

## KETIDAKPASTIAN ESTIMASI CURAH HUJAN SATELIT TRMM. STUDI KASUS: DAS CITARUM

M. RIDHO SYAHPUTRA\*<sup>1</sup>, FAIZ R. FAJARY<sup>1</sup>, EDI RIAWAN<sup>1</sup>, RUSMAWAN SUWARMAN<sup>1</sup>, HENGKI EKO PUTRA<sup>2</sup>

1. Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.
2. PT. Reasuransi MAIPARK Indonesia, Jakarta, Indonesia.

\*Email: [ridho108@office.itb.ac.id](mailto:ridho108@office.itb.ac.id)

**Sari** – *Dataset* curah hujan (CH) dengan resolusi spasial dan temporal yang baik diperlukan oleh berbagai sector seperti sektor manajemen sumber daya air dan bencana hidrologi. Namun, pengamatan CH secara langsung di permukaan seringkali tidak lengkap dan tidak merata. Sumber alternatif data CH lainnya dapat diperoleh dari estimasi CH oleh satelit (penginderaan jauh). Namun, estimasi satelit memiliki kesalahan dan ketidakpastian yang berpotensi mempengaruhi aplikasi selanjutnya yang menggunakan data hujan. Oleh karena itu, penting untuk mengukur ketidakpastian estimasi CH satelit untuk memberikan informasi tambahan bagi pengguna mengenai keandalan data. Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan *ensemble Dataset* CH yang mampu mengkuantifikasi ketidakpastian produk estimasi CH TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 3B43v7. *Dataset CH ensemble* ini dapat digunakan untuk memberikan informasi tentang distribusi *error* dan estimasi peluang CH dari estimasi satelit TRMM. Dalam kajian ini juga ditunjukkan pemanfaatan *dataset CH ensemble* dalam mengkuantifikasi ketidakpastian dalam analisis CH ekstrim menggunakan pendekatan periode ulang dan *Probable Maximum Precipitation* (PMP).

**Kata kunci:** estimasi satelit, TRMM, ketidakpastian, Monte Carlo, *ensemble*

**Abstract** - *A rainfall Dataset with good spatial and temporal resolutions is required for various applications, such as hydrological disaster and management. However, ground-based observations of rainfall are often incomplete and unevenly distributed. Another alternative source of rainfall comes from satellite estimation (remote sensing). However, the estimation has errors and uncertainties, which in turn affects subsequent applications. Therefore, it is important to quantify the uncertainty of rainfall estimation to provide additional information for users regarding reliability of the data. In this study a Monte Carlo simulation has been carried out to produce an ensemble rainfall Dataset that is able to quantify the uncertainty of the TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 3B43v7 rainfall estimation product. This ensemble rainfall Dataset can be used to provide information on error distribution of satellite estimation. This study also demonstrates the use of ensemble rainfall Dataset in quantifying uncertainty in extreme rainfall analysis using the return period approach and Probable Maximum Precipitation (PMP).*

**Key words:** *satellite estimation, TRMM, uncertainty, Monte Carlo, ensemble*

### 1. PENDAHULUAN

Curah hujan (CH) merupakan salah satu variabel meteorologi yang penting terutama bagi sektor manajemen sumber daya air. Berbagai kajian telah menunjukkan pentingnya manajemen sumber daya air untuk mendukung sektor-sektor lain yang berkaitan langsung dengan aktivitas manusia, seperti konsumsi air minum, pertanian, industri, analisa risiko bencana hidrometeorologi, (mis. WMO, 2009a; Balbo dkk, 2019; Junnaedhi., dkk 2017; Pratama., dkk 2017). Oleh karenanya, mengestimasi jumlah air yang tersedia dan mengkuantifikasi ketidakpastian dalam estimasi tersebut menjadi salah satu usaha yang penting dilakukan. Usaha untuk mengestimasi

ketersediaan air tentu saja tidak dapat dilakukan tanpa mengetahui dengan tepat bagaimana variabilitas spasial dan temporal dari CH.

Penakar hujan, baik otomatis maupun manual, masih menjadi perangkat utama untuk mengukur jumlah CH yang mencapai permukaan tanah (Lubis dkk., 2022). Namun, keterbatasan stasiun pengamatan menjadi kendala dalam memperoleh sebaran data CH secara spasial dan temporal dengan cukup baik. Sementara sudah umum diketahui bahwa banyak aplikasi-aplikasi di berbagai sektor terutama hidrologi yang bergantung pada ketersediaan data CH yang lengkap, baik

secara spasial maupun temporal (mis. Riawan dkk., 2018).

Saat ini, perkembangan teknologi di bidang penginderaan jauh telah banyak menambah ketersediaan data CH dalam skala global maupun regional (Rusmanansari dkk., 2022, Lubis dkk., 2022). Sebagai contoh, *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) telah menjalankan misi pengamatan CH melalui satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (Huffman dkk., 2007). *Dataset* yang dihasilkan memiliki kelebihan utama dibandingkan dengan data CH dari stasiun pengamatan di permukaan terutama dalam cakupan dan resolusi spasial yang cukup baik serta ketersediaan data secara temporal yang terus-menerus. Namun, estimasi CH melalui satelit memiliki kekurangan yang cukup signifikan. *Dataset* estimasi CH yang berasal dari satelit mengandung ketidakpastian dari berbagai sumber, diantaranya: estimasi yang dilakukan melalui reflektansi oleh puncak awan, radiasi termal, algoritma pengambilan data dan lain-lain (Chang dan Chiu, 1997; Morrissey dan Greene, 1998). Kontribusi dari masing-masing sumber *error* terakumulasi menjadi *error* total yang merepresentasikan ketidakpastian dalam hasil estimasi CH melalui satelit. *Error* atau ketidakpastian tersebut akan diikutsertakan ketika *dataset* ini digunakan sebagai input dari aplikasi-aplikasi lainnya, seperti analisis hidrologi, yang mengakibatkan *error* yang signifikan dari keluaran aplikasi-aplikasi tersebut (mis. Hossain dan Anagnostou, 2004; Tian dkk., 2007). Oleh karenanya, usaha untuk mengkuantifikasi ketidakpastian dari data estimasi CH melalui satelit menjadi penting untuk dilakukan (AghaKouchak dkk., 2009).

Banyak kajian yang telah dilakukan untuk mengevaluasi dan memperbaiki akurasi dari estimasi CH dari satelit, termasuk produk estimasi dari TRMM (mis. Hong dkk., 2004; Tian dkk., 2007; Villarini dan Krahewsj, 2007). Pendekatan yang dilakukan umumnya berupa koreksi bias dengan menggunakan data CH pengamatan di permukaan sebagai data referensi (mis. Habib dkk., 2009). Pendekatan lainnya adalah dengan menggunakan teknik

simulasi stokastik untuk mengukur ketidakpastian dari hasil estimasi satelit (AghaKouchak dkk., 2009 dan Sarachi dkk., 2015). Pendekatan stokastik ini lah yang akan disampaikan dalam kajian ini. Produk estimasi CH dari satelit yang digunakan dalam kajian ini adalah produk TRMM 3B42 versi ke-7 dengan resolusi spasial 0,25 dan resolusi temporal 3 jam-an selama 17 tahun (1998-2014). Dalam kajian ini digunakan simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan estimasi CH *ensemble* berdasarkan model distribusi *error* antara CH estimasi satelit dan CH pengukuran di permukaan. *Ensemble* CH tersebut digunakan untuk mengukur ketidakpastian dari produk TRMM 3B43 v7 dalam bentuk CH probabilistik dan sebaran (*spread*) estimasi CH di wilayah kajian.

## 2. DATA DAN METODE

### 2.1 DATA

Dalam penelitian ini digunakan dua sumber data CH: primer dan skunder. Data primer yang digunakan adalah data observasi permukaan CH per-jam yang dikumpulkan dari berbagai sumber, antara lain Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Pusat Litbang Sumber Daya Air (PUSAIR), dan *Global Summary of The Day* (GSOD). Data BMKG dan PUSAIR diperoleh langsung dari stasiun-stasiun pengamatan cuaca atau pos-pos hujan milik kedua badan tersebut. Sementara data GSOD merupakan kumpulan data yang dipertukarkan di bawah pengawasan *World Meteorological Organization* (WMO) *World Weather Watch Program* berdasarkan *WMO Resolution 40* (Cg-XII) yang dapat diakses secara bebas pada tautan berikut:

- <http://www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/res40.pl?page=gsod.html>
- <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sod>.

Data observasi permukaan yang digunakan adalah beberapa stasiun pengamatan dengan resolusi pengamatan per 3 jam yang detailnya ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Daftar stasiun observasi permukaan

No	Nama Stasiun	Periode data
1	Citeko	2 Jan 2000 – 28 Feb 2011
2	Cilember	1 Jan 2003 – 31 Des 2012

No	Nama Stasiun	Periode data
3	Dramaga	2 Jan 1998 – 30 Apr 2008
4	Cemara Bandung	1 Jan 2001 – 1 Jan 2008

Data sekunder yang digunakan adalah data satelit TRMM *Multisatellite Precipitation Analysis* (TMPA), atau disebut juga TRMM 3B42 dengan versi terbaru, yaitu versi 7 (3B42V7). Algoritma 3B42 menghasilkan CH dari TRMM yang digabung dengan *High Quality* (HQ)/*Infrared* (IR) dan estimasi *error* CH dengan metode *root-mean-square* (RMS). Data 3B42 dihasilkan dari empat tahapan, yaitu: (1) kalibrasi dan kombinasi presipitasi dari *microwave*, (2) estimasi presipitasi dari *infrared* yang dihasilkan dari presipitasi *microwave*, (3) kombinasi estimasi dari *microwave* dan *IR*, (4) penskalaan ulang untuk data bulanan (Huffman, dkk., 2007). Deskripsi data TRMM 3B42V7 dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Deskripsi TRMM 3B42V7

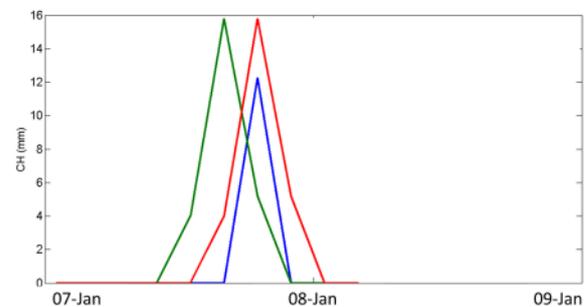
Cakupan Temporal	01-01-1998 hingga 31-05-2015
Cakupan Geografis	50°LS-50°LU dan 180°BB-180°BT
Resolusi Temporal	3-jam
Resolusi Horizontal	0,25° x 0,25°; nlat = 400, nlon = 1440
Rata-rata ukuran data	<i>Compressed</i> : ~0,71MB; <i>Original</i> : ~11MB
Format Data	HDF

Data pengamatan di stasiun-stasiun Citeko, Cilember, dan Dramaga digunakan untuk membangun model ketidakpastian dalam data TRMM. Sedangkan data stasiun Cemara-Bandung digunakan untuk menguji model ketidakpastian tersebut.

## 2.2 METODE

Sebelum dilakukan pembangunan model distribusi *error*, ditemukan bahwa fase antara data observasi permukaan dengan data satelit tidak bersesuaian. Gambar 1. menunjukkan bahwa data pengamatan permukaan

mendahului data pengamatan satelit. Hal ini akan mengakibatkan munculnya kesalahan saat menentukan distribusi *error*. Sehingga, pergeseran salah satu data (baik observasi permukaan atau satelit) perlu dilakukan. Dalam penelitian ini data observasi permukaan yang digeser dengan referensi data observasi satelit. Data satelit dijadikan referensi karena nantinya model kuantifikasi *error* akan diterapkan pada data satelit. Pada Gambar 1. juga ditunjukkan contoh hasil koreksi fase data observasi dari stasiun Citeko. Setelah dilakukan pergeseran fase, data observasi memiliki fase yang sama dengan data satelit TRMM.



**Gambar 1.** Contoh hasil pergeseran fase data observasi di stasiun Citeko pada tanggal 7-8 Januari 2000 (waktu lokal). Garis biru, hijau, dan merah berturut-turut menunjukkan data satelit TRMM, data observasi sebelum dilakukan pergeseran fase, dan data observasi setelah dilakukan pergeseran fase.

Untuk langkah selanjutnya, kuantifikasi *error* pada data TRMM di penelitian ini menggunakan modifikasi dari metode yang diajukan oleh AghaKouchak, dkk. (2009). AghaKouchak, dkk. (2009) membangun sebuah model stokastik yang mampu menghasilkan sebaran spasial *error ensemble* yang merepresentasikan ketidakpastian dalam data TRMM. Nilai *error* ini kemudian digabungkan dengan data TRMM asli untuk memperoleh sekumpulan *ensemble* data CH TRMM. Setiap anggota *ensemble* merepresentasikan kejadian hujan yang mungkin terjadi.

Sebelum menyusun model ini, langkah awal yang dilakukan adalah mengeliminasi bias

total antara data observasi dan TRMM. Bias ini dihitung dengan menggunakan Persamaan 1:

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n P_{obs,i}}{\sum_{i=1}^n P_{sat,i}^*} \quad (1)$$

dimana:

- $\beta_1$  : bias total
- $P_{obs}$  : data observasi
- $P_{sat}^*$  : data TRMM
- $n$  : jumlah sampel

Bias total kemudian dieliminasi dengan Persamaan 2, yaitu:

$$P_{sat} = P_{sat}^* \times \beta_1 \quad (2)$$

dimana  $P_{sat}$  adalah data TRMM setelah koreksi bias total.

Model stokastik yang disusun terdiri atas dua parameter *error* yang digunakan untuk menjelaskan ketidakpastian dalam data TRMM, yaitu  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  (Persamaan 3) yang berturut-turut merepresentasikan komponen *error* yang proposional dengan besaran intensitas CH (*rainrates*) dari TRMM dan merepresentasikan *error* acak.

$$P_{sim} = P_{sat} + P_{sat} \times \epsilon_1 + \epsilon_2 \quad (3)$$

Suku persamaan  $P_{sat} \times \epsilon_1$  merupakan *error* yang ditambahkan dengan tujuan memberi perturbasi pada data CH TRMM. Parameter  $\epsilon_1$  dan  $\epsilon_2$  sendiri bisa didekati oleh standar deviasi  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$  sebagai parameter yang mengukur ketidakpastian.

Parameter ketidakpastian tersebut ( $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$ ) diestimasi berdasarkan pasangan data observasi dan data TRMM. Estimasi dilakukan dengan menerapkan metode *maximum likelihood estimator* (MLE) pada fungsi distribusi *log-likelihood* L (Persamaan 4):

$$L = -\frac{n}{2} \ln(\sigma_{P_{obs}}^2 \times \sigma_1^2 + \sigma_2^2) - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_{sat})^2}{\sigma_{P_{obs}}^2 \times \sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (4)$$

Setelah parameter model diperoleh, selanjutnya sejumlah sampel *error* secara acak disimulasikan dengan metode Monte Carlo. Monte Carlo adalah metode statistik yang umum digunakan untuk mendapatkan sejumlah sampel secara acak berdasarkan suatu distribusi tertentu. Dalam kajian ini, 100 sampel nilai *error* disimulasikan secara acak berdasarkan model distribusi *error* antara data observasi dan estimasi satelit TRMM. Seratus sample nilai *error* tersebut selanjutnya ditambahkan pada nilai estimasi CH TRMM (Persamaan 3) untuk medapatkan 100 *dataset* simulasi CH yang merepresentasikan ketidakpastian pada estimasi CH TRMM.

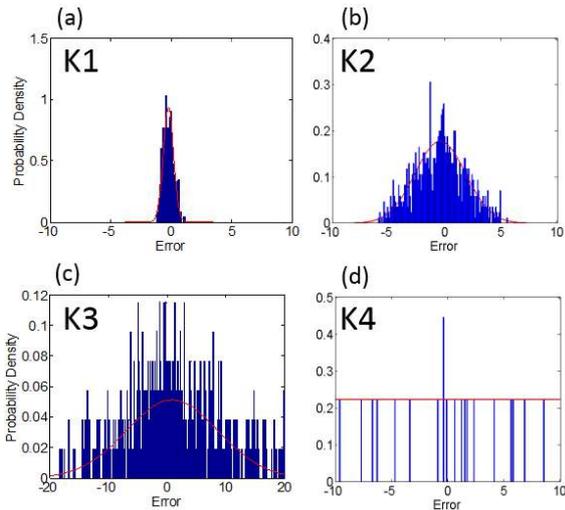
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, model distribusi *error* untuk data TRMM dihitung untuk berbagai kriteria hujan. Kriteria hujan yang digunakan berdasarkan modifikasi dari kriteria WMO (2018). Kriteria hujan ini ditunjukkan pada Tabel 1..

**Tabel 1.** Kelas dan kriteria hujan yang dimodifikasi dari WMO (2018)

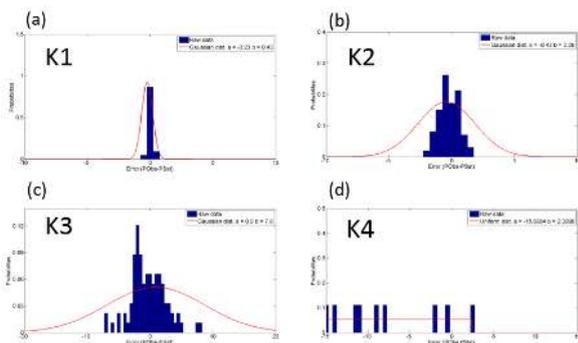
Intensitas (mm/3 jam)	Kelas	Kriteria
$0,3 \leq i < 1,5$	K1	Rintik ( <i>drizzle</i> )
$1,5 \leq i < 7,5$	K2	Hujan ringan ( <i>light rain</i> )
$7,5 \leq i < 30,0$	K3	Hujan sedang ( <i>moderate rain</i> )
$30,0 \leq i < 150,0$	K4	Hujan lebat ( <i>heavy rain</i> )

Model distribusi *error* selanjutnya dibangun menggunakan selisih (*error*) antara pasangan data TRMM dan pengamatan CH di tiga stasiun (Citeko, Cilember, dan Dramaga). Model distribusi *error* untuk masing-masing kelas CH ditunjukkan oleh Gambar 2. Untuk kelas CH K1-K3 distribusi *error* dapat dijelaskan oleh model distribusi Gaussian sementara untuk kelas K4, *error* terdistribusi secara *uniform*.



**Gambar 2.** (a)-(d) berturut-turut menunjukkan model distribusi *error* untuk kelas K1, K2, K3, dan K4. Kolom biru menunjukkan sebaran *error* data observasi permukaan terhadap data satelit. Garis merah menunjukkan model distribusinya

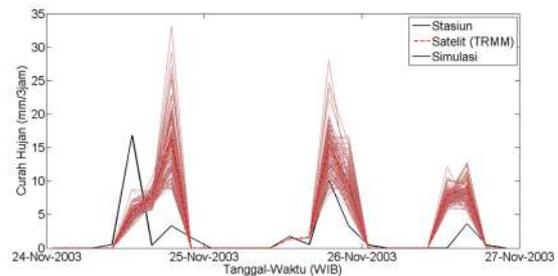
Model distribusi *error* selanjutnya diuji untuk data di stasiun yang tidak digunakan dalam membangun model tersebut, yaitu stasiun Cemara-Bandung (Gambar 3). Dari Gambar 3 ditunjukkan bahwa sebaran *error* dapat direpresentasikan dengan baik dan masuk dalam range model distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa model distribusi yang diperoleh juga bisa diimplementasikan untuk mengukur ketidakpastian *error* data CH satelit TRMM di seluruh wilayah kajian dengan cukup baik.



**Gambar 3.** Sama seperti Gambar 2, kecuali kolom biru menunjukkan *error* data observasi permukaan terhadap data satelit di Stasiun Cemara Bandung.

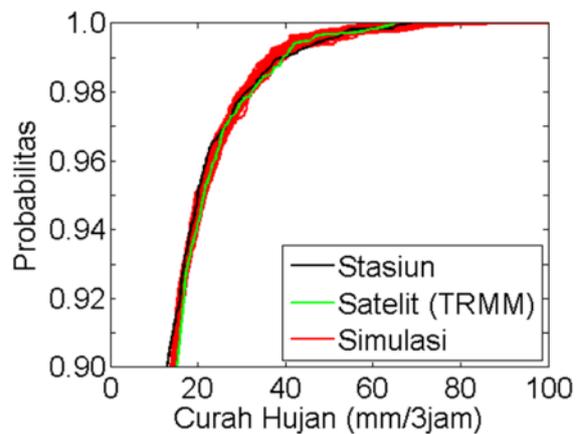
Selanjutnya evaluasi akan dilakukan secara kualitatif terhadap 100 *dataset* hasil simulasi

CH berdasarkan model distribusi *error* yang telah disusun sebelumnya. Evaluasi dilakukan menggunakan data CH di Cemara Bandung. Gambar 4 menunjukkan CH dari tiga sumber yaitu stasiun pengamatan permukaan (BMKG), satelit (TRMM), dan data hasil simulasi. Pada gambar 4 ditunjukkan bahwa data simulasi perturbasi *error* mampu melingkupi data TRMM. Simulasi perturbasi *error* juga mampu merepresentasikan rentang CH yang tinggi dengan cukup baik.



**Gambar 4.** Contoh CH dari stasiun BMKG (garis hitam), satelit (garis merah), dan 100 *Dataset* simulasi (garis coklat) di stasiun Cemara-Bandung.

Evaluasi juga dilakukan untuk nilai CH ekstrem (Gambar 5). Pada Gambar 5 dapat ditunjukkan bahwa persentil 10% atas dari CH stasiun juga dapat dilingkupi dengan baik oleh data simulasi perturbasi *error* yang dihasilkan.



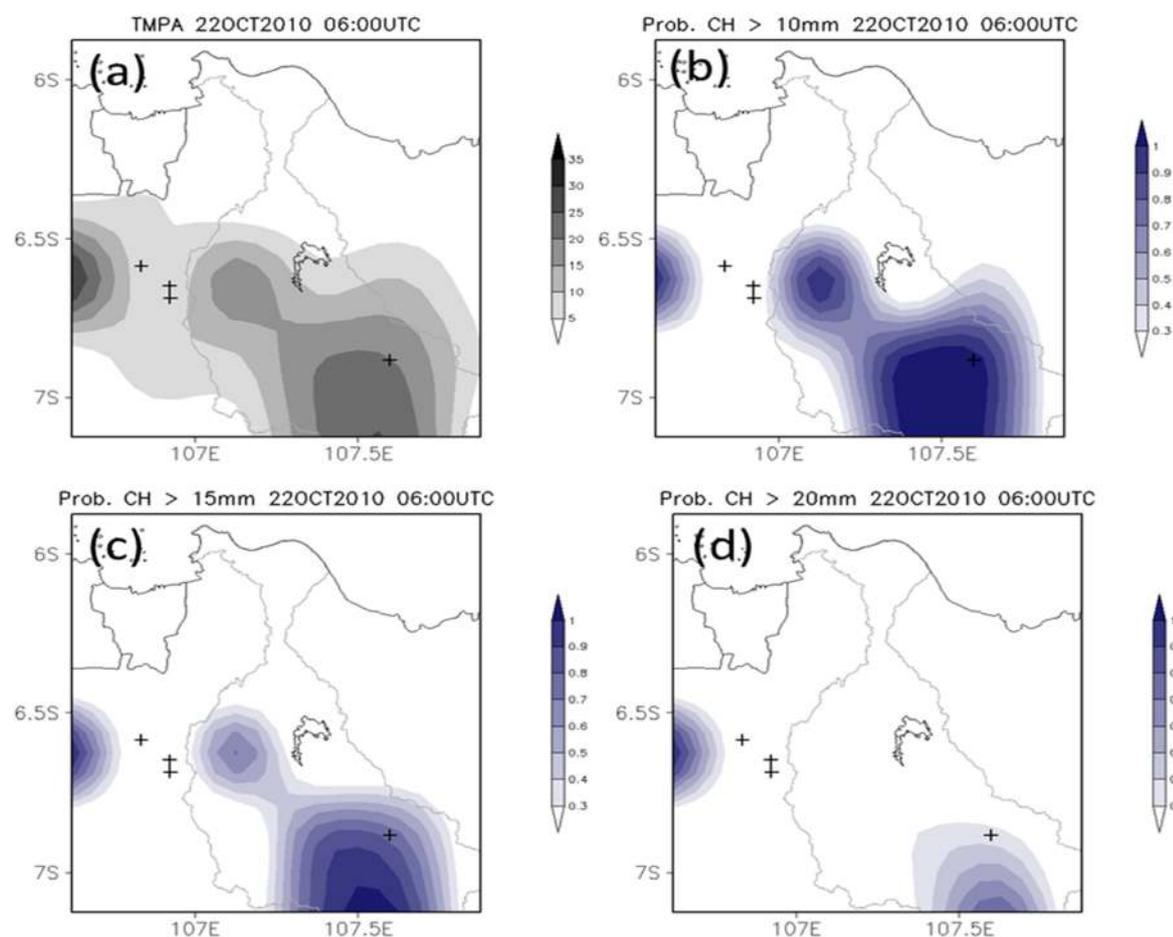
**Gambar 5.** *Cumulative Distribution Function* (CDF) CH stasiun Cemara-Bandung, Satelit, dan simulasi perturbasi *error* pada periode 2001-2007.

Salah satu aplikasi dari kuantifikasi *error* data TRMM 3B42v7 ini adalah untuk melihat kemungkinan kejadian hujan pada intensitas

tertentu. Pada Gambar 6 terdapat contoh peta probabilitas untuk kejadian hujan di atas ambang batas intensitas ringan hingga lebat. Peta probabilitas dibangun berdasarkan 100 simulasi perturbasi *error* yang disusun sebagai *member ensemble*. Apabila nilai probabilitas mencapai 100 persen, maka kemungkinan terjadinya hujan dengan intensitas melampaui suatu ambang batas dapat dikonfirmasi oleh semua data *ensemble*. Ketika nilai probabilitas mendekati nol, maka kejadian hujan dengan intensitas yang melampaui ambang batas hanya dikonfirmasi oleh sedikit hingga hampir tidak ada dari *member data ensemble*.

Sebagai contoh pemanfaatan dataset perturbasi *error* untuk mengestimasi probabilitas kejadian hujan dapat dilihat pada Gambar 6. Estimasi CH dari satelit TRMM pada tanggal 22 Oktober 2010 jam 06 UTC ditunjukkan pada Gambar 6a. Selanjutnya probabilitas CH

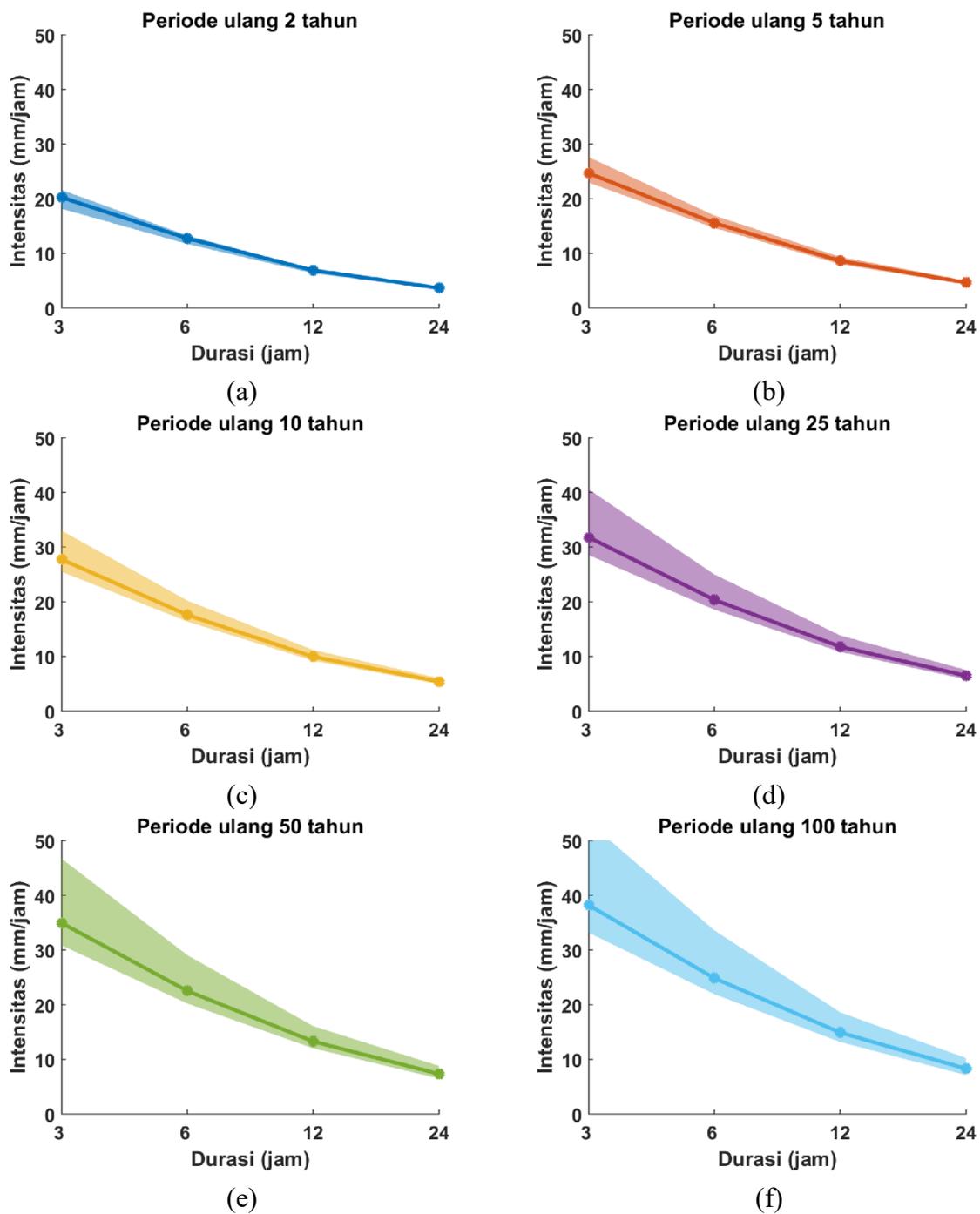
di atas 10 mm yang dihitung berdasarkan 100 *member ensemble* ditunjukkan pada Gambar 6b. Peta probabilitas tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi wilayah dengan nilai CH yang melebihi ambang batas 10 mm/3 jam. Wilayah dengan probabilitas yang tinggi dapat diartikan sebagai wilayah dengan kepastian  $CH > 10 \text{ mm/3 jam}$  yang tinggi. Peta probabilitas dengan ambang batas yang lain juga ditunjukkan pada Gambar 6c dan 6d, berturut-turut untuk ambang batas CH 15 mm/3 jam dan 20 mm/3 jam. Pada Gambar 6c, penurunan nilai pesentase pada probabilitas  $CH > 10 \text{ mm/3 jam}$  terlihat di bagian timur hingga selatan dengan nilai probabilitas lebih dari 60%. Sementara Gambar 6d memperlihatkan hanya beberapa wilayah yang memiliki peluang kejadian  $CH > 20 \text{ mm/3 jam}$ , misalnya bagian timur dan selatan Jakarta dengan nilai probabilitas 60-70%.



**Gambar 6.** Contoh data TRMM (a) dan peta probabilitas berdasarkan *ensemble* dari data perturbasi *error* pada tanggal 22 Oktober 2010 pukul 06.00 UTC untuk kejadian hujan di atas 10mm (b), 15mm (c), dan 20 mm (d).

Contoh aplikasi lainnya adalah memanfaatkan data *ensemble* CH untuk mengestimasi kurva *Intensity-Duration-Frequency* (IDF) dari produk TRMM 3B43v7 dan mengukur ketidakpastiannya. Kurva IDF adalah salah satu alat yang digunakan dalam analisa CH ekstrem. Sebagai contoh, dibagian ini ditunjukkan hasil estimasi IDF untuk grid

terdekat dengan kota Bandung, yaitu di titik 107,625 BT dan -6,875 LS. Estimasi IDF dilakukan untuk durasi 3, 6, 12, dan 24 jam serta periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun (Gambar 7). Estimasi periode ulang dilakukan menggunakan model distribusi ekstrem LogPearson III (Lubis dkk., 2022).



**Gambar 7.** Kurva IDF di grid terdekat dengan Kota Bandung untuk periode ulang 2 tahun (a), 5 tahun (b), 10 tahun (c), 25 tahun (d), 50 tahun (e), dan 100 tahun (f). Garis tebal di masing-masing kurva menunjukkan IDF yang dihitung dari dataset TRMM 3B43, sementara *shading* menunjukkan rentang *ensemble* curah hujan dari model perturbasi *error*.

Gambar 7 selain menunjukkan kurva IDF dari data TRMM 3B43v7 juga menunjukkan rentang sebaran data *ensemble* hasil simulasi perturbasi *error* yang dilakukan. Informasi ini penting karena merepresentasikan ketidakpastian dari estimasi kurva IDF dari data satelit. Selain menunjukkan ketidakpastian secara visual, data *ensemble* CH juga dapat digunakan untuk mengukur ketidakpastian secara kuantitatif. Nilai  $\sigma$

(*standard deviation*) dihitung untuk mengukur sebaran (*spread*) dari data *ensemble* CH (Tabel 4). Sebagai contoh, untuk durasi 6 jam dan periode ulang 100 tahun, estimasi TRMM 3B43 menghasilkan nilai intensitas sebesar 24,8 mm/jam, sementara sebaran dari *ensemble* CH terhitung sebesar 2,0 mm/jam. Artinya, nilai intensitas untuk durasi dan periode ulang tersebut sebesar dapat diestimasi sebesar 24,8  $\pm$  2,0 mm/jam.

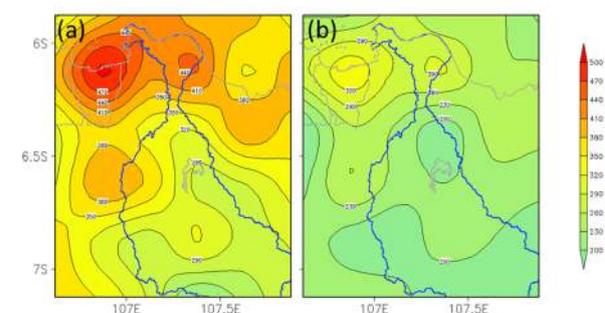
**Tabel 4.** Informasi yang sama seperti Gambar 7, namun disampaikan dalam bentuk tabel. Simbol  $\sigma$  merepresentasikan rata-rata deviasi (*Standard Deviation*) dari ensemble curah hujan. Semua nilai curah hujan dalam satuan mm/3jam.

Durasi (Jam)	Periode Ulang (Tahun)											
	2		5		10		25		50		100	
	TMPA	$\sigma$	TMPA	$\sigma$	TMPA	$\sigma$	TMPA	$\sigma$	TMPA	$\sigma$	TMPA	$\sigma$
3	20.2	0.7	24.7	1.0	27.7	1.5	31.8	2.2	34.9	2.9	38.2	3.7
6	12.7	0.3	15.6	0.6	17.6	0.8	20.3	1.2	22.5	1.6	24.8	2.0
12	6.9	0.2	8.6	0.3	9.9	0.4	11.8	0.6	13.3	0.8	14.9	1.0
24	3.7	0.1	4.7	0.1	5.4	0.2	6.5	0.3	7.3	0.4	8.3	0.5

Selain IDF, ukuran lain untuk mendeskripsikan CH ekstrem adalah *Probable Maximum Precipitation* (PMP). Secara teori, PMP merepresentasikan CH maksimum pada durasi tertentu yang secara meteorologis masih dimungkinkan terjadi di suatu wilayah (WMO, 2009b). Perhitungan PMP biasanya dilakukan untuk mendukung estimasi *Probable Maximum Flood* (PMF) yang merupakan salah satu informasi dalam mendesain banyak infrastruktur hidrologi di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) seperti bendungan, *flood spillways*, *flood carrying tunnel*, dll (WMO, 2009a).

tahun pada durasi yang sama ditampilkan pada Gambar 8b. Secara umum pola spasial dari PMP dan DDF tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai PMP dan DDF tertinggi berada di pantai utara wilayah kajian yaitu di sekitar bagian hilir DAS Citarum. Sementara nilai PMP dan DDF di wilayah hulu DAS Citarum relatif lebih rendah. Nilai estimasi PMP di wilayah kajian seluruhnya lebih besar dibanding DDF periode ulang 100 tahun, berkisar 1.2-1.7 kalinya. Hal ini mengindikasikan bahwa secara teori nilai CH periode ulang 100 tahun tersebut masih dapat terlampaui, yang ditunjukkan oleh nilai PMP.

Terdapat berbagai pendekatan dalam estimasi nilai PMP. Dalam kajian ini, akan digunakan pendekatan statistik menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hershfield (1965). Pendekatan statistik dipilih karena relatif lebih sederhana dan hanya membutuhkan data CH saja, dibandingkan pendekatan lain yang juga membutuhkan data-data meteorologi lainnya.



Contoh hasil perhitungan PMP untuk durasi 24 jam dapat dilihat pada Gambar 8a. Sebagai pembandingan, estimasi CH maksimum (DDF, *depth-duration-frequency*) periode ulang 100

**Gambar 8.** Nilai PMP (mm) di wilayah DAS Citarum untuk durasi hujan 24 jam (a) dan DDF periode ulang 100 tahun di durasi yang sama (b)

## 5. KESIMPULAN

Data curah hujan yang lengkap dan memiliki cakupan serta resolusi spasial yang cukup baik sangat dibutuhkan oleh berbagai aplikasi, terutama di bidang hidrologi. Namun data pengamatan curah hujan di permukaan seringkali tidak lengkap dan secara spasial tersebar tidak merata. Alternatif sumber data curah hujan lain adalah melalui estimasi curah hujan melalui satelit. Akan tetapi, estimasi curah hujan melalui satelit memiliki *error* dan ketidakpastian yang bersumber dari berbagai hal, yang dapat terbawa ketika digunakan dalam aplikasi-aplikasi selanjutnya. Oleh karena itu, penting untuk mengkuantifikasi ketidakpastian dari data estimasi curah hujan melalui satelit untuk memberikan informasi tambahan bagi pengguna. Dalam kajian ini telah dilakukan simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan *dataset* curah hujan *ensemble* yang mampu mengkuantifikasi ketidakpastian dan memberikan informasi curah hujan probabilistik dari produk estimasi curah hujan TRMM 3B43v7.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kajian ini merupakan bagian dari “Penelitian Risiko Banjir Kawasan Bekasi-Karawang” yang didanai oleh PT. Reasuransi MAIPARK Indonesia. Data satelit TRMM yang digunakan dalam kajian ini dapat diunduh melalui tautan berikut:

[ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B42\\_V7/](ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B42_V7/).

## REFERENSI

- AghaKouchak, A., Nasrollahi, N., dan Habib, E. (2009): Accounting for Uncertainties of the TRMM Satellite Estimates, *Remote Sensing*, pp. 606-619.
- Balbo, R. F., Wulandari, R. A., Nugraha, M. R. R., Dwiandiani, A., Syahputra, M. R., Suwarman, R. (2019): The evaluation of drought indices: standard precipitation index, standard precipitation evapotranspiration index, and palmer drought severity index in Cilacap-Central Java, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 303 (1), 012012.
- Chang, A. T. C., dan Chiu, L. S., (1997): Uncertainty in satellite rainfall estimates: Time series comparison, *Advances in Space Research*, 19(3), 469–472.
- Habib, E., Henschke, A., Adler, R. (2009): Evaluation of TMPA satellite-based research and real-time rainfall estimates during six tropical-related heavy rainfall events over Louisiana, USA, *Atmosph. Res.*, doi:10.1016/j.atmosres.2009.06.01
- Hershfield, D. M., (1965): Method for estimating probable maximum precipitation, *J. Am. Waterworks Assoc*, 57, 965–972.
- Hong, Y., Hsu, K., Gao, X., Sorooshian, S. (2004): Precipitation estimation from remotely sensed imagery using Artificial Neural Network-Cloud Classification System, *J. Appl. Meteorol*, vol. 43, 1834–1853.
- Hossain, F., Anagnostou, E. (2004): Assessment of current passive-microwave- and infrared-based satellite rainfall remote sensing for flood prediction, *J. Geophys. Res*, 5, 487–503.
- Huffman, G. J., D. T. Bolvin, D. T., E. J. Nelkin, E. J., D. B. Wolff, D. B., R. F. Adler, R. F., Guojun, G., Hong, Y., K. P. Bowman, K. P., dan E. F. Stocker, E. F. (2007): The TRMM Multisatelilite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales, *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, no. 1, pp. 38-55.
- Junnaedhi, I. D. G. A., Riawan, E., Suwarman, R., Hadi, T. W., Lubis, A., Trilaksono, N. J., Rahayu, R., Kombara, P. Y., Waskito, R., Oktora, H. E., Supriatna, R., Anugrah, A., Mudzakkir, A. H., Setiawan, W. (2017): Majalaya flood early warning system: a community based approach, *IOP Confrence Series: Earth and Environmental Science*, 71(1), 012013.
- Lubis, A., Hadi, T. W., Trilaksono, N. J., Suwarman, R., Junnaedhi, I D. G. A., Syahputra, M. R., Riawan, E., Abdillah, M. R., Fajary, F. R., Fitriani, R., Azizah, S. (2022): *Catatan teknis sains atmosfer dan meteorologi, Peta IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi) CH di Indonesia: Metode Perhitungan dan Contoh Pemanfaatannya*,

- ITB Press, cetakan I
- Morrissey, M. L., dan Greene, J. S. (1998): Uncertainty analysis of satellite rainfall algorithms over the tropical Pacific, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*.
- Pratama, G. N., Suwarman, R., Junnaedhi, I. D. G. A., Riawan, E., dan Anugrah A. (2017): Comparison landslide-triggering rainfall threshold using satellite data: TRMM and GPM in South Bandung area, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 71 (1), 012003.
- Riawan, E., Hadi, T. W., Kardhana, H., Mihardja, D. K., Sapiie, B. (2018): The diurnal and semidiurnal patterns of rainfall and its correlation to the stream flow characteristic in the Ciliwung Watershed, West Java, Indonesia, *Matec web of conference* 147, 03013.
- Rusmanansari, A. H., Suwarman, R., Djamil, Y. S., dan Permadhi, Y. F. 2022: GSMaP Seasonal rainfall verification over Western Java, *Springer Proceedings in Physics*, 275.
- Sarachi, S., Hsu, K. L., dan Sorooshian, S. (2015): A Statistical Model for the Uncertainty Analysis of Satellite Precipitation Products, *Journal of Hydrometeorology*, 16(5), 2101–2117.
- Tian, Y., Peters-Lidard, C.D., Choudhury, B.J., Garcia, M. (2007): Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications, *J. Hydrometeorol.*, vol. 8, 1165–1183.
- Villarini, G., KraheWSj, W.F. (2007): Evaluation of the research-version TMPA threehourly  $0.25^{\circ} \times .25^{\circ}$  rainfall estimates over Oklahoma, *Geophys. Res. Lett*, 34, L05402.
- WMO (2009a): *Guide to Hydrological Practices, Volume II: Management of Water Resources and Applications of Hydrological Practices*, World Meteorological Organization.
- WMO (2009b): *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. World Meteorological Organization.
- WMO (2018): *Guide to Instruments and Methods of Observation, Volume I –*

*Measurement of Meteorological Variables*, World Meteorological Organization.