

Validasi Data Satelit *Tropical Rainfall Measurement Mission* dengan Menggunakan Pengamatan Curah Hujan

Rafika Andari^{1,2*}, Nurhamidah²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Padang

²Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

*Koresponden email: rafika.andari09@gmail.com

Diterima: 30 November 2023

Disetujui: 2 Desember 2023

Abstract

The availability of hydrological data poses a challenge in water infrastructure development. Common issues in this domain often arise due to the lack of comprehensive data availability. Utilizing high-resolution satellite-based rainfall measurements covering extensive areas presents a potential solution. However, variations in the observed rainfall data resolution may impact the accuracy of the data. This study employs Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) rainfall data and compares it with rainfall data from observation stations to assess the suitability of TRMM as a hydrological data source. Validation analysis is conducted using the Root Mean Squared Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Correlation Coefficient (R), and relative bias (RB) methods. Validation results indicate that corrected TRMM data yields better outcomes compared to uncorrected TRMM data, with lower RMSE, higher NSE, and increased RB values. The most favorable findings occur at the Batu Busuk station, with RMSE = 22.554, NSE = 0.181, R = 0.95, and RB = 0.413. These findings suggest that corrected TRMM data can be effectively used as a hydrological data source in water infrastructure development.

Keywords: *TRMM, rainfall, corrections, validation*

Abstrak

Ketersediaan data hidrologi adalah suatu tantangan dalam pembangunan infrastruktur air. Permasalahan umum dalam domain ini sering kali timbul karena kurangnya ketersediaan data yang menyeluruh. Penggunaan pengukuran curah hujan berbasis satelit dengan resolusi tinggi yang mencakup wilayah luas dapat menjadi solusi yang potensial. Meskipun demikian, variasi resolusi dalam data curah hujan yang diamati mungkin mempengaruhi ketepatan data tersebut. Penelitian ini menggunakan data curah hujan *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM) dan membandingkannya dengan data curah hujan dari stasiun pengamatan untuk menentukan kesesuaian penggunaan TRMM sebagai sumber data hidrologi. Analisis validasi dilakukan dengan menggunakan metode *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), Koefisien Korelasi (R), dan *relative bias* (RB). Hasil validasi menunjukkan bahwa data TRMM yang telah dikoreksi memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan data TRMM yang tidak dikoreksi, dengan nilai RMSE yang lebih rendah, NSE yang lebih tinggi, dan RB yang lebih tinggi. Penemuan terbaik terjadi di stasiun Batu Busuk, dengan nilai RMSE = 22.554, NSE = 0.181, R = 0.95, dan RB = 0.413. Temuan ini menunjukkan bahwa data TRMM yang telah dikoreksi dapat digunakan secara efektif sebagai sumber data hidrologi dalam pengembangan infrastruktur air.

Kata Kunci: *TRMM, hujan, koreksi, validasi*

1. Pendahuluan

Data curah hujan disajikan baik sebagai data temporal (deret waktu) dan data spasial. Data temporal menunjukkan ada tidaknya kecenderungan peningkatan curah hujan di suatu wilayah tertentu. Distribusi curah hujan secara spasial-temporal akan berpengaruh langsung terhadap ketersediaan sumber daya air di sungai atau daerah tangkapan air [1].

Ketersediaan data curah hujan merupakan bagian penting dalam analisis hidrologi. Beberapa keterbatasan dan permasalahan yang sering dihadapi antara lain kurangnya ketersediaan data pengamatan curah hujan, baik secara spasial maupun temporal, data deret waktu curah hujan yang tidak mencukupi dan tidak lengkap, jumlah stasiun curah hujan yang tidak merata, jumlah pengamat yang terbatas, dan pengamatan sistem dan input data manual [2]. Keterbatasan dan permasalahan tersebut adalah sulitnya memperoleh data pengamatan curah hujan permukaan secara real-time dan memerlukan pengecekan awal terhadap data tersebut sebelum dapat digunakan secara langsung [3]. Untuk itu, akurasi data spasial-temporal, dan curah hujan jangka panjang sangat dibutuhkan dalam prakiraan perubahan iklim, penelitian

simulasi, prakiraan hidrologi, banjir, tanah longsor, kekeringan, penanggulangan bencana, dan survei sumber daya air [4].

Teknologi terkini berupa teknologi penginderaan jauh dapat mengatasi kekurangan atau ketidaktersediaan data curah hujan pada periode sebelumnya (satelit). Teknologi satelit ini dapat menawarkan data curah hujan melalui pengukuran jarak jauh. Penginderaan jauh, boleh dikatakan, memudahkan pengumpulan data hujan kapan saja dan dari area mana saja. Secara umum, satelit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan stasiun hujan pengamatan permukaan dalam mengukur nilai curah hujan, antara lain resolusi spasial dan temporal yang tinggi dengan cakupan area yang luas, data yang mendekati waktu nyata, dan perekaman yang berkelanjutan, akses yang cepat, dampak iklim, dan variabilitas medan yang lebih sedikit serta juga mudah diperoleh karena datanya dapat diunduh secara gratis [5][6].

Saat ini terdapat sistem penginderaan jauh yang mengukur dan menganalisis curah hujan menggunakan *Tropical Precipitation Measurement Mission* (TRMM) satelit, yang sangat penting bagi negara tropis seperti Indonesia [7][8]. Selama beberapa tahun terakhir, algoritma TRMM telah maju dengan menggabungkan berbagai pengukuran berbasis darat dan satelit saat ini untuk membuat pengamatan spasial tinggi (0,25 x 0,25 derajat) dan resolusi temporal (pengambilan instan tiga jam) dengan tingkat presisi yang meningkat [9][10].

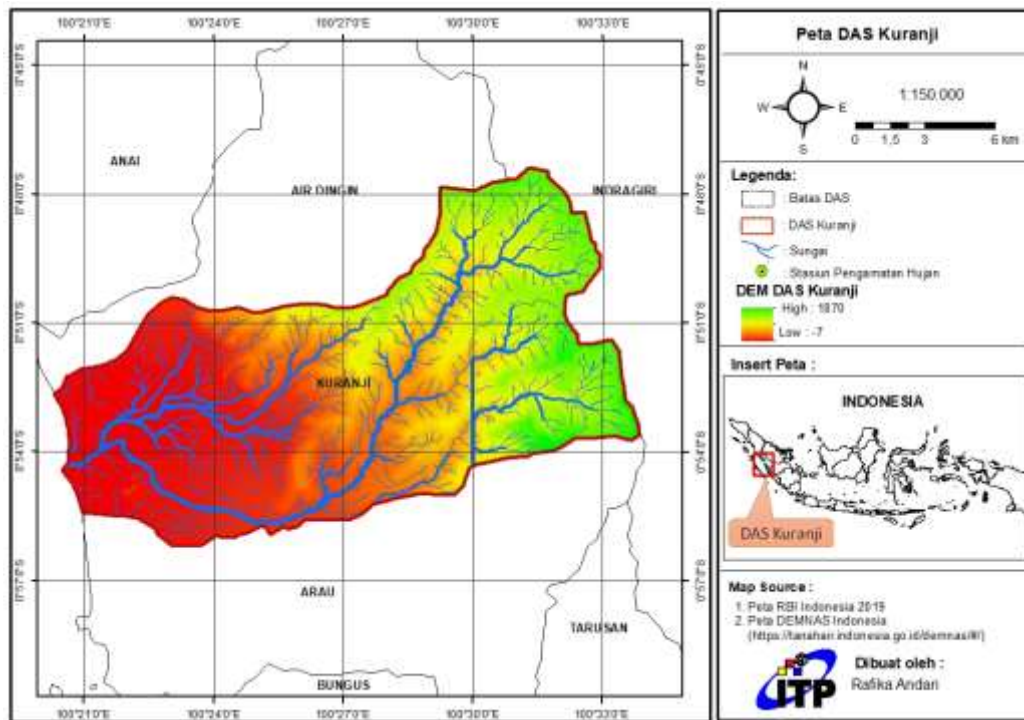
Secara khusus, dalam kajian DAS, data satelit TRMM telah dimanfaatkan pada DAS di Indonesia, seperti pada data curah hujan di DAS Bedadung [11], DAS Brantas [12], dan DAS Lesti [13], dan DAS Ngasinan Hulu, Jawa Timur [14]. Analisis umum dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa data TRMM memberikan informasi yang lebih akurat dan dapat dimanfaatkan sebagai solusi keterbatasan data hidrologi [15].

DAS Kuranji dipilih sebagai lokasi penelitian karena penelitian-penelitian sebelumnya belum dilakukan validasi data curah hujan satelit TRMM dengan curah hujan dari stasiun-stasiun penakar hujan yang ada di DAS tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi kesesuaian hasil korelasi dan persamaan antara data curah hujan TRMM dengan data curah hujan dari stasiun pengamatan di DAS Kuranji. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan mekanisme pemilihan data satelit TRMM yang akurat untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber data alternatif dalam analisis hidrologi dan pengembangan DAS Kuranji.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kota Padang, Sumatera Barat, di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kuranji. DAS Kuranji terletak pada 100020'-100034' BT dan 00048'-00056' LU. Di bagian hulu, wilayah DAS Kuranji berbatasan dengan Kota Padang dan Kabupaten Solok di pesisir barat Sumatera, dan mencakup lima kecamatan: Pauh, Kuranji, Nanggalo, Padang Utara, dan Koto Tangah, dengan ketinggian 1.858 m dan luas 215.615 km² [16]. Peta DAS Kuranji ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta DAS Kuranji

Pengumpulan Data

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian dari 3 (tiga) stasiun pengamatan di DAS Kuranji yaitu Batu Busuk, Koto Tuo, dan Gunung Nago tahun 2016. Data tersebut merupakan data curah hujan harian yang diperoleh dinas PSDA Sumbar.

Data curah hujan satelit TRMM yang digunakan yakni data level 3 dengan resolusi spasial $0,25^0 \times 0,25^0$ yang dikenal dengan nama TRMM 3B42RT dan dapat diunduh dari website <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>. Pengunduhan data curah hujan dari satelit TRMM dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Buka tautan <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.
2. Login melalui akun yang telah dibuat sebelumnya.
3. Data TRMM diunduh dengan melengkapi opsi pengaturan data sebagai berikut:
 - a) Pilih Plot untuk menentukan tipe data yang diinginkan berupa data Time Series.
 - b) Pilih rentang tanggal (UTC) untuk menentukan rentang waktu yang diinginkan,
 - c) Pilih Region (kotak atau bentuk batas) untuk memilih area presipitasi yang diinginkan.
 - d) Pilih Variabel untuk memilih data yang diinginkan, dalam hal ini ketik TRMM sebagai kata kunci, lalu pilih TRMM_3B42RT_data harian.
 - e) Data plot digunakan untuk mengolah data yang akan diunduh.
 - f) Data pemrosesan yang berhasil diunduh dapat diambil pada tautan data yang ditampilkan pada opsi unduhan dan tersedia di Ms. Excel.

Metode Validasi

Penelitian ini menggunakan metode kalibrasi dan validasi dari data satelit TRMM dengan data curah hujan pengamatan menggunakan periode harian selama tahun 2016. Analisis kalibrasi curah hujan menggunakan persamaan regresi $y = f(x)$ yang terbentuk oleh hubungan curah hujan satelit sebagai variabel x dan curah hujan pengamatan sebagai variabel y yang menghasilkan persamaan koreksi curah hujan satelit [17]. Koherensi hasil dari kalibrasi dilihat menggunakan scatter plot dengan hasil yang faktor determinasi (R^2) paling tinggi menunjukkan koherensi yang paling baik [18]. Oleh karena itu, pemilihan jenis persamaan yang terpilih untuk mengoreksi data didasarkan pada nilai R^2 paling tinggi. Beberapa bentuk persamaan metode regresi yakni regresi linear, fungsi logaritma, fungsi eksponensial, fungsi polynomial dan fungsi berpangkat [19].

Prosedur validasi model dilakukan untuk menentukan seberapa besar ketidakpastian model tersebut dalam memprediksi proses hidrologi [18]. Berdasarkan seberapa dekat kesesuaian data TRMM dengan curah hujan permukaan, validasi ini bertujuan untuk menentukan keakuratan data [20]. Menghitung

koefisien korelasi (R), *Root Mean Square Error* (RMSE), efisiensi Nash-Sutcliffe (NSE), dan uji bias relatif (RB) antara data curah hujan yang diamati dengan data curah hujan TRMM merupakan analisis statistik yang digunakan dalam proses validasi. Persamaan berikut mendefinisikan analisis ini:

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

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

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

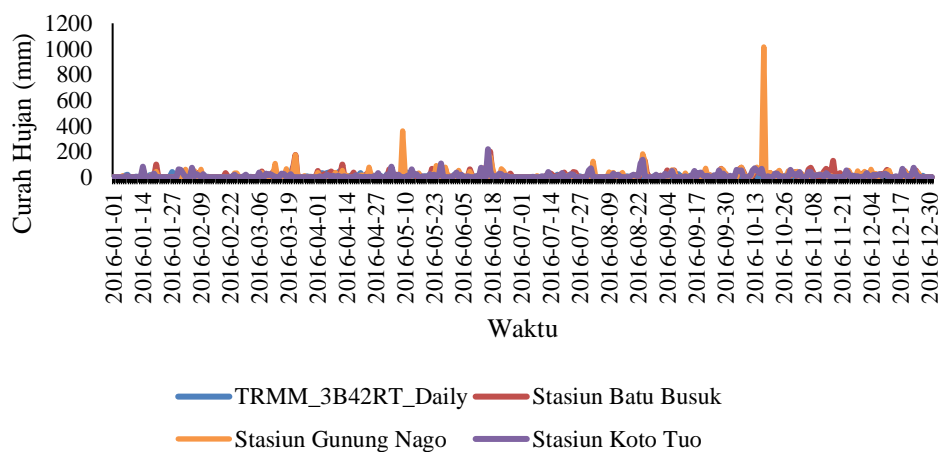
$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (x-y)}{\sum x} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana n menunjukkan jumlah sampel, x menunjukkan data curah hujan pengamatan, dan y menunjukkan curah hujan berbasis satelit. R mewakili tingkat korelasi linier antara perkiraan curah hujan TRMM dan data pengamatan di antara indeks statistik ini. NSE dan RB digunakan untuk menilai bias sistematis, yaitu penyimpangan curah hujan satelit dari data pengamatan, dan RMSE digunakan untuk menghitung besarnya kesalahan rata-rata secara relatif.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Kalibrasi Data

Hasil analisis kalibrasi nilai curah hujan pengamatan dengan data satelit TRMM untuk ketiga stasiun pengamatan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.

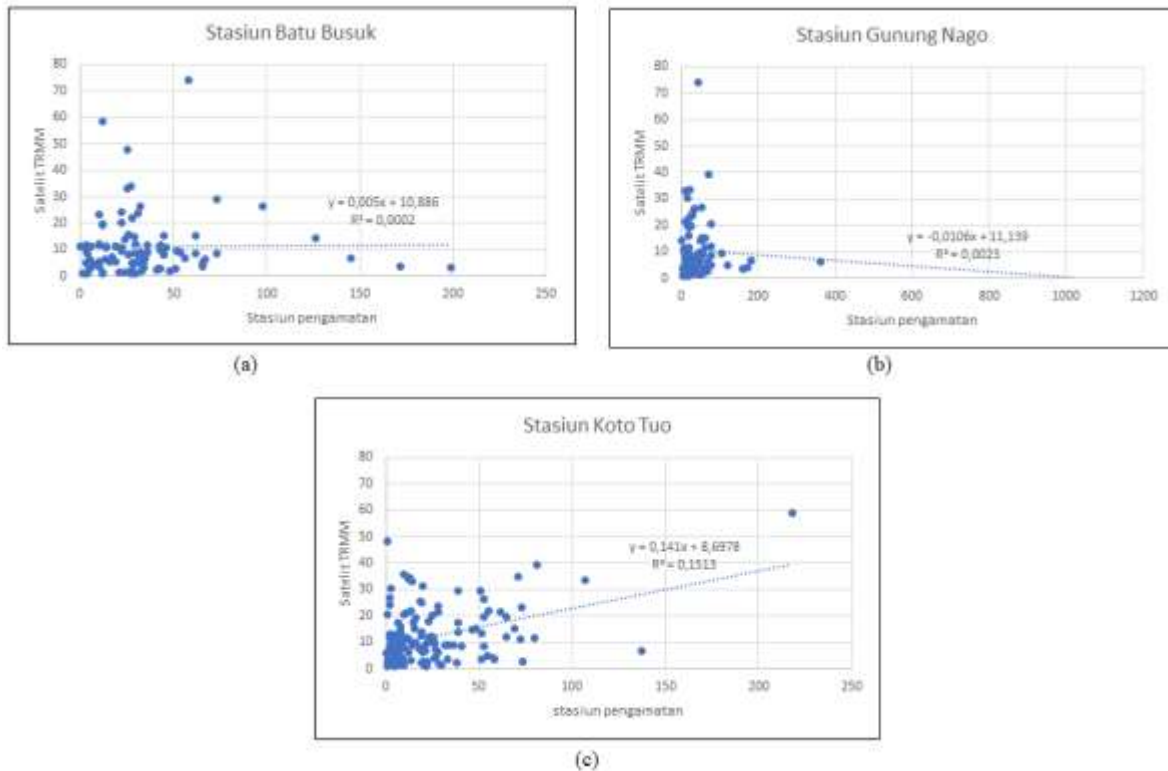


Gambar 2. Grafik Perbandingan Curah Hujan Harian Antara TRMM dengan Stasiun Pengamatan

Berdasarkan **Gambar 2**, terdapat perbedaan nilai curah hujan antara satelit TRMM dengan masing-masing stasiun pengamatan. Perbedaan yang signifikan terutama pada stasiun Gunung Nago yang memiliki nilai curah hujan 1015,4 mm pada tanggal 17 Oktober 2016. Perbedaan ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya berupa kesalahan akibat sensor [21], algoritma pengambilan data [22], karakteristik awan, iklim, musim, letak geografis dan topografis [23][24].

Sebelum melakukan pengecekan validitas, kalibrasi dilakukan sebelum memperoleh data curah hujan TRMM yang telah dikoreksi. Faktor koreksi dihitung melalui persamaan regresi sederhana selama proses kalibrasi. Nilai determinasi terbesar (R^2) berfungsi sebagai penentu persamaan yang digunakan.

Grafik scatter plot antara TRMM dengan stasiun pengamatan ditunjukkan pada **Gambar 3**. Berdasarkan grafik terlihat plot scatter harian yang nilainya menyebar dengan persamaan regresi linear yang mempunyai nilai gradien kurang dari 1 baik pada stasiun Batu Busuk, Gunung Nago begitupun pada stasiun Koto Tuo. Dari ketiga stasiun pengamatan, terlihat bahwa nilai gradien terbesar pada stasiun Koto Tuo ($R^2 = 0,1513$) dan terkecil pada stasiun Batu Busuk ($R^2 = 0,0002$).



Gambar 3. Scatter plot Kalibrasi Data Menggunakan Persamaan Regresi Linear
(a) Stasiun Batu Busuk (b) Stasiun Gunung Nago (c) Stasiun Koto Tuo

Hasil kalibrasi yang diperoleh dari scatter plot menggunakan persamaan metode regresi disajikan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil kalibrasi pada **Tabel 1**, persamaan regresi yang terpilih adalah persamaan eksponensial dengan nilai determinasi (R^2) tertinggi dibandingkan dengan persamaan lainnya adalah pada stasiun Koto Tuo sebesar 0,1808.

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Menggunakan Persamaan Metode Regresi

Stasiun	Regresi Linear	Polinomial	Ekspensial
Batu Busuk	$y = 0,005x + 10,886$ $R^2 = 0,0002$	$y = -0,0008x^2 + 0,1353x + 8,3582$ $R^2 = 0,0237$	$y = 6,8777e^{0,0013x}$ $R^2 = 6E-05$
Gunung Nago	$y = -0,0106x + 11,139$ $R^2 = 0,0023$	$y = -0,0001x^2 + 0,0201x + 10,339$ $R^2 = 0,0065$	$y = 6,9381e^{0,0002x}$ $R^2 = 0,0023$
Koto Tuo	$y = 0,141x + 8,6978$ $R^2 = 0,1513$	$y = 0,0008x^2 + 0,0367x + 10,184$ $R^2 = 0,1776$	$y = 6,4998e^{0,0096x}$ $R^2 = 0,1808$

Analisis Validasi Data Tidak Terkoreksi

Data yang memiliki nilai hujan digunakan dalam analisis validasi penelitian ini, sedangkan data yang bernilai 0 (no) diabaikan. Hal ini dikarenakan hujan yang diproyeksikan adalah hujan yang benar-benar jatuh di permukaan bumi, sedangkan data TRMM adalah informasi yang dikumpulkan dari pengamatan atmosfer oleh satelit. Akibatnya, jika terdapat nilai hujan pada data TRMM, tidak dapat diasumsikan bahwa hujan tersebut juga akan turun di permukaan bumi. Dalam pemeriksaan validasi data penelitian ini, hanya data yang memiliki nilai hujan yang digunakan.

Hasil perhitungan validasi data tidak terkoreksi antara satelit TRMM dengan stasiun pengamatan curah hujan disajikan pada **Tabel 2**. Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 2**, stasiun Gunung Nago memiliki nilai RMSE terbesar dan stasiun Koto Tuo terendah. Temuan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dari ketiga stasiun pengamatan menunjukkan bahwa tidak ada data yang memenuhi standar dengan nilai negatif (di bawah nol), menunjukkan bahwa validasi menggunakan teknik NSE tidak sesuai dengan persyaratan di semua stasiun pengamatan.

Perhitungan bias relatif (RB) menunjukkan nilai yang cukup besar, yaitu 0,458 hingga 0,644. Nilai kesalahan terkecil adalah 45,8% pada stasiun Koto Tuo dan terbesar pada stasiun Gunung Nago sebesar 64,4%. Hasil ini menyatakan bahwa validasi dengan metode kesalahan relatif masih kurang baik, karena

ada dua stasiun pengamatan yang nilainya melebihi 50%. Untuk nilai koefisien korelasi dari ketiga stasiun menunjukkan hasil dibawah 0,5 yang menginterpretasikan bahwa korelasinya adalah sedang dan lemah.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Validasi Data Tidak Terkoreksi

Stasiun	RMSE	NSE		RB	R	
		Nilai	Interpretasi		Nilai	Interpretasi
Batu Busuk	28,000	0,165	Tidak Memenuhi	0,531	0,065	Lemah
Gunung Nago	63,041	0,062	Tidak Memenuhi	0,644	-0,012	Lemah
Koto Tuo	20,955	0,103	Tidak Memenuhi	0,458	0,400	Sedang

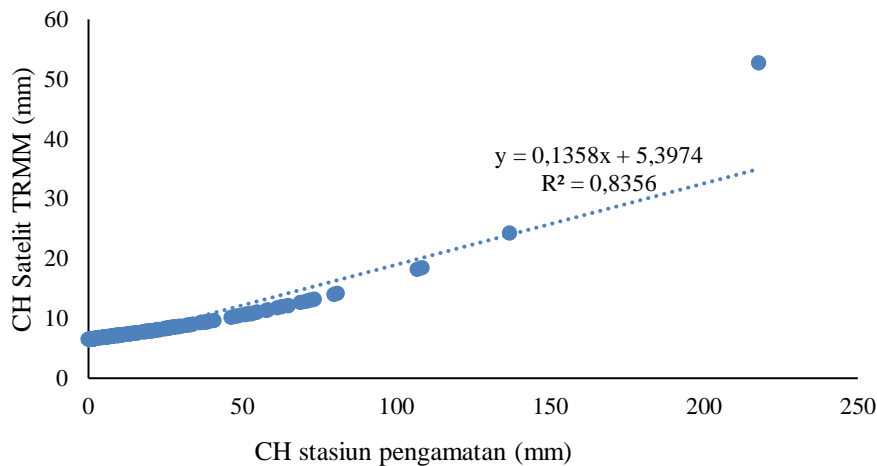
Berdasarkan uji validasi data TRMM dengan menggunakan data stasiun hujan observasi dengan menggunakan empat metodologi, antara lain RMSE, NSE, *Relative Bias* (RB), dan koefisien korelasi (R), hasil validasi masih belum memuaskan. Sebelum data curah hujan TRMM dikonfirmasi dengan menggunakan data curah hujan observasi, perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk menyesuaikan data tersebut agar diperoleh hasil yang lebih baik.

Analisis Validasi Data Terkoreksi

Untuk mendapatkan data hujan TRMM terkoreksi sebelum dilakukan uji validasi, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi data. Berdasarkan hasil kalibrasi pada **Tabel 1**, didapatkan persamaan terpilih berupa persamaan eksponensial untuk mengoreksi data. Data tanggal 6 Januari 2016, yaitu $x = 2$, diberikan sebagai contoh untuk perhitungan koreksi data. Data ini dihitung dengan menggunakan persamaan $y = 6,4998 e^{0,0096x}$ dan menghasilkan nilai curah hujan terkoreksi sebesar 6,625 mm.

Setelah mengoreksi data TRMM pada tahun tersebut, kemudian dilakukan perhitungan nilai koefisien determinasi. Ini disebut sebagai tahap verifikasi. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan hubungan yang kuat antara kedua data, yaitu data curah hujan TRMM yang telah dikoreksi dengan stasiun pengamatan curah hujan, berdasarkan hasil verifikasi.

Grafik yang digambarkan pada **Gambar 4** menunjukkan bagaimana data TRMM dan stasiun pengamatan stasiun Koto Tuo yang telah dikoreksi berhubungan satu sama lain. Korelasi antara kedua data tersebut cukup tinggi, yaitu 83,56%, sesuai dengan tingkat verifikasi.



Gambar 4. Scatter plot Verifikasi Data Terkoreksi

Hasil perhitungan validasi data terkoreksi antara satelit TRMM dengan stasiun pengamatan curah hujan disajikan pada **Tabel 3**. Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 3**, diperoleh nilai RMSE paling tinggi pada stasiun Gunung Nago dan terendah pada stasiun Koto Tuo.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Validasi Data Terkoreksi

Stasiun	RMSE	NSE		RB	R	
		Nilai	Interpretasi		Nilai	Interpretasi
Batu Busuk	22,554	0,181	Tidak Memenuhi	0,413	0,950	Sangat Kuat
Gunung Nago	5770,441	-87,655	Tidak Memenuhi	0,670	0,892	Sangat Kuat
Koto Tuo	19,846	0,197	Tidak Memenuhi	0,339	0,914	Sangat Kuat

Hasil *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dari ketiga stasiun pengamatan menunjukkan bahwa tidak ada data yang memenuhi kriteria dengan nilai negatif (di bawah nol), sehingga validasi dengan metode NSE tidak memenuhi syarat di semua lokasi pengamatan.

Perhitungan bias relatif (RB) menunjukkan nilai yang cukup besar, yaitu 0,339 hingga 0,670 Nilai kesalahan terkecil adalah 33,9% pada stasiun Koto Tuo dan terbesar pada stasiun Gunung Nago sebesar 67%. Hasil ini menyatakan bahwa validasi dengan metode kesalahan relatif masih kurang baik, karena ada dua stasiun pengamatan yang nilainya melebihi 50%. Untuk nilai koefisien korelasi dari ketiga stasiun menunjukkan nilai yang besar pada rentang 0,75 - 0,99 yang berarti hubungan antara data satelit TRMM dengan data pengamatan sangat kuat untuk ketiga stasiun.

4. Kesimpulan

Pengujian yang dilakukan untuk mengkaji kesesuaian penggunaan data curah hujan satelit TRMM dalam analisis hidrologi di DAS Kuranji adalah dengan membandingkan data curah hujan harian dari satelit TRMM dengan data stasiun pengamatan. Data curah hujan TRMM perlu dikalibrasi sebelum dinilai validitasnya untuk memperoleh data curah hujan TRMM yang telah dikoreksi.

Analisis validasi data pengamatan hujan dengan data satelit TRMM di DAS Kuranji menunjukkan nilai validasi data TRMM yang terkoreksi mengungguli nilai validasi data TRMM yang tidak terkoreksi. Berdasarkan koefisien korelasi, nilainya telah meningkat dari 0,40 untuk data yang tidak terkoreksi menjadi 0,95 untuk data yang terkoreksi. Berdasarkan hasil temuan dapat disimpulkan bahwa evaluasi data TRMM dengan data pengamatan di DAS Kuranji dapat dimanfaatkan untuk melengkapi data pengamatan curah hujan sebagai sumber data alternatif dalam analisis hidrologi, namun data tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. Adarsh and M. Janga Reddy, "Trend analysis of rainfall in four meteorological subdivisions of southern India using nonparametric methods and discrete wavelet transforms," *Int. J. Climatol.*, vol. 35, no. 6, pp. 1107–1124, 2015, doi: 10.1002/joc.4042.
- [2] F. Su, Y. Hong, and D. P. Lettenmaier, "Evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin," *J. Hydrometeorol.*, vol. 9, no. 4, pp. 622–640, 2008, doi: 10.1175/2007JHM944.1.
- [3] M. Mamenun, H. Pawitan, and A. Sophaheluwakan, "Validasi dan koreksi data satelit trmm pada tiga pola hujan di Indonesia," *J. Meteorol. dan Geofis.*, 2014, [Online]. Available: <http://202.90.199.54/jmg/index.php/JMG/article/view/169>.
- [4] C. Chen, Q. Chen, J. I. N. Zhang, Y. U. Q. Lin, And S. Zhao, "Validation Of Trmm 3b43 Monthly Precipitation Product With Rain Gauges Data In Gansu, China During 2000-2013." *iahr.org*, 2017, [Online]. Available: <https://www.iahr.org/library/download-paper-file?code=zKTXZ6A83a>.
- [5] D. S. Krisnayanti, D. F. B. Welkis, and and D. Legono, "Evaluasi Kesesuaian Data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Dengan Data Pos Hujan Pada Das Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan," *J. Sumber Daya Air*, 2020, [Online]. Available: <https://jurnalsda.pusair-pu.go.id/index.php/JSDA/article/view/646>.
- [6] Santos, R. M. . Neto, R. M. da Silva, and S. G. F. Costa, "Cluster analysis applied to spatiotemporal variability of monthly precipitation over Paraiba state using tropical rainfall measuring mission (TRMM) data," *Remote Sens.*, vol. 11, no. 6, 2019, doi: 10.3390/rs11060637.
- [7] A. Milewski, R. Elkadiri, and M. Durham, "Assessment and comparison of TMPA satellite precipitation products in varying climatic and topographic regimes in Morocco," *Remote Sens.*, 2015, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/98362>.
- [8] S. N. M. Zad, Z. Zulkafli, and F. M. Muharram, "Satellite rainfall (TRMM 3B42-V7) performance assessment and adjustment over Pahang river basin, Malaysia," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 3, pp. 1–24, 2018, doi: 10.3390/rs10030388.
- [9] Huffman, George J., and David T. Bolvin. "TRMM and other data precipitation data set documentation." *NASA, Greenbelt, USA* 28.2.3 (2013): 1.
- [10] A. K. Sahoo, J. Sheffield, M. Pan, and E. F. Wood, "Evaluation of the tropical rainfall measuring mission multi-satellite precipitation analysis (TMPA) for assessment of large-scale meteorological drought," *Remote Sens. Environ.*, 2015, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442571400488X>.
- [11] A. Heryanto, "Pemanfaatan Data Satelit TRMM 3B42RT Untuk Memprediksikan Curah Hujan di DAS Bedadung," pp. 1–43, 2017.

- [12] N. F. Rahma, E. Suhartanto, and D. Harisuseno, "Validasi Data Curah Hujan TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dengan Pos Stasiun Hujan di Sub DAS Sumber Brantas," *J. Mhs. Tek. Pengair. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 2, pp. 1–13, 2019.
- [13] Partarini, Ni Made Candra. *Validasi Data Curah Hujan TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) Sebagai Alternatif Data Hidrologi di Sub-DAS Lesti*. Diss. Universitas Brawijaya, 2019.
- [14] S. D. Marta, E. Suhartanto, and J. S. Fidari, "Validasi Data Curah Hujan Satelit dengan Data Stasiun Hujan di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 3, no. 1, pp. 35–45, 2023, doi: 10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.04.
- [15] X. Li, X. Ye, and C. Xu, "Assessment of Satellite-Based Precipitation Products for Estimating and Mapping Rainfall Erosivity in a Subtropical Basin, China," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 17, 2022, doi: 10.3390/rs14174292.
- [16] A. I. Suryani, "Kajian Reklamasi Lahan Daerah Aliran Sungai Batang Kuranji Kota Padang," *J. Spasial*, vol. 1, no. 1, 2017, doi: 10.22202/js.v1i1.1571.
- [17] H. Maulana, E. Suhartanto, and D. Harisuseno, "Analysis of Water Availability Based on Satellite Rainfall in the Upper Brantas River Basin," *Int. Res. J. Adv. Eng. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 393–398, 2019.
- [18] S. T. P. Indarto, "'Hidrologi Dan Perubahan' Perspektif untuk Riset dan Pendidikan yang Terintegrasi," *repository.unej.ac.id*. [Online]. Available: https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/74206/3/Orasi_Ilmiyah_indarto_190515.pdf?sequence=1.
- [19] Soewarno, *Hidrologi- Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Jilid 1. Bandung: Penerbit Nova, 1995.
- [20] R. A. Noor, M. Ruslan, G. Rusmayadi, and B. Badaruddin, "Pemanfaatan Data Satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (Trmm) Untuk Pemetaan Zona Agroklimat Oldeman Di Kalimantan Selatan," *EnviroScientiae*, vol. 12, no. 3, p. 267, 2016, doi: 10.20527/es.v12i3.2452.
- [21] L. Tang, Y. Tian, F. Yan, and E. Habib, "An improved procedure for the validation of satellite-based precipitation estimates," *Atmos. Res.*, vol. 163, pp. 61–73, 2015, doi: 10.1016/j.atmosres.2014.12.016.
- [22] M. Sadeghi *et al.*, "Persiann-CNN: Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks–convolutional neural networks," *J. Hydrometeorol.*, vol. 20, no. 12, pp. 2273–2289, 2019, doi: 10.1175/JHM-D-19-0110.1.
- [23] A. Serrat-Capdevila, M. Merino, J. B. Valdes, and M. Durcik, "Evaluation of the performance of three satellite precipitation products over Africa," *Remote Sens.*, vol. 8, no. 10, 2016, doi: 10.3390/rs8100836.
- [24] Q. Sun, C. Miao, Q. Duan, H. Ashouri, S. Sorooshian, and K. L. Hsu, "A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons," *Rev. Geophys.*, vol. 56, no. 1, pp. 79–107, 2018, doi: 10.1002/2017RG000574.