

Validasi Curah Hujan GPM V7 sebagai Informasi Agroklimat Perencanaan Pola Tanam di DAS Ngasinan Hilir

Dani Iftakhu Risqi^{1*}, Lily Montarchi Limantara², Jadfian Sidqi Fidari³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

*Email: ¹daniiftakhu@student.ub.ac.id

ABSTRACT

Accurate rainfall data are essential for agroclimatic planning, particularly for determining cropping patterns in watersheds with limited ground-based observation networks. This study evaluated the performance of Global Precipitation Measurement Version 7 (GPM V7) satellite rainfall data as an alternative hydroclimatic information source for cropping pattern planning in the Ngasinan Hilir Watershed, Tulungagung Regency. Daily rainfall records from three rain gauge stations—Pagerwojo, Besuki, and Kalidawir—covering the period 2015–2024 were used as ground-truth references. Prior to analysis, observational data were subjected to consistency testing (Double Mass Curve and RAPS), stationarity testing (F-test and t-test), and inlier-outlier screening. Areal rainfall was computed using the Thiessen polygon method. Bias correction of the raw GPM V7 data was performed using the Linear Scaling method, and the corrected outputs were evaluated against ground observations using the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) and Pearson correlation coefficient (R) at four temporal resolutions: annual, monthly, 15-daily, and 10-daily. Before correction, GPM V7 exhibited severe systematic bias, with NSE values as low as -12.294 (monthly) and a negative correlation at the annual scale ($R = -0.260$), rendering the raw data unsuitable for direct hydrological application. After Linear Scaling correction, performance improved substantially across all temporal scales. Correlation coefficients reached 1.000 (annual), 0.900 (monthly), 0.820 (15-daily), and 0.832 (10-daily). NSE values improved to 1.000 (annual), 0.809 (monthly), 0.658 (15-daily), and 0.687 (10-daily), corresponding to “Very Good” categories at annual and monthly scales and “Good” at sub-monthly scales based on Moriasi et al. (2007) criteria. These results confirm that bias-corrected GPM V7 data are statistically reliable and operationally applicable as a substitute for scarce ground observations in the Ngasinan Hilir Watershed. The corrected dataset is recommended for use in water balance analysis, irrigation infrastructure planning, and the development of irrigation cropping calendars, offering a scalable solution to rainfall data scarcity in data-limited tropical watersheds.

Keywords: GPM V7, rainfall validation, Linear Scaling, agroclimate.

ABSTRAK

Ketersediaan data curah hujan yang akurat merupakan kebutuhan utama dalam perencanaan agroklimat, khususnya untuk penentuan pola tanam pada daerah aliran sungai yang memiliki keterbatasan jaringan stasiun hujan permukaan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja data curah hujan satelit Global Precipitation Measurement Version 7 (GPM V7) sebagai alternatif sumber informasi hidroklimat untuk perencanaan pola tanam di DAS Ngasinan Hilir, Kabupaten Tulungagung. Data curah hujan harian dari tiga pos hujan, yaitu Pagerwojo, Besuki, dan Kalidawir, periode 2015–2024 digunakan sebagai referensi observasi permukaan. Sebelum digunakan, data stasiun diuji melalui uji konsistensi (Double Mass Curve dan RAPS), uji stasioneritas (Uji-F dan Uji-t), serta uji inlier-outlier. Curah hujan wilayah dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen. Koreksi bias data GPM V7 mentah dilakukan dengan metode Linear Scaling, kemudian divalidasi menggunakan parameter Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) dan koefisien korelasi Pearson (R) pada empat resolusi temporal: tahunan, bulanan, 15 harian, dan 10 harian. Sebelum koreksi, GPM V7 menunjukkan bias sistematis yang sangat besar, dengan nilai NSE serendah $-12,294$ (bulanan) dan korelasi negatif pada skala tahunan ($R = -0,260$), sehingga data mentah tidak layak digunakan langsung dalam analisis hidrologi. Setelah koreksi Linear Scaling, performa data meningkat signifikan pada seluruh resolusi temporal. Koefisien korelasi mencapai 1,000 (tahunan), 0,900

(bulanan), 0,820 (15 harian), dan 0,832 (10 harian). Nilai NSE meningkat menjadi 1,000 (tahunan), 0,809 (bulanan), 0,658 (15 harian), dan 0,687 (10 harian), yang masuk kategori Sangat Baik pada skala tahunan dan bulanan, serta kategori Baik pada skala sub-bulanan berdasarkan kriteria Moriasi dkk. (2007). Hasil ini mengonfirmasi bahwa data GPM V7 terkoreksi secara statistik andal dan layak digunakan sebagai pengganti data observasi permukaan yang terbatas di DAS Ngasinan Hilir. Data terkoreksi direkomendasikan untuk analisis neraca air, perencanaan bangunan irigasi, serta penyusunan kalender tanam irigasi, sekaligus menjadi solusi skalabel atas keterbatasan data curah hujan di daerah aliran sungai tropis dengan jaringan observasi yang minim.

Kata-kata Kunci: GPM V7, validasi curah hujan, Linear Scaling, agroklimat.

PENDAHULUAN

Ketersediaan data curah hujan yang akurat merupakan pondasi utama dalam perencanaan infrastruktur sumber daya air, mulai dari dimensi bangunan irigasi, perhitungan neraca air, hingga penentuan pola tata tanam. Namun, keterbatasan jumlah stasiun hujan permukaan, distribusi yang tidak merata, dan data yang sering terputus akibat kerusakan alat menjadi kendala nyata di lapangan (WMO, 2022). Teknologi penginderaan jauh berbasis satelit hadir sebagai solusi alternatif yang menjanjikan. Produk GPM (*Global Precipitation Measurement*) V7, hasil kolaborasi NASA dan JAXA, mampu menyediakan estimasi curah hujan dengan resolusi spasial dan temporal tinggi serta cakupan global (Huffman dkk., 2023). Namun demikian, sensor satelit mengukur presipitasi di kolom atmosfer, bukan di permukaan bumi, sehingga berpotensi mengandung bias sistematis yang signifikan ketika dibandingkan dengan data observasi permukaan (Pradhan dkk., 2022).

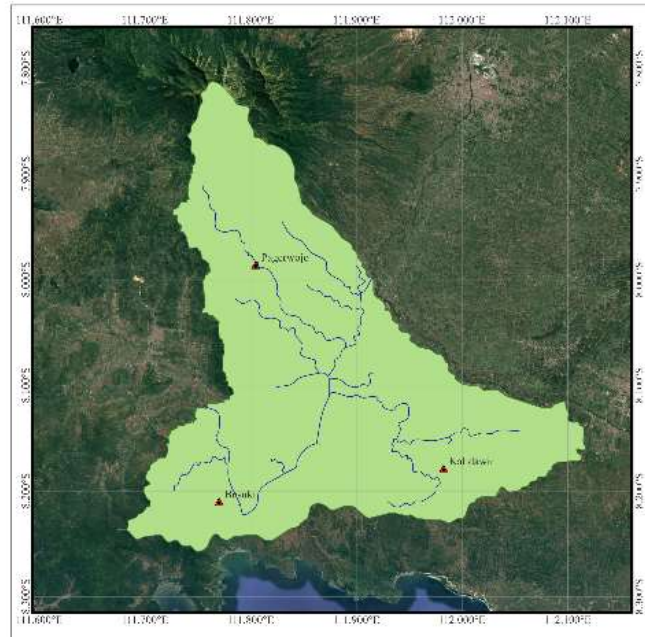
GPM V7 merupakan produk estimasi curah hujan berbasis satelit generasi terbaru yang dikembangkan NASA dan JAXA. Sensor utama yang digunakan adalah *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR) dan *GPM Microwave Imager* (GMI) yang mampu mendeteksi intensitas dan distribusi hujan global. Meskipun memiliki resolusi temporal dan spasial yang tinggi, estimasi GPM V7 dapat dipengaruhi oleh tutupan awan dan kondisi atmosfer lokal sehingga berpotensi menghasilkan bias positif terhadap curah hujan aktual di permukaan (Huffman dkk., 2023; Pradhan dkk., 2022).

DAS Ngasinan Hilir Kabupaten Tulungagung menghadapi tantangan keterbatasan data hidrologi yang krusial karena wilayah ini memiliki dinamika hidrologi yang kompleks dan kebutuhan tata guna air yang tinggi untuk aktivitas irigasi pertanian (BBWS Brantas, 2020). Oleh karena itu, diperlukan evaluasi dan koreksi data satelit GPM sebelum digunakan dalam analisis hidrologi praktis di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan: (1) mengkalibrasi data curah hujan satelit GPM V7 menggunakan metode *Linear Scaling* pada empat resolusi temporal di DAS Ngasinan Hilir; dan (2) memvalidasi hasil kalibrasi menggunakan parameter statistik koefisien korelasi (R) dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE).

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi penelitian adalah DAS Ngasinan Hilir Kabupaten Tulungagung Jawa Timur. Data yang digunakan mencakup: (1) data curah hujan harian dari tiga stasiun observasi permukaan (Pagerwojo, Besuki, dan Kalidawir) periode 2015-2024 yang diperoleh dari BBWS Brantas; (2) data curah hujan satelit GPM V7 (IMERG) yang diunduh dari portal NASA pada koordinat yang bersesuaian dengan masing-masing stasiun hujan. Rentang data 10 tahun dipilih sebagai batas minimum operasional yang representatif untuk menangkap siklus basah-kering tahunan (Valls dkk., 2021). Lokasi wilayah studi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi DAS Ngasinan Hilir Kabupaten Tulungagung dan Sebaran Stasiun Hujan

B. Analisis Kualitas Data Curah Hujan Observasi

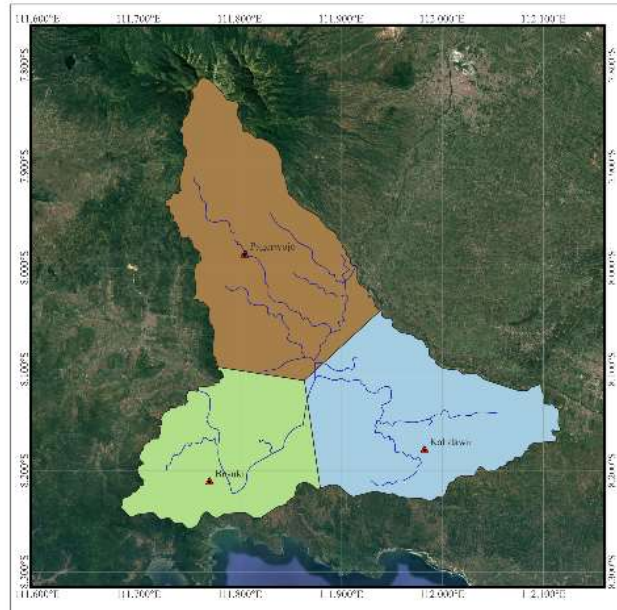
Sebelum digunakan sebagai referensi validasi, data curah hujan observasi diuji kualitasnya melalui tiga tahap: (1) Uji Konsistensi menggunakan metode *Double Mass Curve* (DMC) untuk mendeteksi perubahan kondisi pengukuran; (2) Uji Stasioner menggunakan Uji-F (kestabilan varian) dan Uji-t (kestabilan rata-rata); serta (3) Uji *Inlier-Outlier* untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi data pencilan yang menyimpang secara statistik.

C. Analisis Curah Hujan Rata-Rata Wilayah

Curah hujan rata-rata wilayah DAS Ngasinan Hilir dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen. Batas DAS dan area pengaruh masing-masing stasiun ditentukan menggunakan analisis spasial QGIS dengan sistem referensi koordinat WGS 84/UTM zone 49S. Faktor luas pengaruh (K_r) masing-masing stasiun disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Luas Pengaruh Stasiun Hujan (K_r) Metode Thiessen

No.	Stasiun Hujan	Luas Area (km ²)	K_r
1	Pagerwojo	Thiessen Area	K_r Pagerwojo
2	Besuki	Thiessen Area	K_r Besuki
3	Kalidawir	Thiessen Area	K_r Kalidawir
Total	DAS Ngasinan Hilir	Total Luas	1,000



Gambar 2. Poligon Thiessen DAS Ngasinan Hilir dan Sebaran Tiga Stasiun Hujan

D. Metode Linear Scaling

Metode *Linear Scaling* merupakan teknik koreksi bias yang sederhana namun efektif untuk menyelaraskan data satelit dengan data observasi. Prinsip dasar metode ini adalah mengalikan data satelit dengan faktor koreksi yang diperoleh dari perbandingan antara curah hujan total observasi dan curah hujan total satelit:

$$\text{Faktor Koreksi} = \text{Total Hujan Stasiun} / \text{Total Hujan Satelit GPM}$$

$$\text{CH Satelit Terkoreksi} = \text{CH Satelit} \times \text{Faktor Koreksi}$$

Metode ini telah terbukti efektif dalam berbagai studi validasi data satelit di Indonesia dan daerah tropis lainnya (Teutschbein & Seibert, 2012; Jarwanti dkk., 2021).

E. Kriteria Evaluasi Validasi

Koefisien korelasi merupakan ukuran statistik yang digunakan untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel, yaitu variabel X sebagai variabel bebas (yang memengaruhi) dan variabel Y sebagai variabel terikat (yang dipengaruhi). Nilai koefisien ini memberikan indikasi sejauh mana perubahan pada variabel X berhubungan dengan perubahan pada variabel Y. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi (R), semakin kuat hubungan yang terbentuk dan semakin baik kesesuaian model dalam menggambarkan hubungan antar variabel. Persamaan untuk menghitung koefisien korelasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n P_i Q_i - \sum_{i=1}^n P_i \times \sum_{i=1}^n Q_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n P_i^2 - (\sum_{i=1}^n P_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Q_i^2 - (\sum_{i=1}^n Q_i)^2}}$$

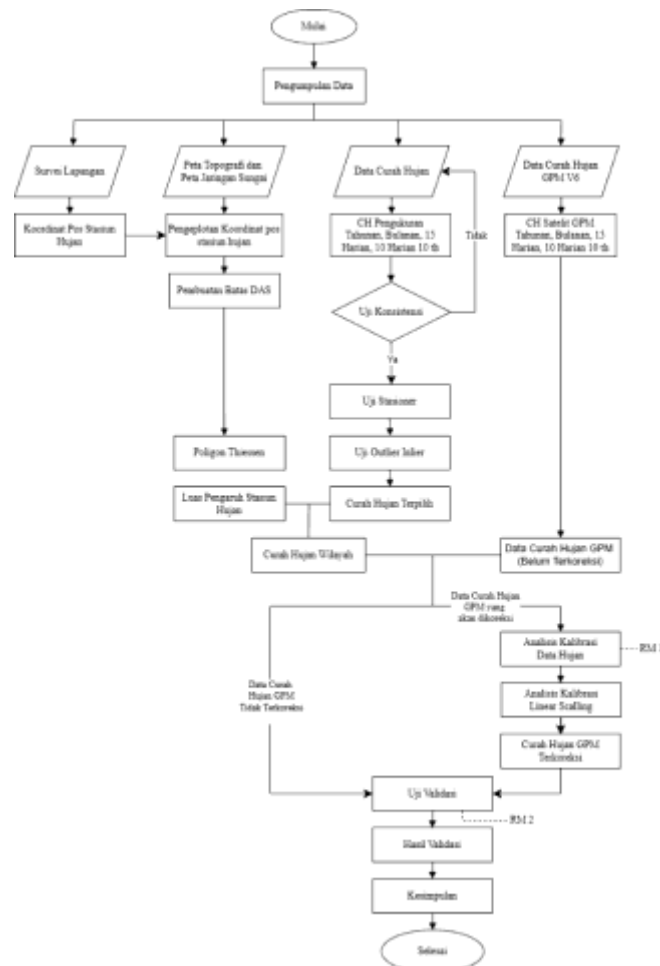
Metode *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) merupakan parameter statistik yang digunakan untuk menilai kinerja model hidrologi dengan membandingkan varian antara hasil observasi dan hasil simulasi (Moriassi, 2007). Indeks ini menggambarkan sejauh mana data simulasi mampu merepresentasikan data observasi secara akurat, yang ditunjukkan melalui kesesuaian keduanya terhadap garis 1:1. Nilai NSE dihitung berdasarkan perbandingan antara varians residual (kesalahan) dan varians data observasi, sebagaimana dikemukakan oleh Nash dan Sutcliffe (1970). Persamaan yang digunakan pada perhitungan NSE adalah sebagai berikut:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Di mana P_i adalah curah hujan observasi, Q_i adalah curah hujan satelit terkoreksi, dan P_{rata} adalah rata-rata curah hujan observasi. Kriteria NSE mengacu pada Moriasi (2007): $NSE > 0,75$ = Sangat Baik; $0,65 < NSE \leq 0,75$ = Baik; $0,50 < NSE \leq 0,65$ = Memuaskan; $NSE \leq 0,50$ = Tidak Memuaskan.

E. Prosedur Kalibrasi dan Validasi

Validasi data dilakukan pada empat resolusi temporal sesuai kebutuhan teknis rekayasa sumber daya air: tahunan (perencanaan bangunan air), bulanan (neraca air), 15 harian (pola tata tanam), dan 10 harian/dasarian (kalender tanam irigasi). Proses kalibrasi dan validasi menggunakan periode 2015-2024 (10 tahun). Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Kualitas Data Observasi

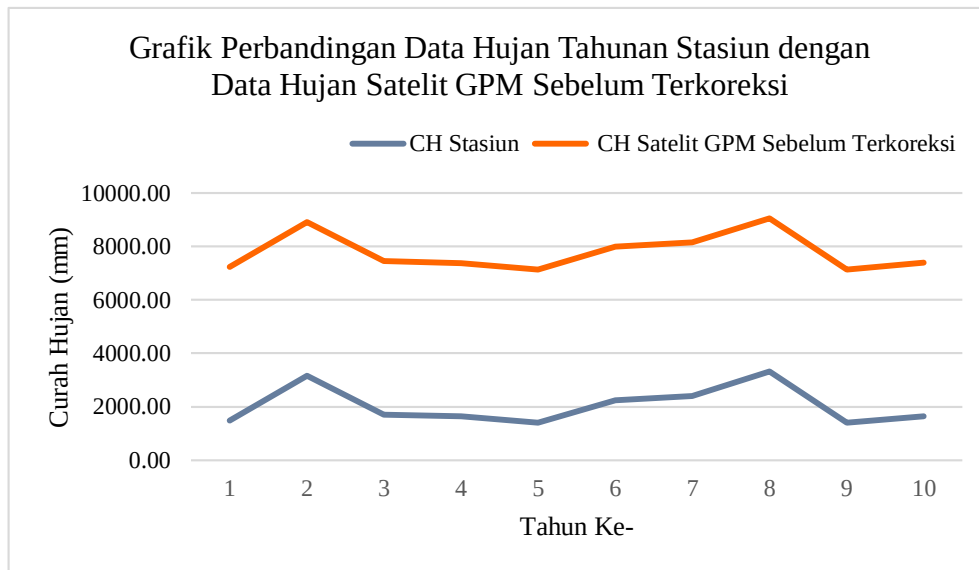
Uji konsistensi dengan metode *Double Mass Curve* (DMC) pada ketiga stasiun menunjukkan bahwa data curah hujan observasi bersifat konsisten, ditandai oleh pola garis lurus tanpa patahan yang signifikan. Uji stasioner (Uji-F dan Uji-t) menunjukkan bahwa data pada ketiga stasiun memiliki varian dan rata-rata yang stabil sepanjang periode pengamatan. Uji *inlier-outlier* tidak menemukan data pencilon yang perlu dieliminasi, sehingga seluruh data 10 tahun layak digunakan sebagai referensi kalibrasi.

B. Kondisi Data GPM V7 Sebelum Kalibrasi

Data curah hujan satelit GPM V7 mentah menunjukkan bias positif yang sangat signifikan terhadap data observasi permukaan pada seluruh resolusi temporal. Nilai koefisien korelasi (R) sebelum koreksi dan nilai NSE ditunjukkan pada Tabel 2. Bias paling ekstrem terjadi pada resolusi tahunan dengan $R = -0,260$ dan $NSE = -5,822$, yang mengindikasikan bahwa data mentah GPM V7 tidak layak digunakan langsung untuk analisis hidrologi di DAS Ngasinan Hilir tanpa proses koreksi.

Tabel 2. Nilai R dan NSE Data GPM V7
Sebelum Kalibrasi

Resolusi Temporal	R (Sebelum)	NSE (Sebelum)
Tahunan	-0,260	-5,822
Bulanan	0,858	-12,294
15 Harian	0,765	-9,435
10 Harian	0,772	-8,816



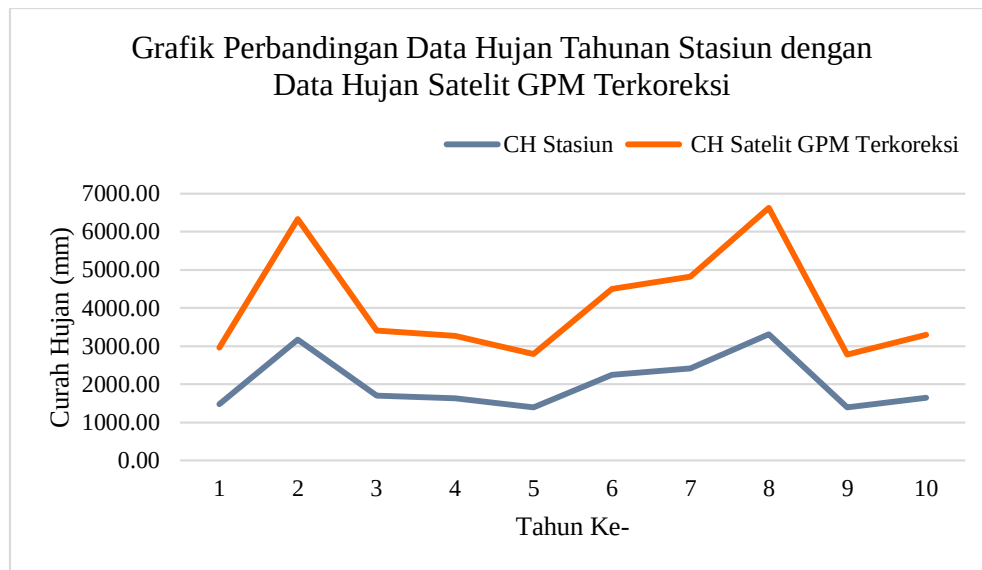
Gambar 4. Grafik Perbandingan Curah Hujan Tahunan Stasiun dengan GPM V7 Sebelum Kalibrasi

C. Hasil Kalibrasi dan Validasi

Setelah diaplikasikan metode *Linear Scaling*, data curah hujan GPM V7 menunjukkan peningkatan akurasi yang sangat signifikan pada seluruh resolusi temporal. Rangkuman hasil kalibrasi disajikan pada Tabel 3 dan grafik perbandingan setelah kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 5 hingga Gambar 8.

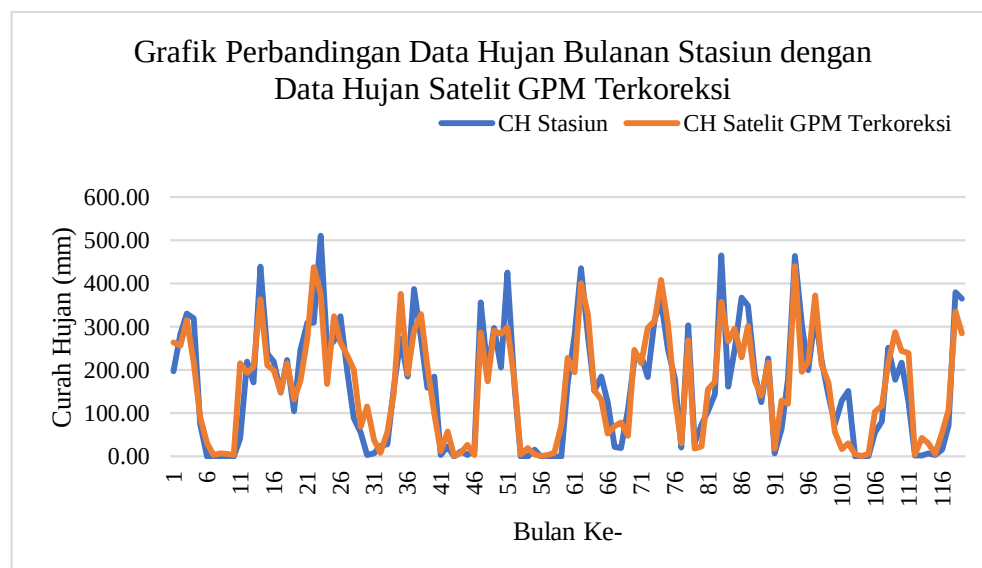
Tabel 3. Rangkuman Hasil Kalibrasi
Data Curah Hujan GPM V7

Resolusi Temporal	R (Sesudah)	NSE (Sesudah)	Kategori NSE
Tahunan	1,000	1,000	Sangat Baik
Bulanan	0,900	0,809	Sangat Baik
15 Harian	0,820	0,658	Baik
10 Harian	0,832	0,687	Baik

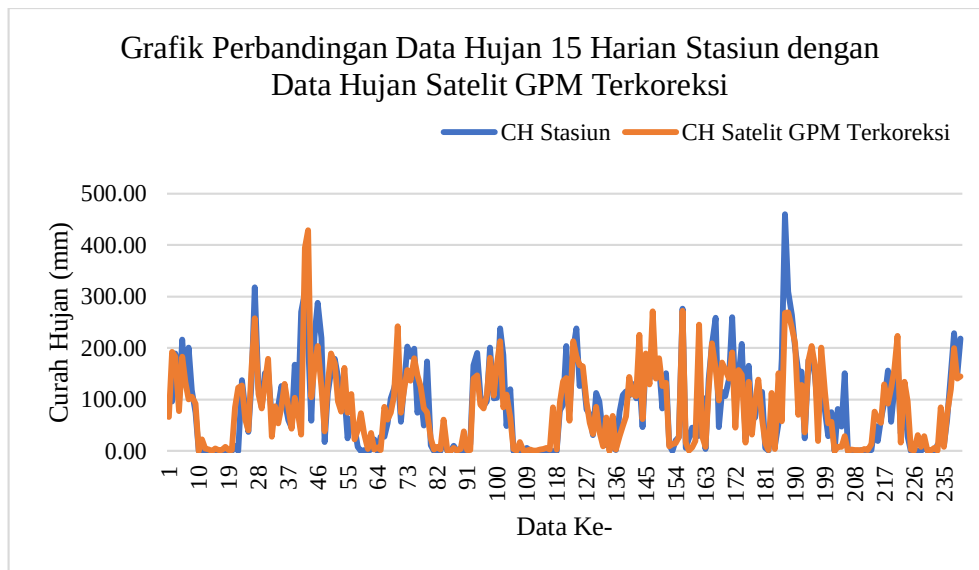


Gambar 5. Grafik Perbandingan Kalibrasi Data Hujan Tahunan Sesudah Koreksi

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5, visualisasi menunjukkan bahwa fluktuasi nilai curah hujan tahunan antara data stasiun hujan (observasi wilayah) dan data satelit GPM V7 terkoreksi memiliki pola tren kenaikan dan penurunan yang sangat selaras. Meskipun polanya searah, secara kuantitas volume, data satelit GPM V7 terkoreksi masih menunjukkan kecenderungan nilai yang lebih tinggi (*overestimation*) secara konsisten di sepanjang 10 tahun periode pengamatan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa koreksi bias harian menggunakan metode *Linear Scaling* berbasis faktor skala bulanan belum mampu sepenuhnya mereduksi bias akumulatif pada level tinjauan tahunan secara mutlak. Hal ini disebabkan oleh sifat variabilitas hujan harian ekstrem lokal yang terakumulasi secara masif di sepanjang tahun, sehingga tetap memicu kesenjangan volume tahunan di antara kedua dataset tersebut. Sebaliknya, peningkatan akurasi statistik dan kesesuaian volume yang jauh lebih rapat justru terlihat ketika evaluasi diturunkan ke resolusi yang lebih detail, yakni pada skala bulanan sebagaimana disajikan pada Gambar 6.

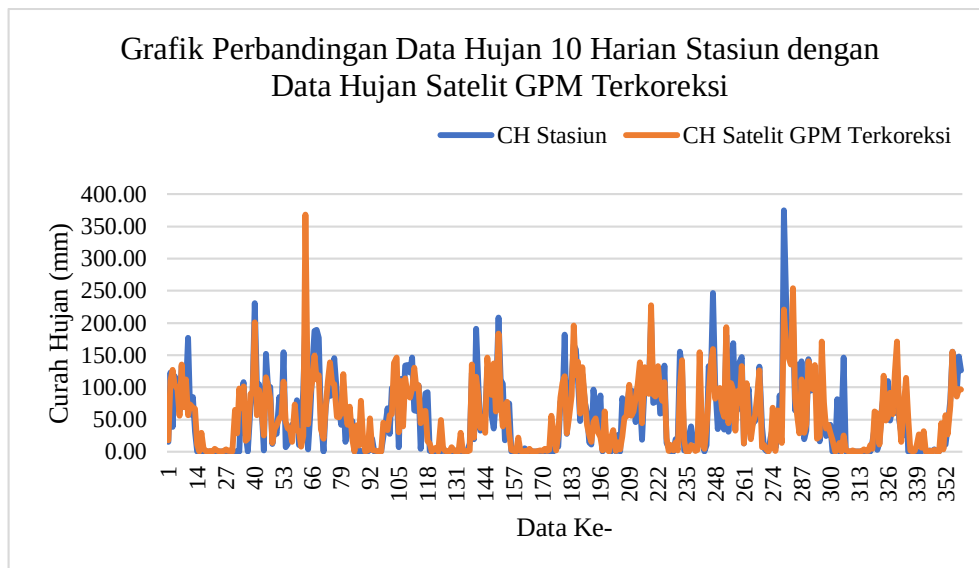


Gambar 6. Grafik Perbandingan Kalibrasi Data Hujan Bulanan Sesudah Koreksi



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kalibrasi Data Hujan 15 Harian Sesudah Koreksi

Konsistensi performa ini tetap terjaga dengan baik saat resolusi data dipersempit menjadi skala tengah bulanan (15 harian), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7. Meskipun variabilitas data pada skala 15 harian jauh lebih dinamis akibat adanya fluktuasi cuaca jangka pendek, metode *Linear Scaling* berbasis faktor skala bulanan terbukti efektif mengunci distribusi massa air bulanan ke dalam interval dua mingguan. Kesesuaian yang rapat pada Gambar 6 dan Gambar 7 ini menegaskan bahwa dataset satelit GPM V7 terkoreksi memiliki validitas yang sangat kuat untuk diaplikasikan dalam analisis agroklimatologi praktis, khususnya sebagai basis data dalam menyusun perencanaan pola tanam serta estimasi ketersediaan air permukaan di wilayah DAS Ngasinan Hilir.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Kalibrasi Data Hujan 10 Harian Sesudah Koreksi

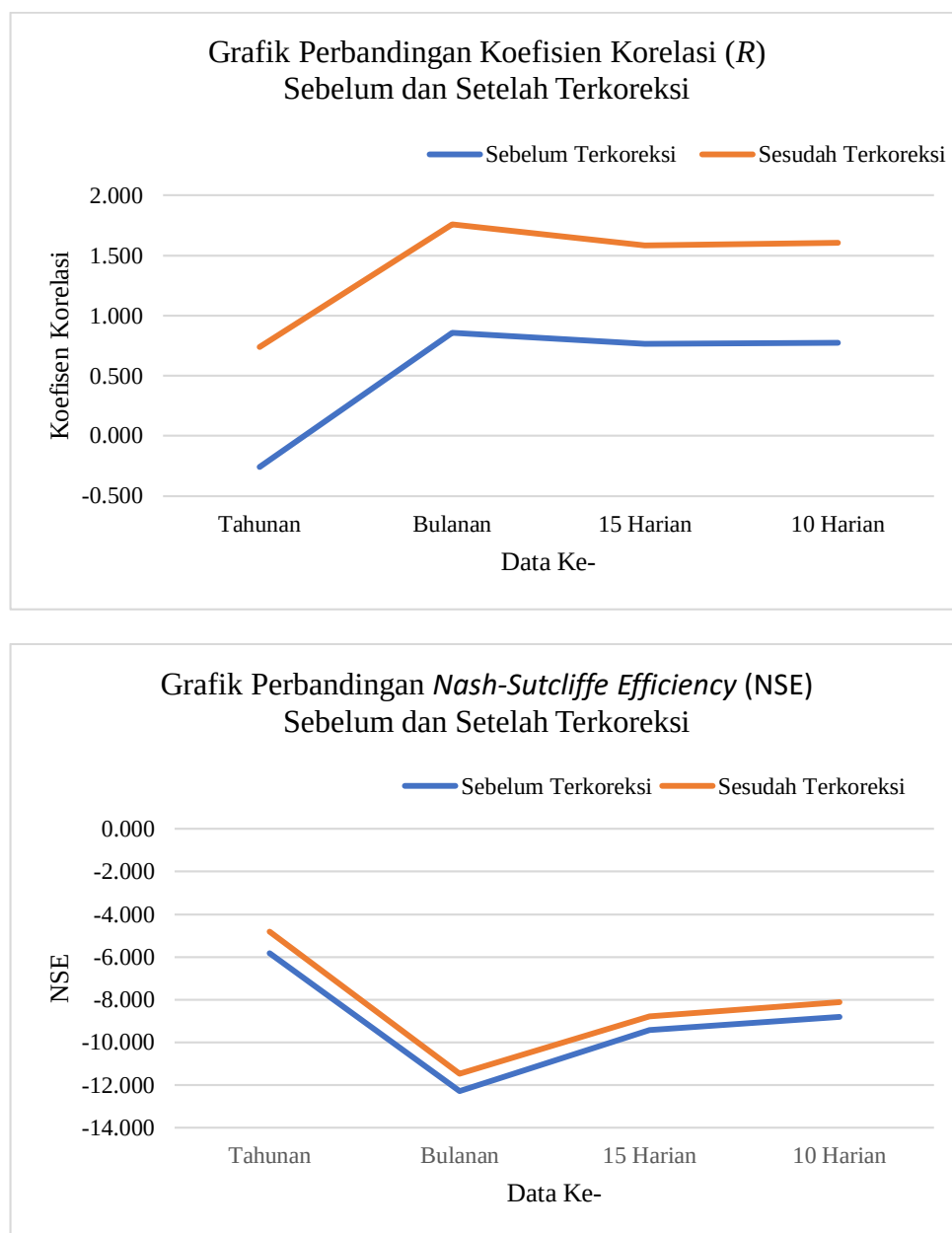
Pada resolusi tahunan, kalibrasi menghasilkan nilai $R = 1,000$ dan $NSE = 1,000$. Capaian sempurna ini disebabkan oleh sifat faktor koreksi yang bersifat *time-varying*, di mana setiap tahun memiliki faktor koreksi tersendiri berdasarkan perbandingan langsung total hujan tahunan. Seluruh data pada *scatter plot* tahunan melekat tepat di atas garis diagonal 1:1, mengkonfirmasi eliminasi bias secara presisi.

Pada resolusi bulanan, nilai R meningkat dari 0,858 menjadi 0,900 dan NSE meningkat drastis dari -12,294 menjadi 0,809 (Sangat Baik). Peningkatan NSE yang sangat tajam ini menunjukkan bahwa data satelit mentah memiliki bias volume yang sangat masif pada skala bulanan, namun metode *Linear Scaling* berhasil mengoreksinya dengan efektif.

Pada resolusi 15 harian, nilai R meningkat dari 0,765 menjadi 0,820 dan NSE dari -9,435 menjadi 0,658 (Baik). Pada resolusi 10 harian, nilai R meningkat dari 0,772 menjadi 0,832 dan NSE dari -8,816 menjadi 0,687 (Baik). Menariknya, koefisien korelasi pada resolusi 10 harian ($R=0,832$) lebih tinggi dari resolusi 15 harian ($R=0,820$), mengindikasikan bahwa pada skala dasarian pola distribusi hujan antara satelit dan stasiun memiliki keselarasan yang sedikit lebih baik. Nilai NSE pada kedua resolusi sub-bulanan ini masuk dalam kategori Baik ($0,65 < NSE \leq 0,75$), yang menunjukkan bahwa data terkoreksi cukup andal untuk digunakan dalam penyusunan pola tata tanam dan kalender irigasi.

D. Perbandingan Performa Antar Resolusi Temporal

Secara umum, performa validasi cenderung menurun seiring dengan berkurangnya resolusi temporal dari tahunan ke sub-bulanan. Hal ini konsisten dengan karakteristik sensor satelit GPM yang lebih efektif menangkap pola curah hujan jangka panjang dibandingkan variabilitas hujan jangka pendek. Pada skala temporal yang lebih singkat, variabilitas lokal dan kejadian hujan ekstrem sesaat lebih sulit direpresentasikan oleh estimasi satelit yang dipengaruhi kondisi atmosfer regional. Perbandingan komprehensif nilai statistik validasi disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Nilai R dan NSE Sebelum dan Sesudah Kalibrasi pada Empat Resolusi Temporal

E. Pembahasan

Bias negatif yang sangat besar pada resolusi tahunan sebelum koreksi ($R = -0,260$; $NSE = -5,822$) pada dasarnya merupakan konsekuensi metodologis dari kecilnya derajat kebebasan pada skala tahunan, di mana hanya terdapat sepuluh pasang data (2015-2024) untuk membangun hubungan statistik, sehingga satu tahun anomali saja dapat membalik arah korelasi. Setelah koreksi, performa sempurna ($R = NSE = 1,000$) pada resolusi yang sama bukan menunjukkan bahwa GPM V7 secara intrinsik akurat pada skala tahunan, melainkan merupakan artefak dari sifat faktor koreksi *Linear Scaling* yang *time-varying*, yaitu satu faktor koreksi unik dihitung untuk setiap tahun berdasarkan rasio langsung terhadap data observasi tahun yang bersangkutan. Temuan ini sejalan dengan catatan (Teutschbein dan Seibert, 2012) bahwa *Linear Scaling* cenderung *overfitting* pada skala temporal yang kasar dan dengan jumlah pasangan data yang sedikit, sehingga capaian R dan NSE pada resolusi tahunan sebaiknya tidak dimaknai sebagai indikator tunggal keandalan GPM V7, melainkan dilengkapi dengan evaluasi pada resolusi yang lebih rapat.

Pola penurunan performa dari resolusi tahunan ke sub-bulanan secara fisis dapat dijelaskan oleh mekanisme penangkapan hujan pada sensor DPR dan GMI yang digunakan GPM V7. Pada akumulasi jangka panjang, kesalahan estimasi hujan harian yang bersifat acak (baik lebih tinggi maupun lebih rendah dari nilai sebenarnya saling meniadakan satu sama lain (*error cancellation*), sehingga total hujan tahunan relatif mendekati nilai observasi. Sebaliknya, pada resolusi 15 harian dan 10 harian, kesalahan estimasi hujan harian belum sepenuhnya terakumulasi sehingga bias sistematis dan kesalahan acak masih terbawa dalam nilai NSE , yang menjelaskan mengapa kategori validasi pada kedua resolusi sub-bulanan ini turun menjadi Baik dibandingkan Sangat Baik pada skala tahunan dan bulanan. Penjelasan ini konsisten dengan temuan (Pradhan dkk., 2022) yang menyatakan bahwa estimasi presipitasi satelit berbasis radar dan *microwave* lebih andal pada akumulasi waktu yang lebih panjang karena efek pemerataan kesalahan acak.

Dibandingkan dengan hasil validasi GPM pada DAS lain di Indonesia, performa GPM V7 terkoreksi di DAS Ngasinan Hilir tergolong kompetitif. (Jarwanti dkk., 2021) melaporkan bahwa validasi data curah hujan satelit pada skala bulanan umumnya menghasilkan nilai NSE pada kisaran kategori Baik hingga Sangat Baik setelah koreksi bias, sejalan dengan NSE bulanan sebesar 0,809 yang diperoleh pada penelitian ini. Konsistensi ini menguatkan argumen bahwa metode *Linear Scaling*, meskipun sederhana, tetap relevan diterapkan pada DAS dengan keterbatasan data seperti Ngasinan Hilir, sebagaimana juga ditegaskan oleh (Indarto, 2012) dalam konteks kalibrasi model hujan-aliran pada sub-DAS dengan data terbatas di Indonesia.

Secara praktis, hasil ini memberikan implikasi bahwa data GPM V7 terkoreksi cukup andal untuk mendukung penyusunan pola tata tanam dan kalender irigasi di DAS Ngasinan Hilir, sebagaimana disyaratkan dalam Standar Perencanaan Irigasi (Kementerian PUPR, 2013) yang menekankan ketersediaan data curah hujan yang kontinu dan representatif sebagai basis perhitungan kebutuhan air irigasi. Namun demikian, kategori Baik (bukan Sangat Baik) pada resolusi 15 harian dan 10 harian mengindikasikan bahwa untuk keperluan yang sangat sensitif terhadap waktu, seperti penjadwalan irigasi pada periode kritis pertumbuhan tanaman, data terkoreksi ini sebaiknya tetap dilengkapi dengan verifikasi periodik terhadap data lapangan, sejalan dengan prinsip kehati-hatian dalam analisis hidrologi terapan (Triadmodjo, 2010).

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pertama, periode observasi 10 tahun (2015-2024), meskipun memenuhi batas minimum operasional menurut (Valls dkk., 2021), tergolong relatif singkat untuk menangkap variabilitas iklim antar-dekade, sehingga faktor koreksi yang dihasilkan berpotensi kurang representatif apabila diterapkan pada periode proyeksi yang berbeda kondisi iklimnya. Kedua, metode *Linear Scaling* hanya mengoreksi bias rata-rata dan tidak memperbaiki distribusi probabilitas hujan secara keseluruhan, sehingga kejadian hujan ekstrem (baik intensitas tinggi maupun periode kering panjang) berpotensi tidak terkoreksi secara optimal dibandingkan metode koreksi bias berbasis distribusi seperti *Quantile Mapping*. Keterbatasan ini menjadi dasar bagi arah penelitian lanjutan yang diuraikan pada bagian saran.

SIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis validasi data curah hujan satelit GPM V7 di DAS Ngasinan Hilir periode 2015-2024, dapat disimpulkan:

1. Kalibrasi menggunakan metode *Linear Scaling* berhasil memperbaiki akurasi data GPM V7 secara signifikan pada seluruh resolusi temporal. Koefisien korelasi (R) meningkat menjadi 1,000 (tahunan), 0,900 (bulanan), 0,820 (15 harian), dan 0,832 (10 harian), dari kondisi awal masing-masing -0,260; 0,858; 0,765; dan 0,772.

2. Performa validasi berdasarkan NSE (Moriasi, 2007) setelah kalibrasi mencapai kategori Sangat Baik pada resolusi tahunan (NSE=1,000) dan bulanan (NSE=0,809), serta kategori Baik pada resolusi 15 harian (NSE=0,658) dan 10 harian (NSE=0,687).
3. Data curah hujan GPM V7 terkoreksi terbukti valid dan layak digunakan sebagai alternatif data hidrologi di DAS Ngasinan Hilir untuk analisis neraca air, perencanaan bangunan air, serta penyusunan pola tata tanam irigasi.

B. Saran

1. Penggunaan data observasi lebih dari 10 tahun disarankan untuk menghasilkan faktor koreksi yang lebih stabil dan representatif terhadap variabilitas iklim jangka panjang di DAS Ngasinan Hilir.
2. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengembangkan persamaan koreksi yang dapat digeneralisasi ke berbagai DAS di Indonesia, sehingga data GPM V7 dapat langsung diadopsi sebagai solusi keterbatasan data hujan secara lebih luas.
3. Perlu dikaji penerapan metode koreksi bias lainnya seperti *Distribution Mapping* atau *Quantile Mapping* untuk membandingkan efektivitasnya dengan metode *Linear Scaling* pada kondisi hidrologi DAS Ngasinan Hilir.

DAFTAR PUSTAKA

- BBWS Brantas. (2020). *Profil DAS Ngasinan*. Balai Besar Wilayah Sungai Brantas.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Joyce, R., Nelkin, E. J., & Tan, J. (2023). *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) NASA GPM IMERG version 07*. NASA GSFC.
- Indarto. (2012). Prosedur Kalibrasi dan Validasi Model SMAR untuk Mendeskripsikan Proses Hujan-Aliran di Sub DAS Rawatamtu. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(2), 157–166.
- Jarwanti, D. P., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2021). Validasi Data Curah Hujan Satelit. *Jurnal Teknik Pengairan*, 1(2), 772–785.
- Kementerian PUPR. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi: Kriteria Perencanaan (KP-01)*. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I — A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Pradhan, R. K., Markonis, Y., Vargas Godoy, M. R., Villalba-Pradas, A., Andreadis, K. M., Nikolaidis, N. P., Papalexiou, S. M., Yannopoulos, A., & Hanel, M. (2022). Review of GPM IMERG Performance: A Global Perspective. *Remote Sensing of Environment*, 268, Article 112754. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112754>
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias Correction of Regional Climate Model Simulations for Hydrological Climate-Change Impact Studies: Review and Evaluation of Different Methods. *Journal of Hydrology*, 456–457, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- Triatmodjo, B. (2010). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Valls, M., Tarasova, L., & Gusev, Y. (2021). On the Minimum Number of Years Needed to Build Representative Rainfall Records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(3), 1485–1501. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1485-2021>
- WMO. (2022). *Guide to Hydrological Practices: Volume I: Hydrology - from Measurement to Hydrological Information* (WMO-No. 168). World Meteorological Organization.