

VALIDASI DAN KOREKSI DATA SATELIT TRMM PADA TIGA POLA HUJAN DI INDONESIA

VALIDATION AND CORRECTION OF TRMM SATELLITE DATA ON THREE RAINFALL PATTERNS IN INDONESIA

Mamenun^{1*}, Hidayat Pawitan², Ardhasena Sophaheluwakan³

¹Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

²Program Studi Klimatologi Terapan, Institut Pertanian Bogor, Bogor

³Pusat Iklim, Agroklimat dan Iklim Maritim, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

*E-mail : mamenun@gmail.com

Naskah masuk: 10 Maret 2014; Naskah diperbaiki: 25 Agustus 2014; Naskah diterima: 10 September 2014

ABSTRAK

Prediksi curah hujan cukup sulit dilakukan karena keragamannya sangat tinggi dan banyaknya permasalahan data, seperti minimnya ketersediaan data, data tidak lengkap/kosong, jumlah stasiun kurang tersebar, kurang tenaga pengamat, sistem pengamatan dan pemasukan data masih manual, serta pengumpulan data berjalan lambat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat digunakan satelit hujan yang memiliki resolusi spasial dan temporal tinggi, cakupan wilayah luas, data near real-time, akses cepat, dan ekonomis. Penelitian ini dilakukan untuk validasi dan koreksi data satelit TRMM terhadap data observasi pada tiga pola hujan berbeda di Indonesia. Analisis dilakukan menggunakan analisis statistika, perhitungan galat dan pengembangan faktor koreksi untuk data satelit TRMM di wilayah dengan pola hujan monsun (Lampung, Jawa Timur, Kalimantan Selatan), pola hujan equatorial (Sumatera Utara, Kalimantan Barat), dan pola lokal (Maluku). Hasil validasi data satelit TRMM terhadap data observasi menunjukkan nilai korelasi tinggi di wilayah pola monsun (>0.80), cukup tinggi pada pola equatorial (>0.60) dan pola lokal (>0.75). Nilai RMSE lebih rendah di wilayah pola hujan monsun (RMSE = 58-84), dibandingkan wilayah pola hujan equatorial (RMSE=97-158) dan lokal (RMSE=173). Hasil koreksi data satelit TRMM diperoleh faktor koreksi dengan bentuk persamaan geometrik untuk pola monsun dan equatorial, serta linier untuk pola lokal. Setelah dilakukan koreksi, diperoleh galat data satelit menurun di Lampung 40.3%, Kalimantan Selatan 3.17%, dan meningkat di Jawa Timur 18.9%. Demikian di Kalimantan Barat, galat satelit TRMM menurun 58%, Sumatera Barat 10%, dan Maluku 12.3%. Sedangkan nilai korelasi setelah dilakukan koreksi meningkat di wilayah pola monsun dan equatorial sebesar 1-2%, dan menurun di wilayah lokal sebesar 1%.

Kata Kunci: TRMM, pola hujan, validasi, koreksi.

ABSTRACT

Rainfall is difficult to be predicted because of its high variability and other problems such as lack of data availability, data incompletely, less spreading of station, less observer, and manual data entry. Rainfall satellite can be used to encourage these problems because it has high temporal and spatial resolution, widely coverage, near real-time and fast accessibility. This research has been conducted to validate and correct the TRMM data on three rainfall patterns (monsoonal, equatorial, local pattern). The statistical analyses and correction factor development for TRMM data are conducted. Validation showed high correlation between TRMM and gauge data on monsoonal pattern (>0.80), high correlation on equatorial (>0.60) and local pattern (>0.75). The lowest RMSE found on monsoonal pattern (58-84), equatorial (97-158), and local (173). After correction, the error of corrected TRMM data decreased for three rainfall pattern. While the correlation value increased on monsoonal and equatorial pattern of 1-2%, and decreased on local pattern of 1%.

Keywords: TRMM, rainfall pattern, validation, correction.

1. Pendahuluan

Curah hujan di wilayah maritim tropis seperti Indonesia, merupakan parameter atmosfer yang sulit diprediksi karena mempunyai keragaman tinggi baik secara ruang maupun waktu, dinamika atmosfer di

wilayah Indonesia sangat kompleks, peristiwa konvektif yang aktif, dan pengaruh topografi dengan relief pegunungan serta pergerakan monsun Asia serta Australia [1,2]. Selain itu, keragaman hujan di Indonesia juga dipengaruhi anomali suhu permukaan laut di kawasan laut Indonesia, kawasan Pasifik dan

Samudera Hindia. Di wilayah Ambon, kondisi anomali Suhu Permukaan Laut (SST) Indonesia sangat berperan terhadap maju-mundur awal musim hujan dan panjang-pendek musim [3]. Namun demikian, curah hujan sangat berpengaruh terhadap berbagai sektor. Di sektor pertanian, curah hujan mempengaruhi sistem pertanian karena produktivitas pertanian sangat bergantung pada ketersediaan air yang cukup. Selain itu, pendugaan hujan pada skala musim, terutama musim hujan juga menjadi informasi sangat penting untuk kebutuhan perencanaan pertanian seperti penentuan masa tanam dan kalender tanam, serta penentuan pola tanam [4]. Pada sektor sumber daya air, curah hujan merupakan input utama dalam ketersediaan air di alam (waduk, danau, sungai, air tanah), sehingga input curah hujan yang akurat menjadi sangat penting dalam pemodelan hidrologi [5]. Hujan juga salah satu parameter iklim yang sangat penting dalamantisipasi bencana alam. Oleh karena itu, kebutuhan ketepatan analisis dan prediksi hujan di wilayah Indonesia menjadi sangat tinggi.

Dalam kaitan dengan analisis dan prediksi hujan, kendala dan permasalahan yang masih sering dihadapi yaitu minimnya ketersediaan data hujan observasi baik spasial maupun temporal, *time series* data hujan tidak cukup panjang dan tidak lengkap, jumlah stasiun hujan kurang tersebar merata [5], kurang tenaga pengamat, sistem pengamatan dan pemasukan data masih manual, pengumpulan data dari daerah tertentu ke tingkat pusat yang masih terhambat dan berjalan lambat, dan format data yang belum standar. Kendala dan permasalahan tersebut menyebabkan data pengamatan hujan di permukaan masih sulit diperoleh dengan cepat dan membutuhkan pemeriksaan kualitas data sebelum dapat digunakan secara langsung. Terkait dengan kendala dan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan metode alternatif dalam pendugaan hujan untuk mengatasi keterbatasan data hujan observasi. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah pemanfaatan data satelit hujan guna menghasilkan keluaran informasi hujan yang lebih akurat terutama di wilayah dimana pengamatan hujan permukaan sangat jarang.

Kelebihan satelit dalam mengukur intensitas hujan dibandingkan dengan stasiun hujan observasi di permukaan antara lain memiliki resolusi spasial dan temporal yang tinggi dan mencakup wilayah yang luas $\pm 770 \text{ Km}^2$ [5, 6], data *near realtime* [7], akses cepat, dan ekonomis karena data dapat diunduh secara gratis. Hal tersebut dapat mengatasi permasalahan data observasi hujan. Namun demikian, ketersediaan data satelit mulai tersedia antara tahun 1996 hingga tahun 1998 [6,8]. Selain itu, penggunaan data satelit tersebut perlu dilakukan validasi dan koreksi dengan data observasi permukaan agar dapat dievaluasi sejauh mana keakuratan keluaran data satelit terhadap data observasi di permukaan [9, 10, 11], sehingga pada tahap analisis lanjutan galat pada data satelit dapat dikurangi dan data dapat diandalkan.

Studi validasi dan koreksi data satelit telah dilakukan untuk studi typhoon Morakot taun 2009 menggunakan data hujan GSMaP (*Global Satellite Mapping of Precipitation*) di daerah aliran sungai Kaoping, Taiwan [8], dimana dihasilkan formula koreksi data GSMaP yang digunakan untuk daerah aliran sungai Kaoping dengan tipe hujan sama. Evaluasi keluaran data hujan CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Method*) untuk interpolasi data hujan permukaan telah dilakukan di wilayah Indonesia [12]. Pada studi tersebut juga dihasilkan model yang mampu mengisi data hilang 2-3 bulan dengan cukup baik. Koreksi data satelit TRMM telah dilakukan di wilayah Arab Saudi dimana ketepatan luaran data hujan satelit skala bulanan terhadap data hujan observasi lebih tinggi dibandingkan dengan skala harian [13].

Studi analisis dan validasi data hujan keluaran satelit di Indonesia telah dilakukan. Validasi luaran data hujan bulanan dari satelit TRMM PR (*Precipitation Radar*) level 3A25 telah dikaji untuk wilayah Indonesia [14], dimana ditunjukkan data luaran TRMM *undersetimate* dibandingkan data hujan observasi, kecuali di wilayah dengan tipe hujan *anti-monsoonal* dimana data luaran TRMM *overestimate* dibandingkan data hujan observasi. Analisis perbandingan keluaran data TRMM harian (3B42) dan bulanan (3B43) dengan data observasi menunjukkan pada skala bulanan dan musiman, hubungan curah hujan TRMM dibandingkan observasi mempunyai performa lebih baik dibandingkan skala harian [10]. Namun pada skala harian dengan analisis titik ke titik stasiun, menunjukkan korelasi yang rendah dibandingkan dengan hasil rata-rata data stasiun. Pada variasi *intra-annual*, korelasi tinggi diperoleh pada musim kemarau, dan sebaliknya diperoleh pada musim hujan [10]. Pada analisis tersebut, belum dilakukan koreksi terhadap data satelit TRMM.

Analisis validasi satelit TRMM di wilayah Indonesia untuk skala bulanan telah dilakukan, dimana data TRMM mempunyai performa lebih baik terhadap pengamatan observasi permukaan terutama pada musim kemarau dan variasi tahunan [9]. Selain itu, juga dihasilkan faktor koreksi data TRMM dimana setelah dilakukan koreksi bias, fraksi variansi pada log-transformasi untuk data hujan bulanan meningkat dari 0.78 menjadi 0.93, dan nilai determinasi meningkat setelah dilakukan koreksi bias [9]. Namun wilayah yang digunakan hanya mewakili pola hujan monsun. Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, perlu dikaji lebih lanjut validasi data satelit hujan dan menentukan faktor koreksinya untuk wilayah Indonesia yang mewakili pola hujan monsun, equatorial dan lokal.

TRMM merupakan satelit polar orbiting milik JAXA-NASA yang pertama kali diluncurkan pada bulan November, 1997 [15]. Data satelit TRMM digunakan

dalam penelitian ini karena mampu memonitor curah hujan di wilayah dimana data pengamatan curah hujan observasi kurang lengkap dan stasiun pengamatan hujan observasi jarang [15,5]. Selain itu, data hujan keluaran satelit TRMM menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan data hujan CMORPH dan PERSIANN untuk wilayah Indonesia [9]. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan validasi data hujan satelit TRMM terhadap data hujan observasi pada skala bulanan dan menentukan faktor koreksi untuk data satelit TRMM pada tiga pola hujan berbeda (pola monsun, equatorial, dan lokal) di wilayah Indonesia.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan adalah data hujan bulanan keluaran satelit TRMM 3B42RT dan curah hujan observasi permukaan dengan periode sebagai berikut:

- Data curah hujan 3 jam-an dari satelit TRMM tipe 3B42RT yang bersifat *NearReal-Time* dengan periode data tahun 2003-2009. Data satelit 3B42RT berbentuk grid dengan resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$. Format data berbentuk binary dan dapat diunduh dari <ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/DrivedProducts/>.
- Data curah hujan bulanan dari stasiun hujan yang mewakili tiga wilayah dengan pola hujan berbeda dengan periode 30 tahun (1981-2010) untuk analisis pola hujan, dan periode 2003-2009 untuk validasi dan koreksi TRMM (Sumber: BMKG).
- Data koordinat stasiun hujan (BMKG) dan Peta Batas Administrasi (Sumber: Bakosurtanal).

Ekstraksi Data Satelit TRMM. Ekstraksi data satelit TRMM format binary dilakukan dengan merubah format binary menjadi ASCII file. Selanjutnya data dengan format ASCII, data 3 jam-an diakumulasi menjadi data harian dan bulanan. Reduksi data grid TRMM dilakukan sesuai dengan domain wilayah Indonesia, yaitu lintang $6^\circ \text{LU} - 11^\circ \text{LS}$ dan bujur $94^\circ \text{BT} - 141^\circ \text{BT}$.

Pemilihan Stasiun Hujan dan Grid TRMM. Pemilihan stasiun hujan ditujukan untuk menentukan stasiun pada suatu grid TRMM tertentu di wilayah studi yang akan digunakan untuk validasi data satelit TRMM. Pemilihan stasiun hujan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

Tahap 1; dilakukan pengumpulan seluruh data stasiun hujan dan data curah hujan di wilayah studi, pemeriksaan koordinat dan status keaktifan stasiun, pembuatan peta plot stasiun hujan dan grid TRMM.

Tahap 2; analisis dilakukan untuk memperoleh persentase *coverage* (ketersediaan) data di setiap stasiun periode 2003-2009. Persentase yang digunakan adalah $>75\%$ untuk dapat merepresentasikan kondisi hujan pada tiap stasiun periode bulanan.

Tahap 3; analisis dilakukan untuk pemilihan stasiun hujan dengan ketersediaan data $>75\%$. Pemilihan stasiun dilakukan berdasarkan pertimbangan dalam satu grid TRMM, terdapat lebih dari satu stasiun hujan untuk dapat merepresentasikan hujan dalam luasan satu grid.

Analisis Hubungan dan Validasi Data Hujan Observasi dan Satelite TRMM. Pengolahan data hujan observasi dari stasiun hujan permukaan dan satelit TRMM, dihitung nilai rata-rata pada kedua data tersebut. Analisis data hujan observasi dari stasiun hujan di wilayah studi, digunakan nilai rata-rata aritmatika dari seluruh stasiun. Sedangkan untuk data hujan satelit TRMM, digunakan persamaan rata-rata terboboti (*weighted average*) dimana dalam setiap grid terdapat lebih dari satu stasiun hujan. Persamaan rata-rata terboboti dinyatakan dengan:

$$\bar{X} = \frac{\sum n_{ij} x_j}{\sum n} \quad \dots(1)$$

Dimana;

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata bulanan

n_{ij} = Data curah hujan bulan ke-i grid cell ke-j

x_i = Jumlah stasiun hujan pada grid cell ke-j

n = Total jumlah stasiun hujan yang digunakan.

Penentuan Faktor Koreksi untuk Data TRMM. Penentuan faktor koreksi data satelit TRMM dilakukan untuk mengetahui besarnya parameter a dan b sebagai faktor koreksi pada persamaan garis antara data observasi dengan data satelit TRMM menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*) [16]. Pada metode ini dicari nilai galat atau jumlah kuadrat galat (JKG) paling kecil/minimal yang dihasilkan dari masing-masing persamaan regresi, dimana semakin minimum nilai galat atau JKG, akan semakin baik model persamaannya. Persamaan dasar yang digunakan yaitu:

$$JKG = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad \dots(2)$$

atau dapat juga dinyatakan sebagai :

$$\epsilon = \|CH_{obs} - f(CH_{TRMM}; a, b, c \dots)\|^2 \quad \dots(3)$$

dimana :

= galat model/RMSE

y_i = CH_{obs} = curah hujan observasi

x_i = CH_{TRMM} = curah hujan satelit TRMM

$a, b, c, \dots$ = parameter (sebagai faktor koreksi)

$f(CH_{TRMM}; a, b, c \dots)$ = fungsi model persamaan regresi yang diuji.

Kondisi minimum akan tercapai apabila syarat berikut terpenuhi;

$$\nabla_{ab} \epsilon = 0 \quad \text{atau} \quad \frac{\partial \epsilon}{\partial a} = 0, \frac{\partial \epsilon}{\partial b} = 0$$

$$\text{atau min JKG} = \min \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2$$

Bentuk persamaan regresi yang digunakan ditentukan dengan melihat pola series data hujan observasi dan data TRMM di seluruh lokasi studi, serta nilai determinasi (R^2) tertinggi yang dihasilkan pada masing-masing persamaan. Bentuk umum persamaan regresi yang digunakan yaitu:

Model regresi linier; $Y_i = a + bX_i + \varepsilon_i$

Model geometrik; $Y_i = aX_i^b + \varepsilon_i$

Model logaritmik; $Y_i = a + b\ln(X_i) + \varepsilon_i$

Model eksponensial; $Y_i = ae^{bX_i} + \varepsilon_i$

dengan;

Y_i = Data hujan observasi (mm)

X_i = Data hujan satelit TRMM (mm)

a = Intersep/perpotongan dengan sumbu tegak

b = Kemiringan.

Faktor koreksi selanjutnya digunakan untuk mengoreksi data TRMM dengan memasukkan data TRMM ke dalam persamaan koreksi yang dihasilkan sehingga diperoleh TRMM terkoreksi.

Analisis Statistika. Analisis statistika dilakukan untuk menghitung nilai korelasi, koefisien determinasi, RMSE (*Root Mean Square Error*), MAE (*Mean Absolute Error*) dan relatif bias antara data hujan observasi, data hujan TRMM sebelum koreksi dan data hujan TRMM setelah koreksi. Hal tersebut untuk mengetahui tingkat keakuratan hasil sebelum dan sesudah dilakukan koreksi terhadap data hujan TRMM. Persamaan yang digunakan;

Root Mean Square Error/(RMSE (akar kuadrat galat)

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (CH_{satelit}(i) - CH_{obs}(i))^2\right)} \dots(4)$$

Mean Absolute Error/MAE (rata-rata galat mutlak);

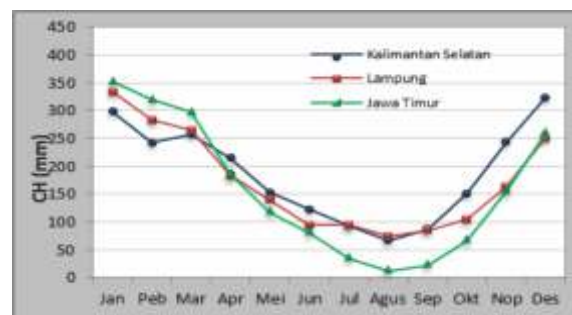
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CH_{satelit}(i) - CH_{obs}(i)| \dots(5)$$

$$Relatif\ Bias = \frac{\sum_{i=1}^N CH_{obs}(i) - CH_{satelit}(i)}{\sum_{i=1}^N CH_{obs}(i)} \times 100 \dots(6)$$

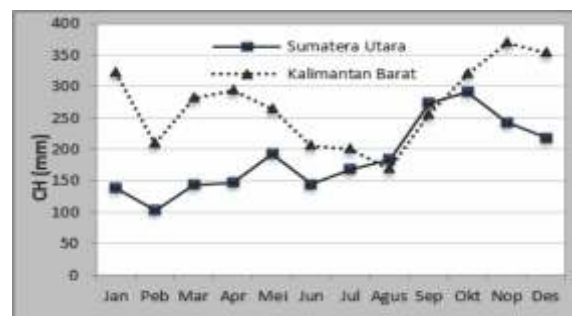
3. Hasil Dan Pembahasan

Pola Hujan. Berdasarkan hasil analisis data secara klimatologis diperoleh tiga pola hujan dominan di wilayah studi, yaitu;

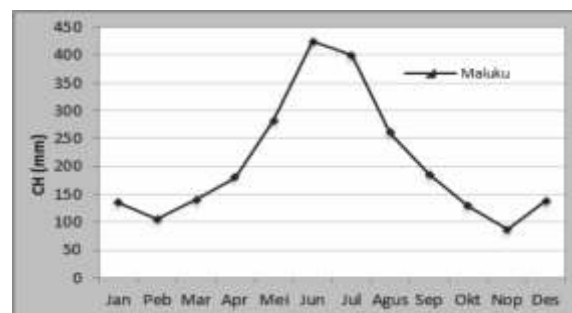
- Pola hujan monsun meliputi wilayah Lampung, Jawa Timur, dan Kalimantan Selatan, dengan satu kali puncak musim hujan (November-April) dan satu kali puncak musim kemarau (Mei-Oktober) (Gambar 1);
- Pola hujan equatorial meliputi wilayah Sumatera Utara dan Kalimantan Barat dengan dua periode puncak hujan yaitu pada bulan Maret-Mei dan Oktober-Nopember (Gambar 2), dan;



Gambar 1. Pola hujan monsun di wilayah Kalimantan Selatan, Lampung dan Jawa Timur.



Gambar 2. Pola hujan equatorial di wilayah Sumatera Utara dan Kalimantan Barat.



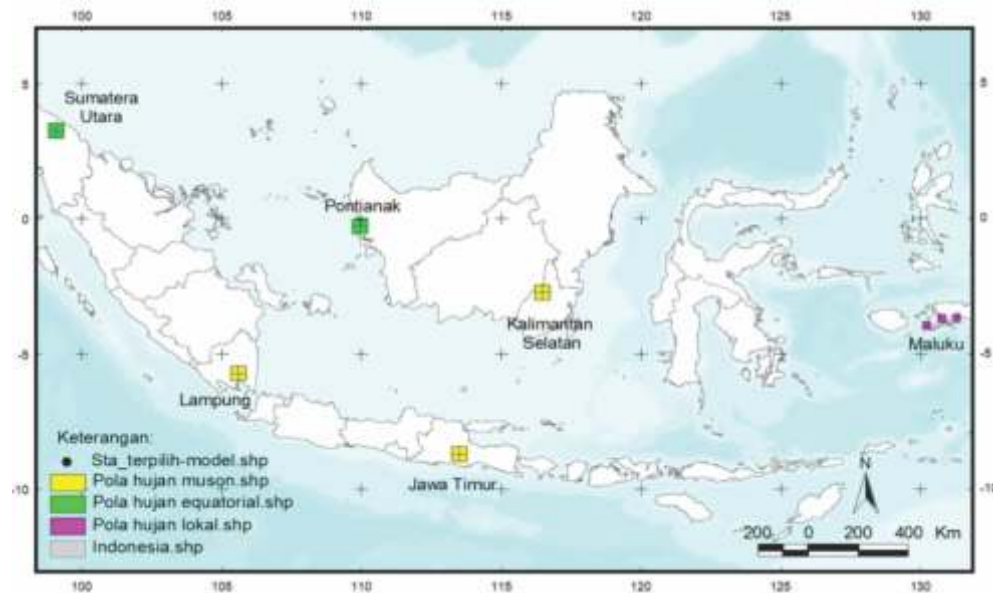
Gambar 3. Pola hujan lokal di wilayah Maluku.

- Pola hujan lokal yang meliputi wilayah Maluku dicirikan dengan satu kali puncak musim hujan dan musim kemarau, dan merupakan kebalikan dari pola hujan monsun (Gambar 3) [2].

Pemilihan stasiun hujan dan grid TRMM. Pemilihan stasiun hujan dan grid TRMM, dilakukan dengan pertimbangan bahwa di dalam setiap grid TRMM minimal terdiri dari satu stasiun hujan. Hal tersebut disebabkan karena luasan area per grid cukup luas, yaitu $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ atau sekitar $27.75 \text{ km} \times 27.5 \text{ km}$. Sedangkan hujan badai di wilayah tropis cenderung terjadi secara lokal atau kurang dari 10 km [9], sehingga dengan semakin banyak stasiun hujan di dalam satu grid, diharapkan semakin dapat merepresentasikan hujan pada setiap grid. Namun untuk wilayah kepulauan, kriteria tersebut sulit dilakukan karena jumlah stasiun pengamatan hujan permukaan sangat sedikit. Oleh karena itu, khusus untuk wilayah kepulauan, dalam hal ini wilayah Maluku, digunakan satu stasiun pada setiap grid TRMM.

Tabel 1. Perbandingan jumlah stasiun dan grid TRMM hasil pemeriksaan dan pemilihan stasiun

No	Wilayah	Pola hujan	Analisis Tahap 1		Analisis Tahap 2		Analisis Tahap 3	
			Total stasiun	Grid	Sta. terpilih (>75%)	Grid	Sta. terpilih	Grid
1	Lampung	Monsun	59	27	38	21	14	4
2	Jawa Timur	Monsun	172	44	40	20	9	4
3	Kalimantan selatan	Monsun	78	27	64	24	17	4
4	Sumatera Utara	Equatorial	88	46	39	22	7	4
5	Kalimantan Barat	Equatorial	87	48	31	26	7	4
6	Maluku	Lokal	7	7	7	7	3	3



Gambar 4. Hasil pemilihan stasiun dan grid TRMM untuk validasi dan koreksi data satelit TRMM.

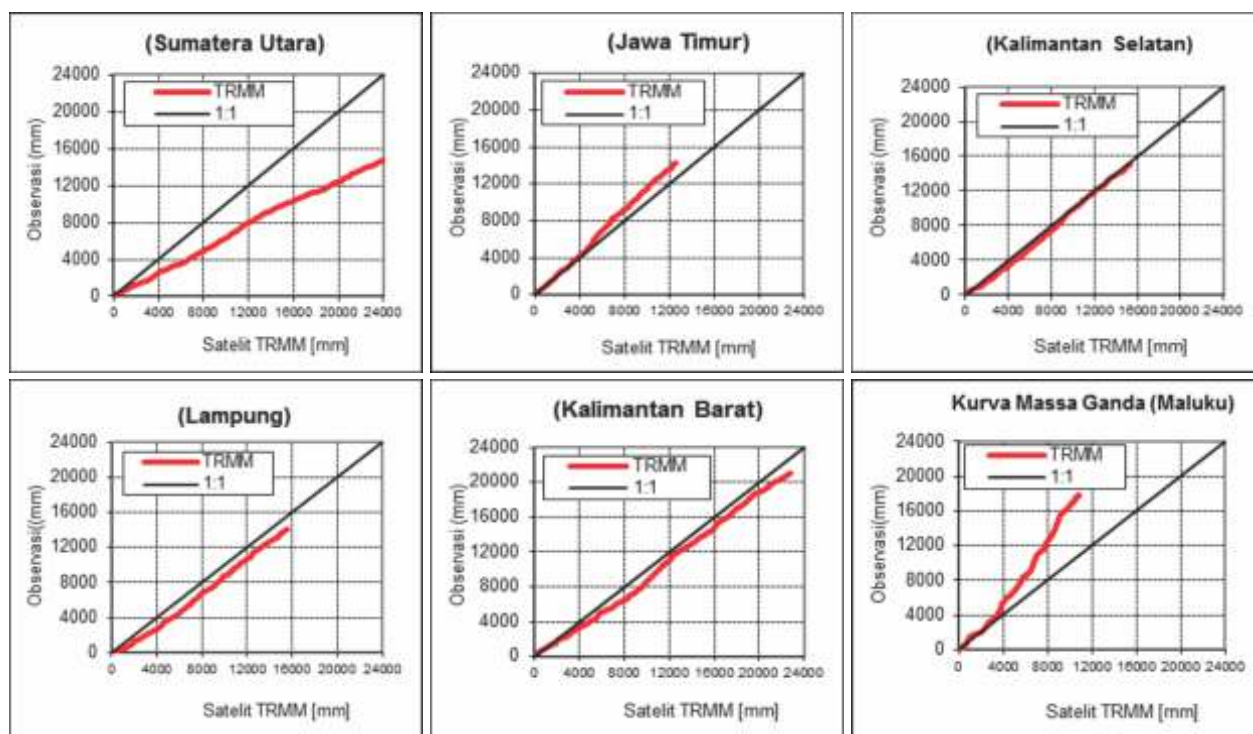
Pemeriksaan dan analisis data stasiun hujan dan grid TRMM di seluruh wilayah studi dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu tahap 1 mem-plot secara spasial seluruh stasiun yang tersedia dan grid TRMM yang ada di wilayah studi, dimana jumlah stasiun tidak dibatasi; tahap 2 memilih stasiun hujan dengan ketersediaan data lebih dari 75 %; dan tahap 3 memilih stasiun serta grid TRMM yang digunakan untuk validasi dan menentukan faktor koreksi data TRMM. Hasil pemeriksaan dan pemilihan stasiun hujan dan Grid TRMM di masing-masing wilayah studi ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat ditunjukkan bahwa untuk setiap wilayah (kecuali Maluku) dipilih grid dengan ukuran sama yaitu 2 x 2 (4 grid). Jumlah stasiun yang digunakan di setiap wilayah berbeda-beda tergantung pada ketersediaan stasiun. Jumlah stasiun untuk wilayah Lampung, Jawa Timur, Kalimantan selatan, Sumatera Utara, Kalimantan Barat dan Maluku berturut-turut sebanyak 14, 9, 17, 7, 7, 3 stasiun. Sedangkan untuk grid yang digunakan, untuk wilayah Lampung, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Sumatera Utara, dan Kalimantan Barat digunakan grid berukuran 2 x 2 dengan total jumlah 4 grid. Namun,

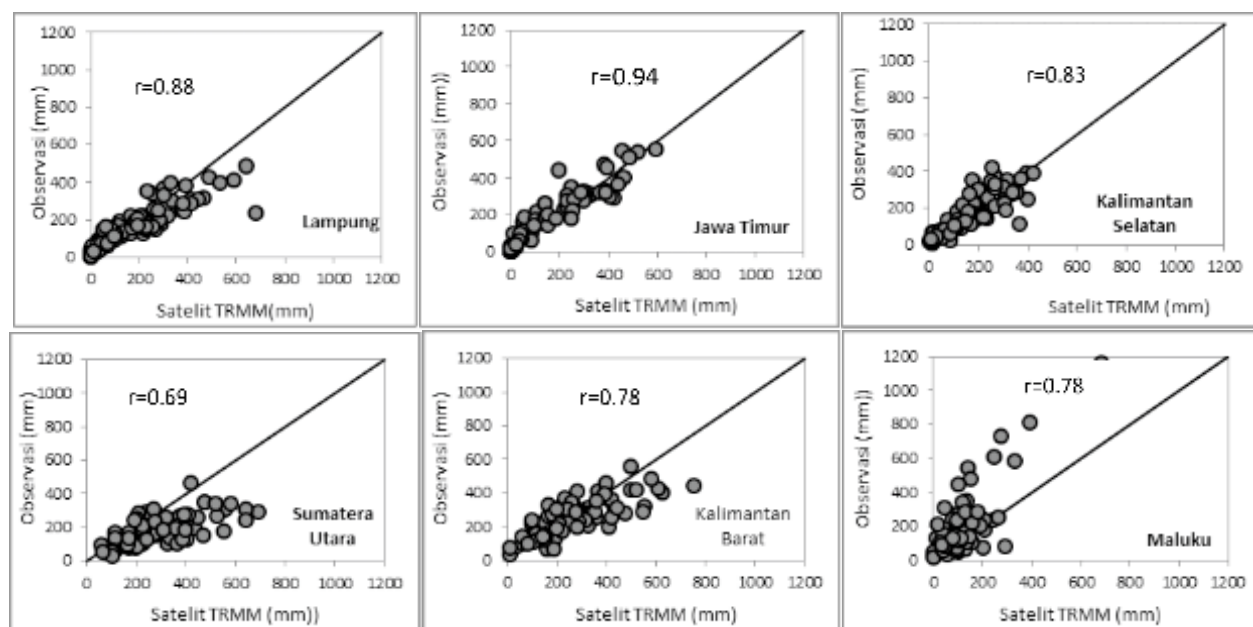
untuk wilayah Maluku hanya menggunakan 3 grid dengan masing-masing grid terdapat satu stasiun. Hal ini disebabkan karena keterbatasan sebaran stasiun hujan di wilayah Maluku. Gambaran spasial hasil pemilihan stasiun grid TRMM dan stasiun yang digunakan dalam analisis ditunjukkan pada Gambar 4.

Validasi Data Observasi dan Satelit TRMM.

Analisis Kurva massa ganda. Analisis kurva massa ganda digunakan untuk melihat keberlanjutan (*continuity*) data dan gambaran besarnya bias antara data observasi dan data satelit TRMM. Gambaran kurva massa ganda untuk enam lokasi ditunjukkan pada Gambar 5. Pada masing-masing lokasi terdapat bias atau perbedaan antara data satelit TRMM terhadap data observasi (Gambar 5). Di wilayah dengan pola hujan monsun (Lampung dan Kalimantan Selatan), intensitas hujan dari data satelit TRMM cenderung lebih tinggi (*overestimate*) dibandingkan hujan observasi, sedangkan untuk wilayah Jawa Timur cenderung lebih rendah (*underestimate*). Di wilayah equatorial (Sumatera Utara dan Kalimantan Barat), data satelit TRMM menunjukkan kecenderungan *overestimate*, sedangkan di wilayah lokal (Maluku) menunjukkan kebalikannya, yaitu *underestimate*.



Gambar 5. Kurva massa ganda curah hujan observasi dan TRMM di seluruh wilayah periode 2003-2009



Gambar 6. Scatterplot curah hujan bulanan observasi terhadap satelit TRMM periode 2003-2009.

Berdasarkan Gambar 5, juga dapat ditunjukkan adanya *breaking point* atau titik perubahan pada kisaran nilai antara 4000-6000, yang terdapat mulai pengamatan sekitar awal tahun 2005 dan cenderung lebih stabil setelah tahun 2005. Hal tersebut juga ditemukan pada penelitian pengamatan hujan menggunakan satelit *near real time*, dimana ditunjukkan performa yang lebih baik terutama untuk model hidrologi setelah tahun 2005 [5,9]. Perubahan ini dimungkinkan karena adanya penggabungan tambahan dalam perhitungan intensitas hujan, yaitu dari instrumen satelit AMSU-B dan AMSR-E [7]. Gambaran diagram pencar

(*scatterplot*) antara data hujan satelit TRMM dengan data hujan observasi di seluruh wilayah (Lampung, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Sumatera Utara dan Maluku) ditunjukkan pada Gambar 6.

Analisis statistik data satelit TRMM dengan data observasi. Analisis statistik dilakukan untuk memvalidasi data satelit TRMM dengan data observasi. Perhitungan terdiri dari nilai korelasi, RMSE, MAE, dan relatif bias yang mempresentasikan sejauh mana ketepatan data hujan satelit TRMM terhadap data hujan observasi dari stasiun hujan

terpilih. Perbandingan nilai korelasi, RMSE, MAE dan relatif bias pada masing-masing wilayah hujan untuk periode 2003-2009 diberikan pada Tabel 2.

Pada analisis tahunan (Tabel 2) dapat ditunjukkan bahwa nilai korelasi antara data satelit TRMM terhadap observasi pada wilayah hujan monsun sangat tinggi, yaitu 0.83-0.94, diikuti di wilayah lokal (0.78) dan equatorial (0.69-0.78). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang cukup kuat antara data satelit TRMM dan data observasi. Nilai RMSE di wilayah dengan pola hujan monsun mempunyai nilai lebih rendah dibandingkan wilayah pola hujan equatorial dan lokal. Di wilayah Lampung, Jawa Timur, dan Kalimantan Selatan, nilai RMSE berturut-turut sebesar 58 mm, 63 mm dan 84 mm. Selanjutnya di wilayah Kalimantan Barat dan Sumatera Utara adalah sebesar 97 mm dan 158 mm, sedangkan di Maluku sebesar 173 mm. Demikian halnya dengan nilai MAE dan relatif bias, di wilayah pola hujan monsun mempunyai nilai MAE yang lebih rendah dibandingkan dua pola hujan lainnya, berturut-turut yaitu wilayah Kalimantan Selatan (3 mm), Lampung (17 mm), Jawa Timur (20 mm), Kalimantan Barat (20 mm), Maluku (84 mm), Sumatera Utara (116 mm).

Analisis faktor koreksi data TRMM. Faktor koreksi data TRMM ditentukan berdasarkan nilai determinasi tertinggi masing-masing bentuk persamaan regresi dan melihat *scatterplot* antara curah hujan keluaran satelit TRMM dengan curah hujan observasi (Gambar 6). Nilai R^2 tertinggi di wilayah hujan monsun adalah bentuk geometrik, yaitu Lampung (0.82), Kalimantan Selatan (0.79), kecuali Jawa Timur R^2 tertinggi adalah bentuk linear (0.89). Di wilayah hujan Equatorial, nilai R^2 tertinggi adalah bentuk *geometrik*, yaitu Sumatera Utara (0.54) dan Kalimantan Barat (0.64), sedangkan wilayah hujan lokal adalah bentuk linear, sebesar 0.606. Sehingga bentuk persamaan yang digunakan untuk koreksi data satelit TRMM di wilayah pola hujan monsun dan equatorial adalah bentuk geometrik,

sedangkan di wilayah pola hujan lokal bentuk linear. Faktor koreksi (nilai a dan b) dihasilkan dari metode kuadrat terkecil dengan meminimalkan nilai galat pada masing-masing bentuk persamaan.

Bentuk persamaan regresi dan faktor koreksi untuk wilayah pola hujan monsun, equatorial dan lokal ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan hasil perbandingan curah hujan TRMM sebelum dan setelah dikoreksi pada wilayah dengan pola hujan monsun, equatorial, dan lokal disajikan pada Tabel 4.

Perbandingan antara data curah hujan dari pengamatan satelit TRMM dan data observasi permukaan pada tiga pola hujan berbeda menunjukkan performa berbeda. Pada wilayah dengan pola hujan monsun dimana variasi musiman dipengaruhi oleh kejadian monsun barat dan tenggara, data satelit TRMM menunjukkan hasil yang cukup tepat baik dari sisi pola bulannya maupun dari intensitas hujan. Umumnya, hujan *overestimate* di wilayah pola hujan monsun terdapat pada musim hujan dan cukup mendekati pengamatan observasi pada musim kemarau dan musim peralihan [17, 9, 10]. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh kejadian monsun yang relatif stabil sepanjang tahun di wilayah Indonesia. Berbeda dengan dua wilayah pola hujan lainnya, yaitu pola equatorial dan lokal, data satelit TRMM menunjukkan kecenderungan *overestimate* yang cukup tinggi (walaupun pola bulanan mengikuti pola observasi). Hal ini dimungkinkan akibat variasi dan intensitas hujan yang cukup tinggi sepanjang tahun dimana tipe hujan konvektif dan stratiform juga cukup tinggi [17]. Namun pada musim kemarau, pada pola equatorial dan lokal, intensitas hujan dari satelit TRMM menunjukkan cukup mendekati intensitas hujan observasi. Hal tersebut disebabkan karena jumlah pantulan hujan yang ditangkap oleh sensor TRMM pada musim kemarau lebih sedikit akibat intensitas hujan yang lebih rendah sehingga hasil pengukurannya lebih mudah dilakukan.

Tabel 2. Perbandingan nilai korelasi, RMSE, MAE dan relatif bias untuk data observasi dan TRMM periode 2003-2009 di masing-masing wilayah

No	Wilayah	CH Tahunan		TRMM-Obs	RMSE	r	R^2	MAE	Relatif Bias (%)
		Obs	TRMM						
1	Lampung	2014	2217	203	84	0.88	0.77	17	-10
2	Jawa Timur	2037	1792	-244	58	0.94	0.89	20	12
3	Kalimantan Selatan	2160	2193	33	63	0.83	0.69	3	-2
4	Sumatera Utara	2171	3563	1392	158	0.69	0.47	116	-64
5	Kalimantan Barat	3012	3253	240	97	0.78	0.60	20	8
6	Maluku	2552	1542	-1011	173	0.78	0.61	84	-40

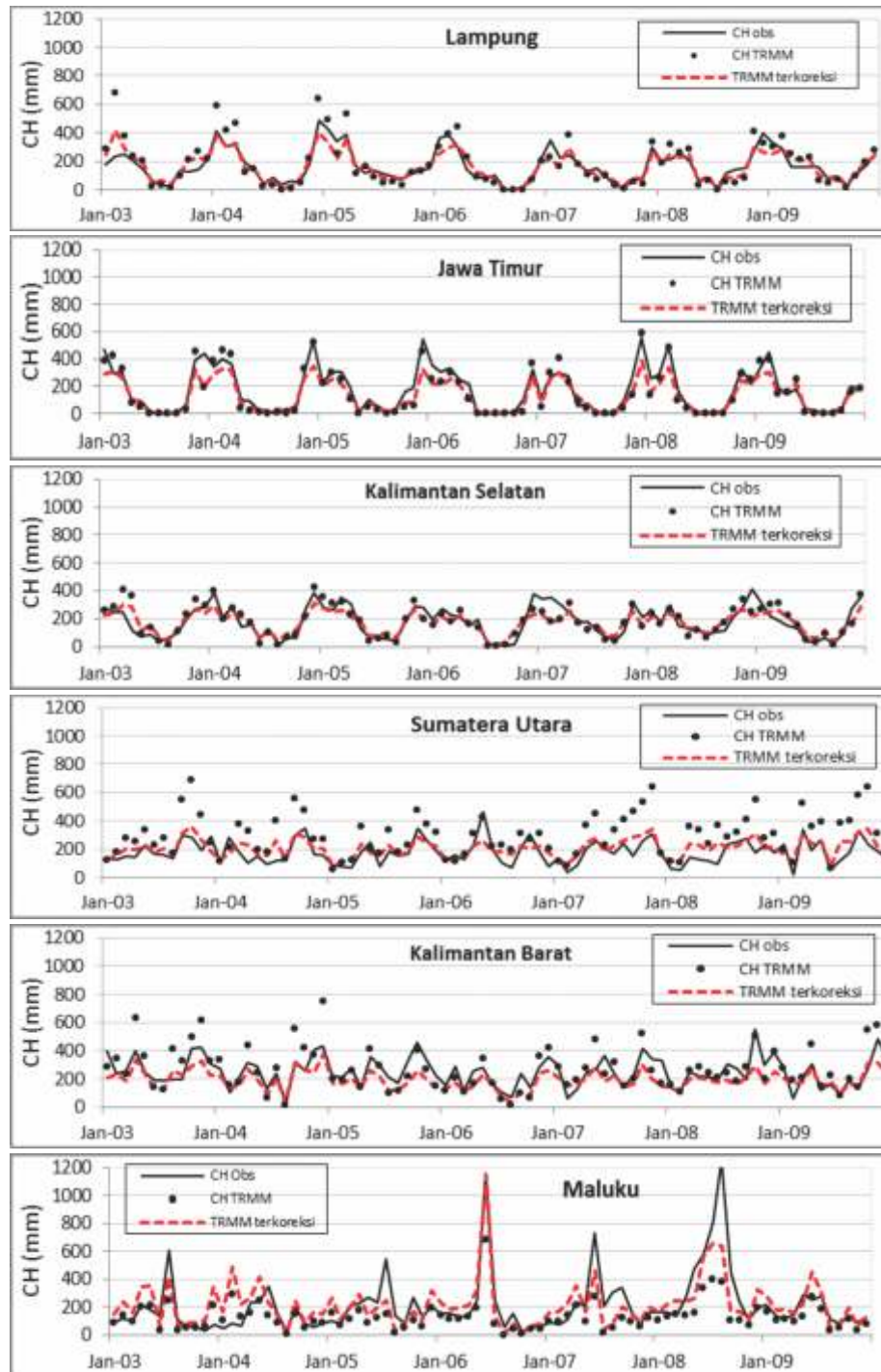
Tabel 3. Bentuk persamaan regresi dan faktor koreksi TRMM

Pola hujan	Nilai a	Nilai b	Bentuk persamaan regresi
Monsun	7.094	0.625	$Y = 7.094 X^{0.625}$
Equatorial	6.849	0.605	$Y = 6.849 X^{0.605}$
Lokal	0.118	1.672	$Y = 0.118 + 1.672X$

Keterangan Y = CH TRMM terkoreksi; X = CH TRMM

Tabel 4. Perbandingan analisis statistika data TRMM sebelum dan sesudah koreksi

No	Wilayah	CH Obs (mm/thn)	TRMM						TRMM Koreksi						Perbandingan RMSE
			CH (mm/thn)	TRMM- Obs	RMSE	r	MAE	Relatif Bias	CH (mm/thn)	TRMM- Obs	RMSE	r	MAE	Relatif Bias	
1	Lampung	2014	2217	203	84	0.88	17	10	1999	-15	50	0.90	1	-1	-34
2	Jawa Timur	2037	1792	-244	58	0.94	20	-12	1587	-449	69	0.95	37	-22	11
3	Kalimantan Selatan	2160	2193	33	63	0.83	3	2	2083	-77	61	0.84	6	-4	-2
4	Sumatera Utara	2171	3563	1392	158	0.69	116	64	2500	329	66	0.70	27	15	-92
5	Kalimantan Barat	3012	3253	240	97	0.78	20	8	2346	-666	87	0.79	56	-22	-10
6	Maluku	2552	1542	-1011	154	0.79	78	-37	2579	26	135	0.78	2	1	-19



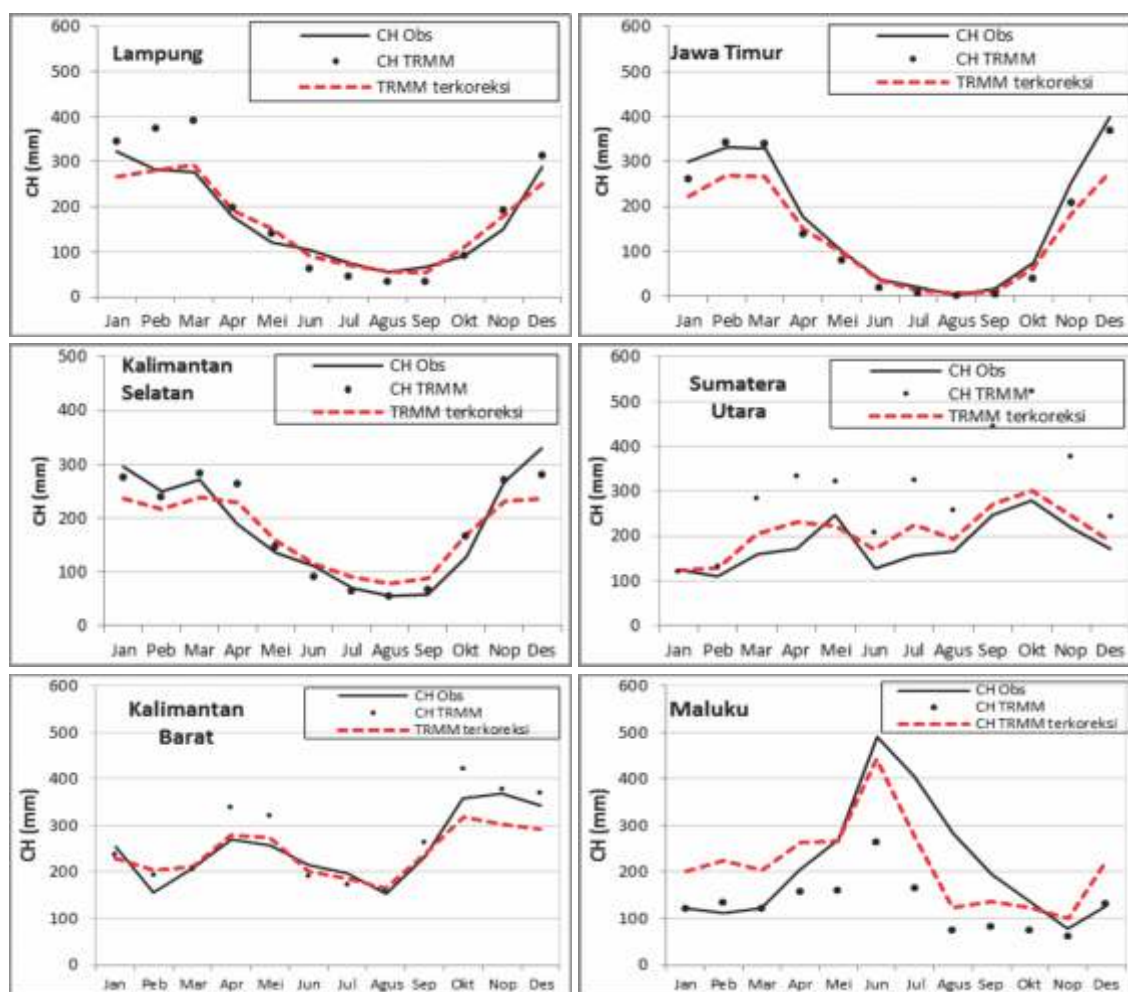
Gambar 7. Perbandingan pola hujan observasi, TRMM sebelum dikoreksi (TRMM) dan setelah dikoreksi (TRMM koreksi) di wilayah kajian.

Evaluasi Curah Hujan TRMM Sebelum dan Sesudah Koreksi.

Pola hujan monsoon. Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pada wilayah dengan pola hujan monsun, hasil koreksi data satelit TRMM menunjukkan terdapat penurunan nilai RMSE untuk wilayah Lampung dan Kalimantan Selatan berturut-turut sebesar 34 mm (penurunan 40.5%) dan 2 mm (penurunan 3.17%). Sedangkan untuk Jawa Timur, diperoleh peningkatan nilai RMSE sebesar 11 mm (meningkat 18.9%). Untuk nilai korelasi (r) terdapat peningkatan setelah data TRMM dikoreksi untuk wilayah Lampung sebesar 0.02 (2%), Jawa Timur sebesar 0.01 (1%), dan Kalimantan Selatan sebesar 0.01 (1%). Nilai MAE dan relatif bias di Wilayah Lampung setelah dikoreksi, mengalami penurunan sebesar 16 mm dan 9 %. Di wilayah Jawa Timur, nilai MAE dan relatif bias mengalami peningkatan yaitu masing-masing sebesar 17 mm dan 10 %, demikian halnya di wilayah Kalimantan Selatan nilai MAE dan relatif bias juga meningkat masing-masing sebesar 3 mm dan 2 %. Hasil serupa juga diperoleh untuk analisis data TRMM, dimana bias koreksi mereduksi perbedaan curah hujan antara data satelit TRMM dan data observasi di musim kemarau dengan rata-rata sebesar 77mm, dan curah hujan tahunan dengan reduksi sebesar 15% [9].

Di wilayah pola hujan monsun, intensitas hujan keluaran TRMM setelah dikoreksi mengalami penurunan dan lebih mendekati intensitas hujan data observasi, terutama pada musim kering yaitu Mei-September (Gambar 7). Sedangkan pada Gambar 8 dimana terlihat curah hujan rata-rata bulanan di wilayah pola hujan monsun, intensitas hujan satelit TRMM setelah dilakukan koreksi menjadi lebih mendekati hujan observasi terutama pada saat musim kemarau (Mei-September).

Namun, pada wilayah Kalimantan Selatan, intensitas hujan satelit TRMM pada musim kemarau menjadi *overestimate* setelah dikoreksi. Pada musim hujan, di wilayah Lampung, intensitas hujan satelit TRMM setelah dilakukan koreksi, menjadi lebih mendekati hujan observasi. Sedangkan di Jawa Timur dan Kalimantan Selatan, intensitas hujan satelit TRMM setelah dikoreksi menjadi *underestimate*. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan satu faktor koreksi untuk lokasi berbeda pada pola hujan monsun, menghasilkan keluaran yang tidak konsisten pada lokasi studi terutama di wilayah Kalimantan Selatan, baik pada musim kemarau maupun musim hujan.



Gambar 8. Perbandingan pola rata-rata bulanan antara hujan observasi, TRMM sebelum dikoreksi dan setelah dikoreksi

Pola hujan equatorial.

Pada wilayah pola hujan equatorial, nilai RMSE hasil koreksi menunjukkan penurunan sebesar 27 mm (58.2%) di Sumatera Utara dan 56 mm (10.3%) di Kalimantan Barat. Sedangkan untuk nilai koefisien korelasi, hasil koreksi menunjukkan terjadinya peningkatan koefisien korelasi dari 0.69 menjadi 0.70 atau meningkat sebesar 0.01 (1%) di Sumatera Utara, dan meningkat dari 0.78 menjadi 0.79 atau meningkat sebesar 0.01 (1%) di Kalimantan Barat.

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh intensitas hujan sepanjang tahun dari satelit TRMM lebih mendekati hujan observasi setelah dilakukan koreksi terutama di wilayah Sumatera Utara. Jumlah curah hujan tahunan satelit TRMM setelah dikoreksi mengalami penurunan cukup signifikan, yaitu menurun dari 3563 mm/thn menjadi 2500 mm/thn di Sumatera Utara dan dari 3253 mm/thn menjadi 2346 mm/thn di Kalimantan Barat (Tabel 4). Sedangkan berdasarkan analisis rata-rata bulanan (Gambar 8), intensitas hujan satelit TRMM menjadi lebih mendekati hujan observasi setelah dilakukan koreksi terutama pada musim kemarau (Juni-Agustus) dan (Desember-Februari). Secara keseluruhan, pada wilayah pola hujan equatorial, data satelit TRMM setelah koreksi menjadi lebih mendekati hujan observasi baik pada musim hujan (April-Mei) dan (Oktober-Nopember) maupun musim kemarau (Juni-Agustus) dan (Desember-Februari).

Pola hujan lokal. Di wilayah hujan lokal, hasil koreksi data satelit TRMM menunjukkan nilai RMSE, MAE dan relatif bias mengalami penurunan (Tabel 4). Berdasarkan Tabel 4 ditunjukkan bahwa nilai RMSE sesudah koreksi mengalami penurunan dari 154 mm menjadi 135 mm atau sebesar 20 mm (12.3%). Nilai MAE dan relatif bias juga menunjukkan penurunan, yaitu nilai MAE menurun dari 78 mm menjadi 2 mm dan nilai relatif bias menurun dari 37 % menjadi 19 %. Nilai korelasi di wilayah pola hujan lokal, mengalami penurunan 1%.

Pada Gambar 7 dapat ditunjukkan bahwa di wilayah pola hujan lokal, secara keseluruhan intensitas hujan data satelit TRMM setelah dilakukan koreksi menunjukkan lebih mendekati hujan observasi pada puncak musim hujan (Juni-Juli) pada beberapa periode pengamatan, namun menjadi *overestimate* pada musim kemarau (November – April).

4. Kesimpulan

Perbandingan data hujan satelit TRMM terhadap data observasi menunjukkan pada wilayah dengan pola hujan monsun, pola dan intensitas data satelit TRMM cukup mendekati data hujan observasi. Pada wilayah pola hujan equatorial, data satelit TRMM menunjukkan *overestimate* yang cukup besar pada musim hujan terutama pada bulan puncak hujan sedangkan pada wilayah lokal, data satelit TRMM

cenderung *underestimate* pada musim hujan dan cukup dekat dengan data observasi pada musim kemarau.

Validasi data satelit TRMM terhadap data observasi menunjukkan nilai korelasi tinggi di wilayah pola hujan monsun (>0.80), cukup tinggi pada pola equatorial (>0.60) dan pola lokal (>0.75). Nilai RMSE lebih rendah di wilayah pola hujan monsun (RMSE = 58-84), dibandingkan wilayah pola hujan equatorial (RMSE=97-158) dan lokal (RMSE=173).

Faktor koreksi data satelit TRMM di wilayah pola hujan monsun dan equatorial mempunyai bentuk geometrik, sedangkan pola hujan lokal mempunyai persamaan linear. Setelah dilakukan koreksi, dihasilkan penurunan nilai galat dan peningkatan nilai korelasi antara curah hujan keluaran TRMM dan curah hujan observasi. Setelah dilakukan koreksi, diperoleh galat data satelit menurun di wilayah pola hujan monsun (antara 3.17 % - 40.3%), pola hujan equatorial (antara 10%-58%), dan pola lokal 12.3%. Nilai korelasi setelah dilakukan koreksi meningkat di wilayah pola monsun dan equatorial sebesar 1-2%, sedangkan di wilayah lokal mengalami penurunan sebesar 1%.

Daftar Pustaka

- [1] Tjasyono, B., R. Gernowo, Haridjono, & S.B., Ina, J. (2008). The Character of Rainfall in the Indonesian Monsoon. *Proceeding of the International Symposium on Equatorial Monsoon System*, 5, 8-17.
- [2] Aldrian, E., & Susanto, R.D. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *Int. Journal of Climatology*, 23, 1435–1452.
- [3] Swarinoto, Y., & Makmur, E.E.S. (2009). Simulasi Prediksi Probabilitas Musim Hujan dan Panjang Musim Hujan di Ambon. *Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5, 349-353.
- [4] Moron, V., Robertson, A.W., & Boer, R. (2009). Spatial Coherence and Seasonal Predictability of Monsoon Onset over Indonesia. *Journal of Climate*, 22, 840-850.
- [5] Su, F., Hong, Y., Lettenmaier, D.P. (2008). Evaluation of Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9, 622-640.
- [6] Huffman, G.J., Adler, R.F., Bolvin, D.T., Gu, G., Nelken, E.J., Bowman, K.P., et.al. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fines Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38-55.

- [7] Huffman, G.J., & David, T.B. (2011). TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation. Laboratory for Atmosphere, NASA Goddard Space Flight Center and Science Systems and Applications, Inc.
- [8] Ozawa, G., Inomata, H., Shiraishi, Y., & Fukami, K. (2011). Applicability of GSMap Correction Method to Typhoon “Morakot” in Taiwan. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE* 55.
- [9] Vernimmen, R.R.E., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., & Van Dijk, A.I.J.M. (2012). Evaluation and Bias Correction of Sattellite Rainfall Data for Drought Monitoring in Indonesia. *Hydrology and Earth System Science*, 16, 133-146.
- [10] As-Syakur, A.R., Tanaka, T., Prasetya, R., Swardika IK, Kasa IW. (2011). Comparison of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Products and Daily-Monthly Gauge Data Over Bali. *Int. Journal of Remote Sensing*, 32: 8969-8982.
- [11] Rozante, J.R., Moreira, S., De Gonzales, L.S.G., & Vila, D.A. (2010). Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation Technique and Validation over South America. *Weather and Forecasting*, 25, 885-894.
- [12] Oktavariani, D. (2008). *Evaluasi Ketepatan Luaran Data CMORPH Untuk Interpolasi Data Hujan di Indonesia*. Skripsi, Fakultas MIPA: Institut Pertanian Bogor.
- [13] Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM Rainfall Climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research*, 99, 400-4014.
- [14] Prasetya R, Osawa T, Adhyana IWS, As-syakur AR. (2011). Validation of Monthly Rainfall Based on the TRMM Precipitation Radar Satellite Data Over Region of Indonesia. Di dalam: *Proceeding of the 2nd CreSOS International Sysposium on South East Asia Environmental Problems and Satellite Remote Sensing*; Denpasar, 21-22 Pebruari 2011.
- [15] Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, T.C., Stocker, E., et.al.(2000). The Status of the Tropical Rainfall Measuring Misson (TRMM) after Two Years in Orbit. American Meteorology Society. *Journal of Meteorology*, 39, 1956-1982.
- [16] Walpole, R.E. (1993). Pengantar Statistika. Jakarta: Penerbit PT.Gramedia Pustaka Utama,.
- [17] Prasetya R, Osawa T, As-syakur AR. (2012). Validation of TRMM Precipitation Radar Satellite Data over Indonesia Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 109. Doi 10.1007/s00704-012-0756-1.