

VARIASI SPASIAL DAN TEMPORAL HUJAN KONVEKTIF DI PULAU JAWA BERDASARKAN CITRA SATELIT

(Spatial and Temporal Variation of Convective Rain in Java Island based on Citra Images)

Yetti Kusumawati¹, Sobri Effendy², Edvin Aldrian³

¹Alumni Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

²Staf Dosen Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA IPB

³Staf Peneliti BPPT Jakarta

ABSTARCT

Convective rain is one of precipitation types that usually occur in Indonesia, result by convective process. This convective rain brings heavy rainfall in short period and could reach a higher intensity than common monsoon rain. Convective process may have a variation with time and location. This research have determined spatial and temporal variation of convective rain in Java island by using the black body temperature (T_{BB}) gradient method based on the GMS-6 (MTSAT-1R) images. As a result, the seasonal convective rain generally occurred in similar period i.e. in the morning from 07.00 to 11.00 LT (local time) and in the evening from 18.00 LT until 05.00 LT. The maximum event occurred from 18.00 LT until mid night. There were different locations between the seasonal convective event. In the seasonal convective rain, there were two spatial patterns. In wet season (DJF) and transitional season from wet to dry (MAM) convective rain spread from east to west Java. While in dry season (JJA) and transitional season from dry to wet (SON), convective rain mostly occurred only in west Java.

Keys word: *convective rain, citra images, java island, spatial variation, temporal variation*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah tropik. Letak tersebut mengakibatkan curah hujan yang diterima cukup tinggi. Di daerah tropik, bentuk presipitasi yang umum terjadi adalah hujan. Di Indonesia penelitian mengenai hujan menjadi penting mengingat seringkali timbul persoalan baik yang berkaitan dengan rendahnya curah hujan maupun persoalan tentang curah hujan yang tinggi.

Di daerah tropik, umumnya hujan terjadi karena proses konvektif. Tetapi seringkali dipengaruhi pula oleh faktor lokal misalnya orografik. Hujan konvektif merupakan hujan yang sering terjadi di Indonesia, yang dihasilkan naiknya udara hangat dan lembab

dengan proses penurunan suhu secara adiabatik. Tipe hujan ini berupa hujan deras dengan waktu yang singkat. Hujan konvektif biasanya dapat memiliki intensitas yang lebih tinggi daripada hujan monsun biasa. Bila hujan ini terjadi di daerah yang kurang bervegetasi, maka dapat menyebabkan terjadinya erosi permukaan atau bahkan dapat mengakibatkan banjir dan tanah longsor.

Salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk memonitor kondisi cuaca adalah satelit. Dengan menggunakan satelit, kondisi cuaca dapat teramati secara spasial dalam ruang lingkup yang cukup luas. Satelit GMS dapat memberikan informasi dari hasil liputannya yaitu memantau permukaan bumi, liputan awan, badai tropik, ENSO, posisi dan gerak ITCZ dan menduga curah hujan. Pemanfaatan satelit cuaca ini dapat pula digunakan untuk melihat sebaran awan di daerah Indonesia. Dengan pengolahan citra satelit dapat ditentukan pula sebaran hujan di berbagai daerah.

Analisis mengenai hujan konvektif dapat dilakukan secara langsung dengan mengamati curah hujan yang terjadi di suatu wilayah ataupun secara tidak langsung seperti dengan mengamati awan. Dalam penelitian ini, analisis hujan konvektif dilakukan berdasarkan pemantauan yang dilakukan oleh satelit meteorologi.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan variasi temporal dan spasial hujan konvektif di wilayah pulau Jawa dengan menggunakan citra satelit GMS-6.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain dapat memprediksi potensi hujan konvektif ekstrim di wilayah Pulau Jawa secara spasial dan temporal.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian berlangsung sejak bulan Mei 2007 sampai dengan bulan Februari 2008. Pengambilan dan pengolahan data dilakukan di Lab. Meteorologi dan Kualitas Udara Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB serta di UPT Hujan Buatan BPPT Jakarta.

Alat dan bahan

Alat yang diperlukan adalah seperangkat komputer dengan sistem operasi Mandriva Linux 2007 dan Windows XP 2002. *Software* yang digunakan untuk pengolahan data adalah GrADS (*The Grid Analysis and Display System*) under Linux serta Microsoft Office.

Data yang digunakan adalah data citra satelit GMS-6 atau *Multi-Functional Transport Satellite-1R* (MTSAT-1R) kanal *infrared* 1 (IR1) pada tahun 2006 dengan resolusi temporal 1 jam serta file kalibrasinya (Lampiran 1-2). Format citra satelit tersebut adalah PGM (*Portable Gray Map*). Data citra satelit tersebut dapat pula diperoleh di situs <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/archive-e.html>.

Metode penelitian

Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan semua data citra yang dibutuhkan kemudian dilanjutkan dengan melakukan kalibrasi nilai *pixel-gray* (nilai terang-gelap) dalam gambar ke dalam nilai temperatur Kelvin. Selanjutnya dilakukan pemotongan citra sesuai dengan daerah yang akan dikaji yaitu Pulau Jawa. Kemudian data citra akan diubah menjadi file binari sehingga dapat dibaca oleh *software* GrADS. Dengan menggunakan GrADS akan ditentukan nilai gradien *black body temperature* (T_{BB}) atau temperatur benda hitam, baik untuk rata-rata tahunan, bulanan maupun untuk 3 bulan (musim). Hasil dari gradien tersebut akan menunjukkan hujan konvektif yang terjadi di wilayah Pulau Jawa.

Pemotongan citra

Citra satelit GMS-6 meliputi wilayah dengan koordinat lintang 70 °LU sampai 20 °LS dan bujur 70 °BT sampai 160 °BT dengan derajat resolusi 1/20 1800x1800 piksel. Data citra tersebut terlalu luas jika digunakan untuk menganalisis pulau Jawa sehingga perlu diperkecil sesuai dengan koordinat pulau Jawa yaitu mulai dari 5 sampai 9 °LS serta 105 sampai 115 °BT. Pemotongan citra dilakukan dengan memasukkan nilai koordinat tersebut dalam script program yang akan dijalankan di Mandriva Linux.

Penentuan nilai gradien T_{BB}

Gradien T_{BB} adalah perbedaan antara nilai T_{BB} suatu jam tertentu dengan nilai T_{BB} jam sebelumnya. Nilai gradien inilah yang akan menunjukkan kejadian hujan konvektif. Nilai gradien positif menunjukkan terjadinya perubahan ketinggian/ketebalan awan dari awan yang tebal menjadi lebih tipis. Ini berarti pada waktu tersebut terjadi hujan. Nilai gradien yang menunjukkan kejadian hujan konvektif adalah yang lebih besar dari $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan nilai gradien negatif mengartikan hal sebaliknya yaitu terjadinya pertumbuhan/penebalan awan. Nilai gradiennya yaitu lebih kecil dari $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gradien T_{BB} rata-rata bulanan

Penentuan gradien T_{BB} rata-rata bulanan dilakukan dengan menjumlahkan seluruh nilai gradien T_{BB} harian untuk masing-masing jam dan kemudian membaginya dengan jumlah hari dalam satu bulan.

Kemudian seluruh nilai gradien rata-rata tersebut digabungkan ke dalam satu file sehingga untuk masing-masing bulan hanya memiliki satu file hasil. Saat file tersebut dibuka di software GrADS, maka akan tampak nilai gradien T_{BB} selama 24 jam.

Selanjutnya, untuk mengetahui pola hujan konvektif selama 24 jam pada suatu lintang tertentu, akan ditentukan satu nilai lintang yaitu $7\text{ }^{\circ}\text{LS}$. Output yang dihasilkan akan memperlihatkan grafik gradien T_{BB} terhadap waktu dan longitude.

Gradien T_{BB} musiman (tiga bulanan)

Penentuan gradien T_{BB} musiman tidak jauh berbeda dengan penentuan gradien T_{BB} tahunan. Gradien T_{BB} musiman menggunakan nilai gradien tiga bulan yang berdekatan. Nilai gradien tersebut akan dijumlahkan kemudian dibagi sesuai dengan jumlah bulannya, yaitu tiga bulan. Hasil dari gradien T_{BB} musiman yaitu gradien T_{BB} untuk bulan Maret-Mei (MAM), Juni-Agustus (JJA), September-November (SON), dan Desember-Februari (DJF).

Hasil tersebut akan digunakan untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan pola hujan konvektif pada musim hujan dan musim kemarau serta pada musim-musim peralihan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan nilai gradien T_{BB} (temperatur benda hitam)

Dari hasil pengolahan citra GMS-6, diperoleh bahwa secara umum nilai gradien T_{BB} tahun 2006 memiliki kisaran antara $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Analisis nilai gradien ini dibagi dua, yaitu untuk gradien yang bernilai positif dan gradien yang bernilai negatif.

Nilai gradien positif umumnya dijumpai pada pagi hari mulai pukul 07.00 WIB sampai sekitar pukul 11.00 WIB, kemudian dijumpai pula pada pukul 19.00 malam sampai pukul 06.00 WIB. Nilai positif ini lebih banyak dijumpai di atas wilayah perairan di sekitar Jawa. Hanya pada pukul 19.00 sampai 00.00 WIB dijumpai adanya nilai positif di atas daratan. Gradien positif tidak dijumpai mengelompok di suatu daerah tetapi menyebar tidak terlalu rapat di seluruh wilayah pulau Jawa. Namun, bila diperhatikan secara lebih detail, sebagian besar lebih banyak dijumpai di daerah yang dekat dengan perairan.

Sedangkan nilai gradien negatif mulai dijumpai pukul 11.00 WIB yang terjadi di perairan sebelah utara Jawa. Nilai negatif dijumpai sampai sekitar pukul 22.00 WIB dimana yang paling banyak terdapat pada pukul 14.00-17.00 WIB serta berkurang sampai pukul 22.00 WIB. Nilai negatif ini cenderung lebih banyak terjadi di daratan. Pada waktu dominan, nilai negatif hampir terjadi di seluruh daratan pulau Jawa.

Secara umum dapat dikatakan bahwa gradien T_{BB} yang bernilai positif terjadi pada waktu malam sampai tengah malam dan dini hari sampai pagi hari. Dan sebaliknya pada siang sampai sore hari menjelang malam yang terjadi adalah gradien T_{BB} yang bernilai negatif.

Pola hujan konvektif musiman

Analisis terhadap hujan konvektif musiman dilakukan dengan membandingkan pola hujan konvektif yang muncul di masing-masing musim. Secara umum, pada semua musim hujan konvektif mulai terjadi pada pukul 0000 UTC (07.00 WIB). Tetapi batas waktu kejadian hujan konvektif di setiap musim tidak selalu sama. Pada musim hujan (DJF) dan peralihan (MAM) hujan konvektif masih dapat dijumpai sampai pukul 2200

UTC (05.00 WIB). Sedangkan pada musim kemarau (JJA) dan peralihan (SON) maksimal hanya dijumpai sampai pukul 1700 UTC (00.00 WIB).

Pada DJF sendiri, hujan konvektif tidak terjadi secara terus menerus dari pukul 07.00 sampai 05.00 WIB. Pada pagi hari (pukul 07.00 sampai 12.00 WIB), hujan konvektif di musim ini lebih banyak dijumpai di atas wilayah perairan di sekitar pulau Jawa. Sedangkan hujan yang terjadi di atas daratan paling banyak dijumpai mulai pukul 18.00 sampai 05.00 WIB. Sementara itu, sejak pukul 12.00 siang hari sampai 18.00 WIB, wilayah di atas pulau Jawa lebih didominasi oleh pertumbuhan awan.

Sama halnya dengan hujan konvektif DJF, hujan konvektif pada musim peralihan dari basah ke kering (MAM) mulai terjadi pada pagi hari (sekitar pukul 07.00 WIB) dan dijumpai di atas wilayah daratan Jawa. Selanjutnya hujan di atas daratan dijumpai pula mulai pukul 16.00 WIB sampai tengah malam yang sebagian besar terjadi di Jawa bagian barat. Sedangkan hujan konvektif yang terjadi di atas wilayah perairan mulai dijumpai pukul 10.00 sampai dengan pukul 16.00 WIB.

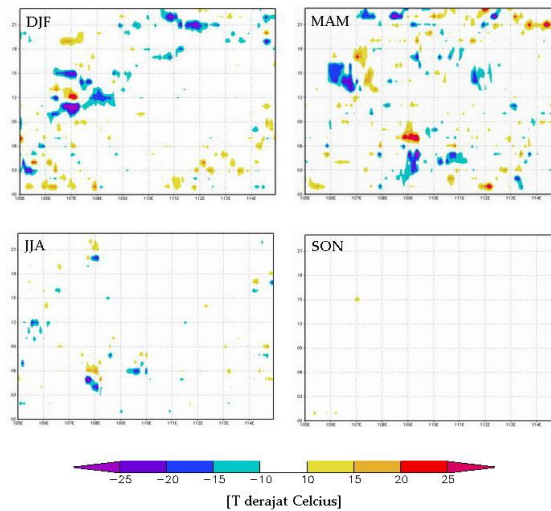
Sedangkan pada musim kemarau (JJA) hujan konvektif lebih sering dijumpai di perairan daripada di daratan. Di atas daratan hujan konvektif sebagian besar terjadi pada pukul 18.00 WIB sampai tengah malam. Selain itu terjadi pula pada pagi hari mulai pukul 07.00 sampai 11.00 WIB. Sejak tengah malam sampai pukul 07.00 WIB, hujan konvektif dijumpai di perairan di sekitar pulau Jawa. Sementara itu, hujan konvektif yang dijumpai pada musim peralihan kering-basah (SON) terjadi sekitar pukul 17.00 sampai 22.00 WIB dan hanya dijumpai di bagian barat pulau Jawa.

Pada analisis hujan konvektif terhadap satu nilai lintang tidak dijumpai adanya perbedaan yang sangat jelas. Pada ketiga lintang tersebut hujan konvektif lebih banyak dijumpai pada DJF dan MAM.

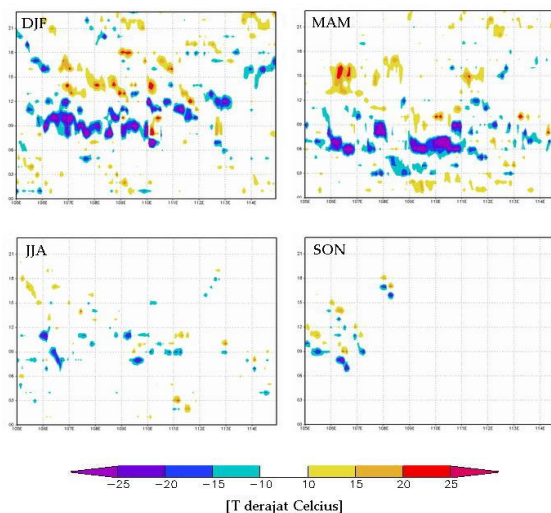
Pada DJF secara umum dijumpai hujan konvektif pada pagi hari dan sore sampai dini hari. Sementara di siang hari terdapat pembentukan awan. Hal tersebut terlihat baik di lintang 6, 7 maupun 8 °LS (Gambar 1, 2 dan 3). Selain itu, terlihat pula bahwa hujan cenderung bergerak atau berpindah ke arah barat.

Pada musim peralihan MAM, waktu terjadinya hujan konvektif tidak jauh berbeda dengan DJF yaitu hujan di pagi dan malam hari dengan pembentukan awan pada siang hari. Hanya saja pada musim ini pola pergerakan atau perpindahan hujan konvektif tidak terlihat dengan sangat jelas.

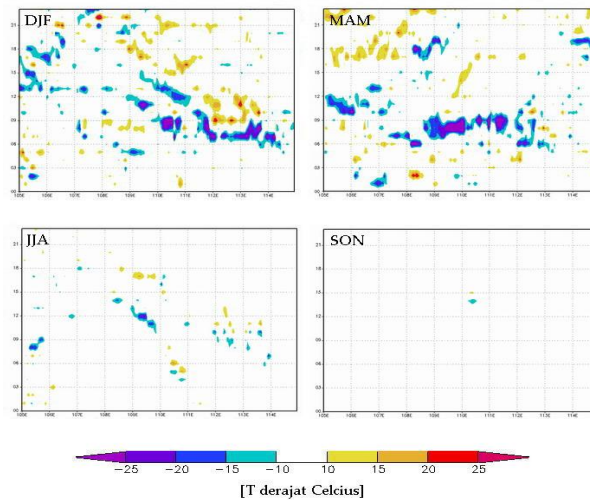
Pada musim kemarau JJA dan peralihan SON, hujan konvektif yang dijumpai baik pada lintang 6, 7 maupun 8 °LS sangat sedikit. Umumnya hujan yang terjadi pada JJA terjadi mulai sore hari sampai tengah malam. Sedangkan pada SON, hujan konvektif di lintang 6 dan 8 °LS hanya terjadi pada pukul 21.00-22.00 WIB tetapi pada lintang 7 °LS terjadi mulai pukul 16.00 WIB sampai tengah malam.



Gambar 1. Pola hujan konvektif musiman pada 6 °LS berdasarkan grafik waktu vs longitude.



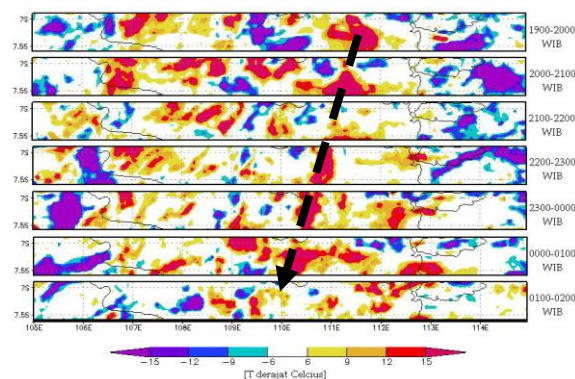
Gambar 2. Pola hujan konvektif musiman pada 7 °LS berdasarkan grafik waktu vs longitude.



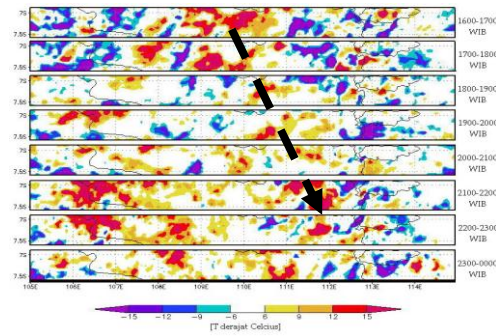
Gambar 3. Pola hujan konvektif musiman pada 8 °LS berdasarkan grafik waktu vs longitude.

Hujan konvektif rata-rata musiman mengalami pergerakan secara bertahap. Pergerakan yang dialami secara umum adalah pergerakan ke arah barat (Gambar 4, 5,6 dan 7). Namun, pada musim peralihan MAM pergerakan hujan konvektif tidak memiliki pola yang jelas dan hanya beberapa yang terlihat berpindah ke arah timur.

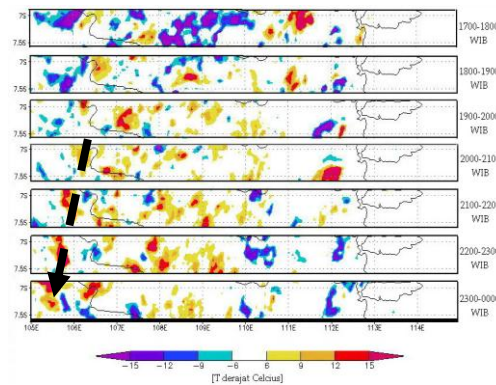
Hujan konvektif musiman ini secara umum juga lebih banyak terjadi pada sore hari sampai tengah malam. Sedangkan hujan yang terjadi pada pagi hari lebih sering dijumpai di atas wilayah perairan. Dan pada siang hari lebih banyak dijumpai pembentukan/ penebalan awan.



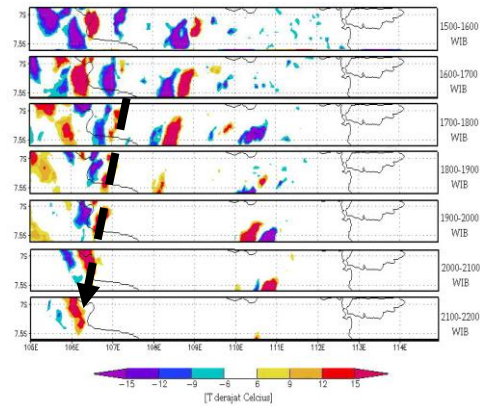
Gambar 4. Pergerakan hujan konvektif rata-rata pada saat kejadian dominan sepanjang musim hujan (DJF).



Gambar 5. Pergerakan hujan konvektif rata-rata pada saat kejadian dominan sepanjang musim peralihan (MAM).



Gambar 6. Pergerakan hujan konvektif rata-rata pada saat kejadian dominan sepanjang musim kemarau (JJA).



Gambar 7. Pergerakan hujan konvektif rata-rata pada saat kejadian dominan sepanjang musim peralihan (SON).

Variasi Temporal Hujan Konvektif di Atas Pulau Jawa

Hujan konvektif yang terjadi di atas pulau Jawa memiliki variasi secara diurnal. Variasi diurnal hujan konvektif terlihat baik pada rata-rata bulanan maupun musiman.

Pada pagi hari (06.00-12.00 WIB atau 2300-0500 UTC) pada umumnya hujan konvektif sudah mulai terjadi. Pada jam tersebut kejadian hujan lebih banyak dijumpai

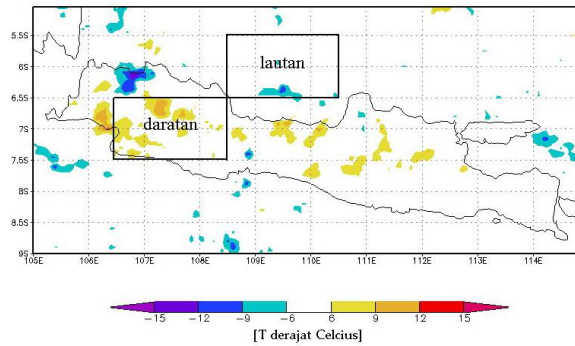
pada wilayah bagian utara Jawa termasuk di perairan sebelah utara. Sedangkan pada siang hari (12.00-18.00 WIB) cenderung terjadi pembentukan awan yang cukup tinggi yang berawal di bagian utara pulau dan secara bertahap bergerak menuju bagian tengah dari pulau Jawa.

Sementara itu, pada malam hari hujan konvektif kembali terjadi dan mendominasi wilayah Jawa bagian tengah sampai barat. Sampai menjelang pagi hari, hujan konvektif masih tetap dijumpai di sebagian kecil wilayah pulau Jawa dan lebih banyak terjadi di atas wilayah perairan/lautan.

Berdasarkan analisis tersebut dapat dikatakan hujan konvektif di atas pulau Jawa memiliki variasi diurnal dimana kejadian hujan yang paling banyak adalah pada waktu malam hari yaitu mulai pukul 1800-0000 WIB. Sedangkan pada siang hari, dijumpai pembentukan awan konvektif yang cukup tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan tingginya aktivitas konveksi di atas daratan pada siang sampai malam hari, yang diakibatkan oleh pemanasan permukaan yang intensif sepanjang siang hari. Sesuai dengan penelitian Nitta dan Sekine (1994) yang menyatakan bahwa di atas benua dan pulau-pulau besar, konveksi mencapai intensitas maksimumnya pada sore hari sampai malam hari, kemungkinan karena pemanasan permukaan yang kuat sepanjang siang hari. Sama halnya dengan penelitian Ichikawa dan Yasunari (2006) yang menyatakan konveksi dangkal akan menghasilkan curah hujan di daerah pantai dan pegunungan pada sore hari dan konveksi di atas daratan berlanjut sampai tengah malam. Variasi hujan konvektif bulanan maupun musiman tidak jauh berbeda dengan variasi diurnal dalam satu tahun. Hal ini menunjukkan bahwa variasi hujan konvektif tidak dipengaruhi atau kecil dipengaruhi oleh musim.

Variasi Spasial Hujan Konvektif di Atas Pulau Jawa

Variasi spasial hujan konvektif di pulau Jawa terdapat perbedaan antara hujan konvektif rata-rata musiman.

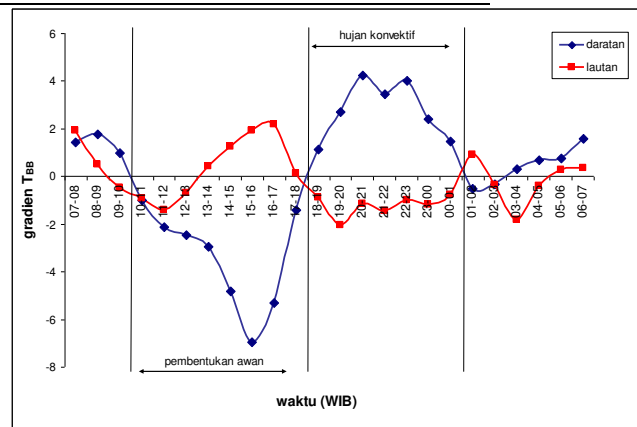


Gambar 8. Wilayah daratan dan lautan yang digunakan untuk membandingkan nilai gradien T_{BB} pada saat hujan konvektif rata-rata tahunan.

Pada pola hujan konvektif rata-rata musiman terlihat adanya perbedaan waktu kejadian hujan di wilayah daratan dan lautan. Gambar 8 menunjukkan contoh lokasi daratan dan lautan yang diambil untuk melihat perbedaan nilai gradien T_{BB} antara daratan dan lautan. Nilai gradien rata-rata tahunan selama 24 jam untuk kedua wilayah tersebut memiliki perbedaan yang jelas pada pukul 18.00 WIB sampai 01.00 dini hari (Tabel 1). Pada selang waktu tersebut gradien T_{BB} di wilayah daratan menunjukkan nilai positif yang berarti di wilayah daratan terjadi hujan konvektif. Sebaliknya di atas wilayah lautan dijumpai nilai yang negatif yang menunjukkan terjadinya pembentukan awan. Perbedaan yang cukup jelas terlihat pula pada pukul 13.00 sampai 18.00 WIB. Pada waktu tersebut di atas wilayah daratan terjadi pembentukan awan yang ditunjukkan oleh nilai gradien negatif sedangkan di wilayah lautan terjadi hujan konvektif. Dari nilai tersebut terlihat bahwa di atas daratan hujan konvektif lebih dominan terjadi pada malam hari sampai menjelang dini hari. Lebih jelas lagi dapat dilihat pada Gambar 9 yang menunjukkan perbedaan waktu kejadian hujan konvektif di daratan dan lautan. Hal tersebut dapat terjadi karena daratan dan lautan memiliki perbedaan respon terhadap penerimaan radiasi matahari. Di daratan, pemanasan permukaan akibat penerimaan radiasi matahari berlangsung lebih cepat daripada di lautan sehingga di daratan aktivitas konveksi mencapai puncaknya pada siang hari, yang pada akhirnya menyebabkan hujan konvektif di atas daratan terjadi pada sore sampai malam hari.

Tabel 1 Perbandingan nilai gradien T_{BB} rata-rata tahunan antara wilayah daratan (106.5-108.5 °BT dan 6.5-7.5 °LS) dan lautan (108.5-110.5 °BT dan 5.5-6.5 °LS)

Jam (UTC)	Jam (WIB)	Daratan	Lautan
00-01	07-08	1.42119	1.93618
01-02	08-09	1.78437	0.51327
02-03	09-10	0.99837	-0.48887
03-04	10-11	-1.01620	-0.90760
04-05	11-12	-2.11751	-1.41415
05-06	12-13	-2.44775	-0.68540
06-07	13-14	-2.96453	0.42906
07-08	14-15	-4.81116	1.23149
08-09	15-16	-6.96710	1.91194
09-10	16-17	-5.30476	2.18800
10-11	17-18	-1.40368	0.11155
11-12	18-19	1.12507	-0.87392
12-13	19-20	2.71395	-2.03095
13-14	20-21	4.23329	-1.15195
14-15	21-22	3.44454	-1.46212
15-16	22-23	4.01707	-0.98717
16-17	23-00	2.39436	-1.18630
17-18	00-01	1.46567	-0.77012
18-19	01-02	-0.50968	0.92668
19-20	02-03	-0.31063	-0.36769
20-21	03-04	0.30349	-1.84181
21-22	04-05	0.69430	-0.40777
22-23	05-06	0.75877	0.29047
23-00	06-07	1.59920	0.36149



Gambar 9. Perbandingan nilai gradien T_{BB} rata-rata tahunan antara wilayah daratan (106.5-108.5 °BT dan 6.5-7.5 °LS) dan lautan (108.5-110.5 °BT dan 5.5-6.5 °LS).

KESIMPULAN

Kesimpulan

Secara temporal tidak terlihat perbedaan yang besar antara hujan konvektif rata-rata tahunan, bulanan maupun musiman. Berdasarkan hasil rata-rata bulanan, terlihat bahwa setiap bulannya hujan konvektif umumnya terjadi mulai pada malam sampai dinihari serta pada pagi hari, dengan waktu kejadian dominan mulai pukul 18.00 sampai pukul 00.00 WIB. Hujan konvektif musiman di atas wilayah pulau Jawa paling banyak terjadi pada musim hujan (DJF) dengan waktu kejadian dominan dari pukul 19.00 WIB sampai tengah malam.

Secara spasial, umumnya hujan konvektif banyak terjadi di daratan pulau Jawa sebelah selatan dan barat, walaupun hujan hampir selalu berawal di daerah bagian utara Jawa. Pada waktu-waktu dimana kejadian hujan konvektif dominan, terlihat adanya pergerakan secara bertahap dari hujan konvektif tersebut. Pergerakan tersebut umumnya terjadi ke arah selatan-barat daya dan barat-barat daya.

Saran

Dalam penelitian ini, hanya digunakan data citra satelit GMS-6 selama tahun 2006. Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan jumlah data yang lebih banyak dalam waktu yang lebih dari satu tahun. Untuk menambah keakuratan hasil penelitian dapat digunakan data curah hujan yang diukur di lapangan sebagai data pembanding. Pencatatan hujan tersebut harus tercatat dengan interval waktu yang sama dengan citra satelit yang digunakan yaitu satu jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Augustine JA. 1984. The diurnal variation of large-scale inferred rainfall over the tropical Pacific Ocean during 1979. *Mon Wea Rev* 112:1745-1751.
- Ichikawa H, Yasunari T. 2006. Time-space characteristics of diurnal rainfall over Borneo and surrounding oceans as observed by TRMM-PR. *J Clim* 19:1238-1260.
- Nitta T, Sekine S. 1994. Diurnal variation of convective activity over the tropical western Pacific. *J Meteor Soc Japan* 72:627-641.
- Reed RJ, Jaffe KD. 1981. Diurnal variation of summer convection over West Africa and the tropical eastern Atlantic during 1974 and 1978. *Mon Wea Rev* 109:2527-2534.

- Silva Dias PL, Bonatti JP, Kousky VE. 1987. Diurnally forced tropical tropospheric circulation over South America. *Mon Wea Rev* 115:1465–1478.
- Sui CH, Lau KM, Takayabu YN, Short DA. 1997. Diurnal variations in tropical oceanic cumulus convection during TOGA COARE. *J Atmos Sci* 54:639-655.
- Yano JI, Moncrieff MW, Wu X, Yamada M. 2001. Wavelet analysis of simulated tropical convective cloud systems. Part I: Basic analysis. *J Atmos Sci* 58:850-867.

