

Evaluasi Curah Hujan Berbasis Data Global pada DAS Wae Mese, Labuan Bajo

Evaluation of Global Rainfall Data in Wae Mese Watershed, Labuan Bajo

Maria Kalista Hadia Sabu¹⁾ Doddi Yudianto^{2)*} Obaja Triputera Wijaya³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciumbuleuit 94 Bandung, 40141 Jawa Barat

*Corresponding author: doddi_yd@unpar.ac.id

Diterima: 06 Juni 2024; Direvisi: 26 Agustus 2024; Disetujui: 07 Maret 2025

Abstract

Accuracy of rainfall data is very important in hydrological analysis, especially in areas with limited data such as Labuan Bajo City, Indonesia. Global climate data generated from satellite observations and assimilation products, which are freely available, have great potential for use in data scarce areas. However, this data needs to be evaluated to measure its accuracy in rainfall estimates. This research aims to evaluate the accuracy of eight global rainfall data products, namely Global Precipitation Measurement (GPM), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Cloud Classification System (PERSIANN-CCS), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN-CDR), Precipitation Data Integration and Retrieval - Now (PDIR-Now), European Reanalysis for the 5th Generation (ERA5), European Reanalysis for the 5th Generation Land (ERA5-LAND), and Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS) at two temporal scales: monthly and 15-daily. Evaluation is carried out using an assessment matrix which includes Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), correlation (r), and Relative Bias (RB). The evaluation results show that on a monthly scale, ERA5, PERSIANN, and GPM provide the best results, with ERA5 being the top. On a 15-daily scale, ERA5 also shows the best performance, followed by GPM and ERA5-LAND. These findings confirm that ERA5 is the main choice for monitoring rainfall in Labuan Bajo City, which is very important for water resource management in areas with limited direct observation data

Keywords: satellite rainfall data, accuracy, temporal scale, assessment matrix, ERA5.

Abstrak

Akurasi data curah hujan sangat penting dalam analisis hidrologi, terutama di wilayah dengan keterbatasan data seperti Kota Labuan Bajo, Indonesia. Data iklim global yang dihasilkan dari pengamatan satelit dan produk asimilasi, yang tersedia secara bebas, memiliki potensi besar untuk digunakan di area dengan kelangkaan data. Namun, data tersebut perlu dievaluasi untuk mengukur akurasinya dalam estimasi curah hujan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keakuratan delapan produk data hujan global, yaitu Global Precipitation Measurement (GPM), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Cloud Classification System (PERSIANN-CCS), Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN-CDR), Precipitation Data Integration and Retrieval - Now (PDIR-Now), European Reanalysis for the 5th Generation (ERA5), European Reanalysis for the 5th Generation Land (ERA5-LAND), dan Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS) pada dua skala temporal: bulanan dan 15-harian. Evaluasi dilakukan menggunakan matriks penilaian yang mencakup Root Mean Square Error (RMSE), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), korelasi (r), dan Relative Bias (RB). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada skala bulanan, ERA5, PERSIANN, dan GPM memberikan hasil terbaik, dengan ERA5 sebagai yang teratas. Pada skala 15-harian, ERA5 juga menunjukkan kinerja terbaik, diikuti oleh GPM dan ERA5-LAND. Temuan ini menegaskan bahwa ERA5 adalah pilihan utama untuk pemantauan curah hujan di Kota Labuan Bajo, yang sangat penting untuk pengelolaan sumber daya air di wilayah dengan keterbatasan data pengamatan langsung

Kata Kunci: data hujan global, akurasi, skala temporal, matriks penilaian, ERA5

PENDAHULUAN

Ketersediaan data curah hujan yang memadai, baik secara spasial maupun temporal, sangat penting dalam memastikan akurasi analisis hidrologi (Maulana dkk., 2019). Besarnya nilai hujan umumnya diperoleh dari pos penakar hujan yang pengamatannya dilakukan secara langsung, sehingga nilai yang diberikan pun cukup akurat. Namun, salah satu kelemahan dari pengukuran ini adalah biaya investasi yang cukup tinggi, terutama bagi negara berkembang, yang lebih memprioritaskan pertumbuhan ekonomi. Akibatnya, sebaran pos penakar hujan di beberapa wilayah menjadi tidak merata secara spasial. Selain itu, nilai hujan yang diperoleh juga tidak selalu kontinu karena adanya kerusakan alat dan keterbatasan sumber daya manusia (Pratama dkk., 2022).

Dalam beberapa dekade terakhir, data hujan global telah banyak digunakan sebagai data alternatif, terutama di wilayah-wilayah yang sebaran data hujannya minim atau bahkan tidak tersedia (Maulana dkk., 2019; Ogbu dkk., 2020). Data hujan global ini dapat berupa hasil pengamatan satelit atau produk asimilasi antara model dan data observasi. Data hujan global memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan data hujan pengamatan langsung, yaitu ketersediaan data yang kontinu, memiliki skala temporal yang tinggi (misal per 30 menit) dan sebaran spasial yang lebih luas (resolusi bergantung pada produk satelit yang digunakan). Terlepas dari keunggulan tersebut, tingkat akurasi dari hujan ini masih dipertanyakan dan perlu dievaluasi (Ogbu dkk., 2020). Berdasarkan studi yang ada, data hujan global memiliki tingkat akurasi yang rendah pada skala temporal yang tinggi (Krisnayanti dkk., 2020; Arshad dkk., 2021). Misalnya, di kota Bandung, hujan satelit *Global Precipitation Measurement* (GPM) (Sanjaya dkk., 2022a) memberikan nilai curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan dengan data hujan dari pos hujan pada skala bulanan. Namun, untuk curah hujan tahunan GPM mampu mendeteksi pola hujan yang tercatat dengan baik pada 13 pos stasiun hujan di Bandung Raya

Selain GPM, terdapat beberapa produk hujan lainnya yang juga sering digunakan. Masing-masing produk ini memberikan tingkat akurasi yang berbeda-beda tergantung pada lokasi studi, resolusi, dan instrumen yang digunakan dalam pengolahan data. Misalnya, data hujan *European Reanalysis for the 5th Generation* (ERA5) memiliki tingkat akurasi yang baik di beberapa wilayah di Pakistan (Arshad dkk., 2021), Afrika Timur (Gleixner dkk., 2020) dan Cina dengan ketinggian

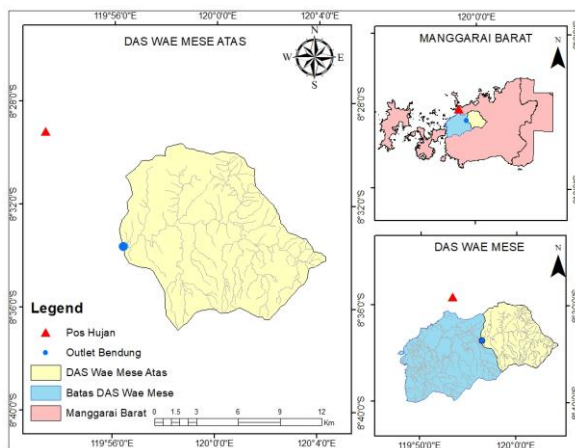
dibawah 1000 m (Jiao dkk., 2021). Pada wilayah kering Mongolia yang memiliki dataran tinggi dan topografi yang kompleks, ERA5 secara umum menunjukkan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan *Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement* (IMERG) (Xin dkk., 2022), yaitu produk NASA yang memperkirakan curah hujan global dengan menggabungkan data dari kelompok satelit. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa ERA5 lebih efektif dalam membedakan peristiwa hujan dan salju dengan kinerja terbaik di wilayah dengan iklim ekstrem dan di lintang tinggi (Xiong dkk., 2022). ERA5 merupakan produk reanalisis hasil asimilasi antara simulasi model dan pengamatan, termasuk data dari satelit (Hersbach dkk., 2020).

Pada skala bulanan, produk curah hujan satelit *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) dan *Precipitation Data Integration and Retrieval - Now* (PDIR-Now) yang diteliti oleh Nadeem dkk. (2022) menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan produk hujan satelit lainnya pada wilayah pegunungan Himalaya, Pakistan. Selain itu, data hujan PERSIANN menunjukan performa terbaik pada musim dingin di wilayah Afrika Timur (Kimani dkk., 2017). Sebaliknya di DAS Brantas Jawa Timur data hujan PERSIANN memiliki kesalahan relatif lebih tinggi dibandingkan data berbasis PERSIANN-CCS (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Cloud Classification System*) pada analisis ketersediaan air menggunakan model FJ. Mock (Maulana dkk., 2019). Contoh lainnya, curah hujan satelit *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data* (CHIRPS) memberikan hasil yang lebih baik untuk wilayah yang mengalami curah hujan tinggi seperti di daratan Tiongkok bagian Selatan, dibandingkan wilayah dengan curah hujan rendah atau semi kering seperti di daratan Tiongkok barat laut (Bai dkk., 2018). Data CHIRPS memberikan cakupan spatio-temporal yang baik dan sangat cocok untuk wilayah yang mengalami keterbatasan alat pengukur hujan, namun keakuratannya sangat ditentukan oleh karakteristik iklim wilayah studi (Ogbu dkk., 2020). Keakuratannya tidak cukup baik untuk wilayah yang hangat seperti subkawasan Antioquia di barat laut Kolombia (López-Bermeo dkk., 2022).

Hingga saat ini, belum ada satu pun produk hujan global yang menunjukkan akurasi memadai secara universal. Semua data menunjukkan variasi yang signifikan dalam tingkat kinerjanya, terutama karena lokasi geografis, iklim dan rezim curah hujan

(Kimani dkk., 2017). Oleh karena itu, evaluasi beberapa produk hujan satelit menjadi penting untuk menilai keakuratannya sebelum digunakan dalam analisis hidrologi (Dembélé & Zwart, 2016), karena penggunaan data curah hujan yang kurang akurat dapat berdampak pada kesalahan pengambilan keputusan (Maulana dkk., 2019; Pratama dkk., 2022; Sanjaya dkk., 2022a).

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi delapan produk hujan global terhadap data pengamatan hujan di Kota Labuan Bajo. Kota ini mengalami kesulitan dalam mendapatkan data curah hujan yang akurat, karena hanya memiliki satu pos penakar hujan. Padahal, analisis hidrologi di wilayah ini sangat penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya air, terutama di Daerah Aliran Sungai (DAS) Wae Mese, yang merupakan sumber utama Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Wae Mese II dalam memenuhi kebutuhan air minum masyarakat Labuan Bajo. Selain untuk kebutuhan air minum, Sungai Wae Mese juga menjadi sumber pemenuhan kebutuhan air irigasi seluas 1.050 hektar. Gambar 3 menunjukkan bahwa lokasi Stasiun BMKG Labuan Bajo berada di luar wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Wae Mese.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi

Keunikan studi ini terletak pada fokus evaluasi terhadap delapan produk hujan global di wilayah tropis dengan distribusi curah hujan tidak merata dan minimnya data observasi langsung. Dengan demikian, hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan alternatif yang lebih akurat untuk estimasi curah hujan menggunakan data global, yang sangat penting dalam mendukung analisis hidrologi dan pengelolaan sumber daya air di wilayah tersebut. Selain itu, temuan ini akan memperkaya pengetahuan mengenai kinerja produk hujan satelit di wilayah dengan kondisi iklim dan geografis yang khas, seperti di Labuan Bajo, yang berada di wilayah tropis dengan musim hujan yang tidak merata. Oleh karena itu, studi ini

memberikan gambaran baru tentang pemanfaatan data hujan global dalam analisis hidrologi untuk wilayah yang kekurangan data pengamatan langsung, serta dapat menjadi acuan bagi penelitian serupa di wilayah lain yang menghadapi masalah serupa.

METODOLOGI

Jenis Data Global

Penelitian ini menggunakan 2 (dua) sumber data utama, yaitu data hujan pengamatan dari BMKG Labuan Bajo dan data hujan global, yaitu GPM, CHIRPS, PERSIANN, PERSIANN-CDR, PERSIANN-CCS, PDIR-Now, ERA5, dan ERA5-Land. Data yang digunakan merupakan data hujan bulanan dan 15 harian dari tahun 2001-2020.

1. Global Precipitation Measurement (GPM)

GPM merupakan teknologi generasi terbaru, menggantikan data *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) yang diluncurkan pada tahun 2014. GPM dikembangkan oleh *The National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *The Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), serta memiliki resolusi temporal hingga 30 menit dan resolusi spasial 0,1° (Pratiwi dkk., t.t.). Data GPM untuk studi ini dapat diunduh melalui *website* berikut

<https://pmm.nasa.gov/dataaccess/downloads/gpm>.

2. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN)

PERSIANN dikembangkan oleh *Center of Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS) di *University of California, Irvine* (UCI) dengan menggunakan *Artificial Neural Network*. Curah hujan ini mampu memperkirakan curah hujan dengan cakupan 60°S sampai 60° LU (Pratiwi dkk., t.t.). Data PERSIANN untuk studi ini dapat diunduh melalui *website* berikut <https://chrsdata.eng.uci.edu>. PERSIANN memiliki empat produk yang berbeda yaitu,

a. PERSIANN

Sistem PERSIANN awalnya didasarkan pada citra inframerah dari satelit geostasioner, kemudian diperluas dengan menggunakan citra inframerah dan citra visual pada siang hari. Algoritma yang diterapkan dalam PERSIANN memanfaatkan citra inframerah gelombang panjang dari satelit geostasioner untuk menghitung curah hujan secara global. PERSIANN memiliki resolusi spasial 0.25° x 0.25° (Pratiwi dkk., t.t.)

- b. *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Cloud Classification System* (PERSIANN – CCS)

Merupakan produk presipitasi global beresolusi tinggi 0.04° x 0.04°. PERSIANN-CCS memperkirakan hujan dengan pemisahan beberapa lapisan awan. Pemisahan lapisan awan berdasarkan tekstur, sifat geometris, evolusi dinamis, dan tinggi puncak awan (Pratiwi dkk., t.t.).

- c. *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks – Climate Data Record* (PERSIANN-CDR)

Curah hujan ini bertujuan mengumpulkan data hujan global secara konsisten, berjangka panjang, dan beresolusi tinggi, untuk mempelajari perubahan dan tren curah hujan harian, terutama curah hujan ekstrim (Pratiwi dkk., t.t.).

- d. *Precipitation Data Integration and Retrieval – Now* (PDIR – Now)

PDIR-Now adalah sistem estimasi curah hujan berbasis penginderaan jarak jauh yang menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan pendekatan mendekati waktu nyata. Dengan resolusi 0,40 x 0,40, sistem ini dikembangkan oleh *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS) di University of California. Keunggulan utama PDIR-Now adalah waktu keterlambatan yang sangat singkat (antara 15-60 menit) setelah terjadinya curah hujan, yang menjadikannya sangat cocok untuk analisis hidrologi, seperti perkiraan banjir dan pembuatan peta genangan banjir (Bees dkk., 2024).

3. *European Reanalysis for the 5th Generation* (ERA5)

ERA5 merupakan analisis ulang *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) generasi kelima untuk iklim dan cuaca global selama 8 dekade terakhir. Data tersedia mulai tahun 1940 sampai sekarang. ERA5 menggantikan analisis ulang ERA-Interim. Analisis ulang menggabungkan data model dengan pengamatan dari seluruh dunia menjadi kumpulan data yang lengkap dan konsisten secara global menggunakan hukum fisika. Prinsip ini, yang disebut asimilasi data, didasarkan pada metode yang digunakan oleh pusat prediksi cuaca numerik, di mana setiap beberapa jam (12 jam di ECMWF) prakiraan cuaca sebelumnya digabungkan dengan observasi baru yang tersedia dengan cara yang optimal untuk menghasilkan perkiraan cuaca terbaik yang baru. ERA5 beresolusi 0.25° x 0.25°

(Sitepu dkk., 2023). Data ERA5 untuk studi ini dapat diunduh melalui website berikut <https://app.climateengine.org/climateEngine>

4. Data Hujan ERA5-Land

ERA5-Land adalah kumpulan data analisis ulang yang memberikan pandangan konsisten tentang evolusi variabel lahan selama beberapa dekade pada resolusi yang lebih baik dibandingkan dengan ERA5. ERA5-Land diproduksi dengan memutar ulang komponen lahan dari analisis ulang iklim ECMWF ERA5. Analisis ulang menggabungkan data model dengan pengamatan dari seluruh dunia menjadi kumpulan data yang lengkap dan konsisten secara global menggunakan hukum fisika. Analisis ulang menghasilkan data yang berasal dari beberapa dekade ke belakang, memberikan gambaran akurat tentang iklim di masa lalu. ERA5-Land data berbeda dengan konvensi untuk ERA5. ERA5 Land memiliki data hujan akumulasi yang diperlakukan sama dengan ERA-Interim atau ERA-Interim/Land, yaitu diakumulasikan dari awal prakiraan hingga akhir langkah prakiraan. ERA5-Land beresolusi 0.01° x 0.01°. Data ERA5-Land untuk studi ini dapat diunduh di <https://app.climateengine.org/climateEngine>. Pada website ini data harian ERA5-Land tersedia dari tahun 1950 hingga sekarang.

Metode Evaluasi

Tingkat akurasi dari hujan global akan diukur dengan menggunakan empat fungsi objektif, yaitu korelasi (r) (Sanjaya dkk., 2022), root mean square error (RMSE) (Sanjaya dkk., 2022), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (Sitepu dkk., 2023), dan relative bias (RB) (Sanjaya dkk., 2022). Selain itu, salah satu metode evaluasi yang akan digunakan adalah dengan menghitung, untuk menentukan sejauh mana estimasi hujan tahunan global mendekati nilai hujan tahunan yang tercatat di lapangan.

Koefisien korelasi (r), menyatakan tingkat linearitas antara data hujan satelit terhadap hujan terukur, dengan nilai -1 sampai dengan 1. Nilai r positif menggambarkan data hujan global dengan data hujan pengamatan memiliki korelasi data yang baik. Sedangkan, semakin kecil nilai r menunjukkan data semakin tidak berkorelasi (Sanjaya dkk., 2022). Persamaan koefisien korelasi dapat dilihat pada persamaan di bawah.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan nilai x adalah data hujan global dan y adalah data hujan pengamatan dari pos hujan BMKG Labuan Bajo

Koefisien RMSE, menggambarkan rata-rata error dari curah hujan global terhadap hujan pengamatan, dengan nilai yang diberikan yaitu 0 sampai ∞ (Sanjaya dkk., 2022b). Untuk menghitung nilai RMSE, dapat digunakan persamaan 2:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan nilai x adalah data hujan global dan y adalah data hujan pengamatan dari pos hujan BMKG Labuan Bajo

Parameter NSE menunjukkan kemiripan antara data satelit terhadap data pengamatan. Nilai NSE berkisar antara $-\infty$ sampai 1, semakin besar nilai NSE berarti semakin mirip hujan satelit terhadap hujan pengamatan (Sitepu dkk., 2023). Untuk menghitung nilai NSE, dapat digunakan persamaan 3:

$$NSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \dots \dots \dots (3)$$

Dengan nilai x adalah data hujan global dan y adalah data hujan pengamatan dari pos hujan BMKG Labuan Bajo

Parameter objektif terakhir, *relative bias* (RB), menyatakan tingkat deviasi antara data hujan satelit dan pengamatan. Jika nilai RB lebih besar dari nol (positif), hal ini menunjukkan bahwa model cenderung *overestimate*, atau memprediksi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai observasi yang sebenarnya. Sebaliknya, jika nilai RB lebih kecil dari nol (negatif), ini mengindikasikan bahwa model cenderung *underestimate*, atau memprediksi lebih rendah dari nilai observasi yang sebenarnya. Nilai RB yang mendekati nol menunjukkan bahwa model memiliki prediksi yang cukup akurat, dengan bias yang minimal (Sanjaya dkk., 2022). Untuk menghitung nilai RB, dapat digunakan persamaan 4:

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{\sum_{i=1}^n Y_i} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Dengan nilai x adalah data hujan global dan y adalah data hujan pengamatan dari pos hujan BMKG Labuan Bajo.

Penilaian Kinerja Data Hujan Global

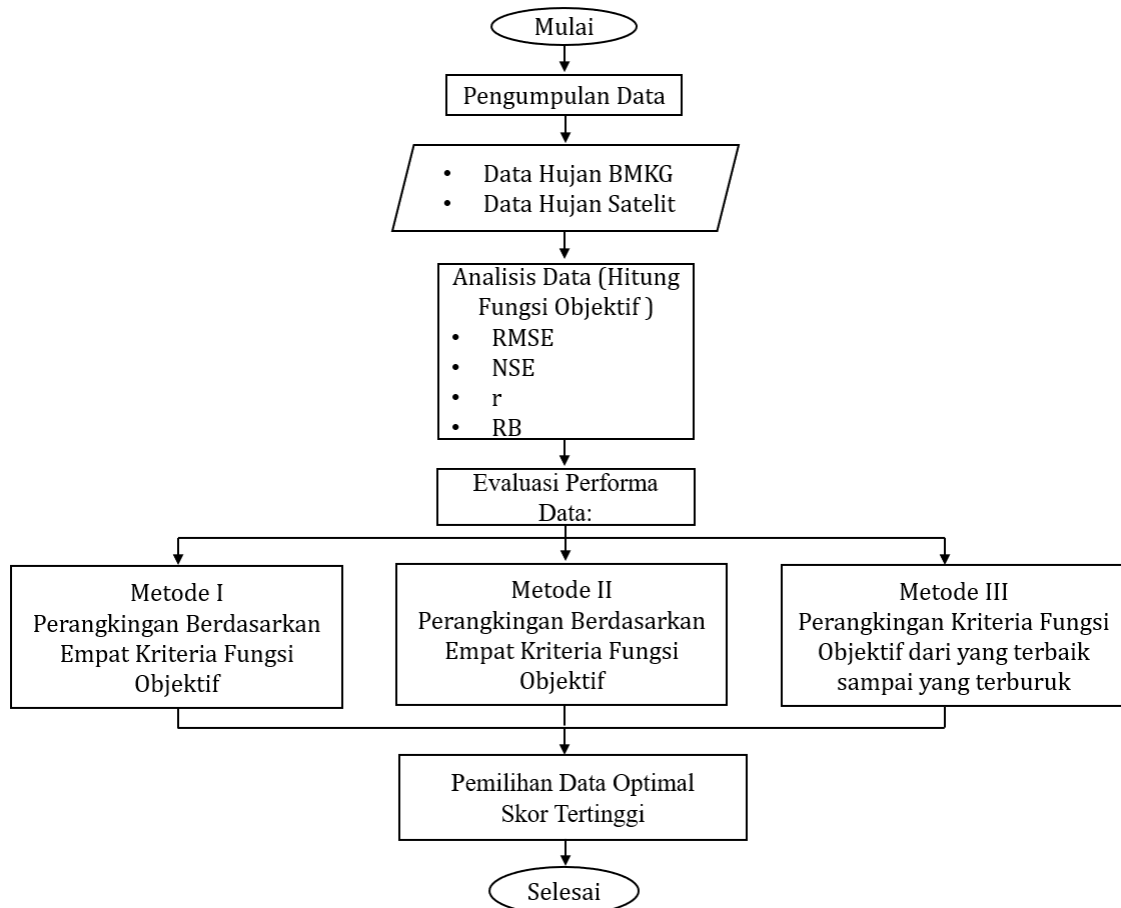
Penilaian terhadap delapan jenis hujan global akan menggunakan dua matriks evaluasi. Matriks pertama akan menghitung total nilai fungsi objektif untuk setiap hujan global, sementara matriks kedua akan menilai perangkungan hujan global berdasarkan setiap fungsi objektif. Penilaian ini didasarkan pada nilai NSE, RMSE, RB, dan r , dengan pedoman penilaian yang sesuai dengan Tabel 1. Selain menggunakan dua matriks evaluasi, kinerja hujan global juga akan dinilai dengan menghitung selisih antara estimasi hujan global dan data hujan tahunan dari *ground station*.

Dalam matriks pertama, skor akan diberikan berdasarkan kriteria berikut: nilai 4 untuk kinerja yang sangat baik, nilai 3 untuk kinerja yang baik, nilai 2 untuk kinerja yang memuaskan, dan nilai 1 untuk kinerja yang tidak memuaskan. Pada matriks kedua, hujan global akan dinilai berdasarkan perangkungan untuk setiap fungsi objektif. Penilaian ini dilakukan dengan mengurutkan nilai dari yang terbaik hingga yang terburuk, di mana skor diberikan dalam rentang 8 (terbaik) hingga 1 (terburuk) untuk setiap jenis hujan global. Skor 8 dipilih karena ada 8 jenis data hujan yang dianalisis, sehingga skor 8 diberikan pada hasil terbaik, dan skor ini hanya mencerminkan jumlah jenis data hujan yang ada dan mempermudah pemberian skor, tanpa dasar penentuan lain.

Selanjutnya, untuk menilai hujan tahunan yang paling mendekati data hujan dari *ground station*, selisih antara hujan global dan data pengamatan akan dihitung, kemudian diurutkan dari selisih terkecil hingga terbesar. Pemilihan hujan global optimal akan didasarkan pada total skor tertinggi yang diperoleh dari ketiga metode evaluasi yang digunakan. Hujan global dengan skor tertinggi akan dipilih untuk digunakan dalam analisis hidrologi di DAS Wae Mese. Dalam penelitian ini, data hujan global hanya dievaluasi terhadap data pengamatan tanpa dilakukan koreksi lebih lanjut. Secara rinci, tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1 Kriteria Fungsi Objektif

Kriteria	NSE	RMSE	RB	r
Sangat Baik	>0,6–1	0–100	<10	>0,75–1
Baik	>0,4–0,59	>100–200	>10–15	>0,5–0,75
Memuaskan	>0,2–0,4	>200–300	>15–25	>0,25–0,5
Tidak Memuaskan	<=0,2	>300	>25	0–0,25



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Skala Bulanan

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap delapan produk curah hujan satelit, tujuh di antaranya menunjukkan korelasi dalam kategori sangat baik, dengan nilai korelasi (r) berkisar antara 0,75 hingga 0,82 (Tabel 2). Produk curah hujan satelit PERSIANN menunjukkan korelasi tertinggi dengan nilai r sebesar 0,82, sedangkan produk PERSIANN-CCS menunjukkan korelasi terendah dengan kategori baik (nilai r sebesar 0,68). Selain menunjukkan korelasi terbaik, curah hujan PERSIANN juga memiliki kesalahan paling kecil (RMSE: 62,1) dibandingkan dengan ketujuh produk curah hujan satelit lainnya. Namun, produk ini cenderung memiliki bias yang terlalu rendah (*underestimate*) dengan nilai RB sebesar -15,7 untuk skala bulanan, sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan curah hujan bulanan dari kedelapan produk satelit terhadap hujan pengamatan. Dalam ilustrasi tersebut, terlihat bahwa produk hujan PERSIANN-CCS, PDIR-Now, PERSIANN-CDR, GPM, CHIRPS, dan ERA5-Land cenderung menghasilkan nilai curah

hujan yang lebih tinggi (*overestimate*), sedangkan hujan PERSIANN cenderung menghasilkan curah hujan rendah (*underestimate*). Meskipun data hujan PERSIANN memiliki nilai RMSE paling kecil dan nilai korelasi tertinggi, penting untuk mempertimbangkan aspek kualitatif lainnya melalui matriks penilaian.

Berdasarkan penilaian menggunakan matriks, seperti yang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4, delapan produk satelit diberi skor berdasarkan kinerja masing-masing produk berdasarkan empat parameter objektif. Terdapat tiga produk teratas ditentukan berdasarkan skor tertinggi yang diperoleh (peringkat 1–3). ERA5 memperoleh nilai dengan kategori sangat baik untuk setiap fungsi objektif (NSE: 0,63; RMSE: 73,4; RB: 7,68; r : 0,75), sehingga memperoleh skor paling tinggi dalam matriks penilaian (16). Selain itu, curah hujan ERA5 pada probabilitas 80% dan 90% memberikan nilai *absolute error* yang cukup kecil terhadap hujan pengamatan, yaitu masing-masing 2,10 dan 2,58 (lihat Gambar 5). Hasil penelitian di China (Jiao dkk., 2021) mendukung hasil evaluasi ini, di mana produk hujan ERA-5 memiliki tingkat akurasi yang baik pada wilayah dengan ketinggian di bawah 1000 m. Mengingat bahwa Kota Labuan Bajo

memiliki ketinggian kurang dari 1000 m, evaluasi ini memperkuat rekomendasi pemanfaatan ERA5 sebagai sumber data yang sesuai.

Produk curah hujan dengan peringkat 2 dan 3 menunjukkan kinerja yang baik, tetapi tidak sebaik produk dengan peringkat 1. Curah hujan global tersebut adalah PERSIANN, yang juga dinilai cukup baik dalam penelitian di Pegunungan Himalaya (Nadeem dkk., 2022) dan GPM, yang juga dinilai baik di wilayah kering atau bercurah hujan rendah seperti di Pegunungan Tianshan (Zhang dkk., 2018),

yang memiliki kesamaan karakteristik dengan wilayah Labuan Bajo. Kedua produk ini memiliki korelasi yang baik dibandingkan beberapa produk lainnya. Oleh karena itu, pendekatan evaluasi berbasis matriks ini efektif dalam mengelompokkan dan menilai kualitas berbagai produk curah hujan global berdasarkan karakteristik wilayah studi. Evaluasi ini memungkinkan identifikasi produk yang paling andal untuk skala bulanan dan mendukung pemanfaatannya dalam analisis hidrologi lanjutan di Kota Labuan Bajo.

Tabel 2 Hasil Uji Statistik Hujan Bulanan Global dengan Hujan Pengamatan

Hujan Satelit	NSE	RMSE	RB	r
GPM	0,48	73,1	15,8	0,75
CHIRPS	0,50	80,4	32,7	0,77
PERSIANN	0,61	62,1	-15,7	0,82
PERSIANN-CDR	0,46	73,8	31,6	0,77
PERSIANN-CCS	0,36	135,4	54,7	0,68
PDIR-Now	0,54	90,8	41,4	0,79
ERA5	0,63	73,4	7,68	0,75
ERA5-Land	0,54	93,8	49,4	0,81

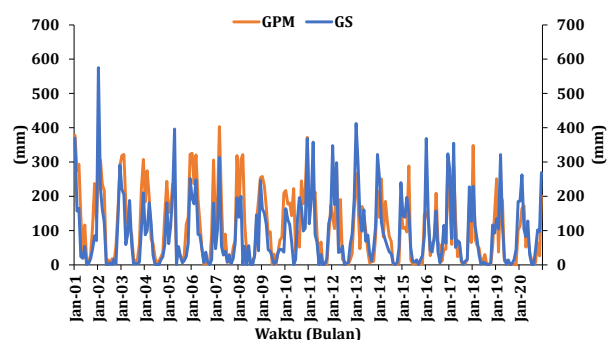
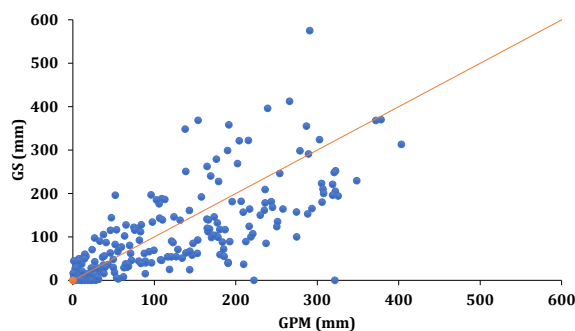
Tabel 3 Matriks Penilaian Fungsi Objektif Hujan Global Skala Bulanan

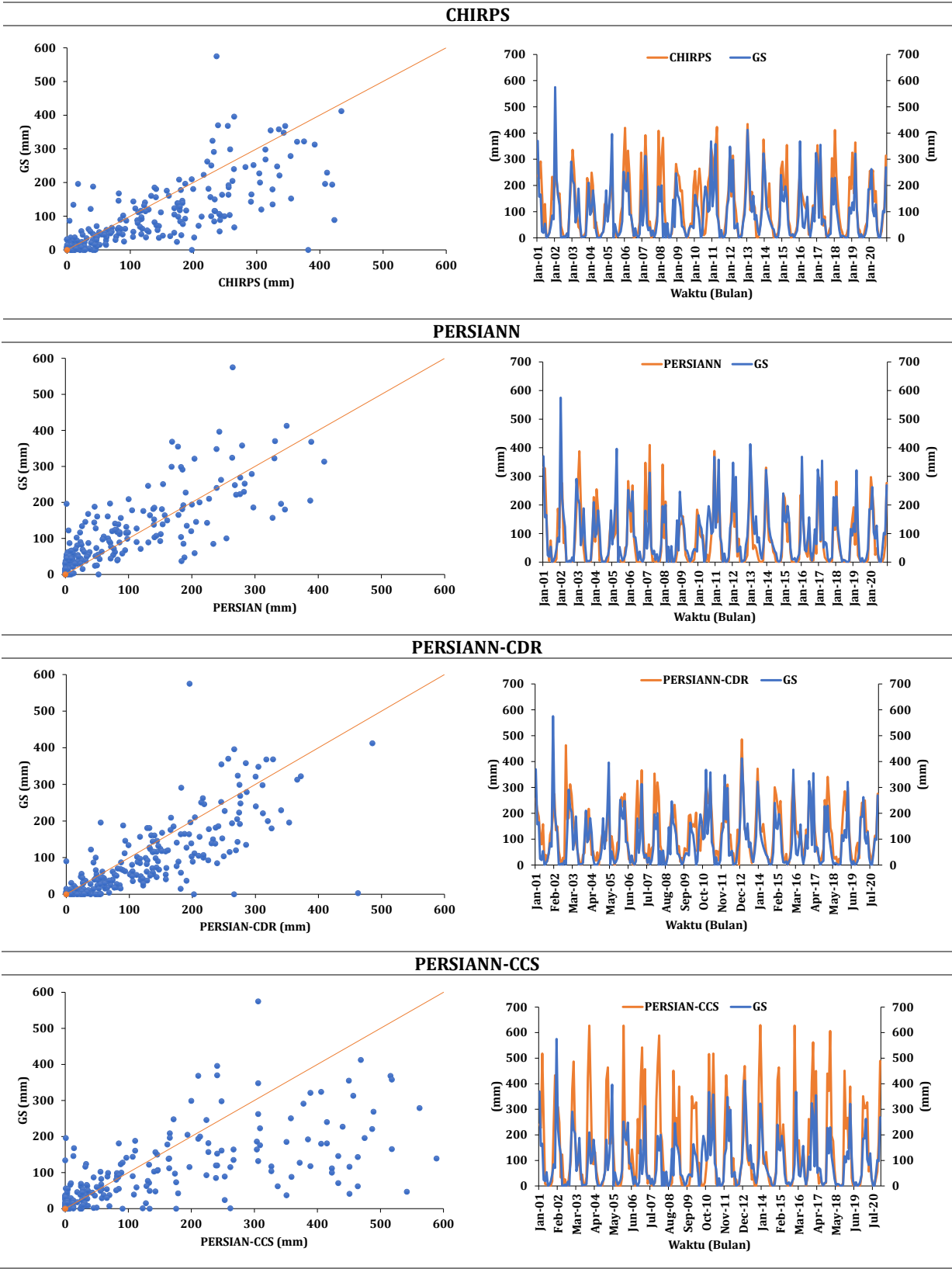
Data Global	RMSE	NSE	r	RB	Total
PERSIAN - CCS	3	2	3	1	9
GPM	4	3	3	2	12
CHIRPS	4	3	4	1	12
PDIR-Now	4	3	4	1	12
ERA5	4	4	4	4	16
PERSIAN	4	4	4	1	13
PERSIAN-CDR	4	3	4	1	12
ERA5-Land	4	3	4	1	12

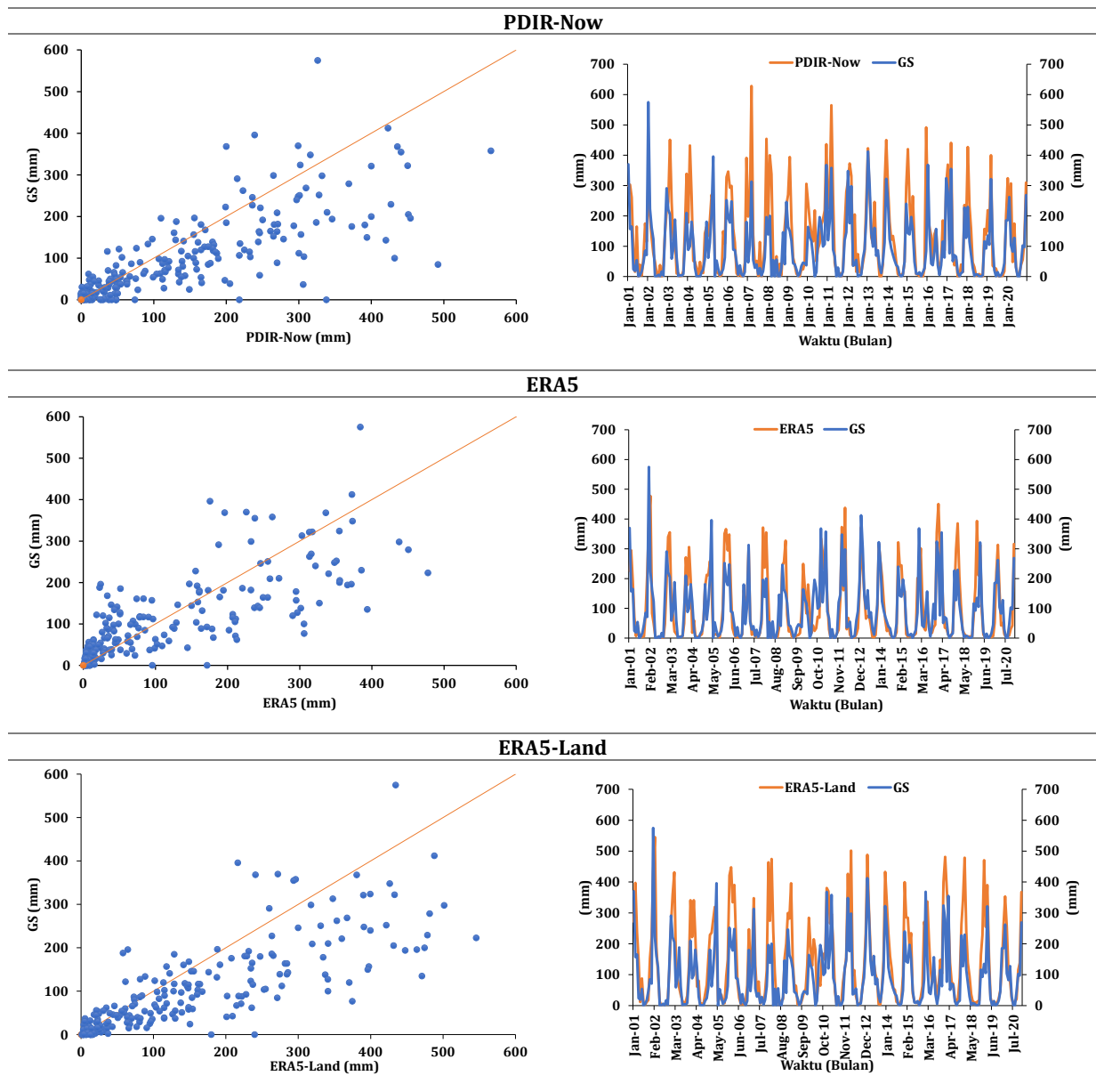
Tabel 4 Matriks Perangkingan Hujan Global Skala Bulanan

Data Global	RMSE	NSE	r	RB	Total
PERSIAN - CCS	1	1	1	2	5
GPM	7	3	2	7	19
CHIRPS	4	4	4	5	17
PDIR-Now	3	5	6	4	18
ERA5	6	8	3	8	25
PERSIAN	8	7	8	1	24
PERSIAN-CDR	5	2	5	6	18
ERA5-Land	2	6	7	3	18

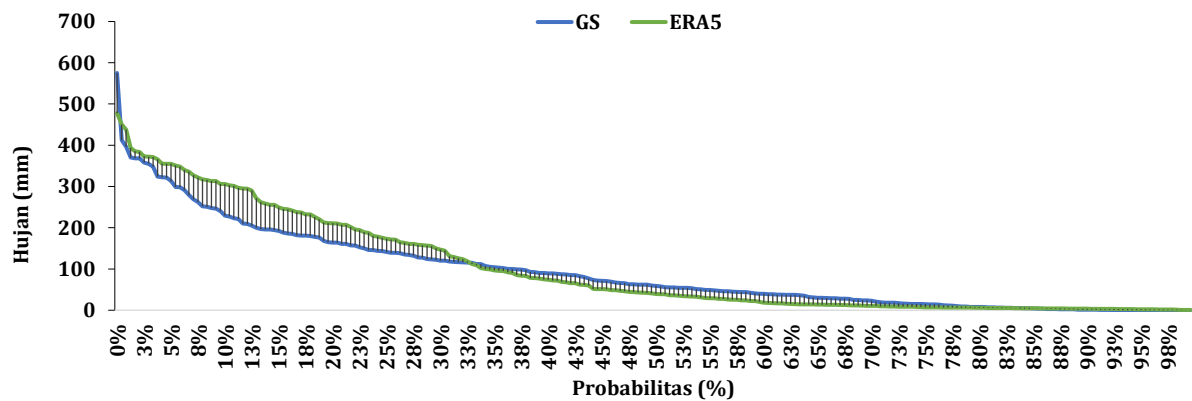
GPM







Gambar 4 Perbandingan Curah Hujan Bulanan data global dan Pengamatan (GS)



Gambar 5 Kemungkinan Terjadinya Hujan Rata-rata Skala Bulanan

Skala 15 Harian

Curah hujan 15 harian merupakan akumulasi curah hujan harian selama 15 hari dan sering digunakan untuk menghitung ketersediaan air, khususnya dalam kebutuhan irigasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa tujuh dari delapan produk curah hujan global yang dievaluasi memiliki nilai korelasi yang sangat baik, dengan kisaran 0,70 hingga 0,76. Namun, hasil evaluasi juga mengungkapkan bahwa nilai Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) dari seluruh produk lebih rendah dibandingkan nilai pada data bulanan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Hal ini disebabkan oleh fluktuasi dan variabilitas yang cukup tinggi pada skala 15 harian (Sitepu dkk., 2023).

Meskipun demikian, data curah hujan ERA5 pada skala 15 harian masih menunjukkan performa yang baik, sebagaimana ditemukan dalam penelitian di DAS Bodor (Sitepu dkk., 2023). Evaluasi lebih lanjut menunjukkan bahwa ERA5 kembali memperoleh skor tertinggi dalam penilaian matriks dan menunjukkan nilai bias yang konsisten dengan hasil pada skala bulanan. Penelitian yang dilakukan oleh Hassler dan Lauer (2021) di wilayah tropis mengonfirmasi bahwa ERA5 memberikan akurasi yang lebih baik di wilayah tropis. Hal ini mendukung penggunaan ERA5 sebagai model prediksi curah hujan yang akurat untuk Kota Labuan Bajo, yang terletak di wilayah tropis dengan iklim yang lebih terstruktur dan musim yang lebih jelas. Sebaliknya, akurasi ERA5 cenderung menurun di wilayah gurun, hutan hujan tropis, dan dataran

tinggi (Agastya dkk., 2024). Selain itu, nilai ERA5 pada probabilitas 80% dan 90% memberikan nilai kesalahan absolut yang cukup kecil dibandingkan dengan hujan pengamatan, yaitu masing-masing sebesar 1,63 dan 1,50 (lihat Gambar 7).

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan curah hujan 15 harian dari kedelapan hujan global terhadap hujan pengamatan, dimana data hujan PERSIANN-CCS, PDIR-Now, PERSIANN-CDR, GPM, CHIRPS dan ERA5-Land cenderung menghasilkan curah hujan tinggi (*overestimate*), sedangkan data hujan PERSIANN cenderung menghasilkan curah hujan rendah (*underestimate*). Meskipun data hujan ERA5-Land memiliki korelasi tertinggi dan GPM memiliki nilai kesalahan paling rendah, penting untuk mempertimbangkan aspek kualitatif lainnya melalui matriks penilaian. Hasil penilaian berbasis matriks, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7, memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap performa masing-masing produk curah hujan.

Oleh karena itu, penilaian menggunakan pendekatan ini membantu dalam mengkategorikan dan memahami kualitas relatif dari berbagai produk satelit berdasarkan karakteristik wilayah studi. Evaluasi ini memungkinkan identifikasi produk yang paling andal pada skala 15-harian dan mendukung pemanfaatannya dalam analisis hidrologi lanjutan di Kota Labuan Bajo.

Tabel 5 Hasil Uji Statistik Hujan 15 Harian dengan Hujan Pengamatan

Data Global	NSE	RMSE	RB	r
GPM	0,43	45,8	15,8	0,73
CHIRPS	0,41	50,8	32,6	0,72
PERSIAN	0,40	46,6	-16,6	0,72
PERSIAN-CDR	0,39	48,2	31,8	0,73
PERSIAN-CCS	0,20	88,5	54,7	0,53
PDIR-Now	0,42	60,2	41,5	0,70
ERA5	0,54	47,6	7,6	0,75
ERA5-Land	0,49	56,9	49,3	0,76

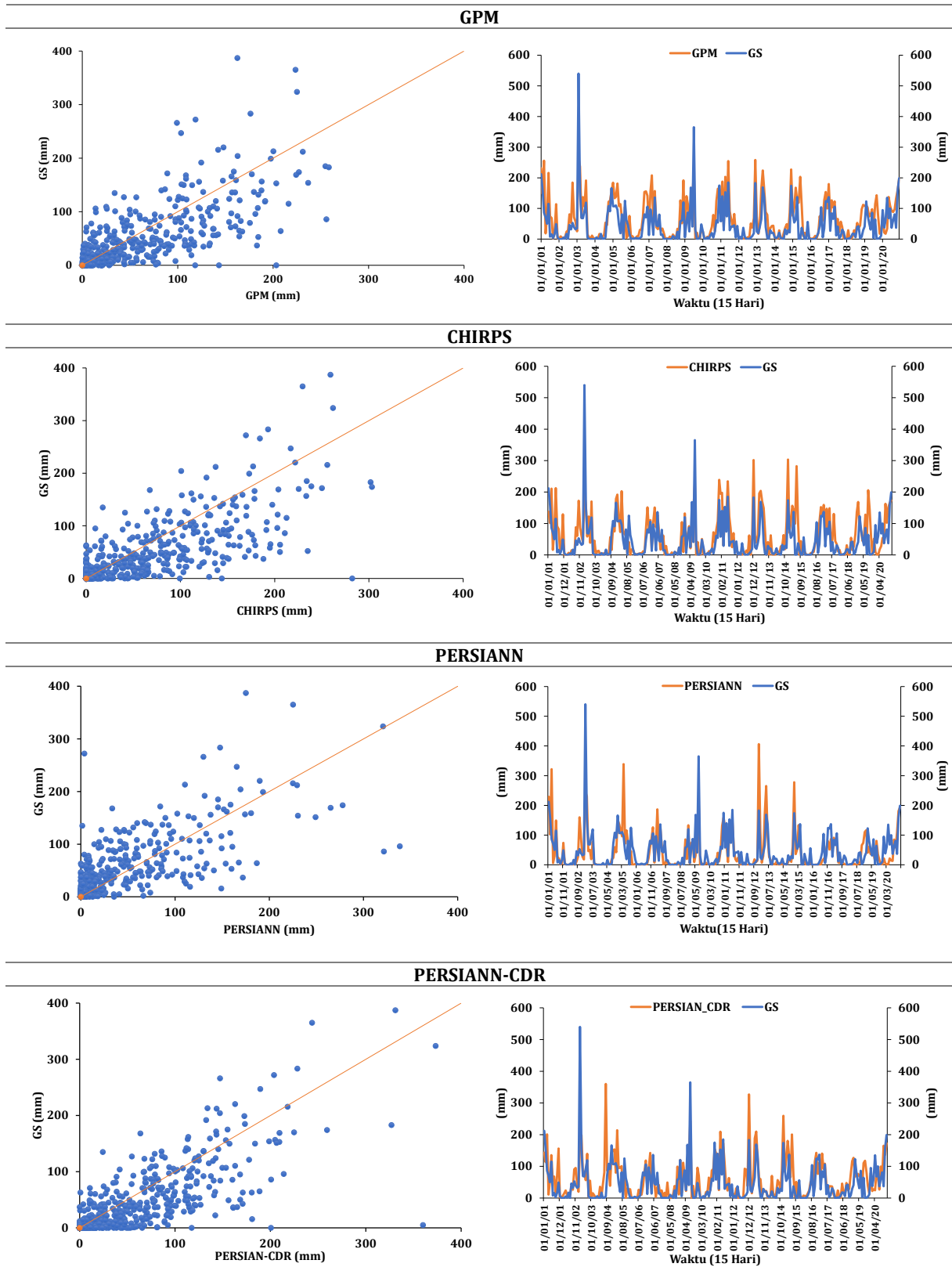
Tabel 6 Matriks Penilaian Fungsi Objektif Hujan global Skala 15 Harian

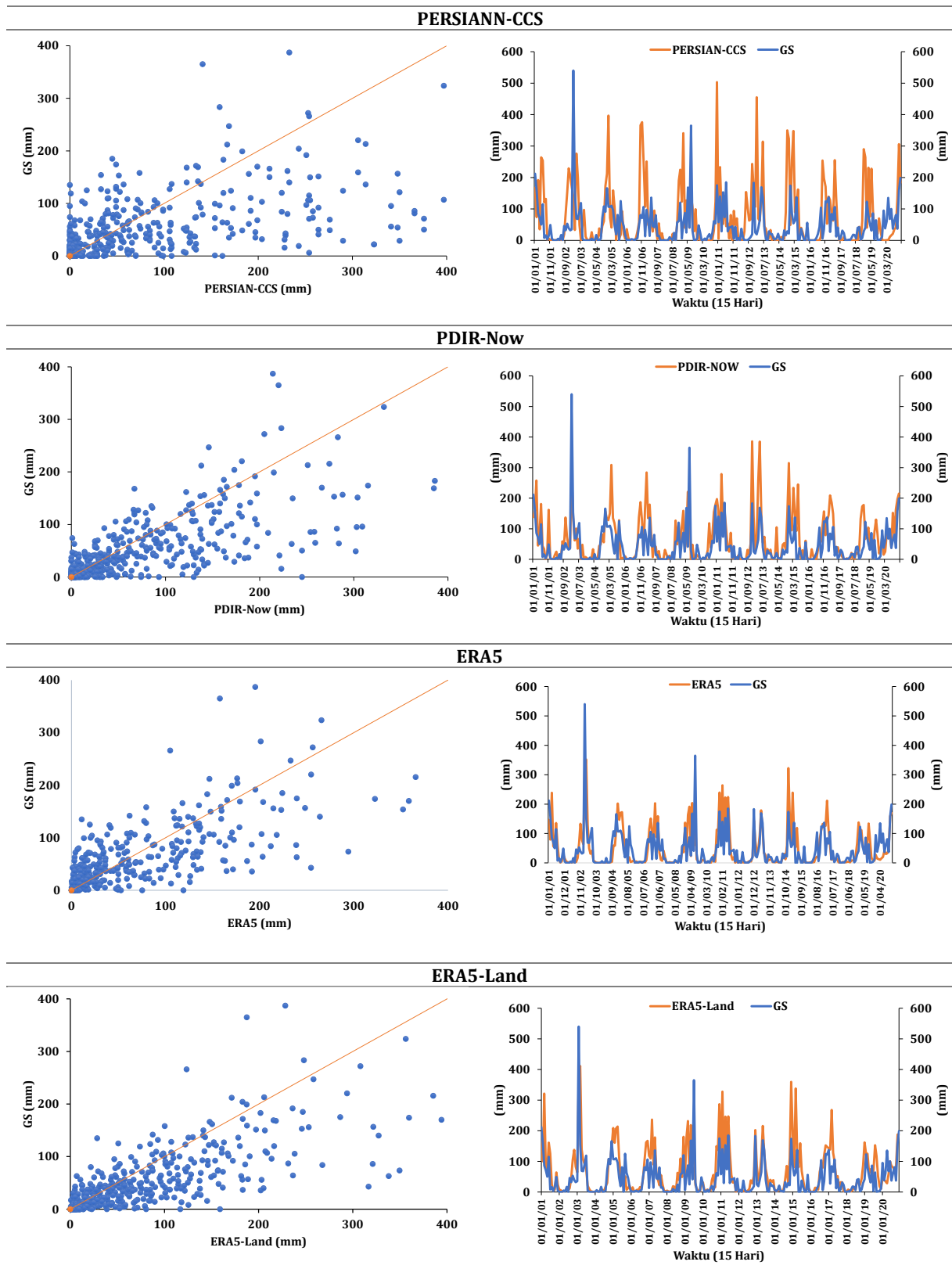
Data Global	RMSE	NSE	r	RB	Total
PERSIAN - CCS	4	1	3	1	9
GPM	4	3	3	2	12
CHIRPS	4	3	3	1	11
PDIR-Now	4	3	3	1	11
ERA5	4	3	3	4	14
PERSIAN	4	2	3	1	10
PERSIAN-CDR	4	2	3	1	10
ERA5-Land	4	3	4	1	12

Tabel 7 Matriks Perangkingan Hujan global Skala 15 Harian

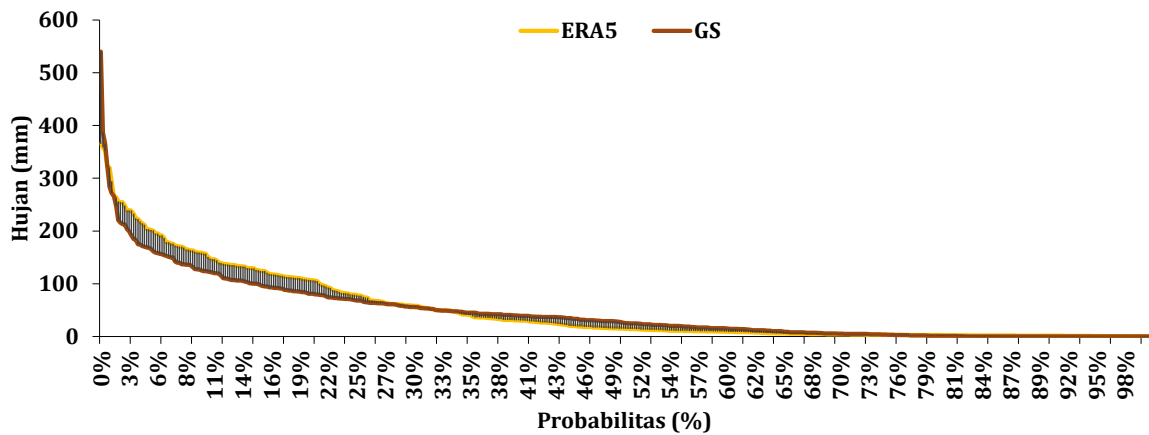
Data Global	RMSE	NSE	r	RB	Total
PERSIAN - CCS	1	1	1	2	5
GPM	8	6	6	7	27
CHIRPS	4	4	3	5	16
PDIR-Now	2	5	2	4	13
ERA5	6	8	7	8	29
PERSIAN	7	3	4	1	15
PERSIAN-CDR	5	2	5	6	18
ERA5-Land	3	7	8	3	21

*Evaluasi Curah Hujan Berbasis Data Global pada DAS Wae Mese, Labuan Bajo
(Maria Kalista Hadia Sabu, Doddi Yudianto, Obaja Triputera Wijaya)*





Gambar 6 Perbandingan Curah Hujan 15 Harian dan Pengamatan (GS)

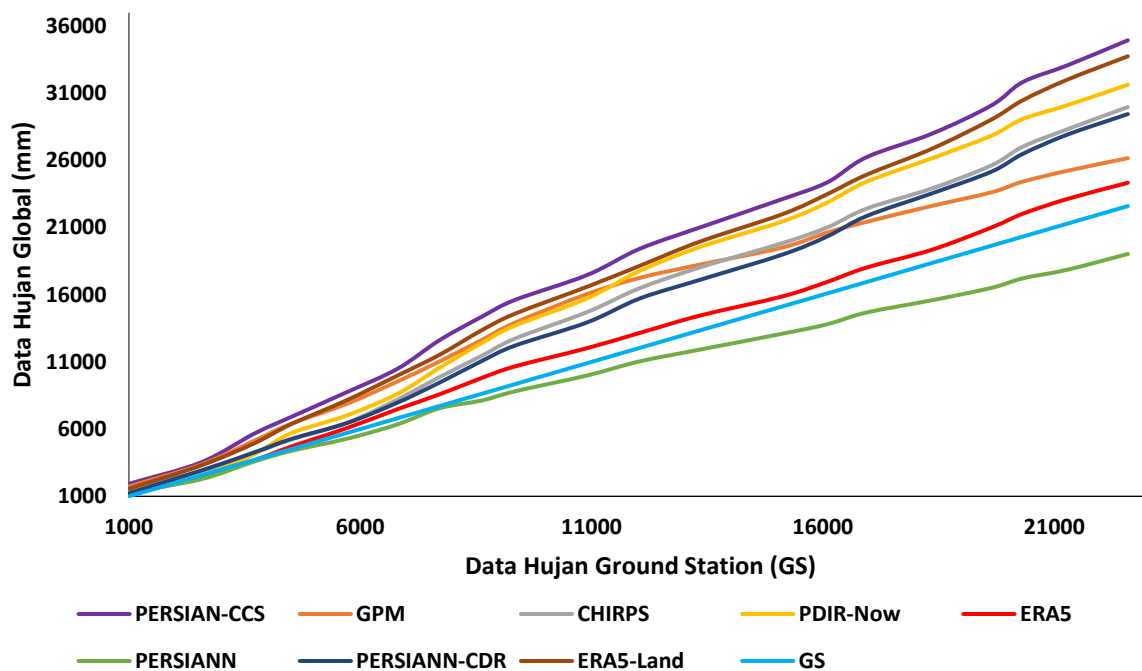


Gambar 7 Kemungkinan Terjadinya Hujan Rata-rata Skala 15 Harian

Selain evaluasi menggunakan Matriks Penilaian 1 dan Matriks Penilaian 2, dilakukan pula evaluasi terhadap data hujan tahunan untuk menentukan kecocokan antara data hujan global dan data pengamatan (GS). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa data hujan rata-rata tahunan dari ERA5 memberikan selisih yang paling kecil (87 mm) dibandingkan dengan data hujan global lainnya, sehingga dinilai paling mendekati hujan tahunan pengamatan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 8, sementara perbandingan visual antara hujan tahunan pengamatan dan data global dapat diperhatikan pada Gambar 8.

Tabel 8 Selisih Hujan Global dan Pengamatan

Data Global	Selisih
GPM	179
CHIRPS	369
PERSIANN	178
PERSIANN-CDR	343
PERSIANN-CCS	618
PDIR NOW	452
ERA5	87
ERA5-Land	558



Gambar 8 Hujan Kumulatif Tahunan

KESIMPULAN

Hasil evaluasi terhadap delapan produk data hujan satelit di Kota Labuan Bajo menghasilkan beberapa kesimpulan terkait keakuratan dan kinerja masing-masing produk berdasarkan skala waktu yang berbeda. Pada skala bulanan, data ERA5, PERSIANN, dan GPM menunjukkan performa terbaik, dengan ERA5 berada pada peringkat teratas, diikuti oleh PERSIANN dan GPM. Sementara itu, pada skala 15-harian, ERA5 kembali menunjukkan performa unggul, diikuti oleh GPM dan ERA5-Land. PERSIANN mencatatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) terkecil pada skala bulanan dengan nilai 62,1, sementara GPM memiliki RMSE terkecil pada skala 15-harian dengan nilai 45,8. Dari segi *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), ERA5 mencatatkan nilai terbaik untuk kedua skala, yaitu 0,63 untuk skala bulanan dan 0,54 untuk skala 15-harian, menunjukkan kemampuannya dalam merefleksikan variabilitas curah hujan. Dalam hal korelasi, PERSIANN menunjukkan hasil terbaik pada skala bulanan dengan nilai 0,82, sedangkan ERA5-Land unggul pada skala 15-harian dengan nilai 0,76.

Meskipun nilai korelasi tinggi merupakan indikator penting, parameter lain seperti RMSE, NSE, dan *Relative Bias* (RB) juga harus dipertimbangkan dalam memilih produk. Evaluasi komprehensif ini sangat bermanfaat, terutama untuk wilayah dengan keterbatasan alat pengukur hujan. Secara keseluruhan, data hujan ERA5 terbukti memiliki kemampuan estimasi yang sangat baik pada skala bulanan dan cukup baik pada skala 15-harian. Hal ini menjadikannya salah satu pilihan terbaik untuk pemantauan curah hujan di Kota Labuan Bajo bahkan di wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT).

Untuk wilayah dengan karakteristik geografis dan topografis serupa dengan Kota Labuan Bajo, produk hujan dari ERA5, PERSIANN, dan GPM direkomendasikan untuk skala bulanan, sedangkan ERA5, GPM, dan ERA5-Land dinilai efektif untuk skala 15-harian. Oleh karena itu, ketiga produk ini dapat diintegrasikan ke dalam model estimasi ketersediaan air di Kota Labuan Bajo. Namun, verifikasi terhadap debit hasil model diperlukan untuk menentukan produk hujan yang paling layak digunakan di antara ketiganya. Evaluasi yang komprehensif dan mempertimbangkan berbagai aspek ini akan meningkatkan keandalan data curah hujan untuk kepentingan penelitian dan manajemen sumber daya air di wilayah tersebut.

Implikasi penelitian ini sangat penting bagi pengelolaan sumber daya air di wilayah dengan keterbatasan alat pengukur hujan, seperti Kota Labuan Bajo. Produk hujan satelit yang telah dievaluasi dapat dimanfaatkan untuk

meningkatkan estimasi curah hujan dan memprediksi ketersediaan air, yang sangat relevan dalam konteks mitigasi bencana maupun pengelolaan irigasi. Namun, masih ada beberapa aspek yang perlu diteliti lebih lanjut, seperti pengaruh perubahan iklim terhadap akurasi data hujan satelit dalam jangka panjang, serta kebutuhan verifikasi lebih lanjut terhadap estimasi curah hujan ekstrem yang berdampak pada manajemen kebencanaan. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pada skala waktu yang lebih kecil (harian) untuk mendapatkan informasi yang lebih mendetail, yang sangat penting untuk mendukung perencanaan teknis dalam manajemen air dan kebijakan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG Labuan Bajo atas penyediaan data curah hujan, serta kepada LPPM Unpar atas dukungan melalui hibah penelitian nomor III/LPPM/2024-02/189-I. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan teknis dan administratif.

DAFTAR PUSTAKA

- Agastya, D., I Wayan Yasa, & I Dewa Gede Jaya Negara. (2024). Optimization of Pengga Reservoir in The Mandalika Special Economic Zone for Irrigation and Water Supply. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 163–172. <https://doi.org/10.22146/jcef.7913>
- Arshad, M., Ma, X., Yin, J., Ullah, W., Liu, M., & Ullah, I. (2021). Performance evaluation of ERA-5, JRA-55, MERRA-2, and CFS-2 reanalysis datasets, over diverse climate regions of Pakistan. *Weather and Climate Extremes*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100373>
- Bai, L., Shi, C., Li, L., Yang, Y., & Wu, J. (2018). Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China. *Remote Sensing*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/rs10030362>
- Bees, A., Seran, S. S. L. M. F., & Bela, K. R. (2024). Analisis Spasial Temporal Hujan Ekstrem Menggunakan Curah Hujan Satelit Pada DAS Barito Spatial Temporal Analysis of Extreme Rainfall Using Satellite Rainfall in the Barito Watershed. 5(2). <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i2.8859>
- Dembélé, M., & Zwart, S. J. (2016). Evaluation and comparison of satellite-based rainfall products in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 37(17), 3995–4014. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1207258>

- Gleixner, S., Demissie, T., & Diro, G. T. (2020). Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa? *Atmosphere*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>
- Hassler, B., & Lauer, A. (2021). Comparison of reanalysis and observational precipitation datasets including era5 and wfde5. *Atmosphere*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/atmos12111462>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Jiao, D., Xu, N., Yang, F., & Xu, K. (2021). Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97432-y>
- Kimani, M. W., Hoedjes, J. C. B., & Su, Z. (2017). An assessment of satellite-derived rainfall products relative to ground observations over East Africa. *Remote Sensing*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/rs9050430>
- Krisnayanti, D. S., Welkis, D. F. B., Hepy, F. M., & Legono, D. (2020). Evaluasi Kesesuaian Data Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) dengan Data Pos Hujan Pada Das Temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan. *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, 16(1), 51–62. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.646>
- López-Bermeo, C., Montoya, R. D., Caro-Lopera, F. J., & Díaz-García, J. A. (2022). 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*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184>
- Maulana, H., Suhartanto, E., & Harisuseno, D. (2019). Analysis of Water Availability Based on Rainfall Satellite in The Upper Brantas River Basin. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 4(2), 393–398. <http://chrsdata.eng.uci.edu/>
- Nadeem, M. U., Anjum, M. N., Afzal, A., Azam, M., Hussain, F., Usman, M., Javaid, M. M., Mukhtar, M. A., & Majeed, F. (2022a). Assessment of Multi-Satellite Precipitation Products over the Himalayan Mountains of Pakistan, South Asia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148490>
- Nadeem, M. U., Anjum, M. N., Afzal, A., Azam, M., Hussain, F., Usman, M., Javaid, M. M., Mukhtar, M. A., & Majeed, F. (2022b). Assessment of Multi-Satellite Precipitation Products over the Himalayan Mountains of Pakistan, South Asia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148490>
- Ogbu, K. N., Hounguè, N. R., Gbode, I. E., & Tischbein, B. (2020). Performance evaluation of satellite-based rainfall products over Nigeria. *Climate*, 8(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/cli8100103>
- Pratama, A., Agiel, H. M., & Oktaviana, A. A. (2022). Evaluasi Satellite Precipitation Product (GSMaP, CHIRPS, dan IMERG) di Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Science and Applicative Technology*, 6(1), 32. <https://doi.org/10.35472/jsat.v6i1.702>
- Pratiwi, D. W., Sujono, J., & Rahardjo, A. P. (t.t.). *Evaluasi Data Hujan Satelit Untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross Correlation*.
- Sanjaya, S., Yudianto, D., Adidarma, W., & Fitriana, F. (2022a). Studi Pemanfaatan Curah Hujan Bulanan Satelit GPM di Kawasan Bandung Raya dengan Validasi Silang Monte-Carlo. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i1.1804>
- Sanjaya, S., Yudianto, D., Adidarma, W., & Fitriana, F. (2022b). Studi Pemanfaatan Curah Hujan Bulanan Satelit GPM di Kawasan Bandung Raya dengan Validasi Silang Monte-Carlo. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 05(01), 31–40. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i1.1804>
- Sitepu, H., Harisuseno, D., & Fidari, J. S. (2023). Evaluasi Data Curah Hujan Satelit ERA-5 pada Berbagai Periode Data Hujan di Sub DAS Bodor Evaluation of ERA5 Satellite Rainfall Data at Various Rainfall Data Periods in Bodor Sub Watershed. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 03(02), 626–636. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.003.vol.no.02.053>
- Xin, Y., Yang, Y., Chen, X., Yue, X., Liu, Y., & Yin, C. (2022). Evaluation of IMERG and ERA5 precipitation products over the Mongolian Plateau. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26047-8>
- Xiong, W., Tang, G., Wang, T., Ma, Z., & Wan, W. (2022). Evaluation of IMERG and ERA5 Precipitation-Phase Partitioning on the Global Scale. *Water (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/w14071122>
- Zhang, C., Chen, X., Shao, H., Chen, S., Liu, T., Chen, C., Ding, Q., & Du, H. (2018). Evaluation and intercomparison of high-resolution satellite

precipitation estimates-GPM, TRMM, and
CMORPH in the Tianshan Mountain Area.
Remote Sensing, 10(10).
<https://doi.org/10.3390/rs10101543>