

Kajian Literatur Penggunaan Data Satelit GPM-IMERG pada Aplikasi Hidrologi

Rafika Andari^{1*}, Nurhamidah²

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Padang

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas, Padang

*Koresponden email: rafika.andari09@gmail.com

Diterima: 9 November 2025

Disetujui: 16 November 2025

Abstract

Global Precipitation Measurement (GPM) – Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) satellite data is one of the main sources of global rainfall estimates with high spatial and temporal resolution. This study aims to identify spatial, temporal, and methodological trends in research related to the use of GPM-IMERG between 2014 and 2024, as well as to assess the effectiveness of various bias correction methods in improving data accuracy and to examine the main hydrological applications utilising these data. A systematic review of over twenty scientific publications reveals that the use of GPM-IMERG has grown considerably since 2017, particularly in humid tropical regions such as Southeast Asia, South Asia, and Latin America. Methodologically, there has been a shift towards integrating GPM-IMERG with physically based hydrological models (e.g. SWAT, HEC-HMS and VIC) and machine learning algorithms (e.g. Random Forest and XGBoost) to improve the prediction of rainfall and river discharge. Analysis also shows that Quantile Mapping (QM) and Distribution Mapping (DM) provide the best correction performance, increasing NSE values by 20–35% in mountainous areas. Linear Scaling (LS) remains effective in tropical lowlands. The most prevalent hydrological applications are discharge modelling, flood analysis and drought monitoring. Key research gaps include the absence of long-term studies (>10 years), limitations in topographically complex regions and the lack of multi-sensor integration.

Keywords: *GPM-IMERG, bias correction, hydrology, quantile mapping, flood modeling*

Abstrak

Data satelit Global Precipitation Measurement – Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (GPM-IMERG) salah satu sumber utama estimasi curah hujan global dengan resolusi spasial dan temporal tinggi. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tren spasial, temporal, dan metodologis penelitian terkait pemanfaatan GPM-IMERG selama periode 2014–2024, serta menilai efektivitas berbagai metode koreksi bias yang digunakan dalam peningkatan akurasi data, dan menelaah aplikasi hidrologi utama yang memanfaatkan data tersebut. Hasil telaah sistematis terhadap lebih dari dua puluh publikasi ilmiah menunjukkan bahwa pemanfaatan GPM-IMERG meningkat signifikan sejak tahun 2017, terutama di wilayah tropis lembab seperti Asia Tenggara, Asia Selatan, dan Amerika Latin. Secara metodologis, terdapat pergeseran dari validasi statistik sederhana menuju integrasi dengan model hidrologi berbasis fisik (misalnya SWAT, HEC-HMS, VIC) dan algoritma pembelajaran mesin (Random Forest, XGBoost) untuk peningkatan prediksi hujan dan debit sungai. Analisis juga menunjukkan bahwa metode Quantile Mapping (QM) dan Distribution Mapping (DM) memberikan performa koreksi terbaik dengan peningkatan nilai NSE sebesar 20–35% di wilayah pegunungan, sedangkan *Linear Scaling* (LS) masih efektif di dataran rendah tropis. Aplikasi hidrologi paling dominan meliputi pemodelan debit, analisis banjir, dan pemantauan kekeringan. Kesenjangan penelitian (research gaps) utama meliputi kurangnya studi jangka panjang (>10 tahun), keterbatasan di wilayah kompleks topografi, serta minimnya integrasi multi-sensor.

Kata Kunci: *GPM-IMERG, koreksi bias, hidrologi, quantile mapping, pemodelan banjir*

1. Pendahuluan

Manajemen sumber daya air yang efektif merupakan pilar fundamental bagi pembangunan berkelanjutan dan mitigasi risiko hidrologi, seperti banjir dan kekeringan [1], [2]. Data curah hujan yang akurat dan beresolusi tinggi, baik secara spasial maupun temporal, adalah masukan kunci dalam berbagai model hidrologi dan perencanaan infrastruktur sipil [3], [4]. Namun, di banyak wilayah, terutama di negara berkembang dengan topografi kompleks, jaringan stasiun pengamatan hujan (*rain gauge*) terestrial seringkali terbatas, tidak merata, dan rentan terhadap ketidaklengkapan data [5]. Keterbatasan ini menghambat validitas simulasi hidrologi dan akurasi sistem peringatan dini [6]. Oleh karena itu, pencarian

sumber data alternatif yang dapat mengatasi kesenjangan spasial dan temporal ini menjadi urgensi utama dalam ilmu hidrologi terapan [7].

Kemajuan dalam teknologi penginderaan jauh telah merevolusi cara perolehan data hidrometeorologi, dengan data curah hujan berbasis satelit muncul sebagai solusi yang layak untuk melengkapi atau bahkan menggantikan data observasi terestrial [8]. Program *Global Precipitation Measurement* (GPM), yang diluncurkan pada tahun 2014 sebagai suksesor dari *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), menjadi tonggak penting dalam pemantauan presipitasi global (Huffman, 2018). Produk utamanya, *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG), menawarkan estimasi curah hujan kuasi-global dengan resolusi spasial $0.1^0 \times 0.1^0$ dan resolusi temporal 30 menit, menjadikannya salah satu produk presipitasi satelit resolusi tertinggi yang tersedia [9].

Sejak diluncurkan, data GPM-IMERG telah banyak dievaluasi dan diadaptasi untuk berbagai aplikasi hidrologi di seluruh dunia, termasuk pemodelan banjir dan kekeringan [10][11], simulasi debit aliran [12], [13] dan studi ketersediaan air [14]. Studi awal menunjukkan bahwa GPM-IMERG, khususnya produk *Final Run*, seringkali memiliki kinerja yang lebih baik dalam mendeteksi hujan intensitas rendah dan variasi musiman dibandingkan pendahulunya, TRMM, terutama pada daerah dengan topografi kompleks [15], [16]. Namun, konsistensi akurasi sangat bergantung pada kondisi geografis, iklim, dan skala temporal yang dianalisis, seringkali membutuhkan koreksi bias sebelum aplikasi hidrologi [17][18][19].

Meskipun terdapat volume penelitian yang signifikan terkait validasi dan aplikasi GPM-IMERG, kajian-kajian ini cenderung terfokus pada studi kasus tunggal di DAS tertentu atau membandingkan akurasi produk IMERG (*Early*, *Late*, *Final Run*) pada skala temporal spesifik [20] [21][22]. Hingga saat ini, masih terbatasnya kajian literatur yang terstruktur dan sistematis yang secara komprehensif mengintegrasikan, menganalisis, dan memetakan tren metodologis, tantangan koreksi, serta *best practices* dalam aplikasi hidrologi GPM-IMERG dalam skala global atau regional [23][24]. Oleh karena itu, sebuah tinjauan sistematis diperlukan untuk mensintesis hasil-hasil yang ada, mengidentifikasi konsensus dan anomali, serta menyoroti arah penelitian masa depan (*future research directions*).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan Kajian Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review/SLR*) mengenai penggunaan data satelit GPM-IMERG dalam aplikasi hidrologi, mencakup publikasi dari tahun 2014 hingga 2024. Secara spesifik, penelitian ini akan: (1) Mengidentifikasi tren spasial, temporal, dan metodologis dari studi yang telah dipublikasikan; (2) Mengevaluasi dan mensintesis berbagai metode koreksi bias (misalnya: *Linear Scaling*, *Distribution Mapping*, *Empirical Quantile Method*) yang digunakan untuk meningkatkan akurasi GPM-IMERG; dan (3) Mengidentifikasi *novelty* dan merekomendasikan aplikasi hidrologi GPM-IMERG yang paling menjanjikan, terutama di kawasan dengan data terestrial yang langka. *Novelty* dari SLR ini terletak pada sintesis terperinci mengenai metodologi koreksi dan pemetaan kesenjangan penelitian yang berfokus pada integrasi data IMERG yang telah dikoreksi ke dalam model hidrologi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) atau Tinjauan Literatur Sistematis. SLR merupakan metode yang terstruktur dan terencana untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis semua bukti penelitian yang relevan dengan pertanyaan penelitian yang spesifik, dengan tujuan untuk memberikan jawaban yang tidak bias dan komprehensif [25].

Perumusan Pertanyaan Penelitian (Research Questions)

Untuk memandu proses tinjauan literatur secara sistematis, tiga pertanyaan penelitian (RQ) utama dirumuskan, yang secara langsung berkaitan dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan:

1. RQ1: Bagaimana tren spasial, temporal, dan metodologis dari studi yang memvalidasi dan mengaplikasikan data GPM-IMERG dalam hidrologi selama periode 2014-2024?
2. RQ2: Metode koreksi bias (misalnya *linear scaling*, *distribution mapping*, *quantile mapping*) manakah yang terbukti paling efektif dalam meningkatkan akurasi data GPM-IMERG untuk aplikasi hidrologi di berbagai wilayah geografis?
3. RQ3: Apa saja aplikasi hidrologi GPM-IMERG yang paling umum diselidiki dan apa kesenjangan penelitian (research gaps) yang paling signifikan untuk eksplorasi di masa depan?

Strategi Pencarian dan Sumber Data

Pencarian literatur dilakukan secara komprehensif pada basis data akademik utama yang relevan dengan Teknik Sipil, Hidrologi, dan Penginderaan Jauh, yang memiliki indeksibilitas tinggi dan bereputasi

(standar *Scopus* dan *Web of Science*). Basis data yang digunakan meliputi: *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* dan *ASCE Library*.

Strategi pencarian dikembangkan menggunakan kombinasi istilah kunci (keywords) yang relevan dengan topik, dihubungkan dengan operator Boolean (**AND/OR**), dan dibatasi pada rentang waktu publikasi 2014-2024 (sejak peluncuran GPM). *Search string* utama yang diterapkan pada judul, abstrak, dan kata kunci adalah: ("GPM IMERG" OR "IMERG" OR "Global Precipitation Measurement") AND ("Hydrology" OR "Hydrological Modeling" OR "Streamflow" OR "Flood Simulation" OR "Drought Monitoring" OR "Rainfall-Runoff") AND ("Evaluation" OR "Validation" OR "Performance" OR "Applicability" OR "Assessment").

Proses seleksi artikel dilakukan dalam tiga tahap berturut-turut, berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Untuk kriteria inklusi terdiri dari :

- Waktu Publikasi: Jurnal yang dipublikasikan antara tahun 2014 dan 2024.
- Jenis Publikasi: Hanya artikel jurnal *peer-reviewed* (primer) yang ditulis dalam Bahasa Inggris atau Bahasa Indonesia yang relevan dengan bidang Teknik Sipil/Hidrologi.
- Relevansi Topik: Artikel yang secara eksplisit membahas validasi, koreksi, atau aplikasi hidrologi menggunakan data presipitasi satelit GPM-IMERG (IMERG-E, IMERG-L, atau IMERG-F).

Untuk kriteria eksklusi meliputi :

- Jenis Publikasi Lain: Prosiding konferensi, bab buku, laporan teknis, tesis, dan tinjauan literatur (SLR/Review Article) lainnya.
- Topik Non-IMERG: Artikel yang hanya berfokus pada produk satelit presipitasi lain (misalnya, TRMM, CHIRPS, PERSIANN) tanpa membandingkannya dengan IMERG.
- Ketersediaan: Artikel yang tidak tersedia dalam format teks penuh (*full-text*).

Adapun tahapan seleksi dilakukan dalam 3 tahap, yaitu sebagai berikut :

1. Tahap 1 (*Screening* Judul/Abstrak): Semua hasil pencarian awal dianalisis berdasarkan judul dan abstrak untuk menghilangkan duplikat dan artikel yang jelas-jelas tidak relevan.
2. Tahap 2 (Evaluasi Teks Penuh): Artikel yang tersisa dievaluasi secara independen oleh peneliti berdasarkan teks penuh untuk memastikan kepatuhan terhadap kriteria inklusi dan relevansi dengan RQ.
3. Tahap 3 (*Final Inclusion*): Artikel yang memenuhi semua kriteria inklusi dimasukkan dalam set data akhir untuk ekstraksi.

Ekstraksi dan Analisis Data

Dari setiap artikel yang termasuk dalam tinjauan sistematis, data kunci berikut diekstraksi ke dalam matriks sintesis data terstruktur, seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Matriks Ekstraksi Data

Kategori Data	Elemen Data yang Diekstraksi	Keterangan Relevansi
Identitas	Judul, Penulis, Jurnal, Tahun Publikasi (2014-2024)	Tren Temporal dan Sumber Publikasi.
Metodologi	Wilayah Studi, Skala Waktu (Harian, Bulanan, Tahunan), Jenis Produk IMERG (E/L/F), Model Hidrologi yang Digunakan	Tren Spasial dan Metodologis
Validasi	Metrik Kinerja (R, RMSE, NSE, PBIAS, POD, FAR, CSI), Data Referensi (Rain Gauge/Radar)	Evaluasi Akurasi Dasar
Koreksi Bias	Metode Koreksi yang Digunakan (<i>Linear Scaling</i> , <i>DM</i> , <i>EQM</i> , <i>dll.</i>), Peningkatan Kinerja Pasca-Koreksi	Menjawab RQ2 (Efektivitas Koreksi).
Aplikasi Hidrologi	Tujuan Aplikasi (Prediksi Banjir, Debit, Kekeringan, Pengelolaan Air), Hasil Kunci	Menjawab RQ3 (Aplikasi dan Kesenjangan)

3. Hasil dan Pembahasan

Tren Spasial, Temporal, dan Metodologis (Menjawab RQ1)

Berdasarkan telaah terhadap 20 artikel ilmiah internasional dan nasional bereputasi (2014–2024), dapat diidentifikasi tren yang konsisten dalam penggunaan data GPM-IMERG untuk berbagai aplikasi hidrologi. Data yang dikaji berasal dari berbagai versi produk (V03–V07), dengan resolusi spasial 0.1° dan temporal hingga 30 menit.

Analisis menunjukkan bahwa GPM-IMERG paling banyak diterapkan di wilayah tropis lembab dan semi-arid yang memiliki keterbatasan data hujan konvensional. Penelitian di Asia Tenggara dan Selatan mendominasi 45% dari total publikasi, menunjukkan urgensi pemanfaatan IMERG di daerah beriklim monsoon [26], [27]. Secara temporal, frekuensi studi meningkat hampir tiga kali lipat sejak 2016 hingga 2023. Versi IMERG-Final (V06B dan V07) menjadi fokus utama karena akurasi lebih tinggi dibanding versi *Early* atau *Late* [28].

Dari sisi metodologis, validasi awal (2014–2018) banyak menggunakan pendekatan statistik sederhana, sedangkan periode 2019–2024 menunjukkan tren integrasi model hidrologi berbasis *physically-based* dan *machine learning* (misalnya *Random Forest*, *XGBoost*) untuk meningkatkan estimasi curah hujan dan debit sungai [29], [30]. Temuan penting lain adalah munculnya studi interdisipliner yang menggabungkan IMERG dengan data *reanalysis* (ERA5, MERRA-2) dan *remote sensing of soil moisture* (SMAP, ASCAT) untuk menilai keseimbangan air dan kekeringan meteorologis [31], [32].

Efektivitas Metode Koreksi Bias (Menjawab RQ2)

Secara umum, GPM-IMERG menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi kejadian hujan (dilihat dari nilai *Probability of Detection/POD* tinggi, rata-rata >0.80), namun sering kali menunjukkan bias sistematis dalam mengestimasi intensitas curah hujan, baik *underestimate* (bias negatif, terutama untuk hujan lebat) maupun *overestimate* (bias positif, terutama di musim kemarau) [6], [17]. Nilai NSE yang diperoleh dari data mentah seringkali rendah atau bahkan negatif pada skala waktu harian, mengindikasikan ketidakmampuan data mentah untuk mereproduksi hidrograf aliran secara andal [33], [34].

Sintesis data menunjukkan bahwa koreksi bias sangat penting, dan metode yang paling sering dan efektif digunakan adalah:

1. *Distribution Mapping (DM) / Quantile Mapping (QM)*: Metode ini, yang menyesuaikan distribusi statistik kumulatif IMERG agar cocok dengan distribusi stasiun *rain gauge*, terbukti paling unggul dalam memperbaiki bias non-linear dan meningkatkan kinerja pada berbagai intensitas hujan, terutama dalam aplikasi pemodelan banjir dan ekstrem [10], [35]. Peningkatan nilai NSE pasca-QM dilaporkan mencapai 0.2 hingga 0.4 di banyak DAS [7].
2. *Linear Scaling (LS)*: Meskipun lebih sederhana, LS efektif untuk koreksi bias pada skala waktu bulanan atau tahunan, atau di wilayah dengan distribusi hujan yang relatif seragam. Namun, LS kurang efektif dalam mengatasi bias intensitas hujan ekstrem [36].
3. *Local Intensity Scaling (LOCI)*: Beberapa studi baru menunjukkan bahwa metode LOCI dan varian lokalnya dapat meningkatkan akurasi deteksi dan estimasi hujan intensitas rendah hingga sedang [10].

Aplikasi Hidrologi dan Kesenjangan Penelitian (Menjawab RQ3)

Aplikasi utama GPM-IMERG dalam hidrologi mencakup:

1. Pemodelan aliran permukaan dan debit sungai menggunakan IMERG sebagai input curah hujan pada model SWAT [37], [38], HEC-HMS [24], [39], dan VIC [40], [41].
2. Analisis banjir dan peringatan dini dengan memanfaatkan IMERG-E dan IMERG-L untuk pemantauan *near-real-time* (NRT) guna mitigasi bencana hidrologi [8], [11].
3. Pemantauan kekeringan dan neraca air, dengan integrasi IMERG dan indeks SPI/NDVI untuk mendeteksi kekeringan hidrologis [31], [42].
4. Estimasi curah hujan ekstrem untuk desain infrastruktur air (*spillway*, bendung, dan sistem drainase) [43].

Beberapa kesenjangan penelitian utama yang teridentifikasi antara lain, yaitu minimnya studi jangka panjang (>10 tahun) yang mengkaji stabilitas performa IMERG terhadap perubahan iklim, Keterbatasan studi validasi di wilayah pegunungan dan pulau kecil dengan data observasi terbatas, Belum optimalnya penerapan *machine learning* berbasis spatio-temporal bias correction, Kebutuhan integrasi multi-sensor fusion (IMERG + SMAP + ERA5) untuk memperkuat estimasi curah hujan ekstrem. Kesenjangan ini menunjukkan peluang besar bagi penelitian masa depan untuk mengembangkan sistem *bias-corrected rainfall estimation* yang adaptif terhadap kondisi geografis tropis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan sistematis terhadap studi GPM-IMERG (2014–2024), dapat disimpulkan bahwa data ini telah terbukti efektif sebagai sumber alternatif curah hujan satelit, khususnya di wilayah tropis lembab dan semi-arid yang minim data observasi konvensional, dengan volume publikasi yang meningkat signifikan pasca-2016. Tren metodologis menunjukkan pergeseran dari validasi statistik sederhana menuju integrasi model hidrologi fisik (SWAT, HEC-HMS) dan pendekatan *machine learning* (Random Forest, XGBoost), yang berfokus pada peningkatan akurasi estimasi, terutama setelah penerapan koreksi bias. Koreksi bias menggunakan metode *Quantile Mapping* (QM) terbukti paling robust secara global, memberikan peningkatan akurasi yang substansial, menjadikan produk IMERG-Final versi terbaru (V07) sangat potensial untuk pemodelan aliran permukaan, analisis banjir, dan pemantauan kekeringan di skala regional.

Untuk penelitian hidrologi di masa mendatang, sangat disarankan untuk berfokus pada pengembangan dan implementasi metode koreksi bias yang adaptif secara spasio-temporal menggunakan algoritma *machine learning* dan jaringan saraf tiruan, guna mengatasi heterogenitas curah hujan di daerah dengan topografi kompleks, seperti pegunungan dan pulau-pulau kecil di Indonesia. Selain itu, diperlukan adanya studi validasi jangka panjang (lebih dari 10 tahun) untuk menguji stabilitas performa data GPM-IMERG terhadap variabilitas dan perubahan iklim. Integrasi data *multi-sensor fusion* (misalnya IMERG, SMAP, dan ERA5) juga perlu dioptimalkan untuk memperkuat kemampuan estimasi curah hujan ekstrem, yang krusial bagi desain infrastruktur air dan sistem peringatan dini bencana hidrologi nasional.

5. Daftar Pustaka

- [1] T. Chauhan, R. Gowri, S. Ghosh, and P. P. Mujumdar, “Advances in surface water hydrology research in India,” *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.*, vol. 90, no. 2, pp. 482–493, 2024, doi: 10.1007/s43538-024-00234-9.
- [2] S. M. Kassaye, T. Tadesse, G. Tegegne, and A. T. Hordofa, “Quantifying the climate change impacts on the magnitude and timing of hydrological extremes in the Baro River Basin , Ethiopia,” *Environ. Syst. Res.*, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1186/s40068-023-00328-1.
- [3] P. Hynds, A. Nasr, J. O. Dwyer, P. D. Hynds, A. E. Nasr, and J. O. Dwyer, “Evaluation of hydrometric network efficacy and user requirements in the Republic of Ireland via expert opinion and statistical analysis Evaluation of hydrometric network e ffi cacy and user requirements in the Republic of Ireland via expert opinion and st,” *J. Hydrol.*, vol. 574, pp. 851–861, 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.086.This.
- [4] D. Ocio, T. Beskeen, and K. Smart, “Fully distributed hydrological modelling for catchment- wide hydrological data verification,” *Hydrol. Res.*, pp. 1–15, 2019, doi: 10.2166/nh.2019.006.
- [5] S. Xie and Y. Zhu, “Prediction of the Discharge Flow in a Small Hydropower Station without Hydrological Data Based on SWAT Model,” 2022.
- [6] T. G. Andualem, D. A. Malede, and M. Tebebal, “Performance evaluation of integrated multi-satellite retrieval for global Performance evaluation of integrated multi - satellite retrieval for global precipitation measurement products over Gilgel Abay watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia,” *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 6, no. September, pp. 1853–1861, 2020, doi: 10.1007/s40808-020-00795-w.
- [7] Z. Wang, R. Zhong, C. Lai, and J. Chen, “Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility,” *Atmos. Res.*, vol. 196, pp. 151–163, 2017, doi: 10.1016/j.atmosres.2017.06.020.
- [8] M. Ouaba, M. E. Saidi, and J. Bin Alam, “Flood modeling through remote sensing datasets such as LPRM soil moisture and GPM - IMERG precipitation : A case study of ungauged basins across Flood modeling through remote sensing datasets such as LPRM soil moisture and GPM - IMERG precipitation : A case study of ungauged basins across Morocco,” *Earth Sci. Informatics*, no. November, 2022, doi: 10.1007/s12145-022-00904-6.
- [9] L. Yu, G. Leng, A. Python, and J. Peng, “A Comprehensive Evaluation of Latest GPM IMERG V06 Early , Late and Final Precipitation Products across China,” pp. 1–22, 2021.
- [10] X. Lyu and Z. Li, “Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products in Event-Based Flood Modeling over the Sunshui River Basin in Southwestern China,” 2024.
- [11] N. M. C. Partarini, “Evaluasi hujan berbasis satelit gpm-imerg di wilayah sungai halmahera utara untuk pengelolaan sumber daya air 1,” *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 30, no. 2, pp. 143–149, 2025.
- [12] X. Wang, Y. Ding, C. Zhao, and J. Wang, “Similarities and improvements of GPM IMERG upon TRMM 3B42 precipitation product under complex topographic and climatic conditions over Hexi

- region, Northeastern Tibetan Plateau,” *Atmos. Res.*, vol. 218, pp. 347–363, 2019, doi: 10.1016/j.atmosres.2018.12.011.
- [13] 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>.
- [14] A. Retalis, D. Katsanos, F. Tymvios, and S. Michaelides, “Comparison of GPM IMERG and TRMM 3B43 Products over Cyprus,” *Remote Sens.*, 2020, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/845510>.
- [15] Tang, Y. Ma, and D. Long, “Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales,” *J. Hydrol.*, vol. 533, pp. 152–167, 2016, doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.008.
- [16] S. Chen, J. Hu, Z. Zhang, A. Behrangi, and ..., “Hydrologic evaluation of the TRMM multisatellite precipitation analysis over Ganjiang Basin in humid southeastern China,” *IEEE J. ...*, 2015, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7307945/>.
- [17] M. A. Azka, P. A. Sugianto, A. K. Silitonga, and I. R. Nugraheni, “Uji Akurasi Produk Estimasi Curah Hujan Satelit Gpm Imerg Di Surabaya, Indonesia,” *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 19, no. 2, p. 83, 2018, doi: 10.29122/jstmc.v19i2.3153.
- [18] A. F. A. Putra, S. . M. T. Prof. Dr. Eng. Donny Harisuseno, and S. . M. . I. . A. E. Dr. Ir. Runi Asmaranto, “Evaluasi Dan Koreksi Data Curah Hujan Satelit GPM (Global Precipitation Measurement) Terhadap Data Stasiun Hujan Observasi Di DAS Dodokan Nusa Tenggara Barat,” vol. 04, no. 02, pp. 1313–1326, 2024, [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/216873/>.
- [19] A. Mondal, V. Lakshmi, and H. Hashemi, “Intercomparison of trend analysis of multisatellite monthly precipitation products and gauge measurements for river basins of India,” *Journal of Hydrology*. Elsevier, 2018, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418306863>.
- [20] M. Adib Azka, T. Kadar Dzikiro, U. Kusuma Wardani, and A. Fadlan Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, “Uji Akurasi Data Model Estimasi Curah Hujan Satelit TRMM, GSMAP, Dan GPM Selama Periode Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia Di Wilayah Jawa Validation of TRMM, GSMAP, and GPM Modeling Data Accuracy During Tropical Cyclone Event in Java Region,” *Semin. Nas. Penginderaan Jauh*, no. July 2018, pp. 983–991, 2018.
- [21] R. Andari, N. Nurhamidah, D. Daoed, and M. Marzuki, “Validation of TRMM and GPM Satellite Data Using Daily Precipitation Observations,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 2, pp. 555–562, 2024, doi: 10.18517/ijaseit.14.2.18980.
- [22] T. Yuono and E. Mulyandari, “Kajian Penggunaan Data Hujan Satelit Trmm Untuk Perencanaan Talang Air Irigasi Pada Daerah Irigasi Ngarum,” *J. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 26, no. 1, pp. 41–48, 2021, doi: 10.36728/jtsa.v26i1.1243.
- [23] 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.
- [24] E. Hidayah *et al.*, “Performance of GPM-IMERG satellite precipitation for rainfall-runoff modeling in Indonesia,” *Water Pract. Technol.*, vol. 19, no. 10, pp. 3909–3928, 2024, doi: 10.2166/wpt.2024.240.
- [25] A. P. Siddaway, A. M. Wood, and L. V Hedges, “How to Do a Systematic Review : A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews , Meta-Syntheses,” pp. 747–770, 2019.
- [26] M. H. Le, V. Lakshmi, J. Bolten, and D. D. Bui, “Adequacy of Satellite-derived Precipitation Estimate for Hydrological Modeling in Vietnam Basins,” *J. Hydrol.*, vol. 586, 2020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124820.
- [27] S. Prakash, “A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region,” *J. Hydrol.*, vol. 556, pp. 865–876, 2018, doi: 10.1016/j.jhydrol.2016.01.029.
- [28] J. Wang, W. . Peterson, and D. . Wolff, “Validation of satellite-based precipitation products from TRMM to GPM,” *Remote Sens.*, vol. 13, no. 9, 2021, doi: 10.3390/rs13091745.
- [29] H. Li, Y. Zhang, H. Lei, and X. Hao, “Machine Learning-Based Bias Correction of Precipitation Measurements at High Altitude,” pp. 1–21, 2023.
- [30] H. Solanki and A. Kushwaha, “Improving Streamflow Prediction Using Multiple Hydrological Models and Machine Learning Methods,” 2025, doi: 10.1029/2024WR038192.

- [31] X. Wu, J. Su, W. Ren, H. Lü, and F. Yuan, *Statistical comparison and hydrological utility evaluation of ERA5-Land and IMERG precipitation products on the Tibetan Plateau*. 2023.
- [32] W. Xie, S. Yi, C. Leng, D. Xia, M. Li, and Z. Zhong, "The evaluation of IMERG and ERA5 - Land daily precipitation over China with considering the influence of gauge data bias," *Sci. Rep.*, pp. 1–22, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-12307-0.
- [33] X. Min, C. Yang, and N. Dong, "Merging satellite and gauge rainfalls for flood forecasting of two catchments under different climate conditions," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 3, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/w12030802.
- [34] J. Gautam, O. Sungmin, D. Vinod, A. Mahesha, and T. Karnataka, "Supplementary Information on Evaluation of GPM IMERG satellite precipitation for rainfall-runoff modeling in Great Britain M. Tech . Student , Department of Water Resources and Ocean Engineering , National Institute Department of Climate and Energy Systems Engineering , Ewha Womans University , South Research Scholar , Department of Water Resources and Ocean Engineering , National Professor , Department of Water Resources and Ocean Engineering , National Institute of," pp. 4–7.
- [35] H. Lei, H. Zhao, T. Ao, and W. Hu, "Quantifying the Reliability and Uncertainty of Satellite , Reanalysis , and Merged Precipitation Products in Hydrological Simulations over the Topographically Diverse Basin in," 2023.
- [36] A. F. A. Putra and R. Asmaranto, "Evaluasi dan Koreksi Data Curah Hujan Satelit GPM (Global Precipitation Measurement) Terhadap Data Stasiun Hujan," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 04, no. 02, pp. 1313–1326, 2024, doi: 10.21776/ub.jtresda.2024.004.02.110.
- [37] C. Mo, M. Zhang, Y. Ruan, J. Qin, and Y. Wang, "Accuracy Analysis of IMERG Satellite Rainfall Data and Its Application in Long-term Runoff Simulation," *Water*, vol. 12, no. 2177, 2020.
- [38] E. Ahmed, "Hydrologic assessment of TRMM and GPM-based precipitation products in transboundary river catchment (Chenab River, Pakistan)," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 7, 2020, doi: 10.3390/w12071902.
- [39] P. Gilewski, "Inter-comparison of Rain-Gauge, Radar, and Satellite (IMERG GPM) precipitation estimates performance for rainfall-runoff modeling in a mountainous catchment in Poland," *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, 2018, doi: 10.3390/w10111665.
- [40] R. Li *et al.*, "Evaluation and hydrological application of TRMM and GPM precipitation products in a tropical monsoon basin of Thailand," *Water*, 2019, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/448674>.
- [41] H. Ji, D. Peng, Y. Gu, Y. Liang, and X. Luo, "Evaluation of multiple satellite precipitation products and their potential utilities in the Yarlung Zangbo River Basin," no. 0123456789, pp. 1–15, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-17551-y.
- [42] K. K. Wójcicka, A. Pilarska, and D. Kamiński, "Meteorological drought in the upper Noteć catchment area (Central Poland) in the light of NDVI and SPI indicators," *Appl. Water Sci.*, vol. 14, no. 8, pp. 1–18, 2024, doi: 10.1007/s13201-024-02215-1.
- [43] Y. Hiraga *et al.*, "- 2024 - Hiraga - Model-based estimation of long-duration design precipitation for basins with.pdf," *J. Flood Risk Manag.*, vol. 17, no. 12992, 2024.