

EVALUASI HUJAN BERBASIS SATELIT GPM-IMERG DI WILAYAH SUNGAI HALMAHERA UTARA UNTUK PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

*Ni Made Candra Partarini¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Sleman

*) Email: made.candra@uajy.ac.id

ABSTRACT

Hydrological data is a crucial component in the planning and management of water resources (SDA) in Indonesia. The availability of data to date remains a critical issue that requires immediate attention. Satellite-based rainfall data has emerged as a promising alternative with better spatial and temporal scale coverage. This satellite data has been applied globally, especially for hydrological disaster prediction in various locations. Satellite rainfall technology continues to evolve with improvements in both quality and quantity over time. This research aims to assess the feasibility of using satellite rainfall data released by NASA, known as the Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (GPM-IMERG), for water resources management. The study location is the North Halmahera River Basin (WS). The feasibility assessment is conducted by comparing satellite rainfall data against field observation data represented by rain gauge stations scattered throughout the study area. The satellite performance assessment uses metric evaluation methods, including Probability of Detection (POD), False Alarm Ratio (FAR), Critical Success Index (CSI), and accuracy (fraction correct). The analysis results indicate that GPM-IMERG data demonstrates good performance in predicting rainfall in the South Halmahera River Basin based on the obtained evaluation metric values. Based on the metric evaluation, GPM-IMERG satellite rainfall data at 11 locations shows good performance in predicting rainfall in the North Halmahera River Basin. This is evident from the Probability of Detection (POD) values ranging from 0.90 to 0.99, the False Alarm Ratio (FAR) between 0.41 and 0.80, as well as the Critical Success Index (CSI) meeting values of 0.20 to 0.58, and accuracy ranging from 0.33 to 0.66.

Keyword: *Water resources management, satellite, metric evaluation*

ABSTRAK

Data hidrologi merupakan komponen penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air (SDA) di Indonesia. Ketersediaan data hingga saat ini menjadi isu krusial yang harus segera dibenahi. Data curah hujan berbasis satelit muncul sebagai alternatif menjanjikan dengan cakupan skala spasial dan temporal yang lebih baik. Data satelit ini telah diaplikasikan secara global, terutama untuk prediksi bencana hidrologi diberbagai tempat. Teknologi hujan satelit terus berkembang dengan peningkatan dari segi kualitas dan kuantitas seiring berjalannya waktu. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kelayakan penggunaan data hujan satelit yang dikeluarkan oleh NASA dengan nama *Global Precipitation Measurement - Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* GPM-IMERG untuk pengelolaan SDA. Lokasi studi pada penelitian ini yaitu pada Wilayah Sungai (WS) Halmahera Utara. Penilaian kelayakan yang dilakukan dengan membandingkan data hujan satelit terhadap data observasi lapangan yang diwakili oleh stasiun hujan yang tersebar di wilayah studi. Penilaian kinerja satelit menggunakan metode evaluasi metrik, berupa *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Ratio* (FAR), *Critical Success Index* (CSI), dan akurasi (*fraction correct*). Hasil analisis menunjukkan bahwa data GPM-IMERG menunjukkan kinerja yang baik dalam memprediksi curah hujan di DAS Halmahera Selatan berdasarkan nilai metrik evaluasi yang diperoleh. Berdasarkan evaluasi metrik, data hujan satelit GPM-IMERG pada delapan lokasi menunjukkan performa yang baik dalam memprediksi curah hujan di WS Halmahera Utara. Hal ini terlihat dari nilai POD yang berkisar antara 0,90 – 0,99, FAR antara 0,41 – 0,80, serta nilai CSI memenuhi nilai 0,20 – 0,58 dan akurasi yang berada dalam rentang 0,33 hingga 0,66.

Kata kunci: Pengelolaan SDA, satelit, evaluasi metrik

1. PENDAHULUAN

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya air melibatkan pendekatan komprehensif terhadap pengembangan, distribusi, dan pengoperasian sumber daya air untuk memenuhi berbagai kebutuhan sambil memastikan keberlanjutan dan efisiensi [1], [2]. Pengelolaan SDA dan perencanaan pembangunan berkelanjutan bergantung pada pemahaman hidrologi sungai dan potensi perubahannya dalam kondisi iklim di masa depan [3]. Data hidrologi berdampak signifikan terhadap pengelolaan air dengan meningkatkan pengambilan keputusan, memperbaiki penilaian sumber daya, memanfaatkan kemajuan teknologi, mengatasi ketidakpastian data, mendukung adaptasi perubahan iklim, dan menginformasikan pembuatan kebijakan. Integrasi dan aksesibilitas data hidrologi berkualitas tinggi sangat penting untuk praktik pengelolaan air yang berkelanjutan dan efektif [4], [5].

Ketersediaan data hidrologi sangat penting untuk pengelolaan sumber daya air, perencanaan, dan pengambilan keputusan yang efektif [6]. Kurangnya ketersediaan data hidrologi menimbulkan tantangan signifikan terhadap pengelolaan sumber daya air yang efektif. Untuk mengatasi tantangan ini diperlukan kombinasi pemodelan, penginderaan jarak jauh, pemantauan berbasis masyarakat, dan dukungan teknologi serta organisasi yang lebih baik. Praktik pengumpulan dan pengelolaan data yang lebih baik, bersama dengan penelitian dan kolaborasi

interdisipliner, sangat penting untuk mengatasi kelangkaan data dan memastikan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan [7][8].

Penginderaan jauh kini menjadi alternatif untuk memantau curah hujan di suatu wilayah dengan mudah tanpa memerlukan intervensi langsung pada permukaan bumi. Hal ini dapat mempermudah perhitungan data hujan untuk keperluan SDA. Penginderaan jarak jauh merupakan alat yang sangat berguna karena menyediakan cara mudah dalam menyediakan data khususnya data hidrologi [9]. Data curah hujan dari satelit unggul karena sifatnya yang spasial, kemampuannya meningkatkan pemahaman pola hujan, dan kemampuannya menjangkau area tanpa stasiun hujan konvensional [10]. Hal ini berpotensi meningkatkan akurasi perkiraan curah hujan rata-rata wilayah, terutama di daerah dengan minimnya data lapangan [11]. Perkembangan teknologi satelit untuk pemantauan curah hujan telah secara signifikan memajukan pemahaman tentang pola curah hujan dan meningkatkan akurasi pengukuran curah hujan [12]. Akurasi, ketidakpastian, dan resolusi spasial tetap ada untuk data hujan satelit sehingga diperlukan penelitian berkelanjutan dan peningkatan estimasi curah hujan berbasis satelit [13].

Produk curah hujan satelit sering dievaluasi berdasarkan data pengukur curah hujan berbasis darat. Perbandingan ini membantu mengidentifikasi bias dan kesalahan dalam estimasi satelit [14], [15], [16]. Penelitian terkait evaluasi dan validasi data hujan satelit *CHIRPS*, *Tamsat*, *Persian CDR*, dan *TerraClimate* melibatkan perbandingan statistik dengan data stasiun hujan dan analisis visual pola hujan untuk menilai akurasi dan kemampuan menangkap kejadian penting di *Essaouira City* (Morocco). Secara keseluruhan, evaluasi ini bertujuan untuk menentukan keandalan data hujan satelit sebagai alternatif atau pelengkap data pengamatan lapangan, terutama di daerah dengan keterbatasan stasiun [17]. Penelitian terkait perbandingan dan evaluasi data curah hujan satelit dan pengamatan ini telah banyak dilakukan diseluruh dunia bahkan di wilayah Indonesia. Evaluasi data hujan satelit NOAA dilakukan dengan membandingkannya dengan data stasiun hujan di Lombok menggunakan analisis korelasi dan metrik statistik seperti koefisien korelasi, efisiensi, NRMSE, dan ME. Hasilnya menunjukkan korelasi positif namun dengan tingkat kesalahan tinggi dan ketidaksesuaian rendah, terutama di wilayah ekstrem basah dan kering. Selain itu, data satelit cenderung mendeteksi hujan satu hari lebih awal, sehingga penelitian ini menyimpulkan perlunya kalibrasi data NOAA sebelum dapat digunakan secara akurat untuk prediksi curah hujan di Pulau Lombok [14]. Penelitian lainnya dilakukan dalam kajian penerapan data satelit untuk berbagai kepentingan, seperti perencanaan talang air irigasi dan analisis debit banjir dengan menggunakan satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) dan *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIAAN) [18], [19]. Selain itu, penelitian pada daerah Provinsi Maluku Utara telah dilakukan dengan mengambil lokasi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Halmahera Selatan. Hasil analisis evaluasi ini menunjukkan bahwa kinerja data hujan satelit GPM-IMERG memiliki kinerja yang baik ditinjau dari nilai POD dengan rentang 0,8 – 1. Nilai FAR memiliki rentang 0,1 – 0,61, serta nilai CSI dan Akurasi berkisar antara 0,40 – 0,95. Berdasarkan hasil analisis metrik evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa data GPM-IMERG memiliki kinerja yang baik dalam memprediksi data hujan di WS Halmahera Selatan [20]. Namun, hingga saat ini belum ada evaluasi yang dilakukan pada WS Halmahera Utara yang memiliki sedikit stasiun pengamatan dengan berbagai jenis data satelit.

Studi ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan data satelit di DAS Halmahera Utara, menjadi penelitian awal yang secara khusus membandingkan kemampuan deteksi dan perkiraan satelit GPM-IMERG. Hasil evaluasi kinerja satelit ini dapat menjadi referensi awal penggunaan sumber data tersebut di wilayah studi untuk berbagai keperluan, terutama dalam pengelolaan SDA. Penelitian ini akan melibatkan delapan stasiun pengamatan lapangan yang ada di sekitar WS Halmahera Utara dengan menerapkan berbagai metode penilaian kinerja satelit.

2. METODE

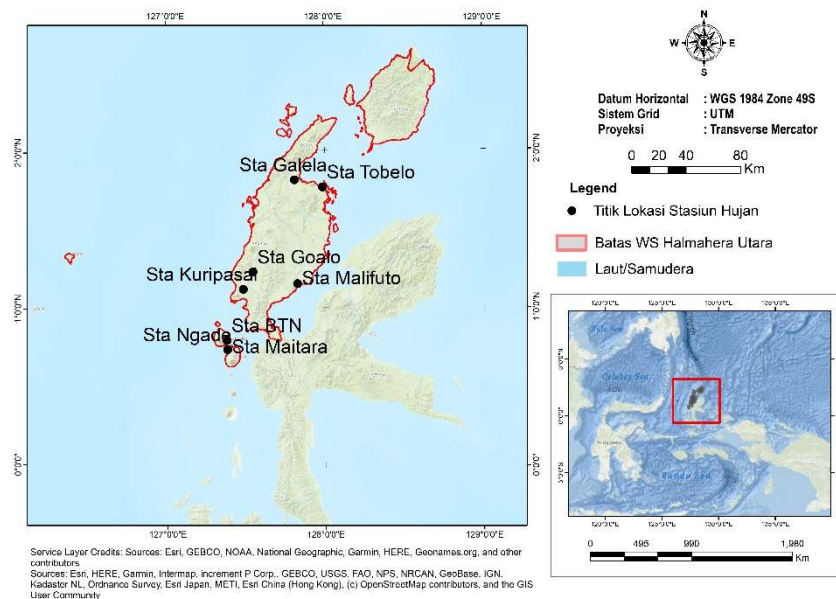
Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada WS Halmahera Selatan yang memiliki luas total 8197,094 km². WS Halmahera Utara mencakup Kabupaten Halmahera Barat, Halmahera Utara, Pulau Morotai, dan Kota Ternate. Pengelolaan SDA pada WS ini dinaungi oleh Balai Wilayah Sungai (BWS) Maluku Utara dengan melaksanakan berbagai upaya pengelolaan, seperti perencanaan, pelaksanaan, operasi, dan pemeliharaan infrastruktur sumber daya air. Batas WS Halmahera Utara dapat diperhatikan pada **Gambar 1**.

Data Curah Hujan Pengamatan

Data curah hujan pengamatan adalah data curah hujan yang dikumpulkan secara langsung dari permukaan tanah menggunakan alat pengukur hujan (*rain gauge*) yang ditempatkan di berbagai lokasi. Data ini dianggap sebagai data primer atau observasi langsung karena merepresentasikan kondisi hujan yang sebenarnya terjadi di titik pengukuran tersebut. Pada WS Halmahera Utara terdapat delapan stasiun hujan yang dikelola oleh BWS Maluku

Utara. Adapun stasiun hujan tersebut yaitu, Stasiun BTN, Galela, Gialo, Kuripasai, Maitara, Malifuto, Ngade, dan Tobelo.



Gambar 1. Batas Wilayah WS Halmahera Utara
Sumber: Analisis dengan *Software* QGIS

Data Curah Hujan Satelit

GPM-IMERG adalah produk presipitasi canggih berbasis satelit yang dikembangkan oleh misi GPM, yang merupakan kerja sama antara NASA dan JAXA. IMERG mengintegrasikan data dari konstelasi satelit internasional untuk memberikan estimasi presipitasi beresolusi tinggi secara global. IMERG menyediakan data presipitasi pada resolusi halus $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ dan pada interval setengah jam, meliputi garis lintang dari 60° LU hingga 60° LS [21], [22]. IMERG merupakan alat yang sangat berharga untuk pengukuran curah hujan global, yang menawarkan data terperinci dan tepat waktu yang penting untuk berbagai aplikasi lingkungan dan hidrologi. Meskipun telah mengalami kemajuan, evaluasi dan perbaikan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengatasi keterbatasannya dan meningkatkan akurasi lebih lanjut [23]. Data IMERG yang diunduh dalam penelitian ini menyesuaikan lokasi delapan stasiun hujan pengamatan dengan format data (.csc), Panjang data menyesuaikan panjang data tiap stasiun seperti pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Panjang Data Tiap Stasiun Hujan WS Halmahera Utara

Nama Stasiun	Jenis Data	Panjang Data
Stasiun BTN	Data harian	2015 – 2023
Stasiun Galela	Data harian	2008 – 2023
Stasiun Goalo	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Kuripasai	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Maitara	Data harian	2008 – 2023
Stasiun Malifuto	Data harian	2010 – 2023
Stasiun Ngade	Data harian	2022 – 2023
Stasiun Tobelo	Data harian	2009 – 2023

Metode Evaluasi Metrik

Evaluasi kinerja data satelit dimulai dengan analisis kategoris, di mana kinerja estimasi curah hujan satelit dinilai menggunakan berbagai metrik statistik untuk mengklasifikasikan dan mendeteksi terjadinya hujan [24]. Penilaian IMERG telah dilakukan menggunakan berbagai metrik statistik untuk menilai akurasi dan keandalannya di WS Halmahera Utara secara temporal. Metode statistik yang digunakan yaitu, POD, FAR, CSI, dan akurasi. Metode statistik ini banyak diterapkan dalam penilaian kategori statistik kinerja data satelit [25]. Pendekatan metode metrik ini dapat dilakukan dengan mengikuti persamaan pada **Tabel 8**. Nilai a menyatakan terdapat besaran hujan yang terekam pada kedua jenis pengukur hujan (stasiun dan satelit), b adalah jumlah kejadian curah hujan palsu terdeteksi oleh satelit namun tidak terekam pada stasiun pengamatan lapangan, sedangkan c adalah jumlah curah

hujan tidak terekam oleh satelit namun terekam oleh stasiun di lapangan, dan d peristiwa tanpa curah hujan benar terdeteksi [26]. Analisis evaluasi metrik yang dilakukan pada tingkatan data hujan harian, hujan harian pada bulan basah dan bulan kering.

Tabel 8. Tabel Persamaan Metrik

Persamaan		Rentang hasil	Nilai maksimal
$POD = \frac{a}{a + c}$	(1)	0 sampai 1	1
$FAR = \frac{b}{a + b}$	(2)	0 sampai 1	0
$CSI = \frac{a}{a + b + c}$	(3)	0 sampai 1	1
$Akurasi = \frac{a + d}{total}$	(4)	0 sampai 1	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi kinerja data satelit dalam memprediksi hujan dilakukan dengan beberapa metrik yang diterapkan pada data harian dan data musiman pada skala harian. Analisis evaluasi ini dilakukan pada tiga kelompok data seperti, data harian, dan hujan harian pada bulan basah serta bulan kering. Pembagian musim di WS Halmahera Utara mengacu pada klasifikasi pola hujan BMKG yang menunjukkan tipe equatorial untuk WS tersebut. Tipe equatorial dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun, berbeda dengan pola umum di Indonesia yang mengalami kemarau Mei-Oktober dan hujan November-April [27], [28].

Evaluasi kemampuan satelit dalam merekam kejadian hujan menggunakan metrik kategori menghasilkan nilai POD, FAR, CSI, dan Akurasi pada **Tabel 9**. Kinerja satelit dinilai berdasarkan data hujan harian selama periode waktu yang tersedia serta dikelompokkan menurut bulan basah dan kering. Hasil analisis menunjukkan variasi nilai metrik di setiap stasiun, dengan nilai POD yang umumnya baik dengan rentang 0,90 – 0,99, terutama di Stasiun Maitara yang mencapai nilai paling tinggi yaitu 0,99. Analisis POD di penelitian ini menunjukkan nilai lebih tinggi pada bulan basah dibandingkan bulan kering, namun secara keseluruhan, nilai POD menunjukkan kinerja deteksi yang baik di semua kategori karena mendekati nilai ideal 1.

Tabel 9. Hasil Evaluasi GPM-IMERG Dengan Metode Metrik

Nama Stasiun	Kategori	POD	FAR	CSI	Akurasi
Stasiun BTN	Hujan Harian	0.98	0.77	0.23	0.34
	Bulan basah	0.98	0.80	0.20	0.33
	Bulan kering	0.98	0.74	0.26	0.36
Stasiun Galela	Hujan Harian	0.90	0.53	0.44	0.59
	Bulan basah	0.90	0.54	0.43	0.59
	Bulan kering	0.90	0.52	0.45	0.58
Stasiun Goalo	Hujan Harian	0.94	0.50	0.49	0.57
	Bulan basah	0.96	0.47	0.52	0.61
	Bulan kering	0.92	0.52	0.46	0.54
Stasiun Kuripasai	Hujan Harian	0.97	0.44	0.55	0.62
	Bulan basah	0.97	0.41	0.58	0.66
	Bulan kering	0.97	0.47	0.52	0.59
Stasiun Maitara	Hujan Harian	0.99	0.61	0.39	0.42
	Bulan basah	0.99	0.57	0.43	0.46
	Bulan kering	0.99	0.64	0.35	0.38
Stasiun Malifuto	Hujan Harian	0.92	0.66	0.33	0.46
	Bulan basah	0.93	0.72	0.28	0.43
	Bulan kering	0.92	0.60	0.38	0.49
Stasiun Ngade	Hujan Harian	0.98	0.56	0.44	0.46
	Bulan basah	0.98	0.57	0.42	0.46
	Bulan kering	0.98	0.55	0.45	0.46

Nama Stasiun	Kategori	POD	FAR	CSI	Akurasi
Stasiun Tobelo	Hujan Harian	0.93	0.59	0.40	0.47
	Bulan basah	0.92	0.59	0.39	0.46
	Bulan kering	0.93	0.58	0.41	0.47

Hasil analisis metrik FAR ditujuka untuk mengukur frekuensi alarm palsu relatif terhadap jumlah total kejadian yang terdeteksi. Jumlah alarm palsu memiliki arti, data satelit merekam kejadian hujan sedangkan stasiun hujan di lapangan tidak mencatat adanya hujan. Hal ini sangat mungkin terjadi karena satelit mendeteksi potensi hujan diatmosfer. Berbagai faktor lingkungan sangat menentukan apakah hujan dapat terjadi atau tidak walaupun terdeteksi potensi tinggi di atmosfer. Nilai FAR yang diperoleh ialah sekitar rentang rerata 0,41 – 0,80 yang mengindikasikan bahwa data satelit masih sangat rentan terhadap kesalahan perekaman akibat alarm palsu. GPM-IMERG dan produk satelit lainnya sering kali menunjukkan FAR yang lebih tinggi dalam kondisi tertentu, seperti konsentrasi aerosol di atmosfer yang tinggi [29].

Komponen CSI menghasilkan nilai 0,20 – 0,58 yang mengindikasikan nilai ini lebih rendah daripada nilai CSI pada penelitian serupa di WS Halmahera Selatan [20]. CSI menggabungkan FAR dan POD untuk memberikan gambaran kinerja deteksi yang seimbang. Proposi perekaman palsu dibandingkan dengan semua pendeteksian positif. Semakin rendah nilai CSI, maka kinerja dianggap baik karena nilai perekaman akibat alarm palsu semakin kecil. Nilai CSI paling rendah terdapat pada Stasiun BTN pada bulan basah sebesar 0,20 sedangkan nilai paling tinggi sebesar 0,58 di bulan basah Stasiun Kuripasai.

Nilai akurasi pada metode metrik diukur dengan mendeteksi ketepatan perekaman satelit secara menyeluruh sehingga memberikan gambaran umum kemampuannya dalam mengidentifikasi pola curah hujan secara luas. Hasil analisis akurasi yang diperoleh berupa 0,33 hingga 0,66 yang mengindikasikan nilai akurasi yang masih kurang baik. Nilai akurasi yang buruk dapat diakibatkan oleh seringkali data satelit kurang akurat dalam merepresentasikan kejadian hujan pada kondisi ekstrem dan wilayah dengan kondisi geografis tertentu. Akurasi yang baik memang sering kali diperoleh dalam menguji kinerja data GPM-IMERG dengan rentang nilai diatas dari 0,7 [26].

Evaluasi kinerja pada data satelit GPM-IMERG pada skala data harian menggunakan empat metrik statistik pada kondisi umum, bulan basah, dan kering menunjukkan performa GPM-IMERG yang konsisten dalam merekam berbagai kondisi hujan. Tiap stasiun memiliki nilai yang berbeda-beda namun masih pada rentang yang tidak jauh berbeda sehingga mengindikasikan hasil yang sama. Penilaian kinerja lain telah banyak dilakukan diberbagai wilayah dengan berbagai tingkatan. Hasil analisis pada WS Halmahera Utara menunjukan hasil yang sama dengan evaluasi kinerja GPM-IMERG pada WS Halmahera Selatan. Dengan metode yang sama, pada WS ini menghasilkan POD dengan rentang 0,8 – 1. Nilai FAR memiliki rentang 0,1 – 0,61, serta nilai CSI dan Akurasi berkisar antara 0,40 – 0,95 [20]. Kedua WS ini terletak berdekatan di Provinsi Maluku Utara. Secara umum kondisi wilayahnya masih sama, khususnya kondisi hidrologis yang mempengaruhi kondisi curah hujan. Kedua analisis ini menghasilkan metrik yang sama dan konsisten. Dengan demikian, penelitian ini memberikan justifikasi awal bahwa data satelit GPM-IMERG dapat diandalkan untuk memprediksi kondisi hujan normal, basah, dan kering, yang sangat penting untuk pengelolaan SDA.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja data curah hujan berbasis satelit GPM-IMERG dalam mendukung pengelolaan sumber daya air di Wilayah Sungai Halmahera Utara. Data satelit dibandingkan dengan data observasi dari stasiun hujan di lapangan menggunakan berbagai metrik evaluasi seperti POD, FAR, CSI, dan akurasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja data GPM-IMERG cukup baik, dengan nilai POD antara 0,90–0,99, FAR dengan rentang 0,41 – 0,80 dan nilai CSI berkisar 0,20–0,58, serta akurasi antara 0,33–0,66. Secara umum, nilai ini menunjukan hasil evaluasi dengan metode metrik pada data curah hujan GPM-IMERG adalah baik dan sesuai dengan data curah hujan pengamatan. Meskipun demikian, data satelit cenderung mendeteksi hujan lebih awal dan memiliki tingkat kesalahan yang tinggi di area ekstrem basah dan kering. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa data satelit GPM-IMERG memiliki potensi untuk dijadikan sumber data pendukung pengelolaan SDA di wilayah WS Halmahera Utara, tetapi perlu dilakukan kalibrasi dan evaluasi lebih lanjut untuk meningkatkan ketepatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. H. Kirshen, "Use of Indicators in Integrated Water Resources Management," in *Impacts of Global Climate Change*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, Jul. 2005, pp. 1–4. doi: 10.1061/40792(173)88.

- [2] J. Katusiime and B. Schütt, "Integrated Water Resources Management Approaches to Improve Water Resources Governance," *Water (Basel)*, vol. 12, no. 12, p. 3424, Dec. 2020, doi: 10.3390/w12123424.
- [3] S. Shrestha, D.-H. Bae, P. Hok, S. Ghimire, and Y. Pokhrel, "Future hydrology and hydrological extremes under climate change in Asian river basins," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 17089, Aug. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-96656-2.
- [4] 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," *Environmental Systems Research*, vol. 13, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1186/s40068-023-00328-1.
- [5] T. Chauhan, R. Gowri, S. Ghosh, and P. P. Mujumdar, "Advances in surface water hydrology research in India," *Proceedings of the Indian National Science Academy*, vol. 90, no. 2, pp. 482–493, Jun. 2024, doi: 10.1007/s43538-024-00234-9.
- [6] S. Xie and Y. Zhu, "Prediction of the Discharge Flow in a Small Hydropower Station without Hydrological Data Based on SWAT Model," *Water (Basel)*, vol. 14, no. 13, p. 2011, Jun. 2022, doi: 10.3390/w14132011.
- [7] D. Ocio, T. Beskeen, and K. Smart, "Fully distributed hydrological modelling for catchment-wide hydrological data verification," *Hydrology Research*, vol. 50, no. 6, pp. 1520–1534, Dec. 2019, doi: 10.2166/nh.2019.006.
- [8] 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," *J Hydrol (Amst)*, vol. 574, pp. 851–861, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.086.
- [9] B. Victor, Z. He, and A. Nibali, "A systematic review of the use of Deep Learning in Satellite Imagery for Agriculture," Oct. 2022, doi: 10.1109/JSTARS.2024.3501216.
- [10] R. Li, D. Qi, Y. Zhang, and K. Wang, "A new pixel-to-object method for evaluating the capability of the GPM IMERG product to quantify precipitation systems," *J Hydrol (Amst)*, vol. 613, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128476.
- [11] C. Kidd and V. Levizzani, "Satellite rainfall estimation," in *Rainfall: Modeling, Measurement and Applications*, 2022, pp. 135–170.
- [12] L. Milani and C. Kidd, "The State of Precipitation Measurements at Mid-to-High Latitudes," Nov. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/atmos14111677.
- [13] M. Masood, G. Nabi, M. Babur, A. H. Azhar, and M. K. Ullah, "Disintegration of uncertainties associated with real-time multi-satellite precipitation products in diverse topographic and climatic area in Pakistan," *J Mt Sci*, vol. 18, no. March 2021, pp. 716–734, Mar. 2021.
- [14] H. Saidah, R. S. Saptaningtyas, L. Hanifah, I. D. G. Jaya Negara, and D. Widyanty, "NOAA Satellite performance in estimating rainfall over the Island of Lombok," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Feb. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/437/1/012035.
- [15] D. M. M. Mulungu and E. Mukama, "Evaluation and modelling of accuracy of satellite-based CHIRPS rainfall data in Ruvu subbasin, Tanzania," *Model Earth Syst Environ*, vol. 9, no. 1, pp. 1287–1300, Mar. 2023, doi: 10.1007/s40808-022-01555-8.
- [16] G. W. Gella, "Statistical evaluation of High Resolution satellite precipitation products in arid and semi-arid parts of Ethiopia: a note for hydro-meteorological applications," *Water and Environment Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 86–97, Feb. 2019, doi: 10.1111/wej.12380.
- [17] S. Rachidi, E. H. El Mazoudi, J. El Alami, M. Jadoud, and S. Er-Raki, "Assessment and Comparison of Satellite-Based Rainfall Products: Validation by Hydrological Modeling Using ANN in a Semi-Arid Zone," *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 11, Jun. 2023, doi: 10.3390/w15111997.
- [18] E. Mulyandari and H. Susila, "VALIDASI DATA CURAH HUJAN SATELIT TRMM DAN PERSIANN DALAM ANALISIS DEBIT BANJIR RENCANA DI DAS TELAGA LEBUR," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 25, no. 2, pp. 16–22, Jul. 2020, doi: 10.36728/jtsa.v25i2.1070.
- [19] Teguh Yuono and Erni Mulyandari, "KAJIAN PENGGUNAAN DATA HUJAN SATELIT TRMM UNTUK PERENCANAAN TALANG AIR IRIGASI PADA DAERAH IRIGASI NGARUM," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 26, no. 1, pp. 41–48, Jan. 2021, doi: 10.36728/jtsa.v26i1.1243.
- [20] N. Partarini, Y. Saputra, and W. Tjahyadi, "EVALUASI HUJAN SATELIT GPM-IMERG DI DAS HALMAHERA SELATAN UNTUK PREDIKSI BANJIR DAN KEKERINGAN," D. Krisnayanti, R. Cornelis, F. Adoe, and A. Galla, Eds., Kupang: Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-18, Oct. 2024, pp. 684–689.
- [21] G. J. Huffman *et al.*, "Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG)," vol. 67, 2020, pp. 343–353. doi: 10.1007/978-3-030-24568-9_19.
- [22] O. Sungmin, U. Foelsche, G. Kirchengast, J. Fuchsberger, J. Tan, and W. A. Petersen, "Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria," *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 21, no. 12, pp. 6559–6572, Dec. 2017, doi: 10.5194/hess-21-6559-2017.

- [23] M. S. Keikhosravi-Kiany and R. C. Balling, "Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final Run in Representing Extreme Rainfall Indices in Southwestern Iran," *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 15, p. 2779, Jul. 2024, doi: 10.3390/rs16152779.
- [24] Z. Zhou, D. Lu, B. Yong, Z. Shen, H. Wu, and L. Yu, "Evaluation of GPM-IMERG Precipitation Product at Multiple Spatial and Sub-Daily Temporal Scales over Mainland China," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/rs15051237.
- [25] F. Baig, M. Abrar, H. Chen, and M. Sherif, "Rainfall Consistency, Variability, and Concentration over the UAE: Satellite Precipitation Products vs. Rain Gauge Observations," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/rs14225827.
- [26] M. Taye, D. Mengistu, and D. Sahlu, "Performance evaluation of multiple satellite rainfall data sets in central highlands of Abbay Basin, Ethiopia," *Eur J Remote Sens*, vol. 56, no. 1, 2023, doi: 10.1080/22797254.2023.2233686.
- [27] N. Bafdal, "Rainfall Harvesting as Resources of Self Watering Fertigation System with Various Growing Medias," vol. 6, no. 5, 2016.
- [28] I. D. G. A. Junnaedhi, A. Inagaki, M. R. Ferdiansyah, and M. Kanda, "Seasonal sea breeze variation analysis based on multi-year near-surface observations in Jakarta, Indonesia," *International Journal of Climatology*, vol. 43, no. 11, pp. 5177–5195, Sep. 2023, doi: 10.1002/joc.8139.
- [29] N. Lu, "Evaluation of IMERG Precipitation Products in the Southeast Coastal Urban Region of China," *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/rs14194947.