

Received: November 2025

Accepted: Februari 2025

Published: April 2026

Evaluasi Kritis Penggunaan Data Hujan Satelit: Pengaruh Kondisi Wilayah Terhadap Akurasi Dan Kelayakan

Maria Kalista Hadia Sabu^{1*}, Eleonora V P Beyan², Isidorus Y Pait Mose³,

¹Prodi Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Santu Paulus Ruteng

*Email: kalista@unikastpaulus.ac.id

Abstract

Limited rainfall data in eastern Indonesia encourage the use of satellite data as an alternative to support water resource management. This study evaluates the accuracy of nine satellite rainfall products in two regions with contrasting topography: Manggarai Regency ($\pm 1,188$ m above sea level) and Sikka Regency (± 100 m above sea level). Analysis was performed at daily and monthly scales using Pearson correlation, RMSE, NSE, and bias. The results indicate that in Manggarai, none of the products are adequate, either daily or monthly, due to the complexity of the mountainous topography. In contrast, in Sikka, most products perform reasonably well on a monthly scale, although accuracy decreases significantly daily. Based on the comparison matrix, CHIRPS was identified as the best product for monthly rainfall in Sikka. These findings emphasize that the use of satellite data cannot be generalized across regions, so local validation, taking into account topography and temporal resolution, remains necessary.

Keywords: Satellite rainfall, Remote sensing, Topographic influence, Eastern Indonesia

Abstrak

Keterbatasan data curah hujan di Indonesia timur mendorong pemanfaatan data satelit sebagai alternatif pendukung pengelolaan sumber daya air. Penelitian ini mengevaluasi akurasi sembilan produk curah hujan satelit di dua wilayah dengan topografi kontras: Kabupaten Manggarai (± 1188 mdpl) dan Kabupaten Sikka (± 100 mdpl). Analisis dilakukan pada skala harian dan bulanan menggunakan korelasi Pearson, RMSE, NSE, dan bias. Hasilnya menunjukkan bahwa di Manggarai tidak ada produk yang memadai, baik harian maupun bulanan, seiring kompleksitas topografi pegunungan. Sebaliknya, di Sikka sebagian besar produk cukup baik pada skala bulanan, meski akurasi menurun signifikan secara harian. Berdasarkan matriks perbandingan, CHIRPS teridentifikasi sebagai produk terbaik untuk curah hujan bulanan di Sikka. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan data satelit tidak dapat digeneralisasi antarwilayah, sehingga validasi lokal dengan memperhatikan topografi dan resolusi temporal tetap diperlukan.

Kata Kunci: Curah hujan satelit, Penginderaan jauh, Pengaruh topografi, Indonesia Timur

1. Pendahuluan

Data curah hujan yang akurat dan berkelanjutan memegang peranan penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya air yang efektif dan berkelanjutan. Di wilayah tropis seperti Indonesia, variabilitas spasial dan temporal curah hujan yang tinggi menjadikan data hujan sebagai komponen krusial dalam berbagai aplikasi, mulai dari perencanaan irigasi, pengendalian banjir, hingga mitigasi bencana hidrometeorologis. Namun demikian, di sejumlah daerah yang terpencil dan bertopografi kompleks, seperti di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), distribusi stasiun pengamatan hujan masih sangat terbatas, baik dari segi jumlah maupun kontinuitas data [1]. Kondisi ini menimbulkan tantangan serius dalam menghasilkan informasi hidrologis yang andal.

Untuk mengatasi keterbatasan data observasi permukaan, pemanfaatan data curah hujan berbasis satelit dan reanalisis menjadi alternatif yang semakin banyak digunakan. Produk-produk seperti *Global Precipitation Measurement (GPM)*, *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)*, *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN)*, serta produk reanalisis ERA5 menawarkan cakupan spasial yang luas dan resolusi temporal yang tinggi. Meskipun demikian, akurasi produk-produk tersebut tidak seragam di semua wilayah karena dipengaruhi oleh metode estimasi, kondisi atmosferik, serta karakteristik medan yang berbeda-beda [2],[3]. Oleh karena itu, validasi lokal menjadi tahapan krusial untuk memastikan kesesuaian estimasi curah hujan satelit dengan kondisi aktual di lapangan.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa performa produk curah hujan satelit cenderung menurun di wilayah dengan topografi kompleks. Penurunan akurasi tersebut telah dilaporkan di berbagai wilayah, termasuk di Turki [4], Afrika Timur [5], Asia Tenggara [6], Tiongkok [7], Himalaya [8], hingga Amerika Selatan [9]. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa faktor topografi dan

kondisi lokal memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja estimasi curah hujan berbasis satelit, sehingga hasil evaluasi di suatu wilayah tidak dapat langsung digeneralisasi ke wilayah lain.

Dalam konteks Indonesia, penelitian oleh [10] di DAS Wae Mese, Labuan Bajo, memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa keberhasilan suatu produk curah hujan satelit sangat dipengaruhi oleh karakteristik wilayah setempat. Studi ini menegaskan bahwa produk yang menunjukkan kinerja baik di satu lokasi belum tentu memiliki performa serupa di wilayah lain dengan kondisi fisiografis yang berbeda. Namun demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada evaluasi satu atau dua produk curah hujan dan dilakukan pada satu tipe wilayah tertentu.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sembilan produk curah hujan global, yaitu GPM, CHIRPS, PERSIANN, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS, ERA5, ERA5-Land, ERA5-Ag, dan PDIR-Now, terhadap data observasi hujan permukaan. Evaluasi dilakukan pada dua wilayah dengan karakteristik topografi yang berbeda, yaitu Kabupaten Manggarai sebagai representasi wilayah pegunungan dan Kabupaten Sikka sebagai representasi wilayah dataran rendah. Pendekatan ini diharapkan mampu mengidentifikasi tingkat akurasi, konsistensi, serta keterbatasan masing-masing produk pada kondisi fisiografis yang berbeda.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi simultan sembilan produk curah hujan global yang mencakup produk satelit dan reanalisis, serta penerapannya pada dua wilayah dengan kontras topografi yang jelas dalam satu studi komparatif. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam memperkaya pemahaman mengenai keandalan dan keterbatasan data curah hujan satelit dan reanalisis di wilayah Indonesia timur, serta menjadi dasar dalam pemilihan sumber data curah hujan yang paling sesuai untuk analisis hidrologi, perencanaan sumber

daya air, dan mitigasi bencana di wilayah dengan keterbatasan data observasi.

2. Metoda Penelitian

2.1. Data dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-evaluatif untuk menilai akurasi sembilan produk curah hujan global di dua wilayah studi di Provinsi Nusa Tenggara Timur, yaitu Kabupaten Manggarai (topografi tinggi) dan Kabupaten Sikka (dataran rendah).

Data curah hujan harian periode 2013 – 2022 diperoleh dari dua stasiun BMKG, yaitu Stasiun Frans Sales Lega dan Stasiun F. X. Seda. Produk curah hujan global yang dianalisis meliputi: GPM, CHIRPS, PERSIANN, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS, ERA5, ERA5-Land, ERA5-Ag, dan PDIR-Now.

2.2. Teknik Analisis dan Evaluasi

Penilaian akurasi dilakukan melalui matriks skor fungsi objektif, dengan skala nilai 1– 4 sesuai klasifikasi performa (Tabel 1).

Tabel 1. Kriteria Fungsi Objektif

Sangat Baik (4)	NSE	RMSE
	>0,6-1	0-100
	RB	r
	<10	>0,75-1
	POD	FAR
Baik (3)	>0,6-1	<=0,2
	NSE	RMSE
	>0,4-0,59	>100-200
	RB	r
	<10-15	>0,5-0,75
Memuaskan (2)	POD	FAR
	>0,4-0,59	>0,2-0,4
	NSE	RMSE
	>0,2-0,4	>200-300
	RB	r
Tidak Memuaskan (1)	<15-25	>0,25-0,5
	POD	FAR
	>0,2-0,4	>0,4-0,59
	NSE	RMSE
	<=0,2	>300
Tidak Memuaskan (1)	RB	r
	>25	0-0,25
	POD	FAR
	<=0,2	>0,6-1

Evaluasi dilakukan pada dua skala temporal, yaitu harian dan bulanan, dengan menggunakan enam indikator statistik: korelasi Pearson (r), *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Relative Bias* (RB), *Probability of Detection* (POD), dan *False Alarm Ratio* (FAR). Data diolah menggunakan Microsoft Excel.

Sebagai validasi tambahan, dilakukan pula analisis grafik kumulatif bulanan untuk menilai kesesuaian pola hujan tahunan antara estimasi satelit dan data observasi.

3. Hasil Penelitian

3.1. Kinerja Produk Curah Hujan Satelit di Kabupaten Manggarai

Analisis menunjukkan bahwa Kabupaten Manggarai, yang didominasi oleh topografi pegunungan, menghasilkan nilai fungsi objektif yang rendah, baik pada skala harian maupun bulanan. Tabel 2 memperlihatkan bahwa tidak ada satu pun produk satelit yang mampu merepresentasikan curah hujan di wilayah ini secara memadai, baik dari segi statistik maupun dalam menangkap pola curah hujan aktual.

Rendahnya nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) dan koefisien korelasi, serta tingginya *Root Mean Square Error* (RMSE) dan bias relatif pada seluruh produk, mencerminkan tingkat ketidaksesuaian yang signifikan antara estimasi satelit dan data observasi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa estimasi curah hujan berbasis satelit belum mampu merepresentasikan kompleksitas variabilitas spasial-temporal di Kabupaten Manggarai.

Tabel 2. Evaluasi Kinerja Produk Curah Hujan Satelit di Kabupaten Manggarai (Bulanan)

	NSE	RMSE	RB
PERSIANN-CCS	-11,3	615,4	-51,8
	r	POD	FAR
	0,4	0,9	0,5
GPM	NSE	RMSE	RB
	-14,5	618,2	-27,2
	r	POD	FAR
CHIRPS	0,3	1,0	0,5
	NSE	RMSE	RB
	-5,4	615	-11,6
PDIR-Now	r	POD	FAR
	0,3	0,5	0
	NSE	RMSE	RB
ERA5	-16	630,1	-52
	r	POD	FAR
	0,4	0,5	0,5
PERSIAN	NSE	RMSE	RB
	-20,4	616,6	0,1
	r	POD	FAR
PERSIAN-CDR	0,3	1,0	0,5
	NSE	RMSE	RB
	-47,7	666,6	-73,8
ERA5-Ag	r	POD	FAR
	0,3	0,9	0,5
	NSE	RMSE	RB
ERA5-Land	-31,9	640,5	-53,3
	r	POD	FAR
	0,3	1,0	0,5
ERA5-Ag	NSE	RMSE	RB
	-21,5	626	-49,5
	r	POD	FAR
ERA5-Land	0,3	0,5	0,5
	NSE	RMSE	RB
	-3,1	627,9	-28,5
ERA5-Land	r	POD	FAR
	0,3	0,5	0,5

3.2. Kinerja Produk Curah Hujan Satelit di Kabupaten Sikka

Berbeda dengan Manggarai, Kabupaten Sikka yang didominasi oleh wilayah dataran rendah menunjukkan performa yang relatif lebih baik. Pada skala harian, kinerja produk satelit masih rendah akibat variabilitas curah hujan yang tinggi. Namun, pada skala bulanan sebagian besar produk menunjukkan peningkatan signifikan, baik dari segi NSE maupun korelasi. Akumulasi temporal bulanan membuat pola curah hujan lebih stabil sehingga lebih mudah ditangkap oleh satelit, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Produk Curah Hujan Satelit di Kabupaten Sikka (Bulanan)

Karena sebagian besar produk menunjukkan kinerja cukup baik, dilakukan

	NSE	RMSE	RB
PERSIANN-CCS	0,43	100,9	24,63
	r	POD	FAR
	0,68	0,92	0,11
GPM	NSE	RMSE	RB
	0,58	80,03	49,51
	r	POD	FAR
CHIRPS	0,83	1,0	0,21
	NSE	RMSE	RB
	0,58	69,60	13,84
PDIR-Now	r	POD	FAR
	0,78	0,95	0,14
	NSE	RMSE	RB
ERA5	0,38	78,07	13,19
	r	POD	FAR
	0,7	0,98	0,16
PERSIAN	NSE	RMSE	RB
	0,4	112,93	78
	r	POD	FAR
PERSIAN-CDR	0,8	1,0	0,21
	NSE	RMSE	RB
	0,39	71,01	-14,67
ERA5-Ag	r	POD	FAR
	0,74	0,89	0,1
	NSE	RMSE	RB
ERA5-Land	0,5	73,57	32,50
	r	POD	FAR
	0,78	0,97	0,17
PERSIAN	NSE	RMSE	RB
	0,51	70,82	13,72
	r	POD	FAR
PERSIAN-CDR	0,75	1,0	0,21
	NSE	RMSE	RB
	0,53	69,18	18,09
ERA5-Ag	r	POD	FAR
	0,77	1,0	0,21
	NSE	RMSE	RB
ERA5-Land	0,53	69,18	18,09
	r	POD	FAR
	0,77	1,0	0,21

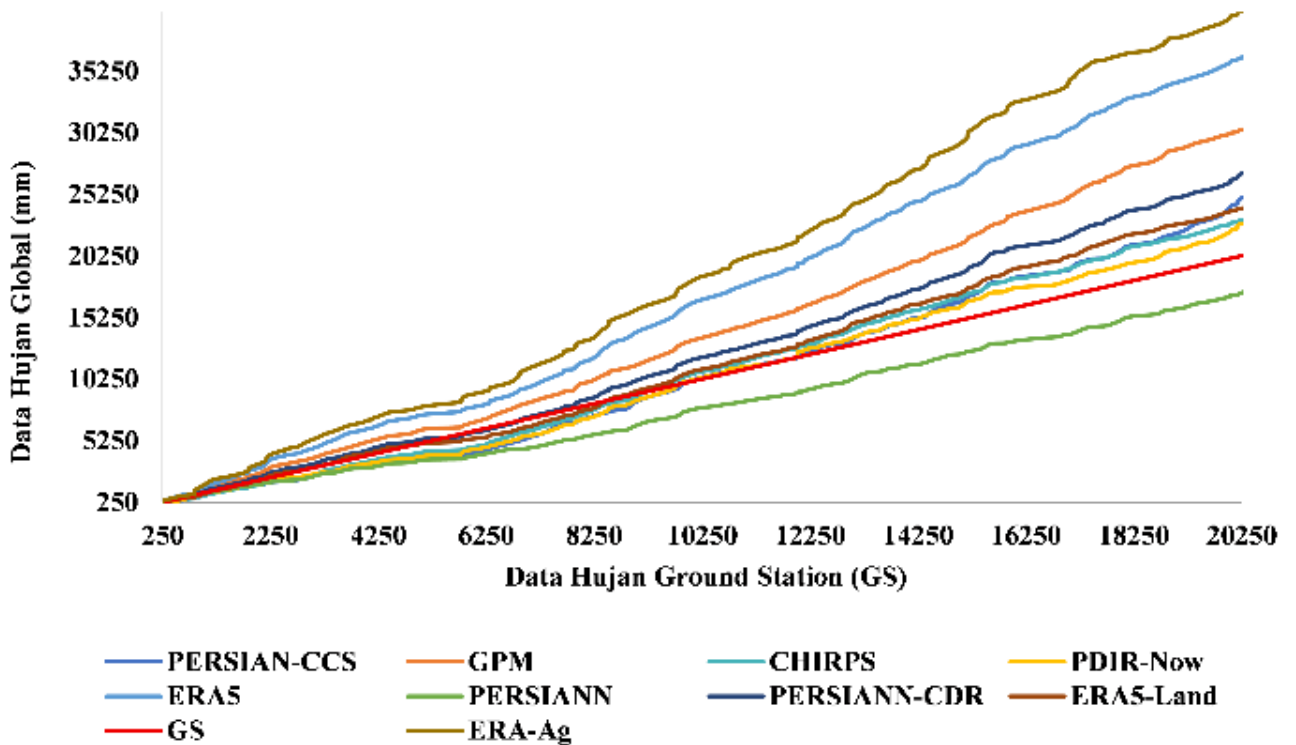
analisis tambahan berupa matriks skor fungsi objektif untuk menentukan produk terbaik. Penilaian dilakukan dengan mengklasifikasikan kinerja setiap indikator (r, NSE, RMSE, RB, POD, FAR) ke dalam kategori tertentu, lalu diberikan skor sesuai bobot kepentingannya. Hasil penjumlahan skor ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Skoring Kinerja Produk Satelit di Kabupaten Sikka (Bulanan)

	RMSE	NSE	R	RB	POD	FAR	TOTAL
PERSIAN - CCS	3	3	3	2	4	4	19
GPM	4	3	4	1	4	3	19
CHIRPS	4	3	4	3	4	4	22
PDIR-NOW	4	2	3	3	4	4	20
ERA5	3	3	4	1	4	3	18
PERSIAN	4	2	3	1	4	4	18
PERSIAN-CDR	4	3	4	1	4	4	20
ERA5-AG	4	3	3	3	4	3	20
ERA5-LAND	4	3	4	2	4	3	20

Tabel 4 menunjukkan bahwa produk CHIRPS merupakan yang paling unggul dalam merepresentasikan curah hujan bulanan di Kabupaten Sikka, berdasarkan evaluasi gabungan enam metrik statistik.

Sebagai pelengkap analisis, Gambar 1 menyajikan hujan kumulatif bulanan yang memperlihatkan perbandingan pola distribusi antara data observasi (GS) dengan berbagai produk satelit. Garis merah (GS) menjadi acuan, sementara sebagian besar produk seperti ERA5-Ag, PERSIANN-CCS, dan GPM memperlihatkan kecenderungan overestimasi. Sebaliknya, CHIRPS, PDIR-Now, dan PERSIANN-CDR lebih mendekati GS sehingga konsisten dalam menangkap distribusi hujan. Produk PERSIANN justru mengalami underestimasi, terlihat dari posisi garis yang berada di bawah GS.



Gambar 1. Hujan Kumulatif Bulanan Kabupaten Sikka

3.3. Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa di Kabupaten Manggarai seluruh produk curah hujan satelit yang diuji memiliki kinerja yang sangat rendah, baik pada skala harian maupun bulanan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai NSE yang negatif, korelasi yang lemah, serta RMSE dan bias yang relatif tinggi. Kinerja yang rendah ini mengindikasikan ketidakmampuan produk satelit dalam merepresentasikan variabilitas curah hujan secara akurat di wilayah dengan topografi kompleks dan heterogen. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya oleh [4] dan [8], yang melaporkan bahwa akurasi produk curah hujan satelit menurun secara signifikan di wilayah bergunung, terutama dalam menangkap kejadian hujan ekstrem.

Kondisi topografi pegunungan di Kabupaten Manggarai berkontribusi terhadap terbentuknya iklim mikro yang kompleks, sehingga proses orografis dan variabilitas spasial curah hujan sulit direpresentasikan oleh algoritma satelit berbasis estimasi tidak langsung. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh [9], yang menemukan penurunan performa CHIRPS di wilayah pegunungan tropis Amerika Selatan, mengindikasikan adanya keterbatasan struktural produk satelit dalam kondisi geografis yang sebanding.

Sebaliknya, di Kabupaten Sikka yang didominasi oleh dataran rendah dan wilayah pesisir, kinerja produk satelit menunjukkan peningkatan yang signifikan, terutama pada skala temporal bulanan. Sebagian besar produk menghasilkan nilai NSE positif dan korelasi yang tinggi, mencerminkan estimasi curah hujan yang lebih stabil dan mendekati data observasi. Hasil ini sejalan dengan temuan [10], di DAS Wae Mese yang menunjukkan bahwa wilayah dengan elevasi di bawah 1000 mdpl cenderung memberikan hasil validasi yang lebih baik terhadap data curah hujan satelit.

Selain faktor topografi, skala temporal juga berperan penting dalam meningkatkan performa produk satelit. Akumulasi curah hujan pada skala bulanan terbukti mampu

mereduksi kesalahan harian dan variabilitas ekstrem, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih representatif. Hal ini mendukung pernyataan [11] bahwa agregasi temporal bulanan secara umum meningkatkan akurasi data curah hujan satelit di wilayah Indonesia, khususnya pada daerah pesisir dan dataran rendah.

Berdasarkan hasil scoring matriks fungsi objektif, produk CHIRPS teridentifikasi sebagai produk paling unggul dalam merepresentasikan curah hujan bulanan di Kabupaten Sikka. Keunggulan ini sejalan dengan hasil penelitian oleh [7] di Tiongkok dan [12] yang menyatakan bahwa CHIRPS memiliki performa yang stabil untuk aplikasi monitoring iklim dan hidrologi di wilayah tropis dengan intensitas hujan sedang hingga tinggi, terutama ketika digunakan pada resolusi temporal yang sesuai.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kinerja produk curah hujan satelit sangat dipengaruhi oleh karakteristik topografi dan skala temporal analisis. Tidak terdapat satu produk satelit yang dapat diaplikasikan secara universal pada seluruh wilayah dengan kondisi geografis dan iklim yang berbeda, sehingga validasi lokal menjadi tahapan yang krusial sebelum pemanfaatan data satelit untuk keperluan hidrologi dan pengelolaan sumber daya air.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi produk curah hujan satelit sangat bergantung pada karakteristik topografi dan skala temporal wilayah kajian. Di Kabupaten Manggarai yang bertopografi kompleks, seluruh produk satelit menunjukkan kinerja yang rendah, sedangkan di Kabupaten Sikka yang didominasi dataran rendah, kinerja produk khususnya pada skala bulanan meningkat secara signifikan. CHIRPS teridentifikasi sebagai produk terbaik untuk estimasi curah hujan bulanan di Kabupaten Sikka. Temuan ini menegaskan pentingnya validasi lokal dan pemilihan produk secara selektif dalam pemanfaatan data curah hujan satelit untuk mendukung pengelolaan sumber

daya air di wilayah dengan keterbatasan data observasi.

5. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pendekatan koreksi bias agar estimasi curah hujan satelit, khususnya di wilayah pegunungan seperti Manggarai, dapat lebih akurat. Selain itu, integrasi data satelit dengan model hidrologi juga penting dilakukan untuk menilai konsistensi estimasi terhadap respon aliran sungai, sehingga hasil yang diperoleh lebih aplikatif dalam pengelolaan sumber daya air.

6. Daftar Pustaka

- [1] H. Ashouri *dkk.*, “PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 96, no. 1, hlm. 69–83, Jan 2015, doi: 10.1175/BAMS-D-13-00068.1.
- [2] A. Behrangi *dkk.*, “Satellite-based precipitation estimation and its application for streamflow prediction over mountainous western U.S. basins,” *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 53, no. 12, hlm. 2823–2842, 2014, doi: 10.1175/JAMC-D-14-0056.1.
- [3] H. E. Beck *dkk.*, “Global-scale evaluation of 22 precipitation datasets using gauge observations and hydrological modeling,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 21, no. 12, hlm. 6201–6217, 2017, doi: 10.5194/hess-21-6201-2017.
- [4] Y. Derin dan K. K. Yilmaz, “Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography,” *J. Hydrometeorol.*, vol. 15, no. 4, hlm. 1498–1516, 2014, doi: 10.1175/JHM-D-13-0191.1.
- [5] T. Dinku *dkk.*, “Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa,” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 144, hlm. 292–312, Nov 2018, doi: 10.1002/qj.3244.
- [6] C. Y. Liu, P. Aryastana, G. R. Liu, dan W. R. Huang, “Assessment of satellite precipitation product estimates over Bali Island,” *Atmos. Res.*, vol. 244, Nov 2020, doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105032.
- [7] L. Bai, C. Shi, L. Li, Y. Yang, dan J. Wu, “Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China,” *Remote Sens. (Basel)*, vol. 10, no. 3, 2018, doi: 10.3390/rs10030362.
- [8] M. U. Nadeem *dkk.*, “Assessment of Multi-Satellite Precipitation Products over the Himalayan Mountains of Pakistan, South Asia,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 14, 2022, doi: 10.3390/su14148490.
- [9] C. López-Bermeo, R. D. Montoya, F. J. Caro-Lopera, dan J. A. Díaz-García, “Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America,” *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 127, 2022, doi: 10.1016/j.pce.2022.103184.
- [10] M. K. H. Sabu, D. Yudianto, dan O. T. Wijaya, “Evaluasi Curah Hujan Berbasis Data Global pada DAS Wae Mese, Labuan Bajo,” *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, vol. 21, no. 1, hlm. 15–30, Mei 2025, doi: 10.32679/jsda.v21i1.906.
- [11] J. Khairunnisa Putri, I. Iskandar, dan J. K. Zainal Abidin Fikri KM, “Evaluation Of Daily Satellite And Reanalysis Of Rainfall Data Over South Sumatra Region.”
- [12] X. Tang, H. Li, G. Qin, Y. Huang, dan Y. Qi, “Evaluation of Satellite-Based Precipitation Products over Complex Topography in Mountainous Southwestern China,” *Remote Sens. (Basel)*, vol. 15, no. 2, Jan 2023, doi: 10.3390/rs15020473.