

Koreksi Data Curah Hujan Pengamatan dan Satelit GPM di Desa Crewek

Agynda Kukuh Widyantio ^{*1a}, Dinda Putri Hariyani ^{*2}, Irvan Maulana^{*3} Azhar Adi Darmawan ^{*4}, Dandy Ahmad Yani ^{*5}

Submit:
27 Juli 2026

Review:
9 Agustus 2026

Revised:
25 Agustus 2026

Published
31 Agustus 2026

^{*1}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia, agyndakukuh@gmail.com

^{*2} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia, dindadindputrihdy@gmail.com@webmail.umm.ac.id

^{*3} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia, irvanm2912@webmail.umm.ac.id

^{*4} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia, azharadidfts@umm.ac.id

^{*5} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, Indonesia, dandyachmad@umm.ac.id

^aCorresponding Author: agyndakukuh@gmail.com

Abstrak

Ketersediaan data curah hujan yang lengkap dan berjangka panjang merupakan kebutuhan penting dalam analisis hidrologi. Namun demikian, ketersediaan data tersebut masih terbatas karena tidak seluruh wilayah, khususnya daerah terpencil, memiliki stasiun hujan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi data curah hujan hasil estimasi satelit IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) serta menentukan faktor koreksi guna meningkatkan kesesuaiannya terhadap data hujan hasil pengukuran di lapangan. Koreksi data curah hujan satelit IMERG dilakukan menggunakan metode regresi. Tingkat keakuratan data hujan satelit terhadap data hujan terukur dianalisis menggunakan parameter *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R) serta *Relative Bias* (RB). Hasil analisis menunjukkan bahwa akurasi data hujan harian satelit GPM tergolong rendah, namun mengalami peningkatan pada skala waktu bulanan. Hasil analisis menunjukkan peningkatan akurasi pada data validasi independen periode 2013–2015, yang ditunjukkan oleh nilai NSE sebesar 0,768 yang termasuk dalam kategori baik, nilai R sebesar 0,877 yang menunjukkan hubungan sangat kuat, nilai RMSE menurun dari 86,480 mm menjadi 64,998 mm, serta nilai RB membaik dari +11,67% (overestimasi) menjadi -2,025% (underestimasi kecil). Dengan demikian, data curah hujan bulanan dengan satelit IMERG yang telah dikoreksi dapat digunakan sebagai sumber data curah hujan alternatif yang tepat untuk wilayah dengan keterbatasan ketersediaan data curah hujan hasil pengukuran.

Kata kunci: Data Curah Hujan Stasiun, Satelit IMERG (*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM*), Akurasi, Faktor Koreksi

Abstract

The availability of complete and long-term rainfall data is essential for hydrological analysis, particularly in remote areas lacking rain gauge stations. This study evaluates the accuracy of satellite-based rainfall data from IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM) and determines correction factors, using a regression method, to improve its agreement with ground-based rainfall measurements. Accuracy was assessed using Root Mean Squared Error (RMSE), Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE), Correlation Coefficient (R), and Relative Bias (RB). Daily GPM

rainfall accuracy was relatively low but improved at the monthly scale. Using an independent calibration-validation split (2005–2012/2013–2015), the corrected data achieved an NSE of 0.768 (good) and an R of 0.877 on the validation period, with RMSE reduced from 86.480 to 64.998 and RB improved from +11.67% to -2.025%. Corrected monthly IMERG rainfall data can therefore serve as a reliable alternative source in regions with limited ground-based observations.

Keywords: *Rain Gauge Data, IMERG Satellite (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM), Accuracy, Correction Factor.*

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang berperan besar dalam menunjang keberlangsungan kehidupan di bumi. Keberadaan hujan sangat menentukan proses dalam siklus hidrologi, terutama dalam menjaga ketersediaan dan keseimbangan sumber daya air di permukaan [1]. Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi menjadi sumber utama bagi kebutuhan domestik, pertanian, serta berbagai aktivitas pembangunan, sehingga keberadaannya memiliki pengaruh langsung terhadap kesejahteraan manusia [2].

Secara fisik, hujan terbentuk melalui proses naiknya uap air ke atmosfer yang kemudian mengalami pendinginan, kondensasi, dan penggabungan partikel hingga mencapai ukuran tertentu dan jatuh ke permukaan bumi akibat gaya gravitasi [3]. Proses ini dipengaruhi oleh kondisi atmosfer seperti kelembaban udara, suhu, serta mekanisme pengangkatan massa udara yang memungkinkan terjadinya kondensasi [4]. Variasi kondisi tersebut menyebabkan karakteristik curah hujan berbeda-beda di setiap wilayah, baik dari segi intensitas, durasi, maupun distribusinya.

Dalam bidang teknik sumber daya air, data curah hujan memegang peranan penting sebagai dasar dalam perencanaan dan analisis hidrologi. Data ini digunakan dalam perancangan bangunan air, sistem drainase, serta analisis debit banjir dan ketersediaan air [5]. Selain itu, data curah hujan juga menjadi masukan utama dalam berbagai model hidrologi yang memerlukan deret data yang panjang, kontinu, dan berkualitas baik [6].

Pada umumnya, data curah hujan diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan alat penakar hujan yang ditempatkan pada stasiun-stasiun pengamatan. Namun, keterbatasan jumlah stasiun, distribusi yang tidak merata, serta adanya kekosongan data pada periode tertentu sering menjadi kendala dalam penyediaan data hujan yang representatif, khususnya di wilayah yang sulit dijangkau atau memiliki kondisi geografis yang kompleks [7]. Kondisi ini menyebabkan analisis hidrologi di wilayah tersebut menjadi kurang optimal.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh membuka peluang baru dalam pemantauan curah hujan secara spasial dan temporal dengan cakupan wilayah yang luas. Data curah hujan berbasis satelit menjadi alternatif yang potensial untuk mengatasi keterbatasan data pengamatan lapangan, terutama di daerah dengan minim stasiun hujan [8]. Salah satu produk satelit yang banyak digunakan adalah Global Precipitation Measurement (GPM).

Satelit *Global Precipitation Measurement* (GPM) merupakan misi satelit berskala internasional yang dikembangkan untuk memantau curah hujan dan salju secara global dengan cakupan wilayah yang luas. Misi ini merupakan pengembangan lanjutan dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dan dilaksanakan melalui kerja sama antara NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dan JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). GPM bertujuan untuk menyediakan data pengamatan

presipitasi yang lebih akurat melalui peningkatan resolusi spasial dan temporal, cakupan pengamatan, serta kemampuan dalam mendeteksi berbagai tingkat intensitas presipitasi di seluruh dunia.

Berbagai penelitian evaluasi dan koreksi data hujan satelit GPM-IMERG telah dilakukan di beberapa wilayah di Indonesia, seperti di Provinsi Nusa Tenggara Barat [9], [11], serta penerapan metode regresi untuk penentuan faktor koreksi di Daerah Tangkapan Air Bendungan Way Apu [10]. Selain itu, validasi data satelit terhadap data observasi curah hujan harian juga telah dilakukan untuk menilai keandalan produk TRMM dan GPM [12]. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus mengevaluasi dan mengoreksi data hujan satelit GPM-IMERG di wilayah Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, khususnya Desa Crewek, masih sangat terbatas, sehingga penelitian ini diharapkan dapat mengisi kekosongan tersebut sekaligus memberikan gambaran akurasi data satelit pada wilayah dengan karakteristik hidroklimatologi yang berbeda dari lokasi-lokasi penelitian sebelumnya.

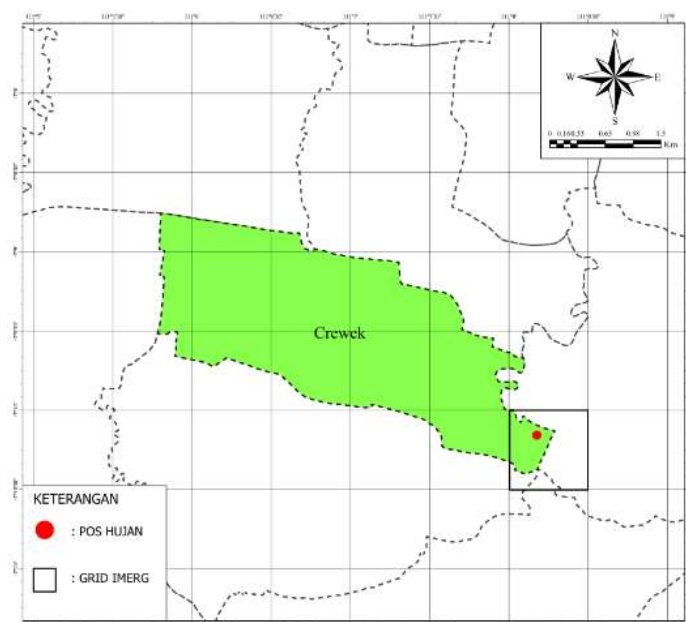
METODOLOGI

A. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian terapan yang bersifat kuantitatif dengan mengombinasikan desain penelitian evaluatif dan prediktif melalui penggunaan data sekunder curah hujan pengamatan stasiun serta data estimasi satelit GPM IMERG.

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Crewek, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah yang terletak pada koordinat $7^{\circ}09'$ LS dan $111^{\circ}06'$ BT.

Data Stasiun Curah Hujan yang digunakan berasal dari Balai PSDA Lusi Juana dengan nama Pos Nglangon yang berada pada Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan. Titik lokasi pengambilan data hujan stasiun Nglangon diperoleh dari Website Indonesia Geospatial Portal yang dapat diakses melalui situs <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>. Ketersediaan data untuk curah hujan dari Stasiun Nglangon ada selama 11 tahun dari tanggal 1 Januari 2005 s.d 31 Desember 2015. Data tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Data Hujan Terukur dan Satelit GPM IMERG di Desa Crewek

Data curah hujan di Desa Crewek, Kabupaten Grobogan yang diperoleh dari pengukuran pada stasiun dan data curah hujan satelit GPM produk *Daily mean precipitation rate (combined microwave-IR) estimate - Late Run* (GPM_3IMERGDF v07) dengan ketersediaan data selama 20 tahun dari tanggal 1 Januari 2005 s.d 31 Desember 2024 yang diperoleh melalui situs <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>.

Periode data hujan satelit GPM IMERG yang tumpang tindih (*overlap*) dengan data Stasiun Nglangon, yaitu 2005–2015, digunakan untuk tahap kalibrasi dan validasi guna membentuk dan menguji persamaan faktor koreksi. Untuk memastikan validasi bersifat independen, periode 2005–2015 tersebut dibagi menjadi dua sub-periode yang tidak tumpang tindih, yaitu 2005–2012 untuk tahap kalibrasi (Tabel 6) dan 2013–2015 untuk tahap validasi (Tabel 7). Adapun rentang data GPM IMERG yang lebih panjang (20 tahun, 2005–2024) yang diunduh pada tahap awal digunakan untuk uji konsistensi dan uji kualitas data (Tabel 3 dan Tabel 4) guna memastikan keandalan data satelit sebelum proses kalibrasi dilakukan, dan tidak digunakan lebih lanjut pada tahap kalibrasi, validasi, maupun analisis perbandingan data (Gambar 3) yang seluruhnya menggunakan periode 2005–2015.

B. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Uji konsistensi data hujan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) bertujuan untuk mengetahui kestabilan dan keseragaman data curah hujan terhadap waktu, serta mendeteksi adanya perubahan atau ketidakkonsistenan data yang disebabkan oleh faktor non-alami, sehingga data yang digunakan layak untuk analisis hidrologi.

C. Uji Kualitas Data Curah Hujan

Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas data curah hujan hasil pengambilan data melalui stasiun Pos Hujan Nglangon dan data curah hujan satelit GPM. Data curah hujan, baik yang diperoleh dari stasiun maupun dari satelit, berpotensi mengalami gangguan akibat pengaruh faktor lingkungan maupun faktor lainnya yang dapat memengaruhi keandalannya. Oleh karena itu, pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian, yaitu uji konsistensi menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) dengan tingkat kepercayaan 99%, uji normalitas data menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorov* dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

D. Evaluasi Data Curah Hujan

Evaluasi ini dilakukan untuk menilai tingkat akurasi keseluruhan data curah hujan satelit GPM IMERG sebelum dilakukan proses koreksi. Pada tahap ini, metode evaluasi yang diterapkan masih terbatas pada statistik kontinu, yaitu *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R) serta *Relative Bias* (RB) [13].

E. Kalibrasi Data Curah Hujan

Analisis kalibrasi adalah langkah yang bertujuan memperbaiki nilai curah hujan dari satelit agar lebih mendekati data curah hujan yang diukur di lapangan. Dalam analisis kalibrasi ini, digunakan persamaan regresi $y = f(x)$ yang didasarkan pada hubungan antara curah hujan satelit sebagai variabel x dan curah hujan yang diukur di lapangan sebagai variabel y . Persamaan ini kemudian digunakan untuk menghasilkan persamaan koreksi nilai curah hujan dari satelit [14].

Analisis regresi adalah cara mengamati hubungan antara dua variabel atau lebih. Setelah model dalam bentuk persamaan matematis telah diperoleh, langkah berikutnya adalah mengetahui seberapa kuat hubungan antar variabel tersebut atau menentukan tingkat keterkaitannya. Dalam analisis regresi, ada satu

jenis analisis yang digunakan untuk mengetahui tingkat keterkaitan antar variabel, yaitu analisis korelasi. Persamaan yang digunakan dalam analisis regresi adalah regresi linear sederhana (*Linear Regression*) [14].

$$\hat{Y} = a_1X + b_1 \quad (1)$$

$$\bar{X} = a_2Y + b_2 \quad (2)$$

dengan :

$\hat{Y}$ = persamaan garis lurus Y terhadap X.

$\bar{X}$ = persamaan garis lurus X terhadap Y.

a_1, a_2 = koefisien regresi (koefisien arah dari garis regresi).

b_1, b_2 = koefisien yang merupakan titik potong dari garis regresi.

F. Pemilihan Faktor Koreksi

Faktor koreksi yang dihasilkan pada tahap kalibrasi diterapkan untuk menyesuaikan data curah hujan satelit IMERG pada tahun yang sama dengan periode data yang digunakan dalam penurunan faktor koreksi tersebut. Selanjutnya, kinerja data curah hujan satelit IMERG yang telah terkoreksi dievaluasi menggunakan parameter statistik kontinu, yaitu *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R) serta *Relative Bias* (RB) [13].

Berdasarkan keempat indikator evaluasi tersebut, ditentukan faktor koreksi terbaik dari empat skenario simulasi kalibrasi pada masing-masing pos hujan, yang dinilai paling efektif dalam meningkatkan akurasi data curah hujan satelit IMERG pada skala bulanan.

G. Validasi Data Curah Hujan Satelit GPM IMERG

Validasi merupakan tahapan evaluasi terhadap suatu model yang bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat ketidakpastian model dalam merepresentasikan proses hidrologi. Proses validasi umumnya dilakukan menggunakan data yang berada di luar periode kalibrasi [15].

Dalam penelitian ini, validasi dilakukan untuk menilai kinerja dan tingkat akurasi data curah hujan satelit IMERG setelah dilakukan koreksi, khususnya ketika diaplikasikan pada periode data yang tidak digunakan dalam penentuan faktor koreksi. Berbeda dengan tahap kalibrasi, pada tahap validasi tidak dilakukan empat skenario simulasi pada masing-masing pos hujan, melainkan hanya menggunakan hasil simulasi terbaik yang diperoleh pada tahap kalibrasi.

Evaluasi pada tahap validasi tetap dilakukan menggunakan parameter statistik kontinu, yaitu *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R) serta *Relative Bias* (RB) [13].

a. Root Mean Squared Error (RMSE)

RMSE merupakan nilai yang menunjukkan variasi dari sisa-sisa kesalahan dalam sebuah model, sehingga dapat menggambarkan seberapa baik model tersebut akurat. Nilai RMSE terkecil adalah 0, semakin kecil nilai RMSE berarti semakin kecil pula perbedaan antara nilai yang diprediksi oleh model dengan data yang sebenarnya. Oleh karena itu, model yang paling baik adalah model yang memiliki nilai RMSE paling rendah. Nilai RMSE didapatkan dengan menggunakan rumus tertentu [16]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

dengan :

Y_i = data observasi.
 $\hat{Y}_i$ = nilai dugaan (data perkiraan)
 n = jumlah data

Dalam beberapa situasi, nilai RMSE tidak tepat digunakan untuk membandingkan dua set data yang memiliki skala berbeda. Semakin besar jumlah datanya, semakin besar pula perbedaan nilai yang muncul jika hanya dibandingkan berdasarkan jumlah data tersebut. Dengan menggunakan RMSE yang sudah dinormalisasi, kita bisa membandingkan data set atau model yang memiliki skala berbeda secara lebih akurat.

b. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Model dianggap akurat jika nilai kesalahannya kecil dan nilai efisiensinya tinggi. NSE bukan ukuran keeratan hubungan seperti koefisien korelasi, melainkan ukuran efisiensi model yang menunjukkan sejauh mana data simulasi mendekati data observasi dibandingkan dengan rata-rata data observasi. Model yang sempurna akan sama persis dengan data observasi, dan tingkat kesempurnaan ini ditunjukkan oleh nilai $NSE = 1$.

Nilai NSE berkisar dari $-\infty$ hingga 1, di mana $NSE = 1$ menandakan hasil terbaik. Penelitian ini mengacu pada kriteria NSE sebagaimana disajikan pada Tabel 1, yaitu Baik ($NSE > 0,75$), Memenuhi ($0,36 < NSE < 0,75$), dan Tidak Memenuhi ($NSE < 0,36$).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

dengan :

Y_i = nilai observasi ke-i
 $\hat{Y}_i$ = nilai estimasi ke-i
 $\bar{Y}$ = rata-rata nilai observasi dengan jumlah data n
 N = jumlah data

Tabel 1. Kriteria Nilai NSE [14]

NSE	Interpretasi
$NSE > 0.75$	Baik
$0.36 < NSE < 0.75$	Memenuhi
$NSE < 0.36$	Tidak Memenuhi

c. Koefisien Korelasi (R)

Koefisien korelasi merupakan teknik statistik yang berguna menunjukkan seberapa kuat keeratan pasangan variabel. Rumus untuk menghitung koefisien korelasi adalah [17]:

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n Y_i \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i^2 - (\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i)^2}} \quad (5)$$

dengan :

Y_i = data observasi (data penakar hujan).
 $\hat{Y}_i$ = data perkiraan (data satelit hasil estimasi).
 n = jumlah data

Nilai koefisien korelasi berada dalam rentang dari -1 hingga +1. Semakin mendekat nilai R ke +1 atau -1, semakin kuat hubungan antara dua variabel tersebut. Jika nilai R mendekati 0, berarti tidak ada hubungan antara variabel-variabel tersebut. Jika R bernilai positif, maka kedua variabel memiliki hubungan yang searah.

Sebaliknya, jika R bernilai negatif, kedua variabel memiliki hubungan yang berlawanan. Tingkat kepuasan koefisien korelasi tergantung pada tujuan yang digunakan dan sifat data mentahnya. Hal ini dijelaskan lebih lanjut pada Tabel 2 untuk mengevaluasi koefisien korelasi agar mengetahui sekuat apa hubungan antar variabel [17].

Tabel 2. Tingkat Keeratan Hubungan [17]

Koefisien Korelasi	Keeratan Hubungan
0	Tidak ada korelasi
> 0 – 0.25	Korelasi sangat lemah
> 0.25 – 0.50	Korelasi cukup tinggi
> 0.50 – 0.75	Korelasi kuat
> 0.75 – 0.99	Korelasi sangat kuat
1.00	Sempurna

d. *Relative Bias* (RB)

Relative bias digunakan untuk mengukur persentase kesalahan atau penyimpangan antara hasil estimasi dan data hasil observasi [18]. Nilai *relative bias* yang menunjukkan kinerja terbaik adalah nilai yang paling mendekati nol. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan *relative bias* sebagai berikut [18], [19], [20], dan [21]:

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i} \times 100 \quad (6)$$

dengan :

Q_i = nilai curah hujan hasil estimasi pada pengamatan ke- i
 P_i = nilai curah hujan hasil observasi pada pengamatan ke- i
 n = jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Faktor Koreksi

Uji konsistensi dilakukan pada pos hujan pengukuran yang berasal dari pos stasiun hujan Nglangon di Desa Crewek, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Uji konsistensi RAPS juga diterapkan pada data hujan satelit GPM IMERG pada titik koordinat yang sama, dan hasilnya menunjukkan data tersebut konsisten (Tabel 3). Titik koordinat yang digunakan dalam menentukan pos hujan satelit juga sama dengan pos hujan pengukuran, yaitu Pos Hujan Stasiun Nglangon.

Tabel 3. Hasil Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sumber Curah Hujan	Panjang Data	Tes Uji				Keterangan
		qy hitung	qy tabel	Ry Hitung	Ry Tabel	
Stasiun Nglangon	11 Tahun (2005-2015)	0.893	1.29	1.135	1.38	Konsisten
Satelit GPM IMERG	20 Tahun (2005-2024)	0.681	1.42	0.976	1.6	Konsisten

Tabel 3 menunjukkan hasil uji konsistensi data curah hujan menggunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS) terhadap data hujan stasiun Nglangon dan data hujan satelit GPM IMERG. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai qy hitung dan Ry hitung untuk kedua sumber data lebih kecil dibandingkan dengan nilai qy tabel dan Ry tabel. Hal ini menunjukkan bahwa baik data hujan stasiun

maupun data hujan satelit tidak mengalami penyimpangan atau perubahan karakteristik yang signifikan sepanjang periode pengamatan.

Data hujan stasiun Nglangon dengan panjang data 11 tahun (2005–2015) memiliki nilai q_y hitung sebesar 0,893 dan R_y hitung sebesar 1,135, yang keduanya lebih kecil dari nilai tabel masing-masing sebesar 1,29 dan 1,38, sehingga dinyatakan konsisten. Sementara itu, data hujan satelit GPM IMERG dengan panjang data 20 tahun (2005–2024) juga menunjukkan nilai q_y hitung sebesar 0,681 dan R_y hitung sebesar 0,976, yang lebih kecil dibandingkan nilai q_y tabel sebesar 1,42 dan R_y tabel sebesar 1,6. Dengan demikian, data hujan satelit GPM IMERG juga dinyatakan konsisten.

B. Uji Kualitas Data Curah Hujan

Pengujian Kualitas Data Curah Hujan dilakukan dalam dua jenis pengujian. Uji Konsistensi menggunakan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Data hujan yang digunakan adalah data hujan satelit dan data hujan pengukuran yang sudah di stabulasikan dari data harian ke data bulanan. Sementara untuk Uji Normalitas digunakan rentan data 20 tahun menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorov*.

Tabel 4. Hasil Akhir Uji Kualitas Data Curah Hujan

Sumber Curah Hujan	Panjang Data	Tes Uji	Kesimpulan
Stasiun Nglangon	11 Tahun (2005-2015)	Uji Konsistensi	Konsisten
		Uji Normalitas	Distribusi Log Pearson Tipe III
Satelit GPM	20 Tahun (2005-2024)	Uji Konsistensi	Konsisten
		Uji Normalitas	Distribusi Log Pearson Tipe III

Uji kecocokan distribusi Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan membandingkan empat distribusi kandidat (Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III) terhadap data hujan tahunan Stasiun Nglangon (2005–2015, $n=11$) dan Satelit GPM IMERG (2005–2024, $n=20$). Tabel 5 menyajikan rincian nilai D-maks (selisih maksimum antara distribusi kumulatif empiris dan teoretis) untuk setiap distribusi kandidat.

Tabel 5 Hasil Uji Kecocokan Distribusi (Kolmogorov-Smirnov) untuk Seluruh Distribusi Kandidat

Sumber Data	Distribusi	D-maks	D-kritis ($\alpha=0,05$)	Keterangan
Stasiun Nglangon ($n=11$)	Normal	0,284	0,410	Diterima
	Log Normal	0,236	0,410	Diterima
	Gumbel	0,224	0,410	Diterima
	Log Pearson III	0,156	0,410	Diterima – terbaik
Satelit GPM IMERG ($n=20$)	Normal	0,160	0,304	Diterima
	Log Normal	0,113	0,304	Diterima
	Gumbel	0,093	0,304	Diterima
	Log Pearson III	0,089	0,304	Diterima – terbaik

Seluruh distribusi kandidat memiliki nilai D-maks lebih kecil dari D-kritis pada taraf signifikansi $\alpha=0,05$, sehingga secara statistik seluruhnya dapat diterima. Namun demikian, Distribusi Log Pearson Tipe III memberikan nilai D-maks terkecil pada kedua sumber data (0,156 untuk Stasiun Nglangon dan 0,089 untuk Satelit GPM IMERG), sehingga dipilih sebagai distribusi yang paling sesuai dan digunakan sebagai dasar kesimpulan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil uji kualitas data curah hujan yang disajikan pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa data curah hujan dari Stasiun Nglangon maupun data curah hujan satelit GPM memenuhi kriteria kualitas data yang baik. Hasil uji konsistensi menggunakan metode RAPS menunjukkan bahwa kedua sumber data

bersifat konsisten sepanjang periode pengamatan, yang mengindikasikan tidak adanya perubahan pola data yang signifikan akibat kesalahan pencatatan atau gangguan sistematis.

Selain itu, hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data curah hujan dari kedua sumber mengikuti Distribusi Log Pearson Tipe III, yang merupakan distribusi yang umum digunakan dalam analisis hidrologi. Kesamaan karakteristik distribusi ini menunjukkan bahwa data curah hujan satelit GPM memiliki pola statistik yang sebanding dengan data hasil pengukuran stasiun hujan. Dengan demikian, data curah hujan satelit GPM dinilai layak digunakan sebagai alternatif atau pendukung data pengukuran lapangan dalam analisis hidrologi selanjutnya.

C. Evaluasi Data Curah Hujan Bulanan

Hasil perhitungan evaluasi untuk melihat akurasi keseluruhan data curah hujan satelit GPM berdasarkan nilai R, RMSE, NSE, dan RB disajikan pada Tabel 6. untuk periode bulanan.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Evaluasi Data Curah Hujan Bulanan Stasiun dan Satelit GPM Tidak Terkoreksi

Evaluasi	Nilai	Interpretasi
R	0.813	Korelasi Sangat Kuat Memenuhi
NSE	0.533	
RMSE	93.981	
RB (%)	10.94	

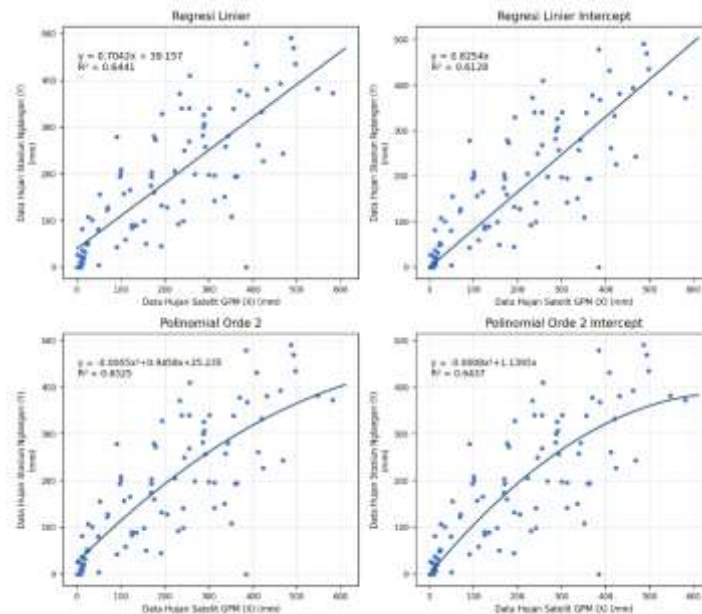
Tabel 6 menunjukkan hasil evaluasi kinerja data curah hujan bulanan satelit GPM IMERG yang belum dilakukan koreksi terhadap data curah hujan stasiun. Nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,813 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara data curah hujan satelit dan data curah hujan terukur, sehingga pola distribusi curah hujan bulanan satelit relatif mampu merepresentasikan variasi curah hujan aktual.

Nilai *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,533 menunjukkan bahwa kinerja data curah hujan satelit IMERG berada pada kategori memenuhi, sehingga masih dapat digunakan dalam analisis hidrologi pada skala bulanan. Namun demikian, nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 93,981 menunjukkan adanya perbedaan kuantitatif yang cukup besar antara data curah hujan satelit dan data pengukuran. Selain itu, nilai *Relative Bias* (RB) sebesar 10,94% menunjukkan bahwa data curah hujan satelit IMERG cenderung mengalami bias positif atau overestimasi terhadap data curah hujan stasiun.

D. Evaluasi Data Curah Hujan Bulanan

Panjang data hujan yang digunakan adalah 11 tahun, yaitu dari rentang tahun 2005-2015. Pada analisis ini, digunakan persamaan regresi $y = f(x)$ yang terbentuk oleh hubungan data hujan satelit GPM sebagai variabel x dan curah hujan pengukuran di lapangan sebagai variabel y yang nantinya akan menghasilkan faktor koreksi data hujan satelit GPM.

Berdasarkan hasil perhitungan analisis regresi, dapat dilihat bahwa pos hujan memiliki 4 jenis persamaan regresi beserta nilai koefisien korelasi yang berbeda-beda. Nilai koefisien korelasi (R) menunjukkan tingkat keeratan hubungan kedua variabel (data bulanan satelit GPM terhadap data curah hujan bulanan pengukuran), dengan melihat hasil analisis regresi dan koefisien korelasi yang “kuat” dan “sangat kuat” pada pos hujan, maka dapat dikatakan bahwa data curah hujan bulanan satelit GPM yang dikalibrasi dengan persamaan regresi dapat menghasilkan pemodelan yang cukup baik terhadap data pengukuran.



Gambar 2. Grafik Regresi Data Hujan Stasiun Nglangon & Satelit GPM

E. Pemilihan Faktor Koreksi

Setelah faktor koreksi ditentukan, faktor tersebut diterapkan untuk memperbaiki data curah hujan yang digunakan pada tahap kalibrasi. Selanjutnya, tingkat akurasi data curah hujan satelit IMERG yang telah dikoreksi dievaluasi menggunakan parameter koefisien korelasi (R), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE). Faktor koreksi yang memberikan peningkatan akurasi paling signifikan terhadap data curah hujan satelit dipilih untuk digunakan pada tahap analisis selanjutnya. Hasil evaluasi akurasi terbaik data curah hujan satelit IMERG terkoreksi untuk bulanan disajikan pada Tabel 7.

Pemilihan model koreksi terbaik pada penelitian ini mempertimbangkan empat parameter evaluasi, yaitu NSE, RMSE, R, dan RB secara bersama-sama, dengan kriteria utama berupa kemampuan model bertahan (tidak menurun performanya) ketika diuji pada data validasi independen yang tidak dilibatkan dalam pembentukan persamaan (Tabel 8), bukan semata-mata nilai akurasi pada tahap kalibrasi maupun kesederhanaan bentuk persamaan.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Evaluasi Data Curah Hujan Bulanan Stasiun dan Satelit GPM Terkoreksi

Stasiun Hujan	Tahun	Regresi		NSE		RMSE	R		RB (%)
		Jenis Regresi	Persamaan Regresi	Nilai	Interpretasi		Nilai	Interpretasi	
Nglangon	2005 - 2012	Linear	$y = 0.7042x + 39.157$	0.644	Memenuhi	82.498	0.803	Korelasi Sangat Kuat	0.000
		Linear Intercept	$y = 0.8254x$	0.613	Memenuhi	86.059	0.803	Korelasi Sangat Kuat	-8.634
		Polinomial Orde 2	$y = -0.0005x^2 + 0.9458x + 25.235$	0.653	Memenuhi	81.519	0.808	Korelasi Sangat Kuat	0.000
		Polinomial Orde 2 Intercept	$y = -0.0008x^2 + 1.1395x$	0.644	Memenuhi	82.551	0.807	Korelasi Sangat Kuat	-3.778

Berdasarkan Tabel 7, rekapitulasi hasil evaluasi kinerja data curah hujan bulanan satelit GPM IMERG yang telah dikoreksi menggunakan beberapa metode regresi terhadap data hujan stasiun Nglangon periode kalibrasi 2005–2012. Metode koreksi yang digunakan meliputi regresi Linier, regresi Linier *Intercept*, Regresi Polinomial Orde Dua, dan Regresi Polinomial Orde Dua *Intercept*. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan parameter NSE, RMSE, R, dan RB pada 96 data bulanan periode kalibrasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh metode koreksi memberikan kinerja pada kategori memenuhi (NSE 0,613–0,653) dengan nilai koefisien korelasi yang seluruhnya termasuk kategori sangat kuat (R 0,803–0,808).

Metode regresi Linier menghasilkan NSE sebesar 0,644, RMSE sebesar 82,498, R sebesar 0,803, dan RB sebesar 0,000%. Regresi Linier *Intercept* menghasilkan NSE terendah (0,613) dengan RB terbesar (-8,634%), menunjukkan kecenderungan bias yang lebih besar dibandingkan model lainnya. Regresi Polinomial Orde Dua memberikan NSE sebesar 0,653 dan RMSE terendah pada tahap kalibrasi (81,519). Adapun regresi Polinomial Orde Dua *Intercept* menghasilkan NSE sebesar 0,644 dengan RB yang jauh lebih kecil (-3,778%) dibandingkan Polinomial Orde Dua tanpa *intercept*.

Untuk memastikan bahwa model yang dipilih benar-benar mampu digeneralisasi pada data baru, keempat model hasil kalibrasi tersebut selanjutnya diuji pada data independen periode 2013–2015 (36 data bulanan) yang sama sekali tidak dilibatkan dalam proses kalibrasi. Hasil pengujian pada data validasi independen ini menunjukkan bahwa regresi Polinomial Orde Dua *Intercept* secara konsisten memberikan kinerja terbaik pada seluruh parameter evaluasi (R = 0,877, NSE = 0,768, RMSE = 64,998, RB = -2,025%), unggul dibandingkan ketiga model lainnya baik pada tahap kalibrasi maupun validasi. Peningkatan kinerja pada data validasi dibandingkan data kalibrasi (NSE naik dari 0,644 menjadi 0,768) mengindikasikan bahwa model ini tidak mengalami overfitting terhadap data kalibrasi dan memiliki kemampuan generalisasi yang baik. Dengan mempertimbangkan keunggulan model ini secara konsisten pada keempat parameter evaluasi (R, NSE, RMSE, dan RB) di kedua tahap pengujian, dapat disimpulkan bahwa jenis persamaan regresi Polinomial Orde Dua *Intercept* dipilih sebagai model koreksi akhir untuk mengoreksi data hujan bulanan satelit GPM pada periode 2005–2015.

F. Validasi Data Curah Hujan Satelit GPM IMERG dan Data Curah Hujan Stasiun Terkoreksi

Validasi dimaksudkan untuk menilai tingkat kecermatan data curah hujan bulanan satelit GPM yang telah dikoreksi dibandingkan dengan data curah hujan hasil pengamatan lapangan pada periode yang independen (tidak dilibatkan) dari tahap kalibrasi. Sebelum dilakukan validasi, tahap kalibrasi telah dilaksanakan menggunakan analisis regresi dengan beberapa bentuk persamaan pada periode 2005–2012, dan persamaan Polinomial Orde Dua *Intercept* dipilih sebagai model analisis regresi terbaik untuk Pos Hujan Stasiun Nglangon, kemudian diuji pada data periode 2013–2015.

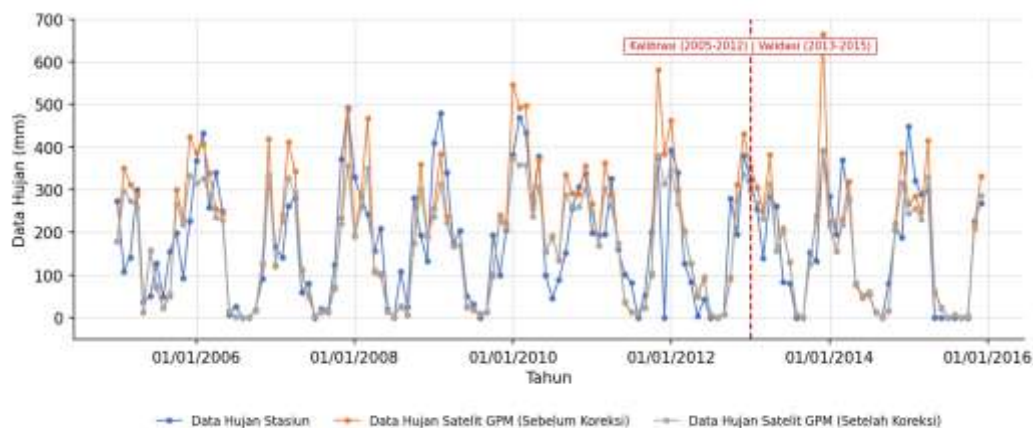
Tabel 8. Rekapitulasi Nilai NSE, RMSE, R, dan RB Tahap Validasi

Stasiun Hujan	Periode	Regresi		NSE		RMSE	Koefisien Korelasi (R)		RB (%)
		Jenis Regresi	Persamaan Regresi	Nilai	Interpretasi		Nilai	Interpretasi	
Nglangon	Bulanan Selama 3 Tahun (2013-2015)	Polinomial Orde 2 <i>Intercept</i>	$y = -0.0008x^2 + 1.1395x$	0.768	Baik	64.998	0.877	Korelasi Sangat Kuat	-2.025

Berdasarkan Tabel 8, hasil rekapitulasi nilai NSE, RMSE, R, dan RB pada tahap validasi data curah hujan bulanan satelit GPM IMERG yang telah dikoreksi menggunakan persamaan regresi Polinomial Orde Dua *Intercept* (hasil kalibrasi pada periode 2005–2012) terhadap data hujan stasiun Nglangon. Evaluasi

dilakukan untuk periode bulanan selama 3 tahun (2013–2015) yang independen dan tidak dilibatkan dalam proses kalibrasi. Hasil validasi menunjukkan nilai NSE sebesar 0,768 yang termasuk dalam kategori baik, serta nilai RMSE sebesar 64,998 mm yang menunjukkan tingkat kesalahan estimasi yang rendah. Nilai R sebesar 0,877 mengindikasikan adanya hubungan yang sangat kuat antara data curah hujan satelit IMERG terkoreksi dan data curah hujan hasil pengukuran. Nilai *Relative Bias* (RB) sebesar -2,025% mengindikasikan adanya kecenderungan underestimasi yang kecil pada data curah hujan satelit IMERG terkoreksi, jauh lebih rendah dibandingkan bias data sebelum koreksi (10,94% overestimasi), meskipun uji signifikansi statistik terhadap bias ini tidak dilakukan pada penelitian ini. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa performa model koreksi pada data validasi independen justru lebih baik dibandingkan pada tahap kalibrasi, yang mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan tidak mengalami overfitting, sehingga data curah hujan satelit IMERG terkoreksi layak digunakan untuk analisis hidrologi pada skala bulanan.

G. Perbandingan Data Curah Hujan



Gambar 3. Perbandingan Data Hujan Pengukuran, Data Hujan Satelit Tidak Terkoreksi, dan Data Hujan Satelit Terkoreksi (Persamaan Polinomial Orde Dua *Intercept*) Pos Hujan Nglangon Periode 2005–2015

Gambar 3 memperlihatkan perbandingan data curah hujan bulanan hasil pengukuran di Stasiun Nglangon, data curah hujan satelit GPM IMERG sebelum koreksi, dan data curah hujan satelit GPM IMERG setelah dilakukan koreksi menggunakan persamaan Polinomial Orde Dua *Intercept*, untuk periode 2005–2015. Garis putus-putus merah pada grafik menandai batas antara periode kalibrasi (2005–2012) dan periode validasi independen (2013–2015). Secara umum, data curah hujan satelit sebelum koreksi menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terhadap data hujan hasil pengukuran, baik dalam hal besaran maupun pola fluktuasi, yang ditandai dengan adanya kecenderungan overestimasi pada beberapa periode tertentu.

Setelah diterapkan faktor koreksi, data curah hujan satelit GPM IMERG menunjukkan kesesuaian yang lebih baik terhadap data curah hujan hasil pengukuran, baik pada periode kalibrasi maupun periode validasi. Hal ini terlihat dari semakin mendekatnya pola fluktuasi dan nilai puncak curah hujan satelit terkoreksi terhadap data stasiun, termasuk pada periode validasi (2013–2015) yang sama sekali tidak dilibatkan dalam pembentukan persamaan koreksi. Meskipun masih terdapat beberapa selisih pada bulan-bulan tertentu, secara keseluruhan perbedaan antara data satelit terkoreksi dan data pengukuran menjadi lebih kecil dibandingkan dengan data satelit sebelum koreksi.

Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan faktor koreksi mampu meningkatkan akurasi data curah hujan satelit GPM IMERG secara konsisten pada data yang dipakai membentuk model maupun pada data baru

yang independen, khususnya dalam merepresentasikan variasi temporal curah hujan bulanan di Pos Hujan Nglangon, sehingga data satelit terkoreksi lebih layak digunakan sebagai sumber data alternatif dalam analisis hidrologi.

SIMPULAN

Akurasi data curah hujan bulanan satelit IMERG terhadap data curah hujan terukur di Desa Crewek, Kecamatan Kradenan, Jawa Tengah menunjukkan kinerja yang cukup baik. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa data hujan satelit IMERG mampu merepresentasikan pola variasi curah hujan bulanan di wilayah penelitian. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa performa data hujan satelit cenderung lebih baik pada agregasi waktu yang lebih panjang dibandingkan skala harian, sebagaimana ditunjukkan pada studi di Surabaya, Nusa Tenggara Timur, dan Bima dan Dompu. Faktor koreksi yang diperoleh melalui metode regresi linier sederhana, regresi polinomial orde dua, serta metode rasio rata-rata secara umum mampu meningkatkan akurasi data curah hujan satelit IMERG. Keempat model regresi diuji menggunakan skema kalibrasi (2005–2012) dan validasi independen (2013–2015) untuk memastikan kemampuan generalisasi model pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Hasil menunjukkan bahwa regresi Polinomial Orde Dua *Intercept* secara konsisten unggul pada seluruh parameter evaluasi (R, NSE, RMSE, dan RB) baik pada tahap kalibrasi maupun validasi independen, sehingga dipilih sebagai model koreksi akhir. Pada tahap validasi independen, data curah hujan bulanan satelit IMERG setelah dikoreksi menunjukkan nilai NSE sebesar 0,768 yang termasuk dalam kategori baik, nilai R sebesar 0,877 yang menunjukkan hubungan sangat kuat, nilai RMSE menurun dari 86,480 mm menjadi 64,998 mm, serta nilai RB membaik dari +11,67% (overestimasi) menjadi -2,025% (underestimasi kecil). Peningkatan kinerja pada data validasi dibandingkan data kalibrasi turut menunjukkan bahwa model tidak mengalami overfitting. Dengan demikian, data curah hujan bulanan dengan satelit IMERG yang telah dikoreksi dapat digunakan sebagai sumber data curah hujan alternatif yang tepat untuk wilayah Desa Crewek, Kecamatan Kradenan, Jawa Tengah, khususnya pada wilayah dengan keterbatasan ketersediaan data curah hujan hasil pengukuran. Beberapa rekomendasi yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya, berdasarkan keterbatasan yang teridentifikasi langsung dari hasil penelitian ini, antara lain: (1) uji signifikansi statistik terhadap nilai *Relative Bias* (RB) belum dilakukan pada penelitian ini, sehingga penelitian selanjutnya perlu menyertakan uji signifikansi untuk memperkuat interpretasi arah dan besaran bias data terkoreksi; (2) validasi model koreksi pada penelitian ini masih terbatas pada satu titik pengamatan (Pos Hujan Nglangon), sehingga cakupan spasial perlu diperluas dengan melibatkan lebih banyak stasiun hujan guna menguji konsistensi faktor koreksi secara spasial; (3) metode evaluasi kualitas data curah hujan satelit pada penelitian ini masih terbatas pada penggunaan statistik kontinu, sehingga penelitian berikutnya dapat menerapkan metode evaluasi lain, seperti analisis kategorikal menggunakan matriks kontingensi, uji stasioner, atau pendekatan serupa; (4) sumber data curah hujan satelit yang digunakan dapat diperluas dengan memanfaatkan produk satelit lain yang telah tersedia secara luas dan dapat diakses secara bebas; (5) analisis curah hujan dapat diperluas dengan menambahkan skala waktu harian dan dasarian guna memperoleh pemahaman yang lebih rinci terhadap karakteristik dan variasi curah hujan.

REFERENSI

- [1] V. T. Chow, D.R. Maidment, dan L. W. Mays, (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- [2] R. C. Ward dan M. Robinson. (2000). *Principles of Hydrology* (4th ed.). London: McGraw-Hill.
- [3] R. G. Barry, dan R.J. Chorley. (2009). *Atmosphere, Weather and Climate* (9th ed.). London: Routledge.
- [4] C.D. Ahrens. (2012). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Belmont, CA: Brooks/Cole.

- [5] Soewarno. (1995). *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data*. Bandung: Nova.
- [6] K. Subramanya. (2013). *Engineering Hydrology* (4th ed.). New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- [7] WMO (World Meteorological Organization). (2008). *Guide to Hydrological Practices* (6th ed.). Geneva: WMO.
- [8] C.Kidd, dan G.J. Huffman. (2011). "Global Precipitation Measurement". *Meteorological Applications*, 18(3), 334–353. <https://doi.org/10.1002/met.284>
- [9] I. Kurniawan. (2022). "Evaluasi Data GPM-IMERG (Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-Satellite Retrieval for GPM) di Provinsi NTB." *Megasains*, 13(1), 6–13. <https://doi.org/10.46824/megasains.v13i01.62>
- [10] A. P. Nugroho, dan S.S Sachro. (2024). "Analisis Regresi untuk Penentuan Faktor Koreksi Data Hujan Satelit (Studi Kasus Daerah Tangkapan Air Bendungan Way Apu)." *Teknik*, 45(1), 59–68. <https://doi.org/10.14710/teknik.v45i1.60335>
- [11] A. Putra, D. Harisuseno, dan R. Asmaranto. (2024). "Evaluasi dan Koreksi Data Curah Hujan Satelit GPM (Global Precipitation Measurement) Terhadap Data Stasiun Hujan Observasi di DAS Dodokan, Nusa Tenggara Barat." *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(2), 1313–1326. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.02.110>
- [12] R. Andari, dan D. Daoed. (2024). Validation of TRMM and GPM Satellite Data Using Daily Precipitation Observations. " *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology*, 14(2).
- [13] E. Suhartanto, U. Andawayanti, R.D.Lufira, A.A. Darmawan, dan A.S. Putri,. (2025). " Model Prototipe Alih Ragam Hujan ke Debit Menggunakan Data Satelit TRMM dan Jaringan Syaraf Tiruan." *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 161–173.
- [14] A. Jarwanti, S. Widodo, dan H. Prabowo. (2021). "Analisis Regresi Linier dalam Kalibrasi Data Hujan Satelit Terhadap Data Pengamatan." *Jurnal Teknik Sipil*, 28(1), 15–26.
- [15] R. Partarini, R. Hidayat, dan A. Putra. (2021). "Validasi Model Hidrologi Menggunakan Data di Luar Periode kalibrasi." *Jurnal Sumber Daya Air*, 17(1), 33–42.
- [16] W. Estiningtyas, dan A. H. Wigena, (2011). "Analisis Kinerja Model Hujan Menggunakan Metode Statistik Kontinu." *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 13(2), 61–70.
- [17] D. Krisnayanti, R. Sari, dan A. Nugroho. (2020). "Analisis Korelasi Dalam Evaluasi Data Hidrologi." *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(2), 101–109.
- [18] A. Andani, dan Endarwin. (2016). "Evaluasi Kinerja Data Hujan Satelit Terhadap Data Pengamatan Menggunakan Statistik Kontinu." *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 12(2), 85–94.
- [19] R. Sanjaya, B. Nugroho, dan Y. Prasetyo. (2022). "Evaluasi Bias Data Hujan Satelit pada Berbagai Skala Waktu." *Jurnal Geomatika*, 14(2), 89–98.
- [20] S. Sanjaya, D.Yudianto, F. Fitriana, dan S.R. Rusli. (2024). "Evaluation and Correction of Satellite-based Rainfall Products (GPM) in The Upstream Part of Bengawan Solo Basin using MCVV parameterization." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1343(1), 012008.
- [21] A. M. Ferynandari, E. Suhartanto, dan L. Prasetyorini. (2025). "Evaluasi Kinerja Teknik Koreksi Bias Untuk Meningkatkan Akurasi Global Precipitation Measurement (GPM) di Daerah Aliran Sungai Rejoso, Indonesia." *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 9(2), 165–180.
- [22] M. Azka, Y. Prasetyo, dan B. Nugroho. (2018). "Evaluasi Akurasi Data Hujan Satelit Terhadap Data Hujan pengamatan di wilayah Surabaya." *Jurnal Hidrologi Indonesia*, 3(1), 45–54.
- [23] R.Beas, E.Nursanto, dan D. Saputra. (2021). "Evaluasi Data Curah Hujan Satelit GPM IMERG di Wilayah Nusa Tenggara Timur." *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 22(3), 167–178.
- [24] Rostihanji, dan H. Saidah. (2023). "Validitas Data Curah Hujan Produk Satelit IMERG Terhadap Data Curah Hujan Terukur di Wilayah Bima dan Dompu." *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(2), 137–152. <https://doi.org/10.22225/pd.12.2.6461.137-152>