

EVALUASI KINERJA TEKNIK KOREKSI BIAS UNTUK MENINGKATKAN AKURASI *GLOBAL PRECIPITATION MEASUREMENT* (GPM) DI DAERAH ALIRAN SUNGAI REJOSO, INDONESIA

(Performance Evaluation of Bias Correction Techniques for Enhancing Global Precipitation Measurement (GPM) Accuracy in the Rejoso Watershed, Indonesia)

Alyavara Mayang Ferynandari^{1*}, Ery Suhartanto², Linda Prasetyorini³

¹²³Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 65145, Indonesia

*alyavaraferynandari@gmail.com

Diterima: 29 Juni 2025, Direvisi: 15 Oktober 2025, Disetujui: 31 Oktober 2025

ABSTRACT

Enhancing the accuracy of satellite rainfall data from the Global Precipitation Measurement (GPM) satellite is essential to support its vital role in hydrological applications and disaster management. This study aims to identify biases and inaccuracies in GPM data, particularly in regions characterized by complex terrain and extreme rainfall, which significantly impact the reliability. To address this, various bias-correction techniques, including Linear Scaling, Regression Analysis, and Correction Factor Methods, were applied and evaluated using metrics such as the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) and correlation coefficients. The results indicate that the Linear Scaling method outperforms the others, achieving the greatest NSE of 0.906 and a correlation coefficient of 0.904. Simultaneously, the Regression and Correction Factor methods exhibited robust performance with NSE values ranging from 0.79 to 0.80. The application of the correction arises from the merging of the Linear Scaling method with the IDW-based spatial interpolation technique, facilitating the validation of the spatial distribution of adjusted rainfall data. This hybrid methodology enhances comprehension of spatial-temporal variability and extreme phenomena. This study enhances the precision of satellite rainfall data and lays a foundation for hydrological modeling and disaster risk mitigation.

Keywords: *Global Precipitation Measurement (GPM); Bias correction techniques; Rejoso Watershed; rainfall estimation accuracy; hydrological modeling*

ABSTRAK

Peningkatan akurasi data curah hujan satelit dari *Global Precipitation Measurement* (GPM) sangat penting dilakukan untuk mendukung peran krusial dalam aplikasi hidrologi dan pengelolaan bencana. Studi ini mengidentifikasi bias dan ketidakakuratan data GPM, terutama pada daerah dengan medan kompleks dan curah hujan ekstrem, yang memengaruhi keandalannya secara signifikan. Untuk mengatasi hal ini, berbagai teknik koreksi bias, seperti *Linear Scaling*, Analisis Regresi, dan Metode Faktor Koreksi diterapkan dan dievaluasi

menggunakan metrik seperti Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE) dan koefisien korelasi. Hasilnya menunjukkan bahwa Metode *Linear Scaling* lebih akurat dibandingkan dengan metode lainnya, dengan mencapai NSE tertinggi sebesar 0,906 dan koefisien korelasi sebesar 0,904. Sementara, Metode Regresi dan Faktor Koreksi juga menunjukkan kinerja yang kuat dengan nilai NSE sekitar 0,79 – 0,80. Penggunaan hasil koreksi dari metode *Linear Scaling* yang diintegrasikan dengan interpolasi spasial berbasis IDW memungkinkan validasi distribusi spasial data curah hujan yang telah dikoreksi. Pendekatan hibrida ini memperbaiki pemahaman tentang variabilitas spasial-temporal dan kejadian ekstrem. Studi ini berkontribusi pada peningkatan akurasi data curah hujan satelit serta menyediakan dasar untuk pengembangan pemodelan hidrologi dan mitigasi risiko bencana.

Kata kunci: *Global Precipitation Measurement (GPM)*; teknik koreksi bias; DAS Rejoso; akurasi estimasi curah hujan; pemodelan hidrologi

I. PENDAHULUAN

Data satelit *Global Precipitation Measurement (GPM)* menghadapi tantangan signifikan terkait bias dan ketidakakuratan, terutama pada topografi kompleks dan wilayah tropis. Sumber utama kesalahan meliputi keterbatasan kemampuan sensor, yang dapat mengakibatkan estimasi curah hujan yang tidak akurat akibat variasi sifat curah hujan dan efek orografis. Keterbatasan dalam pengambilan sampel data gelombang mikro pasif dapat menyebabkan kesalahan acak yang signifikan dalam estimasi curah hujan, terutama jika pola curah hujan bersifat heterogen (Mahmood *et al.*, 2018). Penerapan data curah hujan satelit GPM di medan yang kompleks seperti DAS Rejoso menghadapi tantangan yang signifikan karena bias dan ketidakakuratan yang disebabkan oleh ketidaksesuaian skala antara pengukuran alat pengukur hujan berbasis titik dan piksel satelit yang dirata-ratakan secara spasial (Iryani *et al.*, 2022). Meskipun GPM IMERG v6 menunjukkan korelasi sedang dengan pengamatan di lapangan (Andari *et al.*, 2024), GPM IMERG v6 seringkali mengabaikan kejadian curah

hujan ekstrem (Dembélé & Zwart, 2016). Selain itu, kompleksitas geografis wilayah ini turut memperburuk bias tersebut, sehingga perlu mempertimbangkan variasi lokal dalam karakteristik hidrometeorologi.

Berbagai metode koreksi bias telah diterapkan untuk mengatasi ketidakakuratan tersebut, antara lain *Linear Scaling*, Analisis Regresi, dan Metode Faktor Koreksi. Teknik pemetaan kuantil terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi estimasi curah hujan dengan memanfaatkan fungsi distribusi kumulatif untuk menyesuaikan bias, terutama pada model yang mengandalkan distribusi data jangka panjang (Burnama *et al.*, 2023). Analisis regresi yang mempertimbangkan kondisi iklim lokal juga menunjukkan potensi untuk memperbaiki estimasi curah hujan dari satelit, dengan memberikan penyesuaian yang lebih baik terhadap data pengamatan (Bhatti *et al.*, 2016). Keberhasilan metode koreksi ini, bagaimanapun sangat bergantung pada kondisi iklim dan jenis curah hujan yang ada.

Meskipun teknik koreksi bias saat ini meningkatkan akurasi, metode tersebut

sering menghadapi kesulitan dalam menangani kejadian curah hujan ekstrem dan variabilitas spasial-temporal yang terkandung dalam data satelit (Baig *et al.*, 2025). Performa GPM terhadap hujan ekstrem belum konsisten: estimasi sering *overestimate* pada intensitas sedang namun *underestimate* pada puncak kejadian ekstrem, sehingga rekonstruksi intensitas peristiwa ekstrem kurang akurat (Lyu *et al.*, 2024).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja teknik koreksi bias pada data curah hujan satelit GPM, mengukur peningkatan akurasi terhadap kebenaran di lapangan, dan mengidentifikasi faktor yang memengaruhi kualitas koreksi. Penelitian ini menggunakan interpolasi spasial dengan GIS dan metode *Inverse Distance Weighting* (IDW), yang memberikan hasil lebih akurat pada data heterogen dengan memberi bobot lebih pada titik yang lebih dekat. Metrik validasi seperti *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan koefisien korelasi digunakan untuk menilai kinerja metode dalam kondisi iklim dan medan yang bervariasi. Selain itu, penggunaan IDW dalam penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi dan memetakan distribusi spasial data curah hujan yang telah dikoreksi, sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat terhadap variabilitas spasial-temporal di daerah dengan kondisi ekstrem (Wang *et al.*, 2017).

II. BAHAN DAN METODE

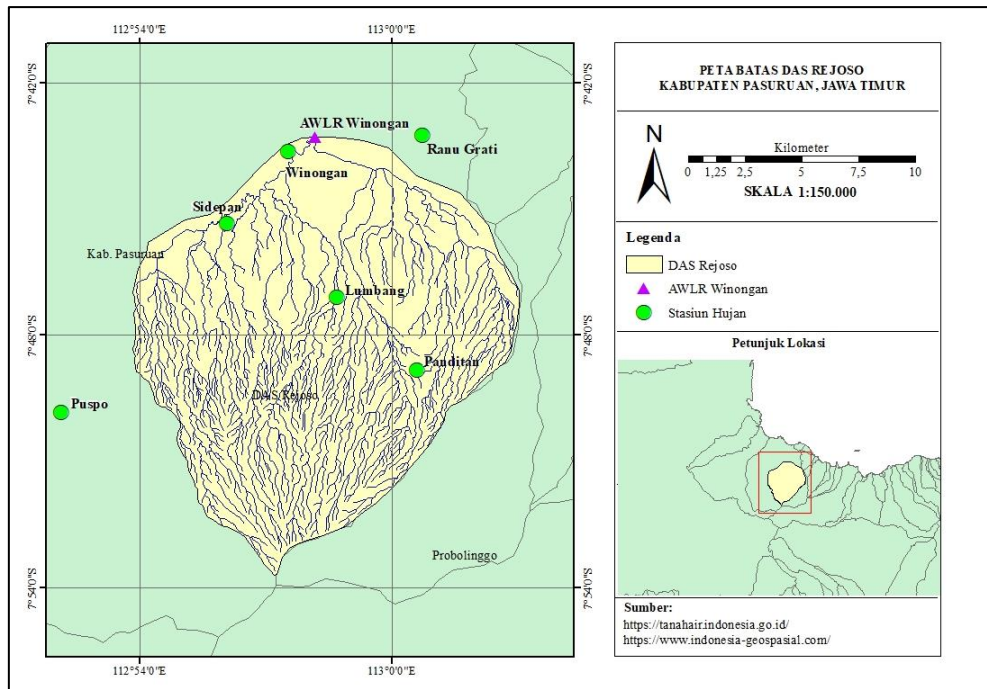
A. Waktu dan Lokasi

Penelitian difokuskan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Rejoso di Kabupaten

Pasuruan, Jawa Timur ($\approx 210,451 \text{ km}^2$), bagian dari sistem DAS Welang-Rejoso (Gambar 1), terletak pada $112^{\circ}33'55''$ – $113^{\circ}30'37''$ BT dan $7^{\circ}32'34''$ – $8^{\circ}30'20''$ LS. Hulu DAS Rejoso berada di sekitar Gunung Bromo dan hilir bermuara ke pantai utara Pasuruan. Wilayah ini beriklim monsun dengan puncak hujan umumnya November – Maret dan kemarau pada Juni – September, sedangkan variabilitas antartahun dipengaruhi ENSO dan IOD. Zona hulu didominasi tanah vulkanik muda (*Andisol*) yang berangsur menjadi *Inceptisol* ke tengah–hilir, berimplikasi pada infiltrasi dan penyimpanan air tanah. Tutupan lahan berupa mosaik hutan–agroforestri–pertanian–permukiman, di mana agroforestri pada lereng vulkanik cenderung lebih ramah-infiltrasi dan menjaga fungsi hidrologi. Topografi pegunungan menajamkan gradien presipitasi orografis dan ketidakseragaman spasial, sehingga aplikasi data GPM/IMERG di medan kompleks memerlukan koreksi bias dan validasi spasial berbasis metode yang peka skala (Kurniadi *et al.*, 2021).

B. Bahan dan Alat

Bahan penelitian mencakup data curah hujan DAS Rejoso yang diperoleh dari PUSDA Jawa Timur, UPT Pasuruan, serta data satelit GPM dari website NASA. Rincian data disajikan pada Tabel 1. Proses analisis data dan pembuatan peta dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS, Google Earth Pro, dan Microsoft Office sebagai alat pendukung penelitian.

Gambar (Figure) 1. Peta lokasi daerah kajian DAS Rejoso (*Map of the Rejoso Watershed study area*)Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (*Data analysis 2025*)Tabel (Table) 1. Data penelitian (*Research data*)

No. (Number)	Jenis Data (Data Types)	Tahun (Year)	Sumber Data (Data source)
1	Data curah hujan stasiun	20 tahun	Dinas PU Sumber Daya Air Jawa Timur
2	Data curah hujan satelit GPM	(2004-2023)	Situs Web NASA Giovanni https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/

Sumber (Source): Hasil analisis, 2025 (*Analysis results, 2025*)

C. Metode Penelitian

Pemanfaatan data curah hujan satelit GPM pada wilayah bertopografi kompleks seperti DAS Rejoso rentan menyisakan bias dan ketidakakuratan, salah satunya akibat ketidakselarasan skala antara observasi penakar hujan berbasis titik dan piksel satelit yang berupa rata-rata spasial (Yang *et al.*, 2020). Beberapa metode koreksi bias yang diterapkan dalam penelitian ini adalah Metode *Linear Scaling* (LSM), Analisis Regresi, dan Metode Faktor Koreksi. Selain itu, dikembangkan pendekatan *Hybrid Correction* yang mengintegrasikan *Genetic Algorithm* (GA) dan implementasi metode spasial berbasis

GIS untuk memperoleh konfigurasi koreksi yang optimal (Pan *et al.*, 2023). Alur proses koreksi disajikan pada Gambar 2.

1. Metode *Linear Scaling* (LSM)

Metode *Linear Scaling* (LSM) merupakan teknik koreksi bias yang banyak digunakan untuk menyesuaikan estimasi curah hujan satelit jangka panjang dengan curah hujan yang teramati, khususnya pada skala bulanan (Ryazanova *et al.*, 2021). Teknik ini menghitung faktor skala dengan membandingkan rasio rata-rata curah hujan yang teramati terhadap rata-rata curah hujan satelit selama periode dasar (Londhe *et al.*, 2023), kemudian

diterapkan pada data satelit untuk menghasilkan hasil yang telah dikoreksi bias. Berdasarkan efisiensi komputasinya, LSM sangat sesuai diterapkan dalam aplikasi *real-time* di bidang pertanian dan manajemen bencana (Mahmood *et al.*, 2018). Metode *Linear Scaling* dapat dihitung menggunakan persamaan dari Londhe *et al.* (2023).

$$P_{cor,m,d} = P_{raw,m,d} \times \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{raw,m})} \quad (1)$$

dengan $P_{cor,m,d}$ adalah curah hujan yang telah dikoreksi pada hari ke- d bulan ke- m , sedangkan $P_{raw,m,d}$ adalah curah hujan i sebelum koreksi pada hari ke- d bulan ke- m . Nilai μ menunjukkan nilai rata-rata faktor koreksi.

2. Metode Regresi

Metode Regresi mengoreksi bias dengan memodelkan hubungan antara curah hujan yang teramati dan data satelit menggunakan regresi linier atau regresi berganda, dengan koefisien yang diperoleh melalui metode kuadrat terkecil untuk meminimalkan kesalahan (Hariri, 2022). Pendekatan ini dapat menggabungkan beberapa prediktor untuk meningkatkan akurasi koreksi (Xiang Soo *et al.*, 2020; Yuan *et al.*, 2017). Metode Analisa Regresi dapat dihitung menggunakan persamaan dari Bal *et al.* (2023).

$$P_{cor,m,d} = m_{m(h)} \times P_{est,m,d} + C_{m,(h)} \quad (2)$$

dengan $P_{cor,m,d}$ dan $P_{est,m,d}$ masing-masing merupakan curah hujan yang telah dikoreksi bias dan hasil estimasi ntuk jam ke- h pada hari ke- d bulan ke- m dan $C_{m,(h)}$ adalah nilai kemiringan dan intersep.

3. Metode Faktor Koreksi dan Pengembangan Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik

Metode Faktor Koreksi digunakan untuk mengatasi heterogenitas spasial dengan menggunakan teknik interpolasi seperti kriging untuk membuat permukaan koreksi yang memperbaiki bias dalam data curah hujan satelit (Xiang Soo *et al.*, 2020). Penggunaan Algoritma Genetik dalam metode ini bertujuan untuk lebih mengoptimalkan faktor koreksi yang dihasilkan, dengan mempertimbangkan faktor lingkungan tambahan yang mungkin berpengaruh terhadap pola curah hujan lokal (Jabbari & Bae, 2018).

Metode Faktor Koreksi dan Algoritma Genetik sebenarnya merupakan dua metode yang berbeda, meskipun dapat digabungkan dalam satu pendekatan hibrid untuk memperoleh hasil koreksi yang lebih akurat. Faktor koreksi dihitung menggunakan fungsi interpolasi spasial yang memperbaiki bias curah hujan satelit berdasarkan data observasi. Algoritma Genetik digunakan untuk mengoptimalkan nilai faktor koreksi ini dengan melakukan pencarian solusi terbaik melalui proses seleksi, persilangan, dan mutasi dalam ruang parameter.

Di beberapa implementasi, Metode Faktor Koreksi yang nilai faktor koreksinya diperoleh dari Algoritma Genetik menunjukkan performa yang lebih baik, terutama dalam menangkap variabilitas spasial yang lebih kompleks dan kejadian curah hujan ekstrem, berkat kemampuannya dalam menyesuaikan parameter berdasarkan kondisi lingkungan spesifik.

Metode ini secara matematis dihitung melalui dua persamaan dari Xiang Soo *et al.* (2020) dan Jabbari & Bae (2018).

$$P_{cor}(x, y) = P_{sat}(x, y) \times F(x, y) \quad (3)$$

$$P_{cor}(x, y) = P_{sat}(x, y) \times f(x, y, E) \quad (4)$$

$P_{cor}(x, y)$ merupakan curah hujan satelit yang telah dikoreksi pada titik koordinat (x, y) , $P_{sat}(x, y)$ nilai curah hujan satelit sebelum dikoreksi, $F(x, y)$ adalah faktor koreksi hasil dari fungsi interpolasi spasial berdasarkan rasio antara data observasi dan data satelit, dan $f(x, y, E)$ merupakan fungsi koreksi nonlinier yang tergantung pada lokasi spasial dan parameter lingkungan.

Pada keseluruhan metode koreksi dilakukan validasi evaluasi metode dengan menggunakan metrik seperti R^2 dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) untuk menilai akurasi (ouga *et al.*, 2024). Berikut ini adalah metode yang digunakan untuk menilai akurasi.

1. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

Pengujian *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) yaitu untuk mengestimasi kesamaan data estimasi dan data lapangan (Melsen *et al.*, 2025). Kriteria terkait interpretasi NSE dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel (Table) 2. Distribusi kelas *Nash-Sutcliffe Efficiency* (*Nash-Sutcliffe Efficiency class distribution*)

NSE (NSE)	Intrepretasi (Interpretation)
0,75 s/d 1,00	Sangat Baik
0,65 s/d 0,75	Baik
0,50 s/d 0,65	Memuaskan
Kurang dari 0,50	Kurang Memuaskan

Sumber (Source): Melsen (2025)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_i)^2} \quad (5)$$

P_i merupakan curah hujan observasi, Q_i merupakan curah hujan satelit setelah dikoreksi, $\bar{P}_i$ adalah rata-rata curah hujan observasi, dan N merupakan jumlah data pengamatan yang digunakan dalam evaluasi.

2. Koefisien Korelasi (R)

Analisis ini dilakukan untuk memahami pola yang terbentuk serta mengetahui keterikatan nilai antara dua atau lebih variabel (Melsen *et al.*, 2025). Nilai analisis ini berkisar antara nol hingga satu, dengan interpretasi hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Berikut persamaan guna menentukan besarnya koefisien korelasi:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N AB - \sum_{i=1}^N Ax \sum_{i=1}^N B}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N A^2 - (\sum_{i=1}^N A)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N B^2 - (\sum_{i=1}^N B)^2}} \quad (6)$$

A merupakan curah hujan observasi, B merupakan curah hujan satelit setelah dikoreksi, dan n merupakan jumlah pasangan data yang dianalisis untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara data observasi dan data satelit.

Tabel (Table) 3. Distribusi kelas Koefisien Korelasi (Correlation Coefficient class distribution)

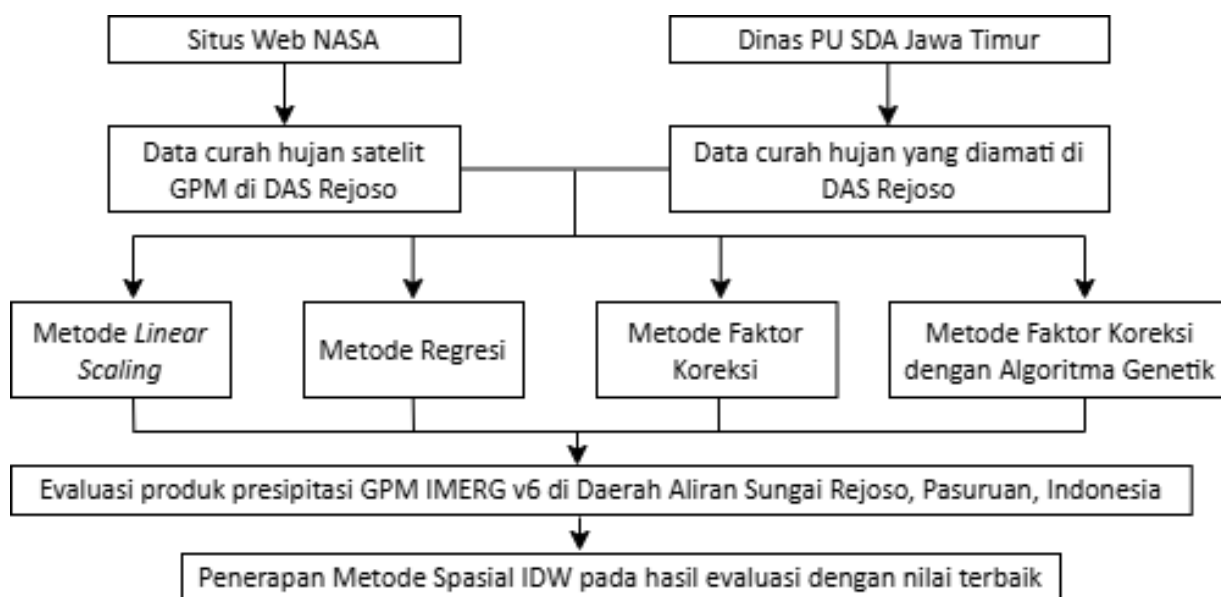
Koefisien Korelasi (Correlation Coefficient)	Interpretasi (Interpretation)
0 s/d 0,19	Sangat Rendah
0,20 s/d 0,39	Rendah
0,40 s/d 0,59	Sedang
0,60 s/d 0,79	Kuat
0.8 s/d 1	Sangat Kuat

Sumber (Source): Melsen (2025)

Metode Spasial GIS digunakan untuk merepresentasikan distribusi curah hujan secara spasial dengan pendekatan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW). Pendekatan ini diterapkan setelah diperoleh nilai validasi terbaik dari indikator statistik seperti *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan koefisien korelasi (R), sehingga hasil visualisasi dapat memperkuat interpretasi pola curah hujan di wilayah studi (Liu *et al.*, 2020).

Secara umum, prosedur metode ini meliputi:

1. Menyiapkan data curah hujan dari stasiun pengamatan beserta koordinatnya.
2. Melakukan interpolasi spasial menggunakan pendekatan IDW untuk menghasilkan permukaan sebaran curah hujan yang kontinu.
3. Memvisualisasikan hasil interpolasi ke dalam peta tematik guna menampilkan variasi spasial curah hujan secara lebih komprehensif.



Gambar (Figure) 2. Diagram alir metode koreksi bias yang diterapkan pada GPM (Flowchart of bias correction method applied to GPM)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (Data analysis 2025)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Perbandingan Metode Koreksi Bias

Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan kinerja yang signifikan antar metode koreksi bias. Metode *Linear Scaling* (LSM) memberikan tingkat akurasi tertinggi dengan nilai NSE sebesar 0,906 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0,904, diikuti oleh Metode Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik (NSE = 0,801; R = 0,895), Metode Regresi (NSE = 0,793; R = 0,891), dan Metode Faktor Koreksi (NSE = 0,781; R = 0,887). Pola ini menegaskan bahwa penyesuaian skala rata-rata memiliki peran dominan dalam mengurangi bias sistematis curah hujan satelit (Pan *et al.*, 2023). Ringkasan nilai disajikan pada Tabel 4, sedangkan kurva dan sebaran hasil per metode ditunjukkan pada Gambar 3–6.

A. Metode *Linear Scaling*

Metode *Linear Scaling* menghasilkan akurasi tertinggi (NSE = 0,906; R = 0,904) melalui penerapan faktor skala bulanan yang terkalibrasi terhadap data observasi. Sisi komputasi, LSM menunjukkan waktu pemrosesan koreksi sekitar 25–35% lebih cepat dibandingkan metode regresi atau hibrida karena hanya menggunakan operasi aritmatika dasar tanpa iterasi optimasi (Ramadhan *et al.*, 2022; Luo *et al.*, 2020). Keunggulan lainnya adalah kestabilan hasil koreksi dengan deviasi standar kesalahan di bawah 10% untuk seluruh rentang data, menjadikannya efisien dan dapat diterapkan dalam sistem hidrologi waktu nyata (Londhe *et al.*, 2023).

Temuan ini konsisten dengan studi yang menunjukkan peningkatan korelasi IMERG terhadap data penakar hujan di wilayah

tropis hingga $r > 0,90$ setelah penerapan LSM (Ramadhan *et al.*, 2024). Namun, sensitivitas metode ini terhadap hujan ekstrem masih terbatas karena pendekatan berbasis momen rendah tidak memperbaiki bentuk distribusi intensitas tinggi (Luo *et al.*, 2020). Oleh karena itu, meskipun LSM unggul untuk mengoreksi bias rata-rata, metode berbasis distribusi seperti *Quantile Mapping* (QM) lebih tepat digunakan untuk memperbaiki ekor distribusi kejadian ekstrem. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan antara data observasi curah hujan dan hasil koreksi GPM menggunakan metode *Linear Scaling*. Grafik ini menunjukkan bahwa faktor skala bulanan mampu menurunkan bias rata-rata jangka panjang secara signifikan dan mempertahankan pola temporal curah hujan.

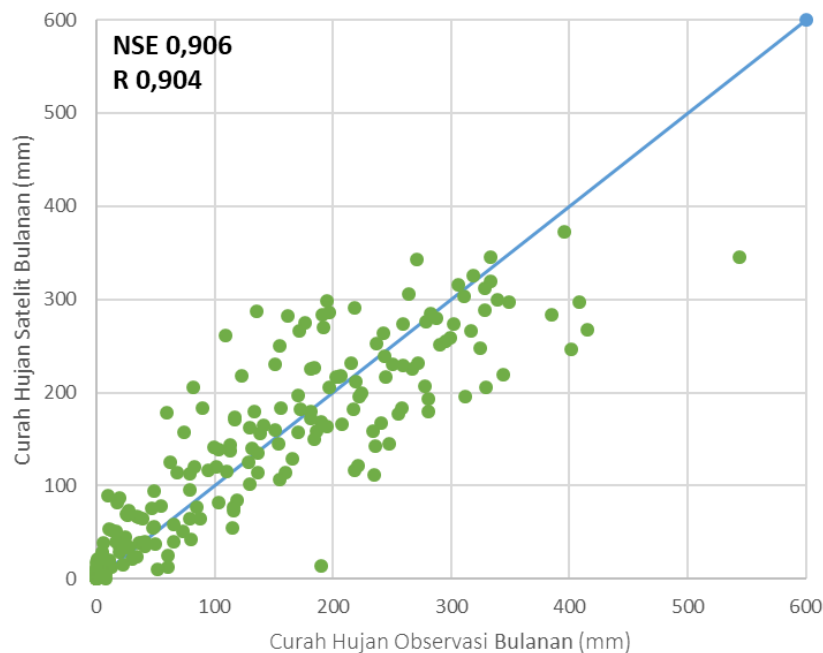
B. Metode Regresi

Metode Regresi memberikan kinerja baik dengan nilai (NSE = 0,793; R = 0,891). Meski demikian, performa ini menurun pada area bertopografi kompleks dan saat intensitas hujan tinggi. Regresi linier memiliki keterbatasan dalam menangkap hubungan nonlinier antar variabel, terutama pada kondisi spasial yang heterogen. Akurasi regresi dapat menurun hingga 20–30% pada kejadian hujan ekstrem (Yang *et al.*, 2020).

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa model regresi efektif untuk mengoreksi bias linier pada skala bulanan, tetapi kurang optimal dalam memperbaiki distribusi intensitas tinggi atau ketidaksesuaian spasial antara piksel satelit dan titik observasi. Pengembangan model regresi adaptif dengan variabel prediktor tambahan berpotensi meningkatkan hasil

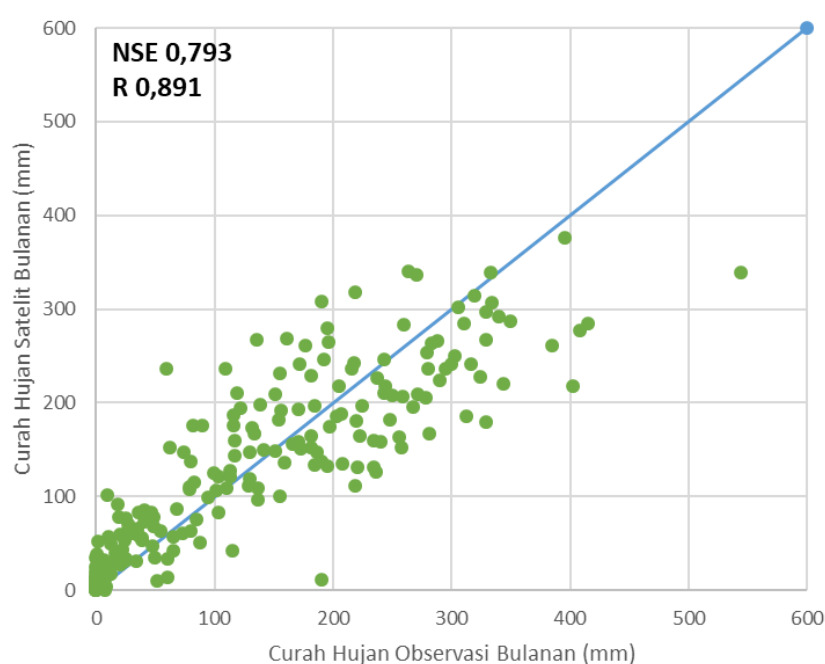
koreksi, meskipun memerlukan proses validasi dan regularisasi yang ketat (Z. Liu *et al.*, 2022). Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara curah hujan hasil observasi dan data satelit yang telah

dikoreksi menggunakan metode Regresi. Sebaran data menunjukkan kecenderungan linier dengan variabilitas yang relatif kecil.



Gambar (Figure) 3. Grafik hasil analisis curah hujan dengan Metode *Linear Scaling* (Graph of *rainfall analysis results using the Linear Scaling Method*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (*Data analysis 2025*)



Gambar (Figure) 4. Grafik hasil analisis curah hujan dengan Metode Regresi (Graph of *rainfall analysis results using the Regression Method*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (*Data analysis 2025*)

C. Metode Faktor Koreksi

Metode ini menunjukkan kemampuan menangkap variasi spasial curah hujan dengan nilai (NSE = 0,781; R = 0,887). Namun, fluktuasi hasil koreksi masih terlihat pada wilayah dengan gradien curah hujan tajam dan heterogenitas tutupan lahan tinggi. Metode ini juga cenderung menghasilkan *overcorrection* hingga $\pm 15\%$ pada area dengan densitas stasiun rendah (Luo *et al.*, 2020).

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa metode faktor koreksi efektif untuk wilayah dengan bias homogen dan jaringan pengamatan padat, namun kurang sesuai untuk daerah bertopografi kompleks. Oleh sebab itu, pendekatan ini lebih tepat diterapkan pada skala regional dengan kondisi geospasial relatif seragam (Yuan *et al.*, 2017). Gambar 5 menampilkan hasil koreksi menggunakan Metode Faktor Koreksi yang mengandalkan rasio antara data observasi dan satelit untuk membentuk permukaan koreksi spasial. Pendekatan ini memberikan gambaran mengenai distribusi spasial curah hujan pada wilayah studi.

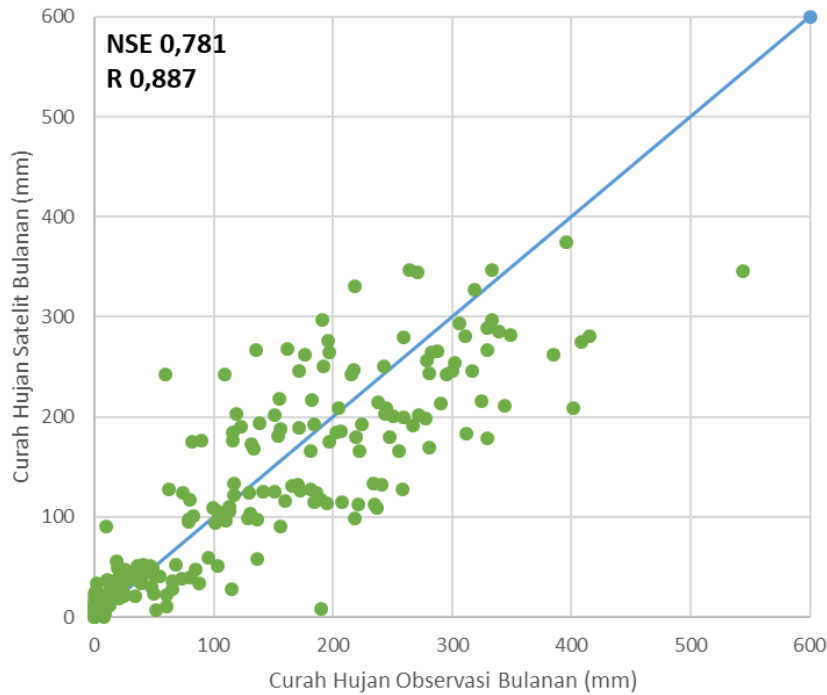
D. Metode Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik

Metode Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik memperlihatkan (NSE = 0,801; R = 0,895) dibandingkan dengan metode Faktor Koreksi konvensional. Penerapan algoritma evolusioner meningkatkan akurasi koreksi sebesar 0,03–0,05 NSE melalui proses optimasi iteratif (Camera *et al.*, 2020). Meskipun demikian, akurasi LSM tetap lebih tinggi karena bias dominan di wilayah studi

bersifat pergeseran rata-rata, bukan pola nonlinier lokal. Dengan demikian, metode GA paling bermanfaat untuk kondisi bias yang kompleks atau ekstrem, sementara untuk bias linier, LSM lebih efisien baik secara komputasi maupun akurasi (Liu *et al.*, 2022). Gambar 6 menunjukkan hasil koreksi curah hujan menggunakan Metode Faktor Koreksi yang dioptimasi dengan *Genetic Algorithm* (GA) untuk menentukan parameter koreksi yang paling sesuai.

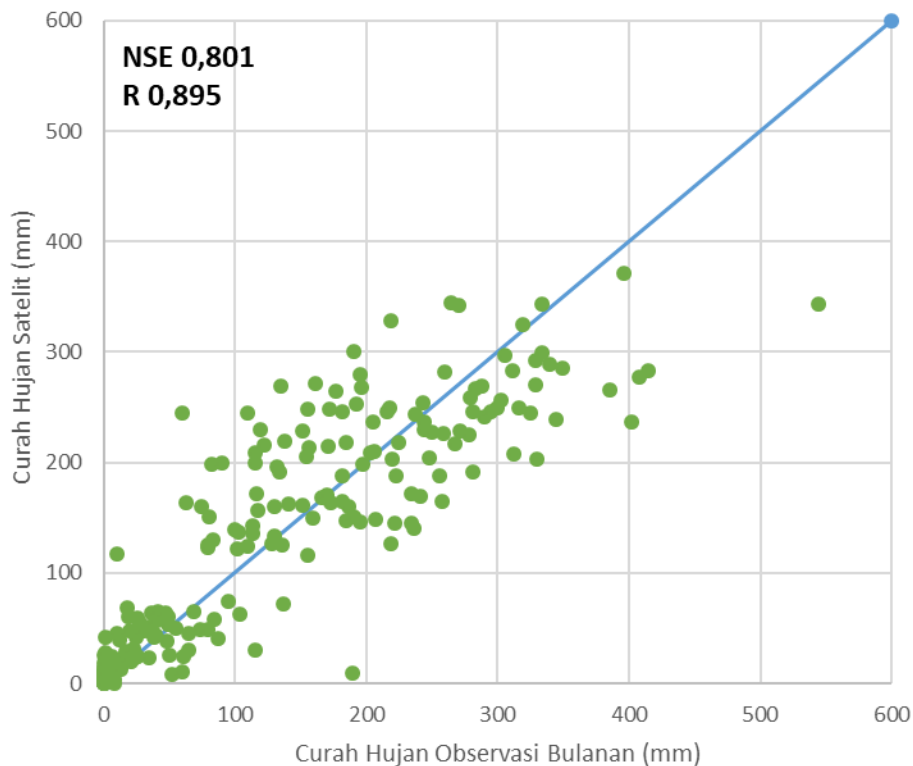
E. Implementasi GIS–IDW

Setelah keluaran terbaik Metode *Linear Scaling* (LSM) ditetapkan, interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) digunakan untuk memetakan distribusi spasial curah hujan yang telah terkoreksi. Penerapan metode IDW menghasilkan pola spasial curah hujan yang lebih halus dan sesuai dengan distribusi observasi. Metode ini menunjukkan efisiensi komputasi sekitar 40% lebih cepat dibanding kriging karena tidak memerlukan pemodelan variogram (Wang *et al.*, 2023). IDW sangat sesuai untuk wilayah dengan jumlah stasiun terbatas dan variasi topografi tinggi karena memberikan bobot lebih besar pada pengamatan terdekat sehingga menghasilkan peta yang representatif dan minim distorsi. Penerapan IDW pada hasil koreksi LSM memperkuat validitas spasial hasil koreksi dan meningkatkan keandalan interpretasi hidrologi di wilayah studi (Ramadhan *et al.*, 2022). Gambar 7 menampilkan hasil interpolasi spasial menggunakan *Inverse Distance Weighting* (IDW) terhadap data hasil koreksi LSM untuk memetakan distribusi curah hujan pascakoreksi.



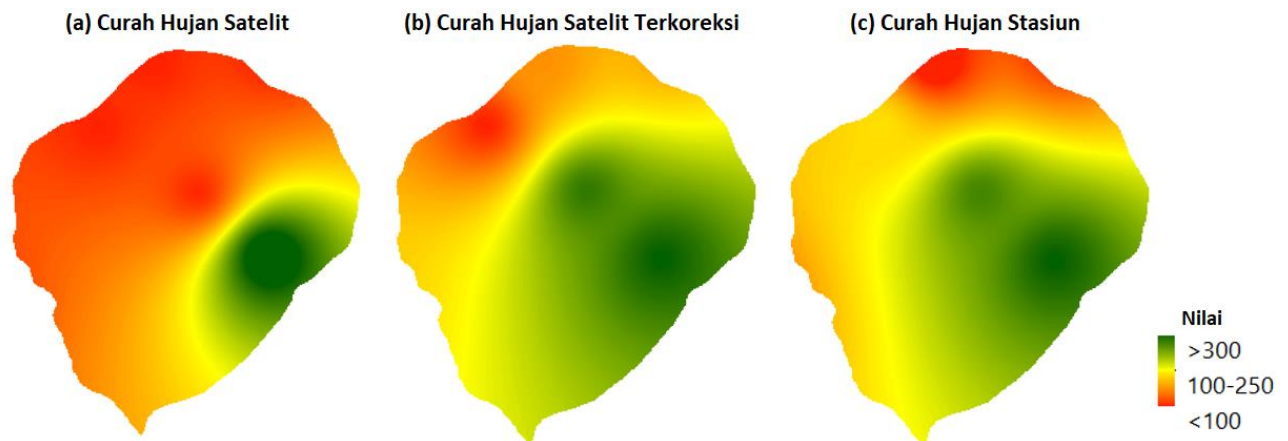
Gambar (Figure) 5. Grafik hasil analisis curah hujan dengan Metode Faktor Koreksi (Graph of rainfall analysis results using the Correction Factor Method)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (Data analysis 2025)



Gambar (Figure) 6. Grafik analisis curah hujan menggunakan Metode Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik (Graph of rainfall analysis results using the Correction Factor Method with Genetic Algorithm)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (Data analysis 2025)



Gambar (Figure) 7. Distribusi spasial curah hujan yang terkoreksi menggunakan Metode Spasial GIS (*Corrected spatial distribution of rainfall using GIS Spatial Method*)

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (*Data analysis 2025*)

Pengaruh Topografi terhadap Akurasi Prediksi Hujan

Konteks kewilayahan DAS Rejoso yang terletak di sekitar Gunung Bromo, nampak bahwa faktor topografi sangat memengaruhi distribusi curah hujan. Keberadaan pegunungan yang menjulang tinggi berperan besar dalam menciptakan pola curah hujan yang sangat bervariasi secara spasial. Metode *Linear Scaling* menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap variabilitas ini karena faktor koreksi yang diterapkan pada skala bulanan mampu mengurangi bias rata-rata jangka panjang yang disebabkan oleh ketidaksesuaian skala antara pengukuran titik dan piksel satelit (Ramadhan *et al.*, 2022).

Meskipun *Linear Scaling* menunjukkan performa terbaik secara umum, bias residual pada kejadian ekstrem tetap menjadi perhatian, terutama dalam curah hujan ekstrem yang sering terjadi di wilayah pegunungan. Hal ini mengindikasikan bahwa skema berbasis rata-rata jangka panjang mungkin kurang efektif untuk menangani ekor distribusi curah hujan yang ekstrim, yang cenderung

lebih dipengaruhi oleh kondisi lokal seperti kemiringan tanah dan tutupan lahan (Andari *et al.*, 2024).

Implikasi Kebijakan dari Koreksi Bias Data GPM

Berdasarkan hasil Tabel 4. ditemukan bahwa Metode *Linear Scaling* ditetapkan konsisten unggul pada skala bulanan dan memberikan dasar praktis bagi lembaga teknis untuk operasionalisasi data GPM terkoreksi dalam tiga ranah kebijakan:

(i) Peringatan dini banjir

Akurasi input hujan yang lebih baik menurunkan ketidakpastian debit prakiraan, sehingga ambang siaga dan rencana evakuasi dapat disetel lebih presisi pada DAS yang memiliki topografi kompleks seperti Rejoso (Iryani *et al.*, 2022).

(ii) Perencanaan dan prioritas infrastruktur air

Pemetaan IDW atas hujan terkoreksi memungkinkan identifikasi kantong intensitas tinggi dan defisit, yang berguna untuk penentuan lokasi, kapasitas, dan urutan pembangunan bangunan air, drainase, serta proteksi lereng;

Tabel (Table) 4. Perbandingan Efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE) dan Koefisien Korelasi (R) Antara Metode Koreksi (Comparison of Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) and Correlation Coefficient (R) Between Correction Methods)

Metode (Method)	NSE	Interpretasi Nilai NSE	R	Interpretasi Nilai R
Metode <i>Linear Scaling</i>	0,906	Sangat Baik	0,904	Sangat Kuat
Metode Analisa Regresi	0,793		0,891	
Metode Faktor Koreksi	0,781		0,887	
Metode Faktor Koreksi dengan Algoritma Genetik	0,801		0,895	

Sumber (Source): Pengolahan data 2025 (Data analysis 2025)

(iii) Adaptasi pertanian dan tata-guna lahan

Pola spasial hujan yang lebih kredibel mendukung penentuan kalender tanam, varietas tahan, dan skema irigasi hemat, khususnya pada wilayah dengan variabilitas antarmusim tinggi. Untuk wilayah yang sering mengalami hujan ekstrem, strategi hibrida layak dipertimbangkan, misalnya mengombinasikan LSM dengan pemetaan kuantil atau pembelajaran mesin untuk mengatasi bias pada ekor distribusi (Pan *et al.*, 2023; Ougahi & Rowan, 2024).

Berdasarkan hasil tersebut, produk curah hujan GPM yang telah dikoreksi menggunakan metode Linear Scaling dan divalidasi secara spasial melalui IDW terbukti memberikan dasar yang andal bagi penerapan kebijakan berbasis bukti. Produk ini dapat digunakan sebagai sumber data operasional untuk validasi hidrologi dan peringatan dini, dengan mekanisme pembaruan dan validasi silang secara berkala agar tetap adaptif terhadap dinamika iklim lokal serta perubahan ekstrem yang terjadi di wilayah tropis seperti DAS Rejoso.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi berbagai metode koreksi bias pada data curah hujan satelit GPM untuk meningkatkan akurasi

estimasi curah hujan. Keterbaruan penelitian ini terletak pada penerapan teknik koreksi bias melalui metode *Linear Scaling* yang dikombinasikan dengan interpolasi spasial menggunakan IDW, yang secara signifikan meningkatkan akurasi estimasi curah hujan GPM di wilayah dengan topografi dan iklim kompleks. Metode *Linear Scaling* menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai NSE sebesar 0,906 dan koefisien R sebesar 0,904, sementara Metode Regresi dan Faktor Koreksi memiliki kinerja yang lebih rendah dengan nilai NSE sekitar 0,79–0,80. Penggunaan hasil koreksi *Linear Scaling* yang terintegrasi dengan interpolasi spasial berbasis IDW memungkinkan validasi distribusi spasial yang lebih akurat, dan pendekatan hibrida ini efektif dalam mengatasi variabilitas spasial-temporal serta kejadian ekstrem, sehingga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan akurasi data curah hujan satelit. Penelitian ini secara khusus difokuskan pada prediksi curah hujan skala bulanan berbasis data satelit dengan akurasi yang baik. Namun, model yang dikembangkan belum diuji untuk data curah hujan harian, sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut guna menilai keandalannya pada skala temporal yang

lebih tinggi. Saran pengembangan berikutnya adalah penerapan metode hibrida yang menggabungkan pembelajaran mesin guna memperbaiki akurasi serta memperluas kumpulan data validasi untuk mendukung aplikasi hidrologi dan mitigasi bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dinas Pekerjaan Umum dan Sumber Daya Air (PU SDA) Provinsi Jawa Timur atas dukungan dan kerjasama yang luar biasa dalam menyediakan data curah hujan yang sangat berguna bagi kelancaran penelitian ini. Tanpa bantuan tersebut, penelitian ini tidak dapat terlaksana dengan baik.

KONTRIBUSI

Penulis pertama (1) bertanggung jawab atas penyusunan konseptualisasi, metodologi, pengumpulan data curah hujan, serta interpretasi hasil penelitian; penulis kedua (2) berkontribusi dalam analisis teknik koreksi bias, evaluasi akurasi data, dan penyusunan model interpolasi; penulis ketiga (3) mengumpulkan data lapangan, melakukan pemetaan geospasial, serta analisis citra satelit GPM.

DAFTAR PUSTAKA

- Andari, R., Nurhamidah, N., Daoed, D., & Marzuki, M. (2024a). Evaluation of Bias Correction Methods for Multi-Satellite Rainfall Estimation Products. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1317/1/012008>
- Andari, R., Nurhamidah, N., Daoed, D., & Marzuki, M. (2024b). Validation of TRMM and GPM Satellite Data Using

Daily Precipitation Observations. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*.

<https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.18980>

- Baig, F., Ali, L., Faiz, M. A., Chen, H., & Sherif, M. (2025). From bias to accuracy: Transforming satellite precipitation data in arid regions with machine learning and topographical insights. *Journal of Hydrology*, 653(January).
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.132801>
- Bal, S. K., Pramod, V. P., Sandeep, V. M., Manikandan, N., Sarath Chandran, M. A., Subba Rao, A. V. M., Vijaya Kumar, P., Vanaja, M., & Singh, V. K. (2023). Identifying appropriate prediction models for estimating hourly temperature over diverse agro-ecological regions of India. *Scientific Reports*, 13(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-34194-9>
- Bhatti, H., Rientjes, T. H. M., Haile, A. T., Habib, E., & Verhoef, W. (2016). Evaluation of Bias Correction Method for Satellite-Based Rainfall Data. *Sensors*.
<https://doi.org/10.3390/s16060884>
- Burnama, N. S., Wira Rohmat, F. I., Farid, M., & Wijayasari, W. (2023). Utilization of Quantile Mapping Method Using Cumulative Distribution Function (CDF) to Calibrated Satellite Rainfall GSMaP in Majalaya Watershed. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1165/1/012006>
- Camera, C., Bruggeman, A., Zittis, G., Sofokleous, I., & Arnault, J. (2020). Simulation of Extreme Rainfall and Streamflow Events in Small Mediterranean Watersheds With a One-

- Way-Coupled Atmospheric–hydrologic Modelling System. *Natural Hazards and Earth System Science*.
<https://doi.org/10.5194/nhess-20-2791-2020>
- Dembélé, M., & Zwart, S. J. (2016). Evaluation and Comparison of Satellite-Based Rainfall Products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1207258>
- Hariri, K. R. (2022). Increasing Teachers Creativity Through Strengthening Learning Supervision and Achievement Motivation. *JHSS (Journal of Humanities and Social Studies)*.
<https://doi.org/10.33751/jhss.v6i3.6380>
- Iryani, S. Y., Alia, F., Tauhid, M. A., Muhtarom, A., & Usman, A. P. (2022). Utilization of GPM Satellite and PERSIANN Satellite Data for Estimated Monthly Rainfall in South Sumatera. *Ukarst*.
<https://doi.org/10.30737/ukarst.v6i2.3482>
- Jabbari, A., & Bae, D. (2018). Application of Artificial Neural Networks for Accuracy Enhancements of Real-Time Flood Forecasting in the Imjin Basin. *Water*.
<https://doi.org/10.3390/w10111626>
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S., & Seong, M. (2021). Independent <scp>ENSO</scp> and <scp>IOD</scp> impacts on rainfall extremes over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 41(6), 3640–3656. <https://doi.org/10.1002/joc.7040>
- Liu, J., Du, J., Yang, Y., & Wang, Y. (2020). Evaluating Extreme Precipitation Estimations Based on the GPM IMERG Products Over the Yangtze River Basin, China. *Geomatics Natural Hazards and Risk*.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1734103>
- Liu, Z., Hou, H., Zhang, L., & Hu, B. (2022). Event-Based Bias Correction of the GPM IMERG V06 Product by Random Forest Method over Mainland China. *Remote Sensing*, 14(16), 3859.
<https://doi.org/10.3390/rs14163859>
- Londhe, D. S., Katpatal, Y. B., & Bokde, N. D. (2023). Performance Assessment of Bias Correction Methods for Precipitation and Temperature From CMIP5 Model Simulation. *Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.3390/app13169142>
- Luo, X., Fan, X., Li, Y., & Ji, X. (2020). Bias correction of a gauge-based gridded product to improve extreme precipitation analysis in the Yarlung Tsangpo–Brahmaputra River basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(8), 2243–2254.
<https://doi.org/10.5194/nhess-20-2243-2020>
- Lyu, X., Li, Z., & Li, X. (2024). Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products in Event-Based Flood Modeling Over the Sunshui River Basin in Southwestern China. *Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.3390/rs16132333>
- Mahmood, R., Jia, S., Tripathi, N. K., & Shrestha, S. (2018). Precipitation Extended Linear Scaling Method for Correcting GCM Precipitation and Its Evaluation and Implication in the Transboundary Jhelum River Basin. *Atmosphere*.
<https://doi.org/10.3390/atmos9050160>
- Melsen, L. A., Puy, A., Torfs, P. J. J. F., & Saltelli, A. (2025). The rise of the Nash-Sutcliffe efficiency in hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 70(8), 1248–1259.

- <https://doi.org/10.1080/02626667.2025.2475105>
- Ougahi, J. H., & Rowan, J. S. (2024). *Enhancing Streamflow Forecasting in Glacierized Basins: A Hybrid Model Integrating Glacio-Hydrological Outputs, Deep Learning, and Wavelet Transformation*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5296614/v1>
- Pan, X., Wu, H., Chen, S., Nanding, N., Huang, Z., Chen, W., Li, C., & Li, X. (2023). Evaluation and Applicability Analysis of GPM Satellite Precipitation Over Mainland China. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs15112866>
- Ramadhan, R., Marzuki, M., Suryanto, W., Sholihun, S., Yusnaini, H., Hashiguchi, H., & Shimomai, T. (2024). Bias Correction of IMERG Data in the Mountainous Areas of Sumatra Based on a Single Gauge Observation. *Trends in Sciences*. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7592>
- Ramadhan, R., Yusnaini, H., Marzuki, M., Muharsyah, R., Suryanto, W., Sholihun, S., Vonnisa, M., Harmadi, H., Ningsih, A. P., Battaglia, A., Hashiguchi, H., & Tokay, A. (2022). Evaluation of GPM IMERG Performance Using Gauge Data Over Indonesian Maritime Continent at Different Time Scales. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs14051172>
- Ryazanova, A. A., Voropay, N. N., & Dyukarev, E. (2021). Bias-Corrected Monthly Precipitation Data Over South Siberia for 1979-2019. *Data in Brief*. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107440>
- Wang, H., Zhang, Q., & Wang, J. (2023). Spatial variation in soil water on a hillslope with ephemeral gullies restored by different vegetation restoration modes on the Loess Plateau. *CATENA*, 224, 107001. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107001>
- Wang, K., He, P. C., Dong, Y., & Chen, L. (2011). The application of Cluster analysis and Inverse Distance-weighted Interpolation to appraising the water quality of Three Forks Lake. *Procedia Environmental Sciences*, 10(PART C), 2511–2517. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.391>
- Xiang Soo, E. Z., Wan Jaafar, W. Z., Lai, S. H., Othman, F., El-Shafie, A., Islam, T., Srivastava, P. K., & Othman Hadi, H. S. (2020). Precision of Raw and Bias-Adjusted Satellite Precipitation Estimations (TRMM, IMERG, CMORPH, and PERSIANN) Over Extreme Flood Events: Case Study in Langat River Basin, Malaysia. *Journal of Water and Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.180>
- Yang, X., Yang, L., Tan, M. L., Li, X., Wang, G., & He, R. (2020). Nine-Year Systematic Evaluation of the GPM and TRMM Precipitation Products in the Shuaishui River Basin in East-Central China. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs12061042>
- Yuan, F., Li-min, Z., Win, K. M., Ren, L., Zhao, C., Zhu, Y., Jiang, S. S., & Liu, Y. (2017). Assessment of GPM and TRMM Multi-Satellite Precipitation Products in Streamflow Simulations in a Data-Sparse Mountainous Watershed in Myanmar. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs9030302>