

PENGARUH PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAUT TERHADAP CURAH HUJAN BENUA MARITIM INDONESIA PADA SEPTEMBER 2006

SEA SURFACE TEMPERATURE EFFECT TO INDONESIAN MARITIME CONTINENT RAINFALL ON SEPTEMBER 2006

Danang Eko Nuryanto*, Imelda Ummyatul Badriyah

Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG, Jl Angkasa I No 2 Kemayoran
Jakarta Pusat 10720 Indonesia

*E-mail: danang.eko@bmkgo.id

Naskah masuk: 10 April 2014; Naskah diperbaiki: 17 Nopember 2014; Naskah diterima: 15 Desember 2014

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk investigasi pengaruh perubahan Suhu Permukaan Laut (SPL) terhadap curah hujan di atas wilayah Benua Maritim Indonesia (BMI). Hal ini dilakukan mengingat wilayah BMI terdiri dari pulau-pulau yang dikelilingi oleh laut, di antaranya ada dua lautan besar yaitu Samudra Hindia dan Samudera Pasifik. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemodelan iklim menggunakan model Regional Climate Model versi 4 (RegCM4). Model RegCM4 merupakan salah satu model iklim yang awalnya dikembangkan di National Center for Atmospheric Research (NCAR) dan banyak diterapkan untuk kajian studi regional iklim dan prakiraan musim diseluruh dunia. Skenario model yang digunakan untuk mengetahui interaksi darat-laut-atmosfer yang terjadi di BMI dengan cara salah satunya untuk mengetahui pengaruh SPL terhadap curah hujan. Skenario SPL tersebut dibagi menjadi penambahan SPL $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ dan pengurangan $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$. Dalam penelitian ini disimulasikan selama satu bulan yaitu tanggal 1 – 30 September 2006. Hasilnya menunjukkan bahwa dominasi pengaruh perubahan SPL terhadap curah hujan BMI di darat lebih tinggi daripada di laut. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh SPL terhadap curah hujan di darat mengalami penguatan dibanding di laut.

Kata kunci: Benua Maritim Indonesia, RegCM4, suhu permukaan laut, curah hujan

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of changes in Sea Surface Temperature (SST) of the rainfall over the Indonesian Maritime Continent (IMC) region. This is done because of IMC region consists of many islands surrounded by the sea, of which there are two major oceans, namely Indian Ocean and the Pacific Ocean. This study was conducted by using a model of Regional Climate Model version 4 (RegCM4). The RegCM4 model is one of climate models that were originally developed by the National Center for Atmospheric Research (NCAR) and widely applied to study regional climate studies and forecasts of season around the world. The model scenario is used to determine interaction of land-ocean-atmosphere that occurs in IMC with one way to determine the effect of SST on rainfall. The scenario is divided into increasing $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ and reducing $1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$ of SST. The simulation in this study was using one month period data, from 1 to 30 September 2006. The results show that the dominance affects of SST changes to IMC rainfall is higher on land than at sea. This indicates that the influence of the SST to rainfall is strengthened on land than at sea.

Keyword: Indonesia Maritime Continent, RegCM4, sea surface temperature, rainfall

1. Pendahuluan

Atmosfer di atas Benua Maritim Indonesia (BMI) memiliki dinamika dengan tingkat nonlinieritas yang sangat tinggi sebagai akibat dari sangat beragamnya topografi, vegetasi, serta pengaruh monsoon dan interaksi laut-atmosfer di Samudra Pasifik dan Samudra Hindia di samping interaksi darat - atmosfer

- laut di BMI sendiri. Eksperimen-eksperimen awal penerapan sejumlah model numerik iklim di BMI, baik yang berbasis model sirkulasi global (*Global Climate Model/GCM*) maupun model iklim regional (*Regional Climate Model/RCM*, *Local Area Model/LAM*, *Regional Model/REMO*) telah dilakukan [1,2,3,4,5].

Dalam hal ini kompleksitas proses-proses fisis dan dinamis yang terjadi di BMI menjadi menarik untuk dijadikan bahan kajian yang digambarkan dalam suatu model iklim. Karena pemahaman tentang kondisi fisis dan dinamis ini sangat penting guna menjelaskan konsep-konsep fisika dan dinamis yang terjadi BMI. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji bagaimana suatu sistem iklim saling berinteraksi membentuk pola iklim di lokasi tertentu. Salah satu alat yang paling memungkinkan adalah dengan menggunakan model iklim.

Yamamoto dan Hirose [6] telah menggunakan data asimilasi Suhu Permukaan Laut (SPL) resolusi tinggi dengan *Ocean General Circulation Model* (OGCM) untuk mensimulasikan pertumbuhan angin siklon melewati Laut Jepang. Menurutnya bahwa perbedaan antara SPL asimilasi dan interpolasi tidak bisa diabaikan dalam simulasi karena pengaruhnya signifikan dalam cyclogenesis. Berdasarkan simulasi komparatif menggunakan SPL asimilasi dan interpolasi, selanjutnya Yamamoto dan Hirose [7] menunjukkan bahwa simulasi *cold-air outbreak* meningkat dengan menggunakan SPL asimilasi resolusi tinggi.

Dalam hal ini model *Regional Climate Model* versi 4 (RegCM4) memiliki banyak pilihan yang memungkinkan perhitungan temperatur permukaan laut sebagai variabel analisa mengikuti skema Zeng [8]. Hal ini mengikuti tampilan realistis dari temperatur permukaan laut harian, berdasar flux permukaan pada interaksi udara-laut. Skema didasarkan pada model dua lapis yang meliputi lapis panas/dingin seperti dijelaskan oleh Fairall et al [9]. Temperatur pada kedua lapisan dihitung menggunakan persamaan transfer panas satu dimensi dan kondisi batas ditentukan oleh flux permukaan hingga atmosfer (laten, sensibel, dan radiatif) dan ketinggian temperatur permukaan pada 3 m diambil dari penjelasan tentang SPL [8].

Dengan demikian karena pentingnya peranan SPL dalam dinamika atmosfer tersebut, maka perlu dilakukan studi pengaruh SPL terhadap aktivitas atmosfer tersebut. Sedangkan penelitian tentang SPL di BMI masih sedikit. Tujuan penulisan paper ini adalah untuk investigasi pengaruh SPL terhadap curah hujan di atas BMI.

2. Metode Penelitian

Model RegCM4 merupakan salah satu model iklim yang awalnya dikembangkan di *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) dan banyak diterapkan untuk kajian studi dari regional iklim dan prakiraan musim diseluruh dunia. RegCM tersedia di jaringan internet dengan alamat, . Generasi pertama

dari NCAR RegCM telah dibangun di NCAR-*Pennsylvania State University* (PSU) *Mesoscale Model version 4* (MM4) pada akhir 1980-an [10]. Komponen dinamis yang terdapat didalam model RegCM berasal dari MM4, yang mana adalah hasil dari kompres file, terbatas dari perbedaan model dengan keseimbangan hidrostatik dan koordinat vertikal.

Kemudian, dari penggunaan split integrasi waktu eksplisit skema ini ditambahkan algoritma untuk mengurangi difusi horizontal model dengan adanya kecuraman gradien topografi. Sebagai suatu hasilnya, inti dinamis dari RegCM adalah serupa dengan versi hidrostatik dari *Mesoscale Model version 5* (MM5) [11].

Sistem pemodelan RegCM memiliki 4 komponen: *Terrain*, *Initial Condition Boundary Condition* (ICBC), RegCM, dan *Postprocessor*. Selain itu juga melibatkan variabel *terrestrial* (meliputi ketinggian, penggunaan lahan, dan SPL) dan data meteorologi isobarik tiga dimensi terinterpolasi secara horisontal dari lintang-bujur dengan domain resolusi yang tinggi baik dari proyeksi rotasi *Mercator*, *Conformal Lambert*, atau proyeksi *Polar Stereografis*. Interpolasi vertikal dari level tekanan sampai sistem koordinat σ dari RegCM juga ditunjukkan. Permukaan σ yang dekat dengan permukaan tanah secara dekat mengikuti pola *terrain*, dan permukaan σ yang lebih tinggi tingkatannya cenderung mendekati permukaan isobarik (Gambar 1).

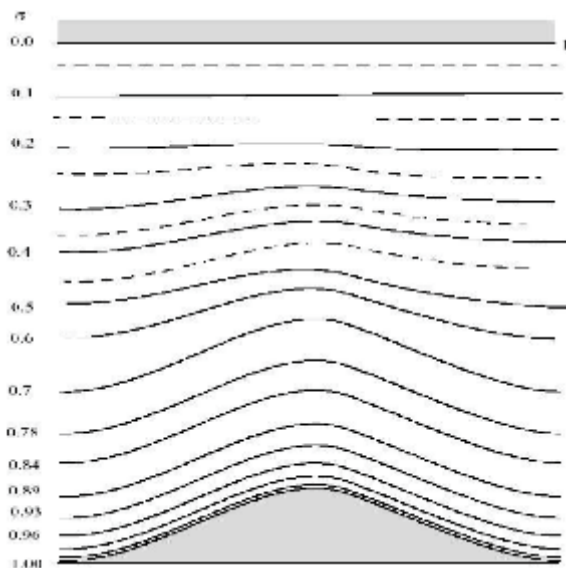
Di sisi lain model RegCM4 menggunakan skema radiasi NCAR CCM3 seperti yang dijelaskan oleh Kiehl [11]. Secara singkat, komponen matahari, yang menghitung efek O_3 , H_2O , CO_2 dan O_2 sesuai dengan aproksimasi δ -Eddington [12]. Skema ini memasukan 18 interval spektral dari 0.2 sampai 5 μm . Parameterisasi penghamburan dan absorpsi awan mengikuti skema Slingo [13], dimana sifat-sifat optic droplet awan (peluruhan kedalaman optik, penghamburan *single albedo*, dan parameter asimetri) yang diekspresikan dalam *Liquid Water Content* (LWC) awan dan radius efektif *droplet*. Ketika awan cumulus terbentuk, fraksi tutupan awan yang berbentuk *grid point* merupakan total tutupan untuk memperluas tingkat awan dasar menjadi level awan puncak (dihitung berdasarkan *random overlap*) yang merupakan fungsi spasi horizontal *grid point*. Ketebalan lapisan awan diasumsikan sama dengan lapisan model, perbedaan kandungan air khususnya untuk awan menengah dan rendah [14].

Sumber data yang digunakan meliputi: data global *land cover* dari *the Global Land Cover Characteristics the Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (GLCC BATS) dengan resolusi 10 menit, topografi dari *Global TOPOgraphy data* (GTOPO)

dengan resolusi 10 menit, *Sea Surface Temperature* (SST) dengan nama file *sst.wkmaen.1990-now* dan data *initial & lateral boundary condition* dari NCEP/NCAR *Reanalysis Project 2* (NNRP2) dengan resolusi $2.5^\circ \times 2.5^\circ$. Dalam penelitian ini disimulasikan selama satu bulan yaitu tanggal 1 – 30 September 2006. Pemilihan bulan September dilakukan untuk menghindari adanya curah hujan yang terlalu tinggi pada musim hujan. Sehingga simulasi yang dilakukan pada bulan September adalah bulan dimana sebagian besar wilayah Indonesia musim kemarau.

Sedangkan parameterisasi *flux* lautan BATS menggunakan standar hubungan kesamaan Monin-Obukhov untuk menghitung *flux* tanpa perlakuan khusus terhadap konvektif dan pada kondisi stabil. Sebagai tambahan, panjang kekasaran diatur konstan, misalnya bukan fungsi dari angin dan stabilitas [14].

Selanjutnya data global tersebut diolah menjadi data yang hanya mencakup lokasi Indonesia. Data *land cover* tersebut yang merupakan data tutupan lahan yang terbagi menjadi 20 kelas vegetasi seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Sedangkan diagram alir proses kerja model RegCM4 dapat diperhatikan pada Gambar 2, dimana mendeskripsikan mulai dari input model sampai keluaran model. Keluaran model selanjutnya diolah dengan software GrADS sehingga dapat dianalisis dengan baik.

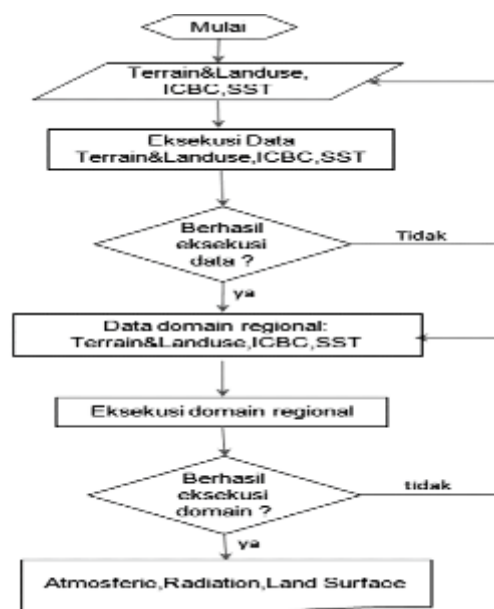


Gambar 1. Skema representasi dari struktur vertikal model. Contoh diatas adalah untuk 16 lapisan. Garis putus-putus menggambarkan tingkatan setengah sigma, garis penuh menggambarkan sigma penuh. (Sumber: Elguindi, et. al., 2010) [14]

Tabel 1. Tutupan lahan/kelas vegetasi (Sumber: Elguindi, et. al., 2010) [13].

Kelas	Vegetasi
1	Crop/mixed farming
2	Short grass
3	Evergreen needleleaf tree
4	Deciduous needleleaf tree
5	Deciduous broadleaf tree
6	Evergreen broadleaf tree
7	Tall grass
8	Desert
9	Tundra
10	Irrigated Crop
11	Semi-desert
12	Ice cap/glacier
13	Bog or marsh
14	Inland water
15	Ocean
16	Evergreen shrub
17	Deciduous shrub
18	Mixed Woodland
19	Forest/Field mosaic
20	Water and Land mixture

Skenario model yang digunakan untuk mengetahui interaksi darat-laut-atmosfer yang terjadi di BMI dengan cara salah satunya mengetahui pengaruh SPL terhadap curah hujan. Skenario SPL tersebut dibagi menjadi penambahan SPL $1^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}$ dan pengurangan $1^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}$. Selanjutnya dari masing-masing skenario akan dihasilkan empat rata-rata curah hujan selama September 2006 dan kemudian dibandingkan dengan keluaran model yang tidak mengalami modifikasi dari bulan dan tahun yang sama. Sehingga akan diketahui pada masing-masing skenario tersebut bagaimana pengaruh SPL terhadap curah hujan.



Gambar 2. Diagram alir proses kerja model RegCM4.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis interaksi SPL terhadap curah hujan di Indonesia dilakukan dengan skenario perubahan SPL yaitu dengan penambahan SPL ($1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$) dan pengurangan SPL ($1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$) dan hasilnya dibandingkan dengan curah hujan normal yang dijadikan sebagai kontrol model. Kontrol model ini merupakan curah hujan yang tidak dimodifikasi data input modelnya (Gambar 3).

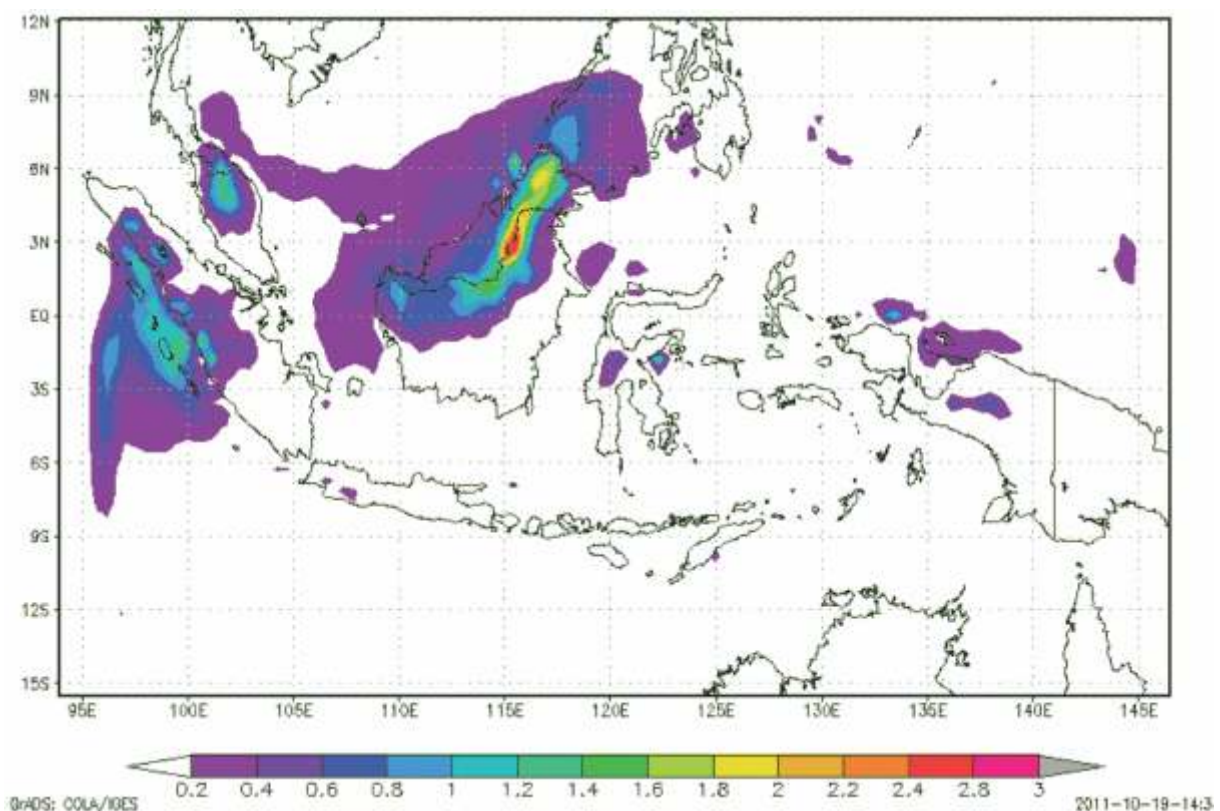
Hasil simulasi model RegCM4 menunjukkan bahwa pada bulan September 2006 curah hujan terdistribusi antara $0.2 - 2.8 \text{ mm/hari}$ di sebelah barat bukit barisan, pulau-pulau di sebelah barat Sumatera, Kalimantan bagian utara, sebagian kecil wilayah di Sulawesi bagian tengah, sebagian kecil wilayah di Pulau Papua bagian tengah, sebagian wilayah di timur kepala burung pulau Papua (Gambar 3). Wilayah daratan yang mendapatkan curah hujan tersebut umumnya di sekitar pegunungan dan dataran tinggi, seperti Bukit Barisan di Sumatera, Pegunungan Bawui di Kalimantan, Pegunungan Sudirman dan Jayawijaya di Papua, dan dataran tinggi di sekitar Gunung Kabinturu di Sulawesi.

Untuk skenario pertama, ketika SPL diubah menjadi 1°C lebih hangat, distribusi curah hujan tidak berubah

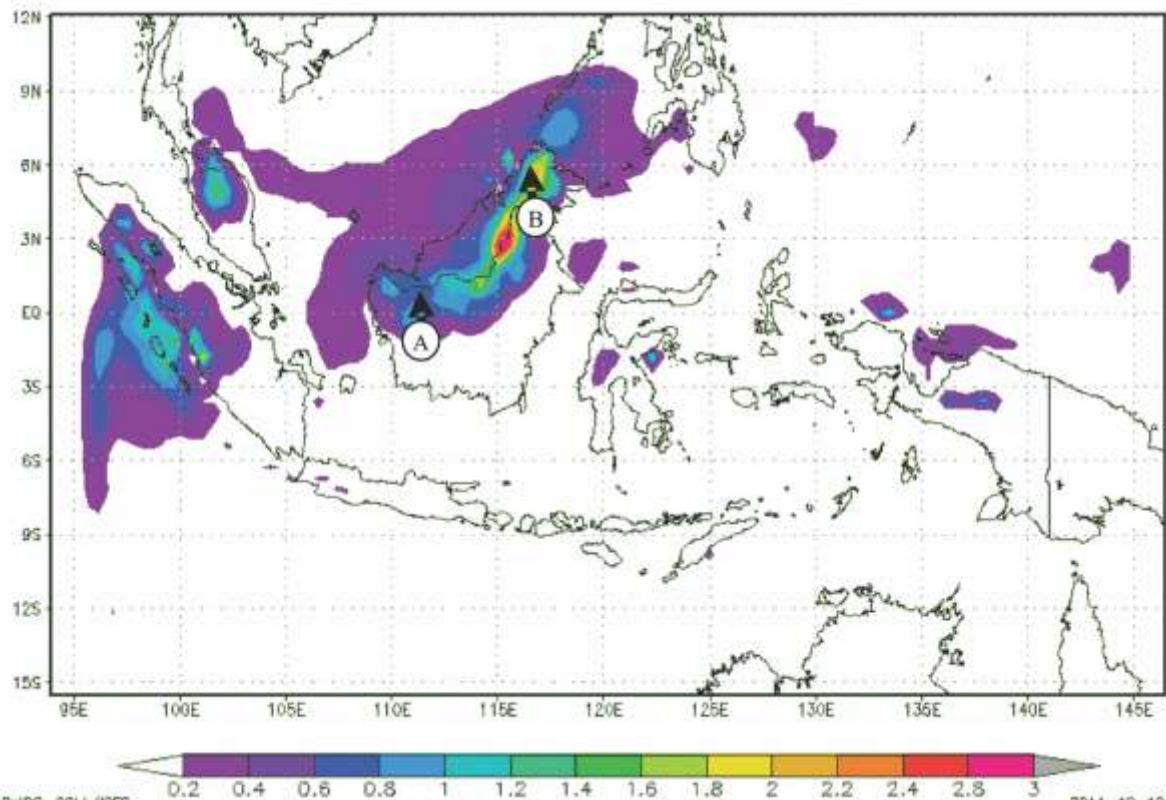
terlalu signifikan (Gambar 4). Sebagian kecil wilayah di Kalimantan bagian barat (tanda panah A) mengalami peningkatan intensitas, dari semula $0.6 - 0.8 \text{ mm/hari}$ menjadi $0.8 - 1.0 \text{ mm/hari}$. Meskipun bukan di wilayah Indonesia, menarik untuk diperhatikan juga berkaitan dengan pengaruh SPL terhadap curah hujan, tampak di Sabah (tanda panah B) juga terjadi peningkatan intensitas, dari $1.8 - 2.0 \text{ mm/hari}$ menjadi $2.0 - 2.2 \text{ mm/hari}$.

Selanjutnya ketika SPL lebih hangat 2°C , perubahan distribusi curah hujan di wilayah Benua Maritim Indonesia pun tidak berubah secara signifikan (Gambar 5). Bahkan daerah Sabah (tanda panah D) dengan intensitas curah hujan tertinggi mencakup wilayah yang tidak seluas ketika temperatur muka laut lebih hangat 1°C .

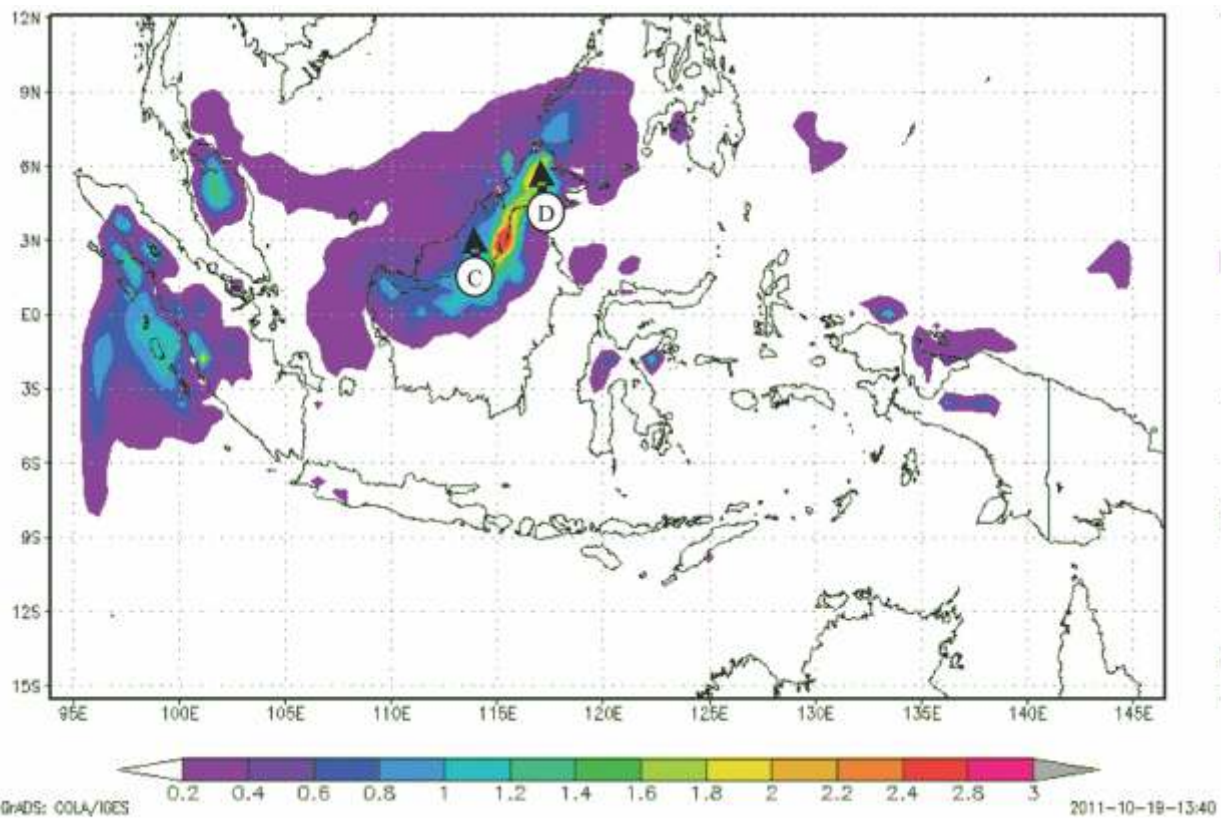
Pada skenario kedua, yaitu jika temperatur muka laut lebih hangat 2°C , dataran-dataran tinggi di Kalimantan tidak banyak mengalami perubahan intensitas curah hujan, hanya spot-spot kecil yang tersebar. Peningkatan curah hujan terkonsentrasi di Serawak bagian tengah (tanda panah C). Curah hujan di Pegunungan Sudirman dan Pegunungan Jayawijaya Papua kurang lebih sama seperti kondisi bila temperatur muka laut lebih hangat 1°C .



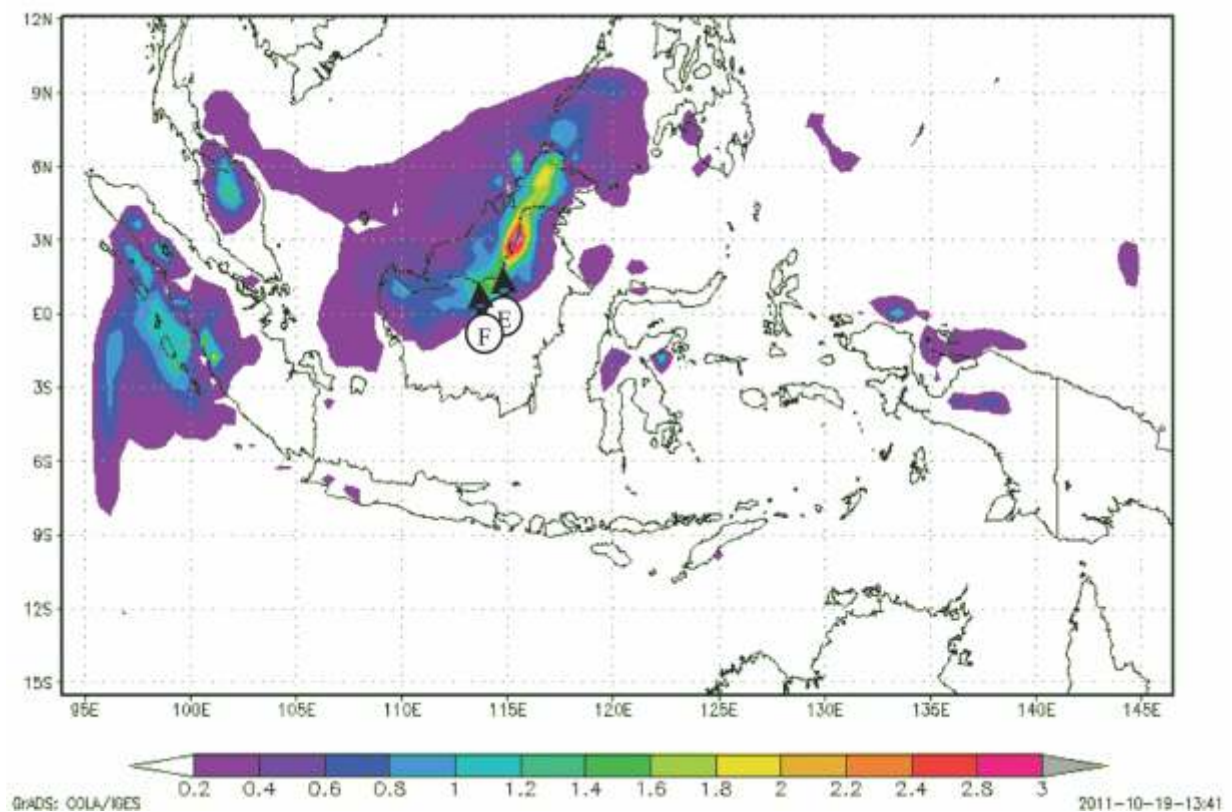
Gambar 3. Distribusi curah hujan di BMI September 2006 berdasarkan hasil simulasi RegCM4 tanpa ada perubahan SPL yang dijadikan kontrol model dan disebut curah hujan normal.



Gambar 4. Distribusi curah hujan di BMI September 2006 berdasarkan simulasi RegCM4 dengan SPL lebih hangat 1 °C.



Gambar 5. Distribusi curah hujan di BMI September 2006 berdasarkan simulasi RegCM4 dengan SPL lebih hangat 2 °C.



Gambar 6. Distribusi curah hujan di BMI September 2006 berdasarkan simulasi RegCM4 dengan SPL lebih dingin 1 °C.

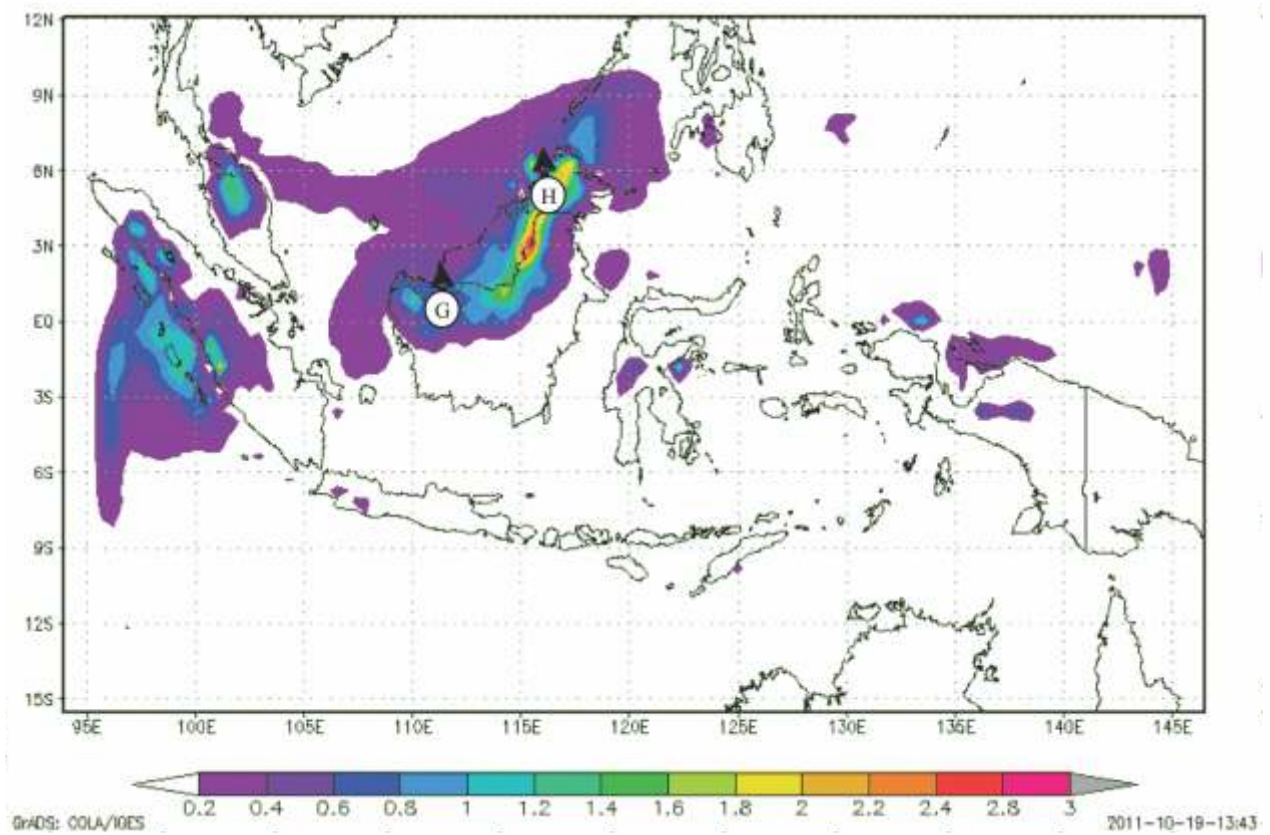
Intensitas curah hujan di sekitar Bukit Barisan di Sumatera terlihat terjadi peningkatan, bahkan sampai di sisi timur Bukit Barisan dan daerah sekitar Danau Toba dan Gunung Leuser di Sumatera. Daerah di Bukit Barisan yang mengalami penurunan intensitas curah hujan pada skenario SPL 1 °C lebih hangat, semakin besar penurunan intensitas curah hujannya, kecuali di sebelah pesisir timur Sumatera. Pada skenario ini, intensitas curah hujan di Sulawesi nyaris tidak berubah sama sekali bila dibandingkan dengan kondisi normal.

Selanjutnya jika skenario dalam model RegCM4 SPL lebih dingin 1 °C (skenario ketiga), peningkatan intensitas curah hujan di Kalimantan (tanda panah E) seperti pada skenario pertama, hanya saja konsentrasinya lebih ke timur (gambar 6). Sedangkan di pegunungan bagian barat Kalimantan (tanda panah F) tidak terjadi peningkatan intensitas, bahkan terjadi penurunan. Lebih lanjut perubahan intensitas curah hujan di Pegunungan Sudirman dan Pegunungan Jayawijaya Papua kurang lebih sama seperti dua skenario sebelumnya, hanya saja peningkatan intensitas curah hujan di Pegunungan Sudirman tidak sebanyak pada 2 skenario sebelumnya. Kemudian

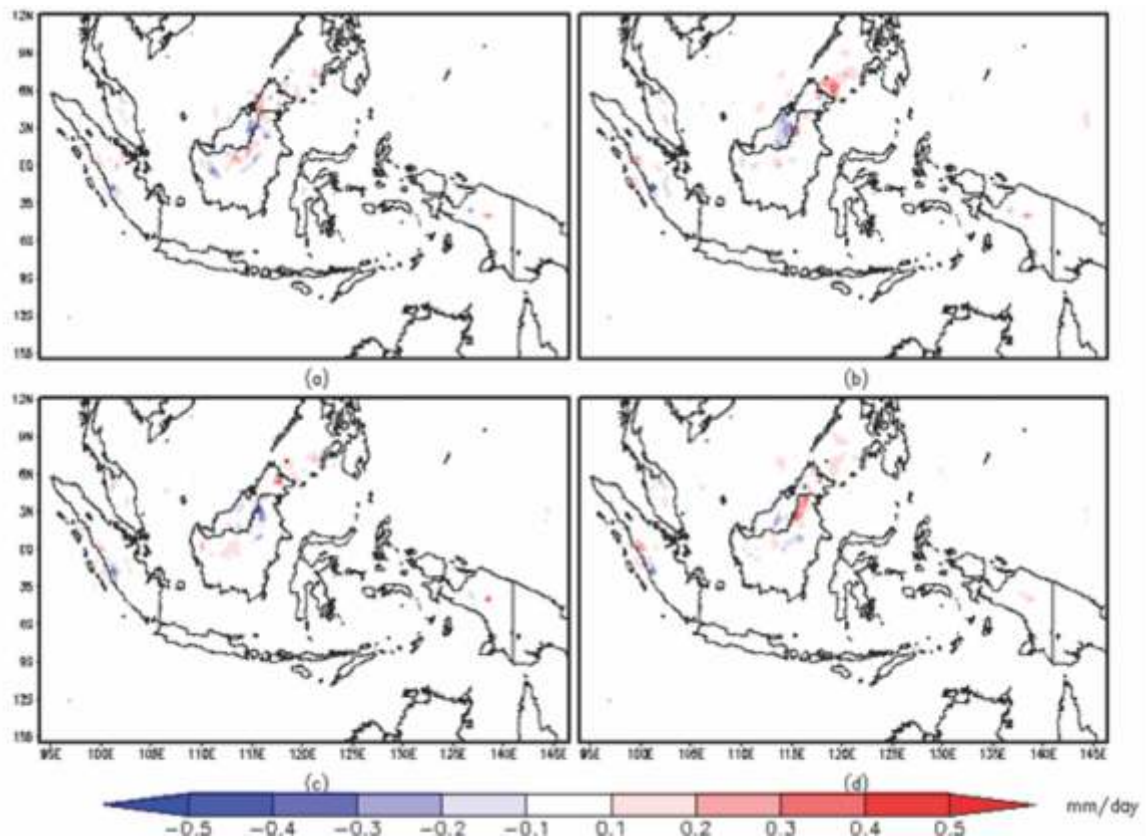
peningkatan intensitas curah hujan di pesisir Sumatera yang berseberangan dengan Kepulauan Mentawai kurang lebih sama seperti pada skenario pertama.

Pada skenario keempat, yakni jika SPL lebih dingin 2 °C, daerah di Kalimantan yang mengalami peningkatan intensitas curah hujan lebih sedikit, bahkan di pegunungan di sebelah timur laut mengalami penurunan intensitas curah hujan tertinggi (Gambar 7). Di Sumatera, perubahan intensitas terjadi di pesisir barat Sumatera dan sedikit di timur Bukit Barisan. Seperti ketiga skenario lainnya, pesisir yang menghadap Kepulauan Mentawai mengalami peningkatan intensitas curah hujan sedangkan yang menghadap Kepulauan Batu mengalami penurunan.

Peningkatan intensitas curah hujan juga terjadi di dataran di sekitar Gunung Leuser. Di Sulawesi perubahan intensitas yang cukup kentara terjadi di sebagian kecil wilayah di Sulawesi Barat. Perubahan intensitas curah hujan di Pegunungan Sudirman dan Jayawijaya paling tidak terlihat dibandingkan dengan ketiga skenario lainnya.



Gambar 7. Distribusi curah hujan di BMI September 2006 berdasarkan simulasi RegCM4 dengan SPL lebih dingin 2°C.



Gambar 8. Selisih antara curah hujan di wilayah BMI luaran model RegCM4 pada kondisi awal model (kontrol model) dengan luaran model RegCM4 jika perubahan SPL (a) +1°C, (b) +2°C, (c) -1°C dan (d) -2°C.

Gambar 8 merupakan selisih curah hujan skenario model dengan kontrol model. Selisih antara curah hujan di wilayah BMI antara kontrol model dengan (a) skenario satu, (b) skenario dua, (c) skenario tiga dan (d) skenario empat. Selisih positif artinya curah hujan skenario lebih kecil daripada kontrol model. Demikian juga sebaliknya selisih negatif artinya curah hujan skenario lebih tinggi dibanding dengan kontrol modelnya. Terlihat bahwa selisih curah hujan bisa dikatakan sangat kecil, berada di kisaran ± 0.5 mm/hari, atau sekitar $\pm 18\%$ per hari. Sementara eksperimen terhadap SPL yang dilakukan oleh Xie et al [15] pada bulan Agustus-Oktober memberikan selisih curah hujan sekitar ± 20 mm/bulan atau sekitar ± 0.6 mm/hari.

Dari penjelasan di atas jelas bahwa meskipun SPL lebih panas ataupun lebih dingin hingga 2°C , tampaknya perubahan itu tidak berpengaruh secara signifikan pada distribusi curah hujan di laut. Meskipun kecil selisihnya curah hujan di darat dari keempat skenario, didominasi perubahan curah hujan di darat. Kondisi tersebut terjadi karena perubahan SPL berpengaruh relatif kecil terhadap curah hujan di Indonesia sebagaimana ditunjukkan Gambar 8. Hal lainnya adalah, penggunaan skema curah hujan konvektif Grell [11] dan skema *ocean flux* Zeng [8] yang diterapkan di seluruh Indonesia yang seharusnya dilakukan untuk lokasi tertentu saja yang lebih kecil. Dalam hal ini belum dicoba dengan skema lain yang mungkin akan lebih berpengaruh terhadap curah hujan. Dengan demikian pengaruh SPL terhadap curah hujan masih sangat bergantung pada pilihan model yang diberikan, hal ini sejalan dengan Xue dan Sukla [16].

Meskipun demikian terlihat jelas pada selisih curah hujan pada Gambar 8, bahwa dominasi pengaruh perubahan SPL di darat lebih mendominasi daripada di laut. Hal ini mengindikasikan pengaruh SPL terhadap curah hujan di darat sangat kontras dengan di laut. Artinya pengaruh SPL terhadap curah hujan di darat mengalami penguatan dibanding di laut. Untuk memahami fenomena ini, peran topografi dalam penguatan curah hujan di darat menjadi faktor dominan yang layak diperhatikan, sesuai dengan Wu et al [17] pada wilayah studi di Taiwan. Lebih lanjut Xie et al [15] menjelaskan bahwa perubahan curah hujan tropis mempunyai korelasi positif dengan penyimpangan SPL secara spasial. Sedangkan simulasi CMIP5 untuk studi telekoneksi SPL dengan curah hujan dilakukan oleh Martin et al [18].

4. Kesimpulan

Pengaruh SPL terhadap curah hujan di lakukan dengan skenario pengurangan dan penambahan SPL

sebesar 1°C dan 2°C , hasilnya menunjukkan bahwa dominasi pengaruh perubahan SPL di darat lebih mendominasi daripada di laut. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh SPL terhadap curah hujan di darat mengalami penguatan dibanding di laut. Pengaruh SPL terhadap curah hujan di darat mengalami penguatan dibanding di laut, salah satu alasannya karena adanya peran topografi di darat.

Daftar Pustaka

- [1] Aldrian, E., L. D. Gates, D. Jacob, & R. Podzun, (2004). Long-term simulation of Indonesian rainfall with the MPI regional model. *Clim. Dyn.*, 22, 795–814.
- [2] Aldrian, E., D. Sein, D. Jacob, L. D. Gates, & R. Podzun, (2005). Modelling Indonesian rainfall with a coupled regional model. *Clim. Dyn.*, 25, 1–17.
- [3] Aldrian, E., & R. D. Susanto, (2003) Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.*, 23, 1435–1452.
- [4] Aldrian, E., D. Jacob, R. Podzun, L. D. Gates, & D. Gunawan, (2004). Long term simulation of the Indonesian rainfall with the MPI Regional Model. *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-004-0418-9, nn.
- [5] Kadarsah. (2006). Analisis Penyebaran Asap Kebakaran Hutan Periode El Nino/La Nina Dengan Menggunakan Model Regional-REMO, Tesis Program Magister, Program Studi Sains Atmosfer – Institut Teknologi Bandung.
- [6] Yamamoto M, & Hirose N. (2007). Impact of SST reanalyzed using OGCM on weather simulation: A case of a developing cyclone in the Japan-Sea area. *Geophysical Research Letters*, 34: L05808, Doi:10.1029/2006GL028386.
- [7] Yamamoto M, & Hirose N. (2008). Influence of assimilated SST on regional atmospheric simulation: A case of a cold-air outbreak over the Japan Sea. *Atmospheric Science Letters*, 9, 13–17.
- [8] Zeng, X., (2005). A prognostic scheme of sea surface skin temperature for modeling and data assimilation. *Geophysical Research Letters*, 32, 114605.
- [9] Fairall, C. W., Bradley, E. F., Hare, J. E., Grachev, A. A., & Edson, J. B., (2013), Bulk Parameterization of Air–Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm, *Journal of Climate*, 16, 571–591.
- [10] Dickinson, R. E., R. M. Errico, F. Giorgi, & G. T. Bates, (1989). A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, 15, 383–422.

- [11] Grell, G. A., J. Dudhia, & D. R. Stauffer, (1994). Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), *Tech. Rep. TN-398+STR*, NCAR, Boulder, Colorado, pp. 121.
- [12] Kiehl, J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan, B. A. Boville, B. P. Breigleb, D. Williamson, & P. Rasch, (1996). Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), *Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR*, National Center for Atmospheric Research.
- [13] Slingo, J. M., (1989). A GCM Parameterization for the Shortwave Radiative Properties of Water Clouds, *J. Atmos. Sci.*, 46, 1419–1427.
- [14] Nellie Elguindi, Xunqiang Bi, Filippo Giorgi, Badrinath Nagarajan, Jeremy Pal, Fabien Solmon, Sara Rauscher, & Ashraf Zakey, (2010) RegCM Version 4.0 User's Guide, Trieste, Italy, ICTP.
- [15] Xie, S-P., Deser, C., Vecchi, G. A., Ma, J., Teng, H., & Wittenberg, A. T., (2009), Global Warming Pattern Formation: Sea Surface Temperature and Rainfall, *Journal of Climate*, 23, 966–986.
- [16] Xue, Y., & Sukla, J., (1997), Model Simulation of the Influence of Global SST Anomalies on Sahel Rainfall, *Monthly Weather Review*, 126, 2782–2792.
- [17] Wu, C-C, Yen, T-H, Kuo, Y-H, & Wang, W., (2002), Rainfall Simulation Associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The Topographic Effect, *Wea. Forecasting*, 17, 1001–1015.
- [18] Martin, E. R., Thorncroft, C., & Booth, B. B. B., (2014), The Multidecadal Atlantic SST—Sahel Rainfall Teleconnection in CMIP5 Simulations, *Journal of Climate*, 27, 784–806.