. *Rainfall Variability Studies in South Sulawesi Using Regional Climate Model REMO*. *Georg-August-Universitat Gottingen, Institute of Bioclimatology Germany*.
- Horel, J. D.; Pechmann, J. B.; Hahmann, A. N. and; Geisler, J. E., 1994. *Simulations of the Amazon Basin Circulation with a Regional Model*. *J. Climate*, 7, 56-71.
- 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*, 17 September 2005.

- Ina J.; Bayong Tjasyono HK., R. Gernowo; dan Arief Suryantoro, 2007. *Pola dan Intensitas Curah Hujan Konveksi di Kota Besar Jawa Barat*. Journal JTM, XIV No.2.
- Ji, Y. and Vernekar, A. D., 1997. *Simulation of the Asian Summer Monsoons of 1987 and 1988 with a Regional Model Nested in a Global GCM*. J. Climate, 10, 1965-1979.
- Kain, J. S. and Fritsch, J. M., 1990. *A One-Dimensional Entraining/Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization*. J. Atm. Sci., 47.
- Katzfey, J. J., 1995. *Simulation of Extreme New Zealand Precipitation Events, Part 1: Sensitivity to orography and resolution*. Monthly Weather Review, 123 (3), 737-754.
- Katzfey, J. J., 1999. *Storm Tracks in Regional Climate Simulations: Verification and Changes with Doubled CO<sub>2</sub>*. Tellus, 51A, 803-814.
- Kitoh, A., 1992. *Simulated Interannual Variations of the Indo-Australian Monsoons*. J. Meteor. Soc. Japan, 70 (1), 563-582.
- Kuo, H. L., 1974. *Further Studies of the Parameterization of the Influence of Cumulus Convection on Large-Scale Flow*. J. Atm. Sci., 31.
- Lacis, A. A. and Hansen, J. E., 1974. *A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere*. J. Atmos. Sci., 31, 118-133.
- Lee, D.K. and Suh, M.S., 2000. *Ten-year East Asian Summer Monsoon Simulation Using a Regional Climate Model (regcm2)*. Journal of Geophysical Research, 105 (D24), 29565-29577.
- McGregor, G. R. and Nieuwolt, S., 1998. *Tropical Climatology*. John Wiley & Sons. Toronto.
- McGregor, J. L. and Walsh, K., 1993. *Nested Simulations of Perpetual January Climate Over the Australian Region*. J. Geophys. Res., 98, 23283-23290.
- McGregor, J. L.; Katzfey, J. J.; and Nguyen, K. C., 1998. *Fine Resolution Simulations of Climate Change for Southeast Asia*. Final report for SARCS Project.
- Perkey, D. J. and Kreitzberg, C. W., 1976. *A Time-Dependent Lateral Boundary Scheme for Limited-Area Primitive Equation Models*. Monthly Weather Review, 104, 744-755.
- Renwick, J. A.; Katzfey, J. J.; Nguyen, K. C.; and McGregor, J. L., 1998. *Regional Model Simulations of New Zealand Climate*. Journal of Geophysical Research, 103 (D6), 5973-5982.
- Sashegyi, K. D. and Madala, R. V., 1994. *Initial Conditions and Boundary Conditions, in R. A. Pielke & R. P. Pearce, eds. Mesoscale Modeling of the Atmosphere, Vol 25 of Meteorological Monographs, American Meteorological Society, chapter 1, pp. 1-12. No. 47.*

- Sellers, A. H. and Mc Guffie, K., 1987. *A Climate Modelling Primer*. John Wiley & Sons. Toronto.
- Sperber, K.R.; Slingo, J.M.; Inness, P.M.; Lau, K.M., 1997. On the maintenance and initiation of the intraseasonal oscillation in the NCEP/ NCAR reanalysis and in the GLA and UKMO API simulation. *Climate Dynamics*, 13, No. 11, 769-795.
- Walsh, K. and McGregor, J. L., 1995. *January and July Climate Simulations Over the Australian Region Using a Limited-Area Model*. *Journal of Climate*, 8 (10), 2387-2403.
- Walsh, K. and McGregor, J. L., 1996. *Simulations of Antarctic Climate Using a Limited Area Model*. *J. Geophys. Res.*, 101, 19093-19108.
- Walsh, K. and McGregor, J.L., 1997. *An Assessment of Simulation of Climate Variability Over Australia with a Limited Area Model*. *Int. J. Climatol.*, 17, 201-223.