Evaluasi Curah Hujan TRMM Menggunakan Pendekatan Koreksi Bias Statistik

Evaluation of TRMM Rainfall Using the Statistical Bias Corrrection Approach

Bambang Dwi Dasanto[1]*, Rizaldi Boer[2], Bambang Pramudya[3], Yuli Suharnoto[4]

[1] Mahasiswa S3 Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor 16680

[2] Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan IPA, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor 16680

[3] Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor 16680

[4] Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor 16680

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 10 September 2013

Disetujui: 18 Juni 2014

Kata kunci:

Kesalahan sistematis

Koreksi-bias

TRMM

Keywords:

Systematic errors

Bias-correction

TRMM

Abstrak. Ketersediaan data curah hujan observasi cenderung tidak lengkap dan kurang dapat diandalkan. Ini dapat diatasi dengan menggunakan data curah hujan simulasi yang dihasilkan oleh sensor satelit TRMM. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi kesalahan sistematis data TRMM dan membangun fungsi transfer untuk mengoreksi bias curah hujan TRMM. Kesalahan sistematik dapat diidentifikasi dengan membandingkan antara bentuk dan sebaran data TRMM dengan data observasi. Fungsi transfer dikembangkan berdasarkan hubungan antara data TRMM asli dan observasi; fungsi terbaik ditentukan oleh besarnya nilai R^2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fungsi transfer yang diperoleh adalah polinomial dan fungsi ini memiliki R^2 yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian ini, kesalahan sistematis dari TRMM asli dapat diperbaiki dan hasilnya disebut TRMM terkoreksi. Pola curah hujan dari data TRMM yang telah dikoreksi dan observasi adalah mirip, tetapi besar curah hujan keduanya adalah tidak mirip. Secara umum fungsi transfer yang diperoleh adalah cukup handal. Keandalan ini dapat ditingkatkan dengan membuat fungsi transfer pada setiap *grid*.

Abstract. The availability of an observation rainfall tends an incomplete and is less reliable. This can be addressed using a simulated rainfall which is generated by TRMM satellite sensors. The purpose of this study was to identify the systematic errors from TRMM data and to build the transfer functions to correct rainfall bias of TRMM. The systematic errors could be identified using the comparison results bertween the shape and spread of TRMM data and the observed data. Transfer function was developed based on the relationship between the original TRMM and the observed data; the best function was determined by determination coefficient, R^2 value. Results showed, the transfer functions were a polynomial with a high R^2 value. Based on this result, we can correct a systematical error of the original TRMM. Rainfall pattern of the corrected TRMM and the observed data were similar, but the rainfall magnitudes were not. Generally, the obtained transfer functions were reasonably reliable. To improve its reliability we recommend to make a transfer function at each grids.

Pendahuluan

Curah hujan (*precipitation*) merupakan salah satu unsur iklim yang memiliki variasi tinggi dalam skala ruang maupun waktu sehingga sulit untuk diprediksi. Derajat kesulitan ini semakin turun setelah ditemukannya beberapa teknik analisis data hujan yang handal. Namun, teknik analisis yang handal ini sering memerlukan ketersediaan data hujan observasi yang lengkap, yaitu periode pencatatannya kontinu dan jumlah stasiun penakarnya mewakili kondisi wilayah yang diukur. Status ini belum sepenuhnya ada di DAS Citarum Hulu yang merupakan lokasi studi kasus di dalam penelitian ini. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah menggunakan data hujan simulasi atau dugaan yang diperoleh dari satelit cuaca seperti data hujan TRMM.

Satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) diluncurkan pada bulan November 1997, sejumlah produk data hujan telah dihasilkan dan data ini dibangkitkan dari

* Corresponding author: bambangdwi@ipb.ac.id & bambangdwi@scientist.com

sensor aktif (*TRMM precipitation radar, PR*) dan sensor pasif (*TRMM Microwave Imager, TMI*) (Wang and Wolff 2011; Huffman and Bolvin 2012). Resolusi temporal dari produk data hujan dugaan tersebut adalah hujan 3 jam-an (*three-hourly*) dan bulanan (*monthly*) sedangkan resolusi spasialnya adalah 0,25° x 0,25° (Huffman and Bolvin 2012). Selain resolusi temporal yang cukup tinggi, Wang and Wolff 2011 menyatakan bahwa data TRMM mengandung beberapa kelemahan antara lain bias curah hujan dan resolusi spasial yang rendah. Artinya, data ini perlu diperbaiki dengan menggunakan koreksi bias statistik sebelum digunakan untuk kajian lebih lanjut.

Koreksi bias statistik dikembangkan dengan membangun hubungan antara data hujan observasi dan TRMM untuk membentuk suatu fungsi transfer tertentu [y=f(x)]. Fungsi ini menghubungkan nilai fungsi distribusi kumulatif (*cdf*) hujan observasi dan *cdf* hujan TRMM; dan, bentuk hubungannya adalah: $cdf_{obs}(y) = cdf_{Trmm}(x)$ (Ines and Hansen 2006; Piani *et al.* 2010; Vidal *et al.* 2010). Metode yang menghubungkan data observasi dan TRMM (atau hujan dugaan) banyak disebutkan dalam berbagai literatur, yang dinyatakan dengan nama berlainan seperti: *statistical downscaling, quintile mapping, histogram equalizing* dan *statistical bias correction* (Piani *et al.* 2010). Hubungan antara data observasi dan TRMM dapat berupa persamaan regresi, baik berbentuk linier, eksponensial atau polynomial. Persamaan tersebut baru dapat digunakan bila koefisien determinasinya tinggi (misalnya $R^2 > 0,70$). Jika persyaratan statistik itu terpenuhi maka persamaan tersebut dapat digunakan sebagai alat untuk mengoreksi data hujan TRMM, sehingga data itu dapat digunakan untuk kajian lebih lanjut seperti penilaian dampak atau kerentanan (Wood *et al.* 2004; Semenov and Doblas-Reyes 2007). Berdasarkan nilai penting dari data TRMM maka fokus dari paper ini adalah mengidentifikasi kesalahan sistematis dari data TRMM dan membangun fungsi transfer untuk mengoreksi bias curah hujan TRMM.

Bahan dan Metode

Lokasi dan dataset

Secara geografis, DAS Citarum Hulu terletak pada 107,38° – 107,95° BT dan 6,76° – 7,26° LS. Topografi wilayah ini berupa perbukitan dan pegunungan dengan elevasi antara 1.250 hingga 2.000 m dpl dan bagian tengahnya berelevasi sekitar 700 m dpl. Wilayah ini merupakan suatu cekungan atau basin dan dikenal sebagai Cekungan Bandung. Bentuk topografi sebagai cekungan mengakibatkan wilayah tersebut menjadi daerah sasaran banjir, sehingga memerlukan cara penanggulangan banjir yang tepat. Salah satu faktor yang mempengaruhi besar kecilnya banjir adalah distribusi, durasi dan intensitas hujan. Jika faktor penting ini diketahui dengan akurat maka dapat ditentukan bentuk penanggulangan banjir yang tepat. Akurasi faktor hujan sangat bergantung pada kehandalan data hujan yang akan dianalisis dan teknik analisis yang akan digunakan.

Studi kasus dalam penelitian ini adalah kejadian hujan di DAS Citarum Hulu, dengan data dasar yang digunakan adalah data hujan harian observasi tahun 2000-2008 dan data TRMM tahun 2000-2011. Tipe kedua data tersebut berbeda, yaitu tipe data titik untuk data observasi dan data *grid* untuk TRMM. Data titik diwakili oleh 18 stasiun penakar hujan observasi yang tersebar di seluruh daerah penelitian, sedangkan data *grid* diwakili oleh data TRMM yang beresolusi spasial 0,25° x 0,25°.

Khusus dalam penelitian ini, data hujan dugaan yang digunakan data TRMM 3B42 (V7); data ini telah memanfaatkan sensor gabungan yaitu Geo-IR (Fisher 2004). Data ini diekstrak dari IRI Data Library dengan alamat website http://iridl.ldeo.columbia.edu/ (NASA 2012). Menurut Wang and Wolff (2011) produk TRMM tersebut mengalami masalah dalam hal besarnya sampel, metode pengambilan sampel dan adanya kesalahan sistematis (*systematic errors*); dan, tiga permasalahan terakhir ini merupakan bias curah hujan (*precipitation biases*). Berdasarkan permasalahan bias curah hujan dan rendahnya resolusi spasial, produk TRMM itu perlu dikalibrasi dengan menggunakan data observasi agar diperoleh output yang lebih realistis (Sharma *et al.* 2007).

Pemrosesan data awal

Kedua tipe data tersebut dijadikan data *grid* dengan ukuran *grid* yang lebih detil, yaitu 0,025° x 0,025°, untuk mengatasi bentuk topografi wilayah penelitian yang beragam. *Cropping* terhadap kedua data *grid* detil itu telah dilakukan untuk memperoleh data *grid* yang sesuai dengan ukuran wilayah penelitian.

Tahap berikutnya adalah menghitung hujan harian wilayah (DAS Citarum Hulu) rata-rata untuk seluruh tahun data. Bentuk persamaan umum dari hujan harian wilayah rata-rata untuk tanggal ke-d, bulan ke-m dan tahun ke-y, ($\bar{x}_{dmy}$) adalah:

$$\bar{x}_{dmy} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{idmy}}{n} \quad \text{..... (1)}$$

dimana:

a_{idmy} : Data hujan pada *grid* ke-i untuk tanggal ke-d, pada bulan ke-m dan tahun ke-y.

i : Nomor *grid* dari i = 1, 2, 3, ..., n

n : Banyaknya *grid*.

Pemilahan data hujan dan penentuan nilai ambang batas hujan

Tahap berikutnya adalah melakukan pemilahan data hujan harian wilayah rata-rata (observasi dan TRMM) menjadi dua kelompok, yaitu data model dan data validasi. Data kejadian hujan tanggal 1 Januari 2000 - 30 Juni 2007 digunakan sebagai data model sedangkan data tanggal 1 Juli 2007 - 30 Juni 2008 sebagai data validasi.

Tahap selanjutnya adalah menentukan nilai ambang batas data hujan dari data hujan harian wilayah rata-rata yang akan dianalisis. Ambang batas data hujan untuk data observasi adalah nol, tetapi seringkali data TRMM tidak menunjukkan nilai nol meskipun pada tanggal ukur yang sama. Oleh karena itu ambang batas data hujan untuk data TRMM perlu ditetapkan lebih dahulu sebelum digunakan lebih lanjut, agar sesuai dengan data observasi. Metode penentuan ambang batas data hujan dihitung berdasarkan persentase data terurut (terkecil hingga terbesar) dari data TRMM yang bersesuaian dengan data observasi bernilai nol. Pada kasus ini, besar persentase untuk penentuan ambang batas data hujan adalah 70% dari jumlah data TRMM terurut.

Penyusunan fungsi transfer berdasarkan pendekatan koreksi bias statistik

Menurut Piani *et al.* (2010) dan Vidal *et al.* (2010), data TRMM asli masih mengandung bias curah hujan dan skala resolusi spasialnya rendah, sehingga data ini perlu dikoreksi. Salah satu teknik koreksi tersebut adalah koreksi bias statistik (Piani *et al.* 2010; Leander and Buishand 2007). Koreksi bias dilakukan dengan cara mengidentifikasi jenis distribusi peluang dan probabilitas dari kedua data hujan. Berdasarkan bentuk dan sebaran datanya, kedua data itu mengikuti model distribusi peluang Gamma, dan nilai kepekatan peluangnya (*probability density function*) mengikuti persamaan berikut:

$$pdf(x) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{(a-1)} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)}, \quad x > 0 \quad \text{..... (2)}$$
$$= 0 \quad , \quad x \leq 0$$

dimana:

x : curah hujan harian rata-rata, huruf a dan b berturut-turut adalah parameter bentuk dan skala.

Γ(.) : fungsi Gamma; dan, ini dapat diselesaikan dengan fungsi faktorial (Γ(a) = (a-1)!).

Berdasarkan persamaan (2), jika x = 0 maka distribusi Gamma tidak dapat didefinisikan karena tidak terbatas (*unbounded*), oleh karena itu nilai nol tidak digunakan dalam perhitungan, dan nilai nol ini mengindikasikan tidak ada hujan di wilayah tersebut. Perhitungan nilai kepekatan peluang menggunakan kisaran data hujan harian lebih besar dari nol dan kurang dari x atau (x > ε > 0). Menurut Piani *et al.* (2010) nilai nol tersebut tetap harus diikut sertakan dalam kajian tetapi tidak dimasukkan dalam penentuan nilai kepekatan peluang.

Pada penelitian ini ilustrasi pemanfaatan fungsi kepekatan peluang (PDF) diterapkan untuk dua data random dan masing-masing menggambarkan data hujan harian observasi dan TRMM, dengan asumsi kedua data tersebut memiliki model distribusi peluang Gamma. Data random pertama (hujan TRMM atau dugaan) memiliki kriteria a = 1 dan b = 0,8 sedangkan yang kedua (hujan observasi) memiliki kriteria a = 2 dan b = 0,7, dengan jumlah bilangan random yang dibangkitkan adalah 100 data. Kurva PDF dari kedua data tersebut dapat dilihat pada Gambar 1a. Jika fungsi kepekatan peluang pada persamaan (2) diintegralkan dari nol hingga x maka akan diperoleh nilai distribusi kumulatif untuk tiap hujan harian sebagaimana tertera pada persamaan (3).

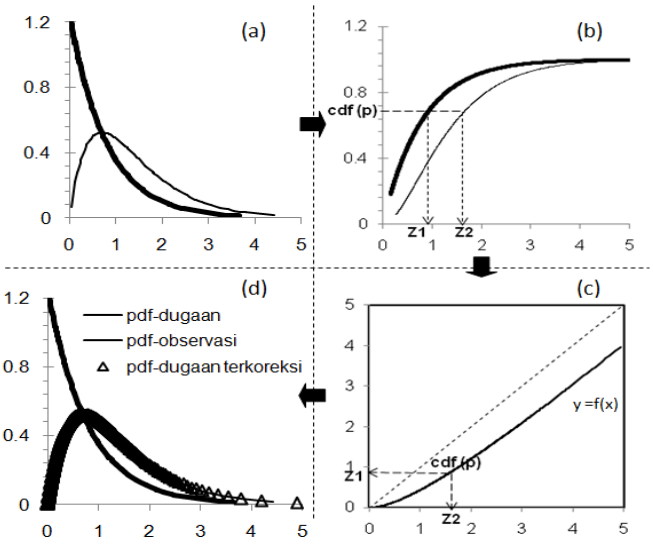
$$cdf(x) = \int_0^x \frac{1}{b^a \Gamma(a)} x^{(a-1)} e^{\left(-\frac{x}{b}\right)} dx + cdf(0) \quad \text{..... (3)}$$

Notasi peubah dan konstanta pada persamaan (3) sama dengan notasi pada persamaan (2) kecuali *cdf* (0).

Fungsi distribusi kumulatif (*cdf*) untuk data bernilai nol mengandung arti bahwa hari itu tidak ada hujan (*dry days*), dan ini merupakan nilai fraksi di dalam persamaan (3). Jika kedua data random yang telah digunakan pada persamaan (2) juga diterapkan pada persamaan (3) dengan menambahkan *cdf* nol, maka akan diperoleh dua data *cdf*, dan kurvanya dapat dilihat pada Gambar 1b. Berdasarkan Gambar 1b dapat diidentifikasi nilai *cdf* (p) untuk hujan dugaan (Z1) dan observasi (Z2). Pasangan data hujan observasi dan dugaan yang bernilai *cdf* sama apabila digambarkan dalam diagram kartesius akan membentuk suatu kurva yang khas dan dapat diidentifikasi bentuk fungsi transfernya [y = f(x)] (Gambar 1c). Fungsi transfer yang diperoleh merupakan persamaan koreksi untuk data hujan TRMM asli menjadi data hujan dugaan terkoreksi dengan syarat koefisien determinasinya tinggi (R^2 > 0,7). Jika persamaan koreksi tersebut akurat maka nilai pdf dari hujan dugaan terkoreksi akan mendekati (*fit*) nilai pdf dari data hujan observasi (Gambar 1d). Alur pikir pemanfaatan pdf dan *cdf* yang terdapat pada Gambar 1 digunakan untuk mengoreksi data TRMM di DAS Citarum Hulu pada penelitian ini.

Pengujian fungsi transfer

Fungsi transfer sebagai hasil analisis koreksi bias statistik perlu divalidasi lebih dahulu sebelum digunakan. Pada penelitian ini validasi persamaan fungsi transfer



Gambar 1. Koreksi bias statistik untuk penyusunan fungsi transfer [$y = f(x)$]: (a) Gambar *pdf* hujan dugaan (garis tebal) dan *pdf* hujan observasi (garis tipis), (b) Gambar nilai *cdf* yang diperoleh dari integral *pdf* pada Gambar a, (c) adalah fungsi transfer yang diperoleh dari hubungan $cdf_{obs}(y) = cdf_{dugaan}(x)$ (garis tebal) dan (d) Gambar *pdf* hujan dugaan (garis tebal), hujan observasi (garis tipis) dan hujan dugaan terkoreksi (tanda segitiga) (diadaptasi dari Piani *et al.* 2010 dan Vidal *et al.* 2010)

Figure 1. The statistical bias correction to compose a transfer function [y = f(x): (a). is a pdf of estimated precipitation (thick solid line) and pdf of observed precipitation (thin solid line), (b) is cdf curve obtained by integrating pdfs in Figure ,(c). is a transfer function obtained graphically from b by solving: cdfobs(y) = cdfdugaan(x) (thick solid line, and (d) is pdf of estimated precipitation (thick line), the observed precipitation (thin line) and the corrected precipitation (triangel) (Adapted from Piani et al. 2010; and Vidal et al. 2010).

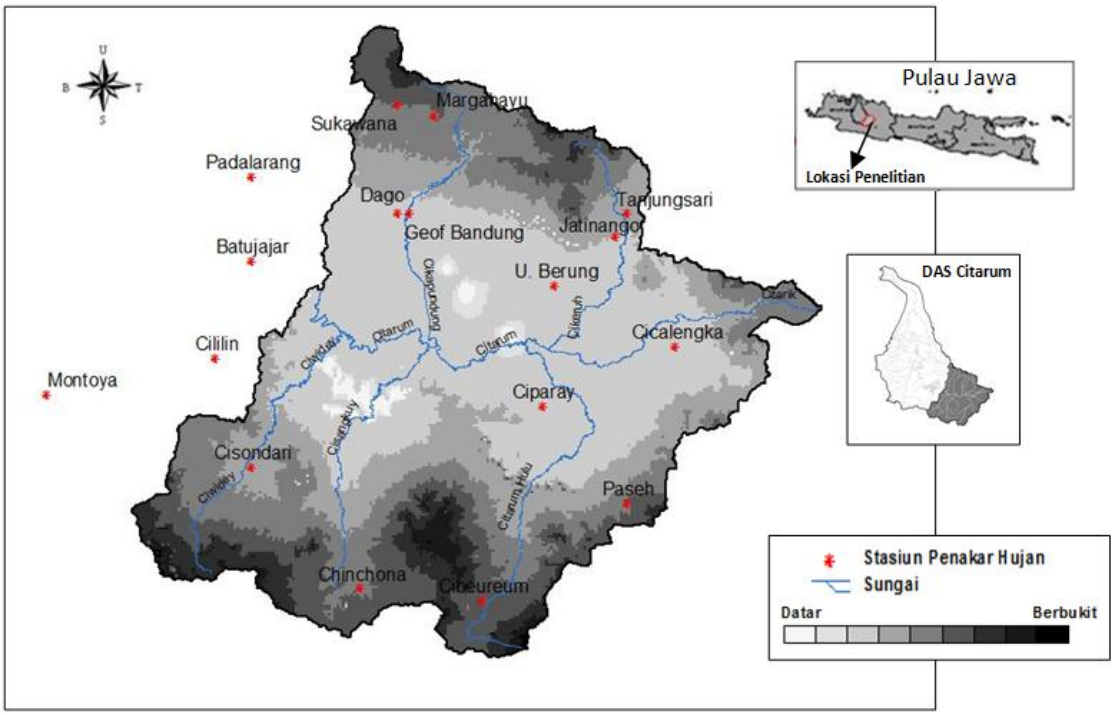
dilakukan dengan cara membandingkan pola klimatologi hujan bulanan rata-rata hasil persamaan dan hasil observasi. Data observasi yang digunakan sebagai alat pembanding ini belum pernah digunakan untuk membangun persamaan tersebut. Jika pola dan besaran (*magnitude*) kedua data itu bersesuaian (*fit*) dan koefisien determinasinya tinggi maka persamaan itu layak digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis data awal, jumlah stasiun penakar hujan yang terpasang kurang mewakili kondisi topografi DAS Citarum Hulu (Gambar 2). Selain itu, jumlah stasiun penakar hujan yang mencatat kejadian hujan secara kontinu hanya ada tujuh stasiun (39%) sedangkan 11 stasiun penakar yang lain cenderung tidak kontinu. Akibat dari hal tersebut, kehandalan data observasi menjadi turun. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan data hujan dugaan yang dibangkitkan oleh sensor satelit cuaca, pada penelitian ini, data TRMM digunakan untuk mengisi kekosongan data hujan observasi.

Ambang batas hujan dan jenis distribusi peluang hujan observasi dan TRMM

Data dasar untuk membangun ambang batas hujan adalah data hujan harian wilayah rata-rata observasi dan TRMM periode 1 Januari 2000 - 31 Desember 2008. Nilai ambang batas ini diperoleh dengan cara mengurutkan data observasi dan pasangannya (TRMM). Hasil pengurutan ini menunjukkan 74,1% dari data TRMM terurut yang bersesuaian dengan data observasi bernilai nol adalah data TRMM bernilai < 0,1 mm $hari^{-1}$. Sebagaimana telah disebutkan dalam bagian Metodologi, nilai ambang batas yang digunakan adalah 70% dari data TRMM terurut, maka nilai 0,1 mm $hari^{-1}$ telah memenuhi syarat sebagai nilai ambang batas. Ines dan Hansen (2006) telah menggunakan nilai ambang batas hari hujan (*wet days*) yang sama yaitu sebesar 0,1 mm untuk mengoreksi data

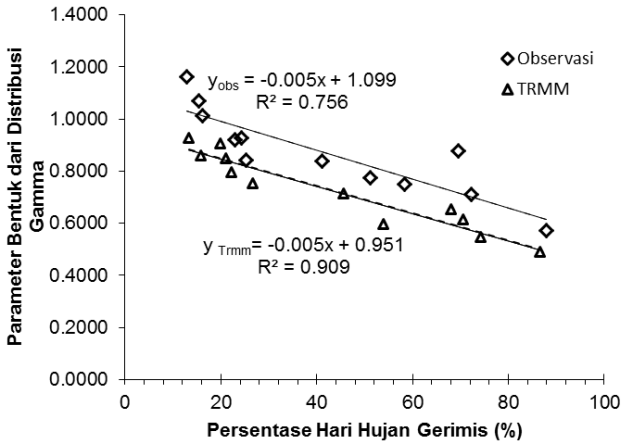


Gambar 2. Distribusi topografi dan posisi stasiun penakar hujan di Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu

Figure 2. The topographic distribution and position of rain gauges on the Upper Citarum Watershed

hujan luaran GCM (*Global Circulation Model*) sehingga data itu dapat digunakan untuk menjalankan model simulasi tanaman.

Berdasarkan nilai ambang batas hujan sebesar 0,1 mm hari^{-1}, model distribusi peluang hujan harian per bulan dari data observasi dan TRMM adalah Gamma. Pada kasus hujan TRMM, semua nilai parameter bentuk yang diperoleh adalah lebih kecil dari 1, dan nilai parameter ini lebih rendah daripada hujan observasi. Menurut Piani *et al.* (2010) semakin rendah nilai parameter bentuk maka jumlah hari hujan gerimis ($\varnothing$ < 1 mm) akan semakin tinggi persentasenya. Pendapat tersebut sama dengan hasil penelitian ini, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, jika nilai parameter bentuk dari data TRMM adalah 0,5964 maka jumlah hari hujan gerimis dalam data TRMM itu sekitar 71%, dan ini sesuai dengan data hujan TRMM untuk bulan Oktober (tahun data: 2000-2007). Selanjutnya, pengertian dan analisis tentang ukuran butir hujan dapat dilihat dalam tulisan Rahadi *et al.* (2008).



Gambar 3. Hubungan persentase hari hujan gerimis (*drizzle days*) dan parameter bentuk dari distribusi Gamma untuk data hujan Observasi dan TRMM

Figure 3. Relationship between percentage of drizzle days and shape parameter of Gamma distribution for the observed and TRMM precipitation

Fungsi transfer (analisis regresi)

Fungsi transfer ini menghubungkan antara peubah penjelas (peubah-x) dan peubah respon (peubah-y). Pada penelitian ini peubah-x diwakili oleh data hujan harian TRMM sedangkan peubah-y diwakili oleh data hujan harian observasi. Data hujan observasi dan TRMM bulan Januari digunakan sebagai contoh untuk menjelaskan proses penyusunan fungsi transfer

Distribusi peluang untuk data hujan harian observasi dan TRMM bulan Januari mengikuti model distribusi Gamma, parameter bentuk dan skala dari kedua data hujan tersebut berturut-turut adalah (0.9204,7.35) dan (0.8495,17.63) (Gambar 4a). Berdasarkan Gambar 3 dan 4a, nilai persentase hari hujan gerimis dari kedua data hujan tersebut berturut-turut sekitar 22,98% dan 20,97%, hal ini menunjukkan persentase hari hujan di kedua data itu lebih didominasi oleh hujan berdiameter lebih dari 1 mm.

Jika kurva distribusi peluang untuk data hujan harian observasi dan TRMM ini diintegralkan maka akan diperoleh nilai distribusi peluang kumulatifnya (*cdf*). Nilai *cdf* ini hanya berlaku untuk data hari hujan (wet days) sedangkan data hari tidak hujan (*dry days*) dimasukkan sebagai nilai fraksi dalam penentuan *cdf* total. Gambar 4b merupakan nilai *cdf* total dari data hujan harian observasi dan TRMM yang telah memasukkan fraksi hari tidak hujan berturut-turut sebesar 0,07 dan 0,10 dari total data hujan yang berjumlah 248 hari (1 Januari 2000 – 31 Juni 2007). Berdasarkan Gambar 4b, kita dapat menentukan secara grafis sepasang nilai data hujan (Z1 dan Z2) untuk satu nilai peluang kumulatif p, *cdf*(p). Bila nilai peluang kumulatif itu ditentukan secara berurutan maka akan diperoleh beberapa pasang data hujan. Pasangan data hujan ini masing-masing merupakan peubah penjelas dan peubah respon, sehingga kedua data dapat dikorelasikan dan akan membentuk fungsi transfer tertentu, secara grafis hal ini dapat dilihat pada Gambar 4c. Fungsi transfer yang tertera pada gambar terakhir tersebut merupakan suatu persamaan polinomial:

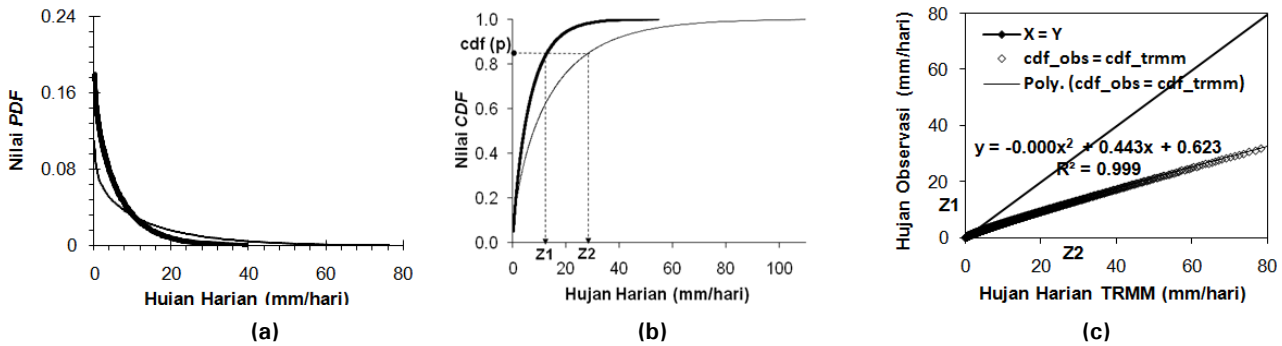
$$y = -0{,}000x^2 + 0{,}450x + 0{,}147$$

dengan koefisien determinasi (R^2) sekitar 0,9

Fungsi transfer untuk data hujan harian Observasi dan TRMM bulan Februari hingga Desember dapat ditentukan dengan mengikuti tahapan yang terdapat pada Gambar 4a, 4b dan 4c. Hasil dari proses penyusunan fungsi tersebut, khususnya untuk kurva nilai fungsi distribusi kumulatif dan fungsi transfer dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Berdasarkan Gambar 5 dapat diidentifikasi lebih lanjut besarnya fraksi hari tidak hujan untuk masing-masing bulan. Nilai fraksi hari tidak hujan yang lebih besar dari 0,5 terjadi pada bulan Juli–Agustus untuk data observasi dan Juni–September untuk data TRMM. Hal ini menunjukkan bahwa pada bulan-bulan itu jumlah hari tidak hujan lebih banyak daripada hari hujan. Berdasarkan kurva nilai *cdf* total (yang telah memasukkan nilai fraksi hari tidak hujan) yang terdapat pada Gambar 5, dapat disusun fungsi transfer dari kedua data hujan itu dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.

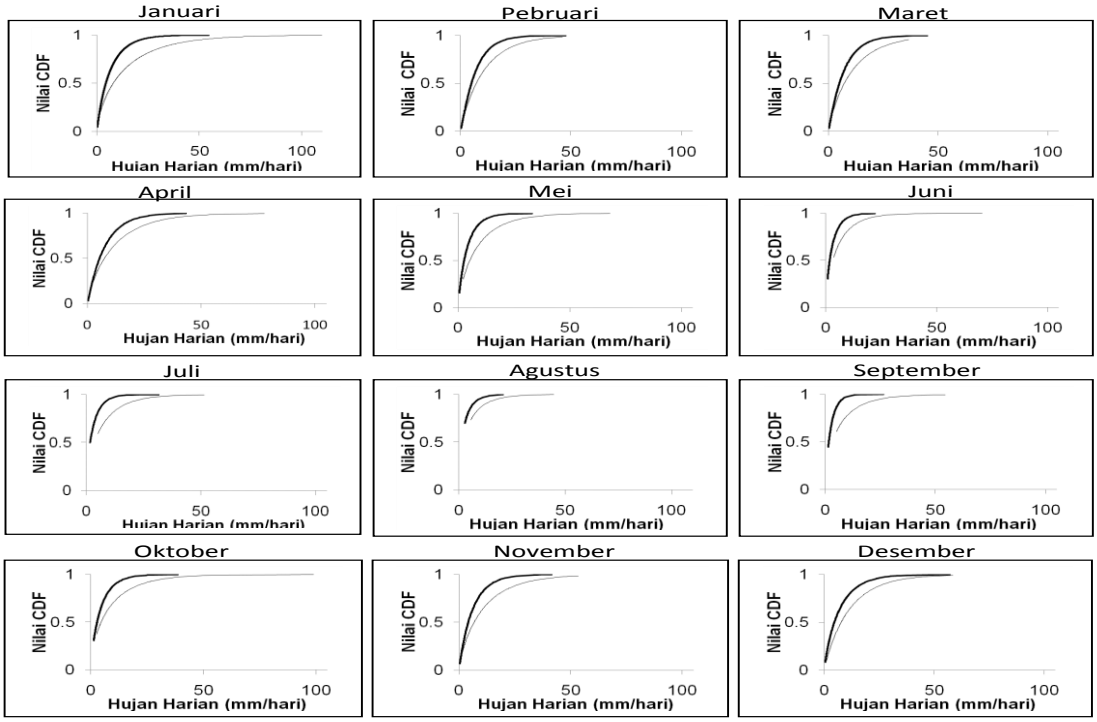
Kalibrasi dan validasi fungsi transfer

Dua belas fungsi transfer yang terdapat pada Gambar 6 merupakan gambaran hubungan data TRMM (peubah penjelas) dan data observasi (peubah respon). Kinerja dari kedua belas fungsi ini dapat dikatakan baik dengan bukti nilai koefisien determinasinya lebih dari 0,9.



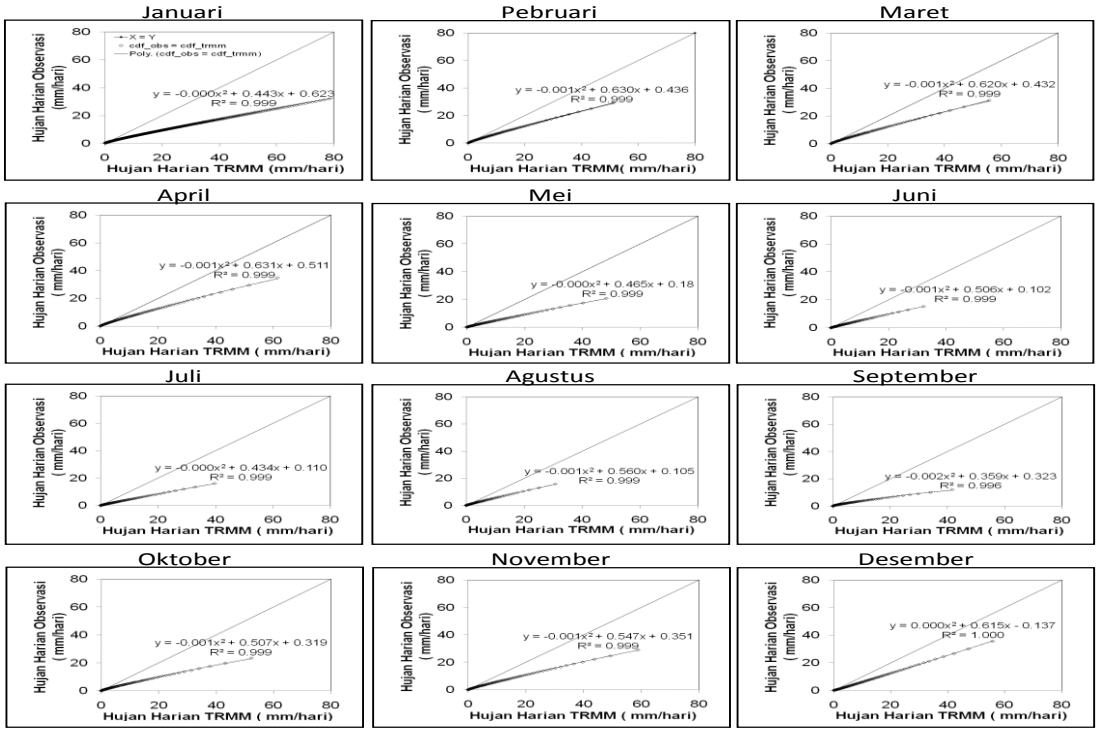
Gambar 4. Penentuan fungsi transfer untuk data hujan harian Observasi (garis tebal) dan TRMM (garis tipis) bulan Januari: (a) Kurva fungsi kepekatan peluang, (b) Kurva fungsi distribusi kumulatif dan sepasang hujan harian (Z1 dan Z2) saat *cdf* (p), dan (c) Fungsi transfer yang dibentuk dari kedua data hujan saat nilai *cdf*_Observasi sama dengan nilai *cdf*_TRMM.

Figure 4. Determination of the transfer function for the observed (thick solid line) and TRMM (thin solid line) precipitation in January: (a) Curve function of probability, (b) cdf curve that obtained by integrating pdfs in figure a, and (c) Transer function that formed graphically from b by solving: cdf_Observasi = cdf_TRMM.



Gambar 5. Kurva fungsi distribusi kumulatif untuk data hujan harian Observasi (garis tebal) dan TRMM (garis tipis) bulan Januari hingga Desember

Figure 5. Curves of cumulative distribution function of the observed (thick line) and TRMM (thin line) for January to December



Gambar 6. Fungsi transfer bulan Januari-Desember yang dibentuk dari hubungan antara data hujan Observasi dan TRMM saat nilai *cdf* dari kedua data itu sama

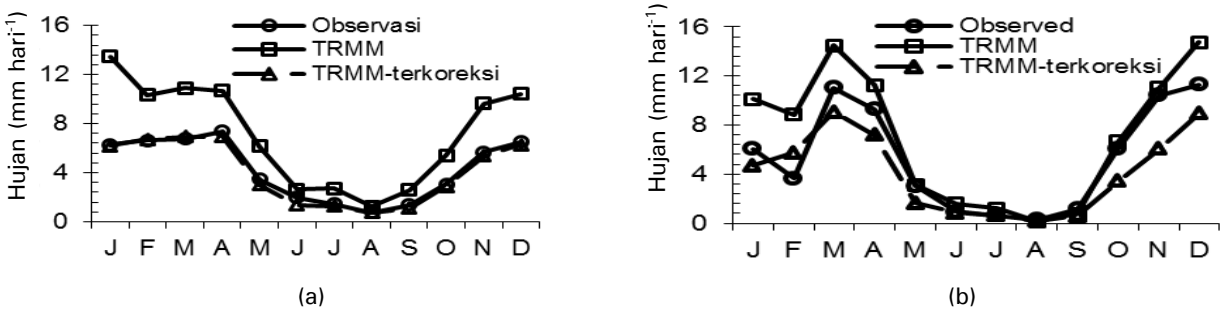
Figure 6. The transfer function of January to December that is formed by relationship between the observed and TRMM when their cdf values are the same

Berdasarkan hasil penilaian tersebut langkah berikutnya adalah melakukan kalibrasi terhadap fungsi transfer tersebut. Pada tahapan ini fungsi transfer diberi masukan data TRMM (periode 1 Januari 2000 hingga 30 Juni 2007) pada peubah penjelasnya dan mengamati nilai responnya pada peubah respon (dan hasilnya disebut hujan TRMM terkoreksi atau hujan Dugaan terkoreksi). Oleh karena basis penelitian ini *grid* maka proses kalibrasi telah dilakukan *grid* demi *grid*. Hasil dari tahap kalibrasi ini dapat dilihat pada Gambar 7a, yang menunjukkan adanya kesesuaian pola klimatologi dan besaran hujan bulanan antara data observasi dan TRMM terkoreksi (hujan Dugaan terkoreksi), sekaligus membuktikan kehandalan kinerja dari fungsi transfer tersebut.

Tahap pengujian berikutnya adalah melakukan validasi terhadap fungsi transfer dan menilai hasilnya. Pada tahap ini peubah penjelas mendapat masukan berupa data TRMM periode 1 Juli 2007 hingga 30 Juni 2008 dan hasil dari validasi ini dapat dilihat pada Gambar 7b. Hasil validasi menunjukkan bahwa pola hujan bulanan dari data hujan observasi dan hujan TRMM terkoreksi adalah mirip, tetapi besarannya berbeda, kecuali untuk hujan rendah. Terdapat korelasi yang tinggi antara data hujan observasi dan TRMM terkoreksi, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi yang mencapai sekitar 0,87. Hal ini menunjukkan fungsi transfer yang dihasilkan dalam penelitian ini layak atau handal dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

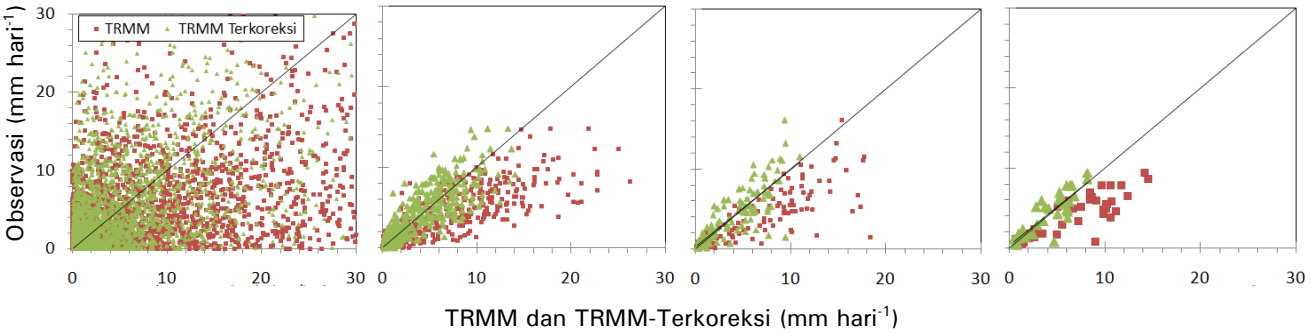
Evaluasi profil hujan rata-rata pada berbagai skala waktu

Berdasarkan kehandalan fungsi transfer tersebut, penelitian ini telah membangkitkan data hujan TRMM-terkoreksi untuk periode 2000-2008. Sebaran data TRMM-terkoreksi dan TRMM asli telah dibandingkan dengan sebaran data hujan observasi, dan dalam proses perbandingan ini empat skala waktu telah digunakan sebagai acuan analisis (Gambar 8).



Gambar 7. Pola klimatologi hujan bulanan untuk data hujan Observasi, TRMM dan TRMM terkoreksi: (a) Hasil kalibrasi fungsi transfer menggunakan data hujan harian periode 1 Januari 2000 – 30 Juni 2007, dan (b) Hasil validasi fungsi transfer menggunakan data hujan harian periode 1 Juli 2007 – 30 Juni 2008

Figure 7. Mean monthly precipitation of the observed, TRMM, and the corrected TRMM. Fig. a is calibration result using precipitation data for period of 1 January 2000 to 30 June 2007 while Fig. b is validation result using precipitation data for period of 1 July 2007 to 30 June 2008.



Gambar 8. Perbandingan hubungan antara curah hujan TRMM (titik warna merah magenta), TRMM-Terkoreksi (titik warna hijau) dengan Observasi pada empat skala waktu (harian, harian rata-rata, bulanan dan 3-bulanan). Garis diagonal menggambarkan hubungan satu banding satu

Figure 8. The comparison of the relationship between precipitation TRMM (reddish brown dot); the corrected TRMM (green dot) and the observed precipitation according to four time scales (daily, mean daily, monthly, 3-monthly)

Skala waktu pertama menggambarkan data hujan harian, yaitu data hujan tanggal 1 Januari 2000 hingga 31 Desember 2008 (Gambar 8 bagian kiri). Berdasarkan skala waktu ini, data TRMM menyebar di tiga lokasi, yaitu di kiri bawah (paling rapat) kemudian di kanan bawah lalu di kiri atas (paling jarang). Posisi kiri bawah, data TRMM bersesuaian dengan data hujan observasi pada kisaran rendah (< 15 mm hari^{-1}); artinya, data TRMM lebih mampu memprediksi hujan rendah daripada hujan tinggi. Posisi kanan bawah, data TRMM berintensitas tinggi bersesuaian dengan data bservasi berintensitas rendah sedangkan pada posisi kiri atas terjadi hal yang sebaliknya yaitu TRMM berintensitas rendah bersesuaian dengan data bservasi berintensitas tinggi. Dengan kata lain, hubungan linier antara data observasi dan TRMM semakin turun dengan semakin meningkatnya intensitas hujan. Untuk mengurangi dua kelemahan terakhir ini skala waktunya diubah yaitu menjadi harian rata-rata hingga 3-bulanan. Hasilnya, sebaran data TRMM tetap condong ke arah kanan dari garis diagonal, ini menunjukkan bahwa *magnitude* dari data TRMM cenderung lebih tinggi daripada data observasi dan ini memperkuat hasil penelitian Wang dan Wolff (2011). Bias data TRMM terhadap data observasi telah dihitung pada penelitian ini, yaitu sekitar 70% untuk keempat skala waktu.

Oleh karena perubahan skala waktu tidak mampu meningkatkan kualitas data TRMM maka penelitian ini telah mengevaluasi kualitas data TRMM-terkoreksi terhadap data observasi. Berdasarkan skala waktu pertama (Gambar 8 paling kiri) sebaran data TRMM-terkoreksi semakin mendekati garis diagonal dan semakin rapat di posisi kiri bawah. Ini menunjukkan bahwa sebaran data TRMM-terkoreksi telah mampu mendekati data Observasi (semakin dekat ke garis diagonal) dan lebih mampu memprediksi data hujan pada kisaran rendah (< 15 mm hari^{-1}). Menurut skala waktu harian rata-rata hingga 3 bulanan, sebaran data TRMM-terkoreksi semakin mendekati garis diagonal dan tingkat korelasinya semakin tinggi (Tabel 1).

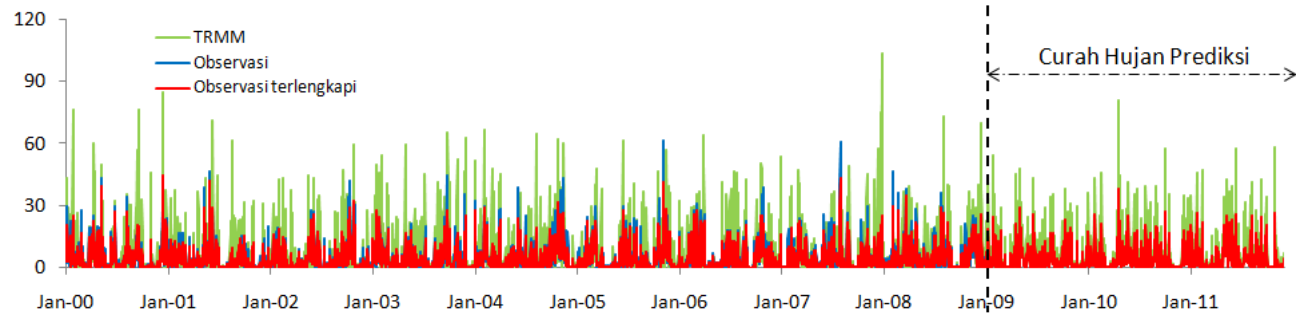
Tabel 1. Koefisien determinasi antara curah hujan TRMM, TRMM-terkoreksi dengan Observasi pada beberapa skala waktu

Table 1. Determination coefficients between the precipitation TRMM and the corrected TRMM against the observed precipitation at several time scales

Curah hujan dugaan	Koefisien determinasi (R^2) untuk beberapa skala waktu			
	Harian	Harian rerata	Bulanan	3-bulanan
TRMM-tidak terkoreksi	0,274	0,619	0,612	0,710
TRMM-terkoreksi	0,300	0,673	0,668	0,754

Berdasarkan hasil evaluasi profil hujan pada beberapa skala waktu, secara umum kedua data hujan dugaan (TRMM dan TRMM-terkoreksi) lebih mampu untuk memprediksi data hujan kisaran rendah daripada kisaran tinggi. Semakin lebar skala waktu analisis maka ketepatan prediksi data hujan dugaan semakin tinggi, ini dibuktikan dengan semakin tingginya koefisien determinasi. Atas dasar hal ini, kami telah menggunakan fungsi transfer itu untuk mengisi kekosongan atau ketiadaan data observasi guna meningkatkan kualitas data observasi.

Hasil proses pengisian data digambarkan dalam bentuk data time series (Gambar 9). Pola atau fluktuasi hujan harian observasi terlengkapi telah sesuai dengan data hujan harian observasi awal (asli). Gambar 9 selain menampilkan data hujan harian rata-rata periode 1 Januari 2000 hingga 31 Desember 2008 (sesuai ketersediaan data observasi sehingga disebut data historis) juga menampilkan data hujan prediksi (1 Januari 2009-31 Desember 2011). Data hujan prediksi ini dibangkitkan dari data hujan harian TRMM untuk periode yang sama dengan memanfaatkan fungsi transfer yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya. Berdasarkan kehandalan fungsi transfer ini maka curah hujan harian prediksi tersebut layak untuk digunakan lebih lanjut seperti untuk analisis dampak ataupun kerentanan.



Gambar 9. Hujan harian rata-rata untuk data hujan TRMM, Observasi, dan Observasi terlengkapi selama periode 1 Januari 2000 hingga 31 Desember 2011

Figure 9. Daily rainfall mean for TRMM, the observed, and the completed observation data during a period of 1 January 2000 to 31 December 2011

Kesimpulan

1. Di DAS Citarum Hulu, bentuk dan sebaran dari data hujan observasi dan TRMM per bulan mengikuti model distribusi Gamma, dengan nilai parameter bentuk dari data hujan TRMM selalu lebih rendah daripada data hujan observasi. Hal ini menunjukkan banyaknya hari hujan gerimis dari data TRMM lebih sedikit daripada Observasi, yang berarti bahwa jeluk hujan (*depth of rainfall*) TRMM relatif lebih tinggi daripada observasi. Ini mengindikasikan adanya kesalahan sistematis (*systematic errors*) dari satelit TRMM ketika membangkitkan data hujan TRMM. Kesalahan ini semakin terlihat ketika pola hujan bulanan dari data TRMM dan observasi dibandingkan, yaitu besaran (*magnitude*) data hujan bulanan TRMM selalu lebih tinggi daripada hujan observasi meskipun pola hujannya mirip. Kesalahan sistematis tersebut dapat dikurangi atau dihilangkan dengan memanfaatkan pendekatan koreksi bias statistik.
2. Berdasarkan pendekatan koreksi bias statistik, fungsi transfer yang menghubungkan peubah penjelas (data hujan TRMM) dan peubah respon (data hujan observasi) dapat disusun. Kinerja fungsi transfer ini dapat dikatakan baik, dibuktikan oleh nilai koefisien determinasi masing-masing persamaan mencapai 0,9. Kalibrasi dan validasi terhadap persamaan fungsi transfer menunjukkan hasil yang baik pula, ini ditunjukkan oleh adanya kesesuaian atau kecocokan (*goodness of fit*) antara pola hujan bulanan dari data observasi dan TRMM terkoreksi. Hal tersebut menunjukkan fungsi transfer ini handal untuk mengoreksi data hujan TRMM dan melengkapi ketidaklengkapan data observasi.

Ucapan Terima Kasih

Artikel ini marupakan bagian dari riset S3 (doktoral) yang tengah dilakukan oleh penulis pertama di Program PSL-IPB, Bogor. Saya mengucapkan terima kasih kepada Dr. Budi Kartiwa, CESA yang telah berbagi pengetahuan hidrologi dan data penelitian sehingga penelitian ini dapat berjalan. Terima kasih saya sampaikan juga kepada Dr. Ahmad Faqih dan Sonni Setiawan MSi untuk dukungan dan saran konstruktif ketika penulis menulis paper. Terakhir terimakasih kepada ADB yang mendanai penelitian ini melalui kegiatan yang ada di CCROM-SEAP.

Daftar Pustaka

Fisher, B.L. 2004. Climatological validation of TRMM TMI and PR monthly rain products over Oklahoma. J Appl. Meteor 43:519-535.

Huffman, G.J. and D.T. Bolvin. 2012. TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation. Mesoscale Atmospheric Processes Laboratory, NASA Goddard Space Flight Center and Science Systems and Applications, Inc.

Ines, A.V.M. and J.W. Hansen. 2006. Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. J Agric For Meteorol 138:44-53.

Leander, R. and T.A. Buishand. 2007. Re-sampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. J Hydrol 332(3–4):487–496.

[NASA] National Aeronautic and Space Administration. 2012. NASA GES-DAAC TRMM_L3 TRMM_3B42 v7 daily precipitation.http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM_L3/.TRMM_3B42/.v7/.daily/.precipitation/(diakses November 2012).

Piani, C., J.O. Haerter, and E. Coppola. 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. J TheorApplClimatol 99:187–192.

Rahadi, B., Soemarno, A. Masrevaniah, dan S. Priyono. 2008. Kalibrasi dan evaluasi kinerja rainfall simulator. J Teknologi Pertanian 9(3):190-198.

Semenov, M.A. and F.J. Doblas-Reyes. 2007. Utility of dynamical seasonal forecasts in predicting crop yield. J Clim Res 34:71-81.

Sharma, D., A. Das Gupta, and M.S. Babel. 2007. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping river basin, Thailand. Hydrol Earth Sys Sci 11:1373-1390.

Vidal, L., P. Salio, and C.A. Morales. 2010. Implementation of a methodology to calibrate ground radars using TRMM-PR over Argentina. The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology.

Wang, J. and D.B. Wolff. 2011. Evaluation of TRMM Rain Estimates Using Ground Measurements over Central Florida. J Appl Meteor Climatol 51:926-940.

Wood, A.W., L.R. Leung.,V. Sridhar, and D.P. Lettenmaier. 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate outputs. J Clim Change 62(1-3):189-216.