

Evaluasi Keakuratan Data Curah Hujan Satelit TRMM dan GPM terhadap Data Stasiun Hujan di DAS Kuranji

Rafika Andari^{1✉}, Nurhamidah²

¹ Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia

² Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 14-03-2024

Direvisi : 21-03-2024

Diterima : 23-03-2024

Kata Kunci:

TRMM; GPM; Curah hujan; Validasi

Keywords :

TRMM; GPM; Precipitation; Validation

Corresponding Author :

Rafika Andari

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia

Jl. Gajah Mada Jl. Kandis Raya, Kec. Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat 25173

Email: rafika.andari09@gmail.com

ABSTRAK

Data curah hujan yang akurat sangat penting dalam analisis hidrologi, terutama di daerah aliran sungai. Namun, keterbatasan stasiun pengamatan hujan seringkali menjadi kendala. Data curah hujan beresolusi tinggi dari satelit dapat menjadi solusi. Penelitian ini mengevaluasi akurasi data hujan satelit TRMM dan GPM terhadap data hujan pengukuran di DAS Kuranji. Data yang terkoreksi maupun tidak, dinilai dengan menggunakan teknik validasi seperti RMSE, NSE, R, dan RB. Hasilnya menunjukkan bahwa curah hujan dapat dideteksi secara akurat dengan menggunakan data satelit GPM dan TRMM. Dengan nilai korelasi terbesar yaitu 0.962, data GPM IMERG-F menunjukkan performa yang lebih unggul. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan agar data GPM IMERG-F dapat digunakan untuk kajian hidrologi di DAS Kuranji, terutama pada daerah yang tidak memiliki data curah hujan observasi.

ABSTRACT

Accurate rainfall data is very important in hydrological analysis, especially in watersheds. However, the limitations of rain observation stations are often an obstacle. High-resolution rainfall data from satellites can be a solution. This study evaluates the accuracy of TRMM and GPM satellite rainfall data against measurement rainfall data in the Kuranji watershed. Corrected and uncorrected data were assessed using validation techniques such as RMSE, NSE, R, and RB. The results show that rainfall can be accurately detected using GPM and TRMM satellite data. With the largest correlation value of 0.962, the GPM IMERG-F data showed superior performance. Therefore, this study recommends that GPM IMERG-F data can be used for hydrological studies in the Kuranji watershed, especially in areas that do not have observational rainfall data.

PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan faktor yang sangat penting dalam siklus air global, karena berperan dalam interaksi hidrosfer, atmosfer, dan biosfer (Alsumaiti et al., 2020). Data curah hujan ini diperlukan dalam berbagai studi hidrologi, pengelolaan sumber daya air, dan penelitian iklim (Wang et al., 2019). Namun, ada banyak tantangan dalam mengumpulkan data curah hujan. Permasalahan pertama adalah kurangnya data observasi curah hujan yang spesifik secara spasial dan temporal. Selain itu, data deret waktu curah hujan terbatas, dengan distribusi stasiun hujan yang tidak merata dan jumlah pengamat yang tidak mencukupi (Andari & Nurhamidah, 2023). Kesulitan dalam mendapatkan data curah hujan secara *real-time* juga menyebabkan data ini perlu dinilai terlebih dahulu sebelum digunakan. Oleh karena itu, ketepatan spasial-temporal data curah

hujan memegang peran penting dalam berbagai prakiraan dan studi, termasuk yang berkaitan dengan perubahan iklim, peramalan hidrologi, penilaian banjir dan longsor, analisis kekeringan, dan manajemen bencana (Mamenun et al., 2014).

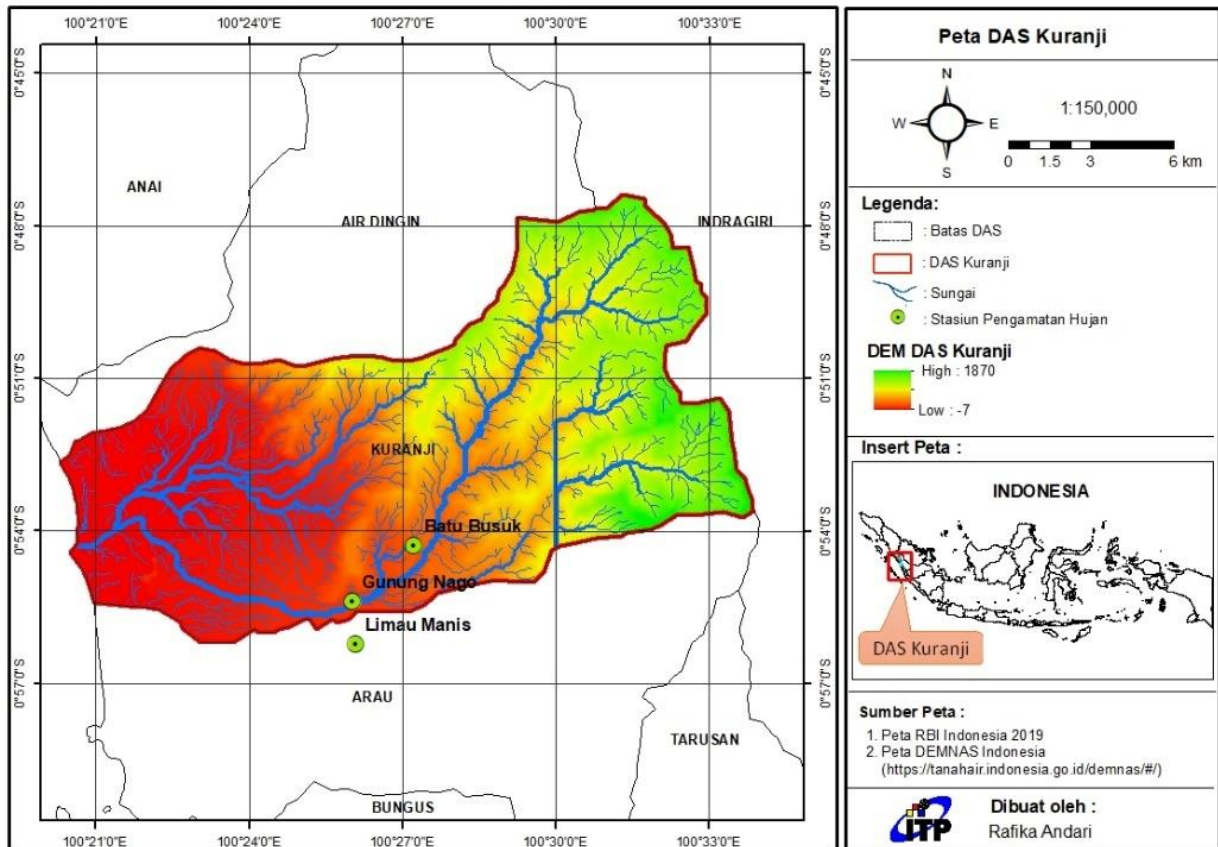
Ketiadaan data curah hujan masa lalu kini dapat diatasi dengan teknologi terbaru berupa penginderaan jauh (satelit). Teknologi penginderaan jauh menyajikan metode terkini dalam pengumpulan data curah hujan, memungkinkan data tersebut dapat dikumpulkan dengan fleksibilitas waktu dan lokasi. Teknologi ini menawarkan keuntungan seperti resolusi yang lebih tinggi, cakupan yang lebih luas, ketersediaan yang mendekati waktu nyata, perekaman yang terus menerus, dan pengunduhan data secara gratis (Krisnayanti et al., 2020). Saat ini, berbagai produk curah hujan berbasis satelit tersedia untuk memenuhi kebutuhan ini. Beberapa di antaranya adalah *Tropical Precipitation Measuring Mission (TRMM)*, *Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA)*, *Global Precipitation Measurement (GPM)*, *Climate Prediction Center (CPC) Morphing algorithm (CMORPH)*, *Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)*, dan sebagainya (Li et al., 2021). Sejak diperkenalkan, dataset grid telah menjalani studi ekstensif untuk menentukan kesesuaian dan kegunaannya untuk area atau aplikasi tertentu. Kumpulan data ini telah dievaluasi secara ketat untuk menentukan kesesuaian dan kegunaannya dalam memenuhi tujuan yang ditentukan atau melayani area geografis tertentu (Shirmohammadi-Aliakbarkhani & Akbari, 2020).

Penelitian sebelumnya telah mengonfirmasi keabsahan data curah hujan yang diamati melalui satelit TRMM 3B42RT. Kesimpulannya adalah bahwa pola curah hujan yang diperoleh dari satelit TRMM secara signifikan mencerminkan data curah hujan yang diamati di Indonesia (Mamenun et al., 2014). Temuan ini konsisten dengan sebuah studi yang meneliti penggunaan data satelit TRMM 3B42 V7 untuk menganalisis pola dan intensitas curah hujan. Studi tersebut menemukan korelasi yang signifikan antara data TRMM dan pengamatan di Kolaka, sebesar 0,93 (Satria WD & Qothrunada, 2022). Sejak diluncurkannya produk IMERG, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan performa produk TRMM dan IMERG terkait pengamatan penakar hujan pada berbagai wilayah di Indonesia, seperti Lampung (Pratama et al., 2022), Papua Barat (Faisol & Ollin Paga, 2021), Bali (Yunita Samosir et al., 2021), dan Jawa Timur (Marta et al., 2023). Data satelit GPM memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan TRMM (Tang, et al., 2016). Selain teknologi yang lebih unggul, GPM sebagai penerus TRMM, memiliki cakupan geografis yang lebih luas dan menghasilkan temuan yang lebih akurat (Stephen, Yudianto, Adidarma, & Fitriana, 2022).

Penelitian sebelumnya belum banyak berfokus pada daerah aliran sungai (DAS). Oleh sebab itulah, penelitian ini mengevaluasi proyeksi statistik data curah hujan dari satelit TRMM dan GPM IMERG-F dengan menggunakan pemantauan curah hujan di DAS Kuranji. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah kurangnya stasiun pengukur curah hujan, yang mengakibatkan kurangnya data dan menghambat penelitian ilmiah tentang isu-isu seperti prediksi banjir dan pengelolaan air. Penelitian ini membandingkan dan mengevaluasi secara statistik produk kinerja curah hujan harian TRMM 3B42RT V7 dan GPM IMERG-F untuk menentukan apakah sensor satelit lebih baik dalam mendeteksi curah hujan. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan produk data curah hujan satelit, pencegahan bencana, dan peningkatan analisis hidrologi.

METODE PENELITIAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Kuranji menjadi lokasi penelitian yang berada di Kota Padang, Sumatera Barat. DAS Kuranji terletak antara 100°20' dan 100°34' Bujur Timur dan antara 00°48' dan 00°56' Lintang Utara. Dengan luas 215.615 km² dan berada di ketinggian 1.858 meter di atas permukaan laut (Suryani, 2017). Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Hasil Karya Penulis, 2023

Data penelitian ini berasal dari dua kelompok berbeda. Kelompok pertama mencakup data pengamatan tradisional yang dikumpulkan dari stasiun pengamatan hujan. Data ini berupa data curah hujan harian dari tiga stasiun di DAS Kuranji, yaitu Batu Busuk, Gunung Nago, dan Limau Manis. Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Provinsi Sumatera Barat menyediakan data untuk stasiun pengamatan. Kelompok kedua mencakup data curah hujan yang diperkirakan dari pengamatan satelit. Evaluasi dilakukan pada produk TRMM 3B42RT dan GPM IMERG-F menggunakan data stasiun pengamatan DAS Kuranji selama 5 tahun, dari 2015 hingga 2019.

Analisis validasi dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu analisis validasi data tidak terkoreksi dan analisis validasi data terkoreksi. Analisis validasi data tidak terkoreksi tidak meliputi tahap kalibrasi, namun analisis validasi data terkoreksi meliputi, dengan proses kalibrasi yang diawali dengan analisis regresi dan scatter plot. Tujuan dari prosedur kalibrasi ini adalah untuk memperbaiki ketidakakuratan atau perbedaan dalam pembacaan satelit. Setelah kalibrasi, kualitas dan ketergantungan data curah hujan satelit dievaluasi dengan membandingkannya dengan data dari penakar hujan yang sebenarnya. Kalibrasi data satelit dalam penelitian ini menggunakan analisis regresi. Data satelit dikoreksi berdasarkan persamaan yang diperoleh dari kombinasi variabel yang menghasilkan koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) terbesar (Maulana et al., 2019). Jenis persamaan yang menghasilkan nilai R^2 terbesar dipilih sebagai persamaan koreksi yang sesuai untuk data curah hujan satelit. Berbagai bentuk persamaan dari metode regresi dipertimbangkan, termasuk regresi linier, fungsi logaritmik, fungsi eksponensial, fungsi polinomial, dan fungsi eksponen (Jarwanti et al., 2021).

Dalam metode validasi, analisis statistik digunakan untuk menilai keakuratan data curah hujan satelit dibandingkan dengan data observasi. Penelitian ini menggunakan uji koefisien korelasi (R), bias relatif (RB), *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Analisis ini didefinisikan oleh persamaan berikut (Ramadhan et al., 2022):

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x-y)^2}{\sum_{i=1}^n (x-\bar{x})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x-y)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (x-y)}{\sum x} \times 100\% \quad (4)$$

dengan n mewakili jumlah sampel, x mewakili curah hujan berbasis satelit, dan y mewakili data curah hujan yang diamati.

Koefisien korelasi (R) digunakan untuk menghitung korelasi linier antara pengukuran lapangan dan prediksi curah hujan satelit. Koefisien ini bernilai antara -1 hingga 1, dengan nilai yang mendekati 0 menunjukkan korelasi yang lemah. Tingkat dispersi antara curah hujan satelit dan curah hujan terukur diukur dengan RMSE, yang dapat menunjukkan tingkat kesalahan dan akurasi data satelit secara keseluruhan (Fang et al., 2019). Nilai RMSE yang lebih rendah menunjukkan kinerja data satelit yang lebih baik. Metode NSE menampilkan tingkat presisi yang muncul dari korelasi yang terbentuk antara data yang diramalkan dan data yang diamati. sebuah model menghasilkan nilai koefisien Nash yang mendekati satu, maka model tersebut dianggap baik (Lufi et al., 2020). Bias sistematis dari curah hujan satelit dibandingkan dengan data pengukuran diukur dengan bias relatif (RB). Ketika nilai RB positif, berarti satelit telah mengukur curah hujan lebih tinggi daripada penakar hujan, sedangkan ketika nilai RB negatif, berarti sebaliknya (Ramadhan et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Validasi Data yang Tidak Terkoreksi

Hasil perhitungan validasi data yang tidak dikoreksi ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Validasi Data Tidak Terkoreksi

Parameter	Batu Busuk		Gunung Nago		Limau Manis	
	TRMM	GPM	TRMM	GPM	TRMM	GPM
R	0,053	0,126	0,059	0,114	0,081	0,149
RMSE	26,121	26,739	36,154	35,829	20,193	20,649
NSE	-0,189	-2,820	-0,089	-5,724	-0,302	-1,305
RB (%)	-0,693	-0,145	-0,959	-0,212	-0,451	0,064

Hasil validasi berdasarkan Tabel 1. menunjukkan bahwa data TRMM di stasiun Limau Manis memiliki tingkat kesalahan yang lebih rendah dalam memprediksi curah hujan harian dibandingkan dengan data GPM IMERG-F. Nilai RMSE paling minimum untuk TRMM dan GPM IMERG-F masing-masing adalah 20,193 dan 20,649. Selanjutnya diikuti oleh stasiun Batu Busuk sebesar 26,121 dan 26,739. Sedangkan, nilai RMSE terbesar diperoleh pada stasiun Gunung Nago bernilai 36,154 dan 35,859. Namun, untuk nilai NSE tidak ada satupun data yang memenuhi persyaratan di semua stasiun pengamatan, karena nilainya negatif. Hal ini mengimplikasikan bahwa validasi menggunakan parameter NSE tidak memenuhi standar. Pada ketiga stasiun pengamatan, baik TRMM maupun GPM IMERG-F memiliki kualitas estimasi yang lemah, dengan nilai $R < 0,5$. Selain itu, hanya satelit GPM IMERG-F yang menunjukkan nilai RB positif sebesar 0,064% di stasiun Limau Manis, yang mengindikasikan bahwa estimasi curah hujannya cenderung overestimasi dibandingkan dengan TRMM yang memiliki nilai RB negatif.

Analisis Validasi Data yang Telah Dikoreksi

Untuk menghasilkan data curah hujan satelit yang terkoreksi, data tersebut harus dikalibrasi terlebih dahulu sebelum dilakukan uji validasi. Lima jenis persamaan regresi utama yang digunakan dalam kalibrasi ini adalah persamaan logaritma, polinomial, linier, eksponensial,

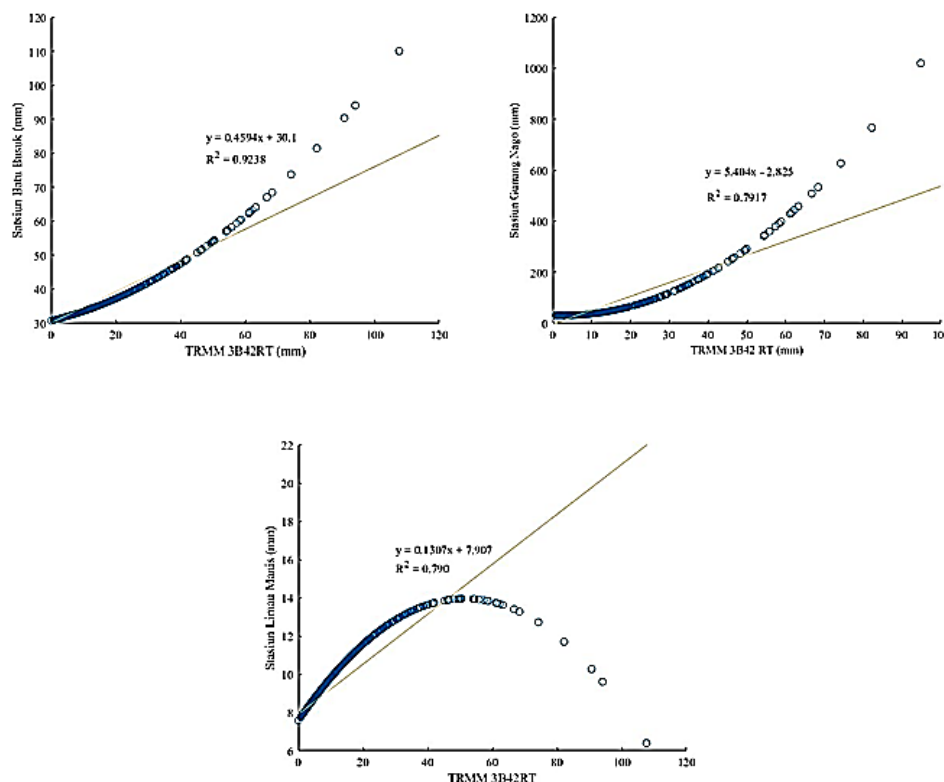
dan pangkat. Persamaan ini digunakan untuk menghitung faktor koreksi. Nilai determinasi (R^2) tertinggi dari masing-masing persamaan digunakan untuk memilih jenis persamaan regresi terbaik, yang kemudian diterapkan pada data satelit curah hujan yang telah dikoreksi. Data pengukuran digunakan sebagai variabel tetap pada sumbu Y pada plot data, dan data satelit digunakan sebagai variabel independen pada sumbu X. Dengan menggunakan teknik ini, data curah hujan yang dikoreksi dapat digunakan dalam uji validasi lebih lanjut.

Persamaan polinomial mendominasi hasil kalibrasi baik untuk curah hujan di semua stasiun hujan maupun persamaan regresi terpilih yang dihasilkan oleh satelit TRMM 3B42RT, sedangkan persamaan logaritmik hanya ditemukan pada data validasi dari satelit GPM IMERG-F di stasiun Limau Manis. Temuan persamaan dan angka koreksi yang terkait ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koreksi Untuk Data Satelit dan Data Pengamatan

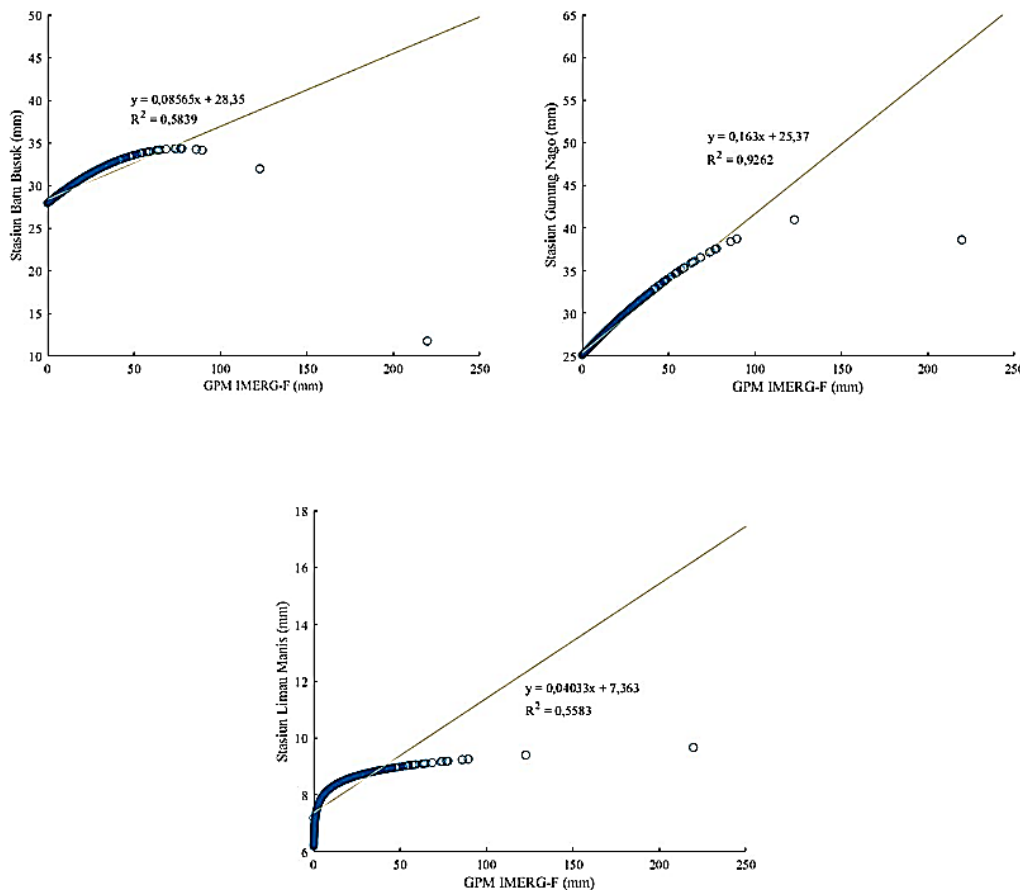
Stasiun Pengamatan	Persamaan Terpilih	
	TRMM	GPM-IMERG
Batu Busuk	Polinomial $0.0047x^2 - 0.231x + 30.747$	Polinomial $0.0011x^2 + 0.1679x + 27.911$
Gunung Nago	Polinomial $0.116x^2 + 0.5714x + 30.995$	Polinomial $-0.0007x^2 + 0.2153x + 25.088$
Limau Manis	Polinomial $-0.0024x^2 + 0.2473x + 7.5789$	Logaritmik $0.4594 \ln(x) + 7.1898$

Setelah melakukan koreksi pada data satelit dari tahun 2015 hingga 2019, dilakukan perhitungan koefisien determinasi, yang juga dikenal sebagai tahap verifikasi. Koefisien determinasi (R^2) menunjukkan seberapa baik korelasi data curah hujan satelit yang dikoreksi dengan data observasi curah hujan dari stasiun. Seperti yang terlihat pada Gambar 2, grafik menggambarkan hubungan antara data satelit TRMM dan data pengamatan stasiun yang sudah dikoreksi. Dari prosedur verifikasi, diketahui bahwa kedua set data di stasiun Batu Busuk memiliki korelasi sebesar 92,38%.



Gambar 2. Verifikasi Curah Hujan TRMM tahun 2015-2019

Hubungan antara satelit GPM IMERG-F dan data stasiun pengamatan yang telah dikoreksi ditunjukkan pada Gambar 3, di mana stasiun Gunung Nago memiliki korelasi tertinggi (92,62%) di antara keduanya. Pada analisis data hujan harian di DAS Kuranji, ditemukan bahwa data hujan GPM IMERG-F dan data hujan pengamatan memiliki korelasi yang lebih besar dibandingkan dengan data hujan TRMM 3B42RT. Hasil ini diperoleh setelah membandingkan dan merekapitulasi model regresi linier sebelumnya.



Gambar 3. Verifikasi Curah Hujan TRMM tahun 2015-2019

Tabel 3. Hasil Analisis Validasi Data Satelit yang Telah Dikoreksi

Parameter	Batu Busuk		Gunung Nago		Limau Manis	
	TRMM	GPM	TRMM	GPM	TRMM	GPM
R	0,961	0,761	0,890	0,962	0,889	0,744
RMSE	27,540	23,758	58,918	35,910	9,870	16,809
NSE	-27,008	-2,125	-1,086	-6,140	-37,001	-0,565
RB (%)	-0,818	-0,698	-0,872	-0,110	-0,311	0,772

Berdasarkan hasil verifikasi pada Tabel 3. Menunjukkan bahwa perkiraan curah hujan harian menggunakan data GPM IMERG-F memiliki tingkat kesalahan yang lebih besar dibandingkan data curah hujan TRMM. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE minimum sebesar 9,870 dan 16,809 untuk TRMM dan GPM IMERG-F di stasiun Limau Manis. Selanjutnya diikuti untuk stasiun Batu Busuk dengan nilai RMSE 23,758 untuk GPM dan 27,540 untuk TRMM. Sedangkan nilai maksimum diperoleh pada stasiun Gunung Nago. Namun demikian, temuan validasi menggunakan parameter NSE menunjukkan bahwa tidak ada satupun data yang memenuhi standar yang dipersyaratkan karena setiap stasiun pengamatan memiliki nilai NSE negatif (di bawah nol).

Nilai R terbesar untuk GPM IMERG-F di Stasiun Gunung Nago adalah 0,890 dan untuk TRMM adalah 0,962, yang mengindikasikan hubungan yang sangat kuat dalam hal korelasi. Hasil

ini sejalan dengan nilai R pada stasiun Batu Busuk, yaitu sebesar 0,961 untuk TRMM dan 0,761 untuk GPM IMERG-F. Stasiun Batu Busuk dan Gunung Nago memiliki nilai bias negatif baik untuk satelit TRMM maupun GPM IMERG-F. Satu-satunya satelit yang memiliki hasil bias yang positif adalah satelit GPM IMERG-F di stasiun Limau Manis. Nilai reliabilitasnya adalah 0.772%, yang berarti bahwa GPM IMERG-F lebih mungkin untuk mengukur lebih banyak curah hujan daripada data TRMM. Dapat disimpulkan bahwa, prediksi curah hujan menggunakan data TRMM memiliki tingkat kesalahan yang lebih kecil, meskipun hasil reliabilitas data GPM IMERG-F lebih unggul di beberapa lokasi pengamatan.

Keempat parameter validasi tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara validasi data satelit GPM IMERG-F dan TRMM yang telah dikoreksi dengan validasi data yang belum dikoreksi. Hasil validasi data yang lebih baik secara signifikan diperoleh dari data satelit TRMM dan GPM IMERG-F yang telah dikoreksi. Hasil ini dibuktikan dengan nilai RMSE minimum menurun, dari 20,193 menjadi 9,870 setelah dilakukan koreksi. Demikian juga untuk nilai koefisien korelasinya yang mendekati satu, sebesar 0,962.

Penelitian ini menemukan bahwa data curah hujan satelit GPM IMERG-F memiliki kinerja hidrologi harian yang lebih baik dibandingkan data curah hujan satelit TRMM 3B42RT. Hal ini diperkuat dengan temuan penelitian sebelumnya yang mengungkapkan bahwa GPM-IMERG memiliki nilai korelasi yang lebih tinggi, parameter error yang lebih rendah, dan data yang lebih banyak diakses (Yang et al., 2020); (Faisol & Ollin Paga, 2021); (Marta et al., 2023). Oleh karena itu, di wilayah yang tidak memiliki stasiun hujan, data curah hujan satelit GPM IMERG-F dapat diandalkan untuk memberikan informasi curah hujan. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa data satelit dapat diambil dengan cepat dan murah, dan diunduh secara gratis melalui internet. Dalam konteks DAS Kuranji, data satelit GPM IMERG-F lebih direkomendasikan daripada data satelit TRMM 3B42RT karena kemampuannya dalam menjangkau daerah terpencil dan sulit diakses, serta periode ketersediaan datanya lebih lama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sebelum data satelit dapat divalidasi keakuratan pengukuran curah hujan, maka harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. R, RMSE, NSE, dan RB adalah empat faktor validasi yang menentukan bagaimana data satelit TRMM 3B42RT dan GPM IMERG-F divalidasi, baik yang telah dikoreksi maupun yang belum dikoreksi. Terbukti dengan adanya penurunan nilai RMSE terendah dari 20,193 sebelum dikoreksi menjadi 9,870 setelah dikoreksi. Data satelit TRMM 3B42RT dan GPM IMERG-F hasil validasi yang telah dikoreksi lebih unggul dibandingkan dengan validasi sebelum dikoreksi.

Berdasarkan hasil penelitian ini, data curah hujan satelit TRMM dan GPM IMERG-F menunjukkan nilai validasi yang berbeda dalam rentang waktu harian. Hasilnya menunjukkan bahwa GPM IMERG-F melebihi TRMM 3B42RT dalam hal kinerja hidrologi harian. GPM IMERG-F menunjukkan nilai R yang lebih tinggi dan metrik kesalahan yang lebih rendah, termasuk Relative Bias (RB) dan RMSE. Statistik asosiasi yang kuat dan nilai RB yang sangat kecil di berbagai stasiun pengamatan hujan menunjukkan bahwa data hujan dari satelit GPM IMERG-F dapat digunakan sebagai pengganti data hujan terukur di DAS Kuranji, terutama di daerah yang tidak memiliki penakar hujan.

Saran

Berdasarkan validasi terhadap data satelit TRMM dan GPM, hasil penelitian ini sangat penting untuk menganalisis prospek penerapan data curah hujan satelit pada skala waktu yang berbeda. Penelitian ini merupakan salah satu penelitian pertama yang mengembangkan pendekatan komparatif produk curah hujan satelit untuk mengamati data penakar di DAS Kuranji; penelitian ini dapat menjadi referensi bagi para peneliti di DAS dan daerah-daerah yang memiliki iklim yang sama dan daerah dengan jaringan penakar hujan yang tidak teratur atau jarang.

REFERENSI

- Alsumaiti, T. ., Hussein, K., Ghebreyesus, D. ., & Sharif, H. . (2020). Performance of the CMORPH and GPM IMERG products over the United Arab Emirates. *Remote Sensing*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/RS12091426>.
- Andari, R., & Nurhamidah. (2023). Validasi Data Satelit Tropical Rainfall Measurement Mission dengan Menggunakan Pengamatan Curah Hujan. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7690–7697. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.734>.
- Faisol, A., & Ollin Paga, B. (2021). *Komparasi Citra Satelit Hujan Resolusi Tinggi dalam Mengestimasi Curah Hujan Harian di Provinsi Papua Barat Comparison of High-Resolution Rainfall Satellite Image in Estimating Daily Rainfall in West Papua*. 4(1), 2620–4738.
- Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du, J., Lin, A., & Zhao, L. (2019). Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. *Atmospheric Research*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809518311499>.
- Jarwanti, D. P., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2021). Validasi Data Curah Hujan Satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dengan Data Pos Penakar Hujan di DAS Grindulu, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(2), 772–785. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.36>.
- Krisnayanti, D. S., Welkis, D. F. B., Hepy, F. M., & Legono, D. (2020). Evaluasi Kesesuaian Data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) dengan Data Pos Hujan Pada Das Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 51–62. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.646>.
- Li, Q., Wei, J., Yin, J., Qiao, Z., Peng, W., & Peng, H. (2021). Multiscale comparative evaluation of the GPM and TRMM precipitation products against ground precipitation observations over chinese tibetan plateau. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2295–2313. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3047897>.
- Lufi, S., Ery, S., & Rispiningtati, R. (2020). Hydrological Analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) Data in Lesti Sub Watershed. *Civil and Environmental Science*, 003(01), 018–030. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2020.00301.3>.
- Mamenun, M., Pawitan, H., & Sopaheluwakan, A. (2014). Validasi Dan Koreksi Data Satelit Trmm Pada Tiga Pola Hujan Di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 15(1), 13–23. <https://doi.org/10.31172/jmg.v15i1.169>.
- Marta, S. D., Suhartanto, E., & Fidari, J. S. (2023). Validasi Data Curah Hujan Satelit dengan Data Stasiun Hujan di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1), 35–45. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.04>.
- Maulana, H., Suhartanto, E., & Harisuseno, D. (2019). Analysis of Water Availability Based on Satellite Rainfall in the Upper Brantas River Basin. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 4(2), 393–398.
- Pratama, A., Agiel, H. M., & Oktaviana, A. A. (2022). Evaluasi Satellite Precipitation Product (GSMaP, CHIRPS, dan IMERG) di Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Science and Applicative Technology*, 6(1), 32. <https://doi.org/10.35472/jsat.v6i1.702>.
- Ramadhan, R., Muharsyah, R., Marzuki, Yusraini, H., Vonnisa, M., Hashiguchi, H., Suryanto, W., & Sholihun. (2022). Evaluation of GPM IMERG Products for Extreme Precipitation over Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2309(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012008>.

- Satria WD, H., & Qothrunada, D. T. (2022). Evaluasi Data Estimasi Curah Hujan Satelit Trmm 3B42 Dengan Data Observasi Di Kolaka Tahun 2019. *EduFisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 214–220. <https://doi.org/10.59052/edufisika.v7i2.20374>.
- Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z., & Akbari, A. (2020). Ground validation of diurnal TRMM 3B42 V7 and GPM precipitation products over the northeast of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 142(3), 1413–1423. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03392-0>.
- Suryani, A. I. (2017). Kajian Reklamasi Lahan Daerah Aliran Sungai Batang Kuranji Kota Padang. *Jurnal Spasial*, 1(1), 16–30. <https://doi.org/10.22202/js.v1i1.1571>.
- Wang, S., Liu, J., Wang, J., Qiao, X., & Zhang, J. (2019). Evaluation of GPM IMERG V05B and TRMM 3B42V7 Precipitation products over high mountainous tributaries in Lhasa with dense rain gauges. *Remote Sensing*. <https://www.mdpi.com/528832>.
- Yang, X., Lu, Y., 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://www.mdpi.com/672750>.
- Yunita Samosir, D., Made Yuliara, I., & Prasetya, R. (2021). Perbandingan dan Analisis Pola Spasial Curah Hujan Data IMERG (Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM) dan Data Observasi di Provinsi Bali Comparison and Analysis of Rainfall Spatial Patterns IMERG (Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM) Da. *SINTA 4 Accreditation Starting On*, 22(2), 67–76. <https://disc.gsfc.nasa.gov>.