Evaluasi Pemantauan Kekeringan Multi-Skala *Standardized Precipitation Index* (SPI) Berbasis Produk Curah Hujan Satelit di Wilayah Jambi, Riau, dan Sumatera Selatan

Evaluation of Multi-Scale Standardized Precipitation Index (SPI) for Drought Monitoring Using Satellite Precipitation Products in Jambi, Riau, and South Sumatra

Dony Chandra[1], Giarno[2]*, Yahya Darmawan[3], Dzikrullah Akbar[4]

[1234] Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang, Indonesia

*Corresponding author: Giarno, giarnostmkg@gmail.com

ABSTRAK

Kekeringan adalah bencana hidrometeorologis bergradasi lambat yang berdampak luas, di mana pemantauannya di Indonesia terkendala oleh terbatasnya kerapatan stasiun observasi curah hujan permukaan. Keterbatasan data ini menyebabkan pemetaan di kawasan rawan kebakaran lahan, seperti Sumatera Bagian Tengah, menjadi kurang akurat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi keandalan lima produk estimasi curah hujan satelit (CHIRPS, PERSIANN, MSWEP, GSMaP, dan CMORPH) berbasis *Standardized Precipitation Index* (SPI) multi-skala di Jambi, Riau, dan Sumatera Selatan periode 2001-2020. Kinerja satelit divalidasi terhadap data stasiun BMKG menggunakan metrik statistik (Korelasi Pearson dan *Root Mean Square Error*) serta metrik kontingensi (*Accuracy, Probability of Detection, False Alarm Ratio*, dan *Critical Success Index*). Hasil analisis menunjukkan akurasi satelit bervariasi secara spasial dan temporal. Pada Sumatera Selatan dan Jambi, MSWEP paling akurat pada skala waktu pendek, sedangkan GSMaP mendominasi pada skala menengah hingga panjang, karena kemampuannya mereduksi bias orografis. Sebaliknya, CMORPH dan PERSIANN menunjukkan performa terbaik di Riau berkat keunggulan algoritmanya dalam menangkap dinamika konvektif ekuatorial, sementara CHIRPS secara konsisten menghasilkan tingkat galat tertinggi. Kesimpulannya, MSWEP, GSMaP, dan CMORPH direkomendasikan sebagai alternatif data terbaik untuk mendukung sistem peringatan dini kekeringan dan kebakaran lahan di Sumatera Bagian Tengah.

Kata kunci: Kekeringan Meteorologis; Produk Curah Hujan Satelit; SPI Multi-Skala

ABSTRACT

Drought is a slow-onset hydrometeorological disaster with widespread impacts, yet its monitoring in Indonesia is constrained by the sparse network of surface rain gauges. This data limitation hinders accurate drought mapping in fire-prone regions such as central Sumatra. Therefore, this study aims to evaluate the reliability of five satellite precipitation products (CHIRPS, PERSIANN, MSWEP, GSMaP, and CMORPH) using the multi-scale Standardized Precipitation Index across Jambi, Riau, and South Sumatra from 2001 to 2020. Satellite performance was validated against BMKG station data using continuous statistical metrics (Pearson Correlation and Root Mean Square Error) and categorical contingency metrics (Accuracy, Probability of Detection, False Alarm Ratio, and Critical Success Index). The results reveal significant spatial and temporal variations in satellite accuracy. In South Sumatra and Jambi, MSWEP excels at short timescales, while GSMaP dominates medium-to-long timescales due to its effectiveness in reducing orographic bias. Conversely, CMORPH and PERSIANN perform best in Riau owing to their algorithms' adaptability to equatorial convective dynamics, whereas CHIRPS consistently exhibits the highest errors. In conclusion, MSWEP, GSMaP, and CMORPH are recommended as the most robust alternative data sources for drought and land fire early warning systems in central Sumatra.

Keywords: *Meteorological Drought; Precipitation Products; Multi-Scale SPI*

ARTICLE IDENTIFIERS

ORIGINAL ARTICLE
Vol. 9 No. 10, 2026
Pages 4776-4789
DOI: 10.56338/jks.v9i10.12168

ARTICLE HISTORY

Received: 31 August 2026
Revised: 01 October 2026
Accepted: 15 October 2026

CC BY-SA 4.0

PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan bencana alam hidrometeorologis dengan laju kejadian yang lambat, namun berdampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan (Rahmalina & Novreta, 2020). Penurunan curah hujan yang signifikan dan berkepanjangan memicu terjadinya kekeringan meteorologis (Hayes dkk., 2011; Wanisakdiah dkk., 2017), yang apabila tidak tertangani dapat bereskalasi mendegradasi cadangan air tanah dan permukaan menjadi kekeringan hidrologis. Pemantauan anomali curah hujan ini secara global umumnya menggunakan *Standardized Precipitation Index* (SPI). SPI direkomendasikan oleh *World Meteorological Organization* (WMO, 2012) karena fleksibilitasnya dalam beroperasi pada berbagai skala waktu (1 hingga 48 bulan) serta kemampuannya mengukur tingkat keparahan kekeringan secara konsisten antarwilayah. Keandalan metode ini telah dibuktikan secara luas dalam mengevaluasi variabilitas kekeringan di berbagai belahan dunia, termasuk Eropa, Mediterania, dan Asia (Edwards & McKee, 1997; Mckee dkk., 1993; Tsesmelis dkk., 2023Wagan dkk., 2015).

Pada wilayah Indonesia, penerapan indeks kekeringan meteorologis berbasis data observasi menghadapi tantangan keterbatasan data. Meskipun curah hujan adalah parameter iklim yang sangat krusial (Tjasyono, 2004), kerapatan jaringan stasiun observasi permukaan yang dikelola oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) masih belum memadai untuk merepresentasikan tingginya variabilitas spasial curah hujan di wilayah kepulauan (Surmaini & Faqih, 2016; Vernimmen dkk., 2012). Keterbatasan titik observasi ini menyebabkan pemetaan kekeringan berskala regional menjadi kurang representatif. Sebagai solusi alternatif, berbagai produk estimasi curah hujan beresolusi tinggi berbasis satelit dan *reanalysis* telah dikembangkan, seperti *Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) (Funk dkk., 2015), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) (Sorooshian dkk., 2000), *Multi Source Weighted Ensemble Precipitation* (MSWEP) (Beck dkk., 2017), *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) (Kubota dkk., 2007), dan *Climate Prediction Center Morphing Method* (CMORPH) (Joyce dkk., 2004).

Pemanfaatan produk satelit tersebut untuk pemantauan kekeringan tetap memerlukan proses validasi dan koreksi bias lokal. Hal ini dikarenakan akurasi data satelit sangat dipengaruhi oleh karakteristik iklim dan topografi setempat. Secara global, beberapa produk satelit dinilai memiliki kemampuan pemantauan kekeringan yang kurang optimal di kawasan Asia Tenggara (Zhao & Ma, 2019). Namun, evaluasi pada skala regional justru menunjukkan hasil yang beragam. Studi di Vietnam dan Lembah Sungai Mekong mendapati bahwa CHIRPS sangat efektif dan andal dalam mendeteksi kekeringan (Dandridge dkk., 2019; Le dkk., 2020). Di wilayah Indonesia, CHIRPS terbukti unggul pada skala bulanan (Pratama dkk., 2022), GSMaP pada deteksi hujan ekstrem harian, sementara MSWEP menunjukkan stabilitas akurasi yang konsisten baik secara spasial maupun temporal, seperti yang ditemukan pada kasus di Provinsi Aceh (Bankar dkk., 2025; Ferijal dkk., 2025). Sejauh ini, evaluasi komprehensif terhadap akurasi berbagai produk estimasi satelit secara simultan untuk analisis kekeringan masih sangat terbatas, khususnya di kawasan Sumatera Bagian Tengah (Sumatera Selatan, Riau, dan Jambi). Wilayah ini menuntut perhatian ekstra karena memiliki kerentanan yang tinggi terhadap dampak lanjutan kekeringan berupa kebakaran lahan. Badan Nasional Penanggulangan Bencana mencatat bahwa ketiga provinsi tersebut menyumbang proporsi luas lahan terbakar yang signifikan dengan total 936 kejadian pada rentang tahun 2016-2025 (BNPB, 2026)

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan performa kelima produk satelit di wilayah Sumatera Bagian Tengah. Melalui pendekatan SPI multi-skala, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi produk estimasi curah hujan terbaik yang mampu menangkap variasi spasial dan temporal kekeringan secara akurat, mulai dari tekanan pada sektor pertanian (jangka pendek) hingga penurunan cadangan air (jangka panjang). Hasil penelitian ini krusial sebagai landasan mitigasi bencana hidrometeorologis dan peringatan dini kebakaran lahan di wilayah tersebut.

METODE

Data dalam Penelitian

Data Referensi

Dalam penelitian ini, kelima produk curah hujan berbasis satelit dievaluasi menggunakan data stasiun pengamatan permukaan. Sebagai data acuan, penelitian ini memilih data observasi curah hujan dari stasiun BMKG dan pos hujan di Provinsi Sumatera Selatan, Riau, dan Jambi pada periode tahun 2001-2020. Data observasi ini digunakan sebagai referensi karena didasarkan pada pengukuran aktual di lapangan yang telah melalui proses kontrol kualitas yang baik oleh BMKG. Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan

CC BY-SA 4.0

bahwa data stasiun observasi BMKG merupakan sumber data yang paling dapat diandalkan untuk studi iklim dan validasi satelit di wilayah Indonesia.

Data Satelit

Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS) dikembangkan melalui kemitraan dengan para ilmuwan di USGS Earth Resources Observation and Science (EROS). Produk ini diciptakan dengan tujuan untuk menyediakan kumpulan data yang komprehensif, akurat, dan terkini dalam berbagai keperluan peringatan dini, termasuk perubahan lingkungan global, analisis tren, dan pemantauan kekeringan musiman (Funk dkk., 2015). Algoritma produk satelit ini menggabungkan tiga komponen, yaitu data Climate Hazards group Precipitation Climatology (CHPClim); data satelit Thermal Infrared (TIR); dan data stasiun. Proses penggabungan ini dikenal sebagai teknik smart interpolation, dalam hal ini data satelit mengisi kekosongan spasial, sementara data stasiun memastikan akurasi nilai curah hujan (Funk dkk., 2015). Dataset ini menyediakan resolusi spasial 0,05^o dan 0,25^o , dalam cakupan global 50^o LS-50^o LU. Versi ketiga CHIRPS telah diperbarui untuk menyediakan deret waktu curah hujan harian yang telah ditingkatkan kualitasnya dari tahun 1981 hingga saat ini. Pengembangan serta evaluasi akurasi data CHIRPS di berbagai wilayah dengan karakteristik iklim yang berbeda dijelaskan secara rinci dalam literatur.

Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) merupakan sistem estimasi curah hujan yang memanfaatkan Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) untuk mengestimasi curah hujan dari data inframerah satelit geostasioner, kemudian dikalibrasi dengan data sensor *microwave* dari satelit orbit rendah, penelitian ini menggunakan PERSIANN-CDR. Keunggulan utama dari produk ini terletak pada resolusi temporalnya yang tinggi, sehingga sangat cocok untuk menangkap fenomena cuaca jangka pendek seperti siklus diurnal curah hujan (Guo dkk., 2016). Data ini menawarkan ketersediaan data dari tahun 1983 hingga saat ini dengan resolusi spasial 0.25° x 0,25^o yang mencakup wilayah 60°LS-60°LU (Zhao & Ma, 2019).

Multi Source Weighted Ensemble Precipitation (MSWEP) adalah dataset curah hujan global yang tersedia untuk periode 1979 hingga saat ini dengan resolusi temporal 3 jam dan resolusi spasial 0,1° (Beck dkk., 2017). Produk ini menggabungkan data dari satelit, stasiun pengamatan, dan model *reanalysis* menggunakan teknik *weighted ensemble* dan memiliki performa global yang lebih baik karena memanfaatkan kelebihan dari masing-masing sumber data yang digunakan untuk meminimalkan bias.

Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) adalah sistem yang dikembangkan oleh *Japan Science and Technology* (JST) pada tahun 2002 untuk menghasilkan produk curah hujan global yang memiliki resolusi dan presisi tinggi (Ushio dkk., 2009). Produk satelit ini menyediakan data hujan per jam atau *hourly* dengan resolusi spasial 0,1^o dan merupakan produk dari misi *Global Precipitation Measurement* (GPM) yang mengestimasikan nilai menggunakan sensor inframerah dan gelombang miko dari satelit *GPM Core Observatory* dan satelit lainnya (Roy & Banu, 2021).

Climate Prediction Center Morphing Method (CMORPH) merupakan sistem berbasis satelit yang dikembangkan *Climate Prediction Center* (CPC) oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) untuk mengestimasi curah hujan (Roy & Banu, 2021). Teknik yang digunakan dalam produk satelit ini adalah *morphing* yang dengan vektor pergerakan awan didapatkan dari data inframerah digunakan untuk mempropagasikan estimasi curah hujan dari data gelombang mikro (Joyce dkk., 2004). Berbagai penelitian telah memvalidasi keandalan produk CMORPH dalam aplikasi hidrometeorologi, terutama kemampuannya dalam mengatasi keterbatasan sebaran stasiun hujan permukaan yang tidak merata. Produk CMORPH memiliki

CC BY-SA 4.0

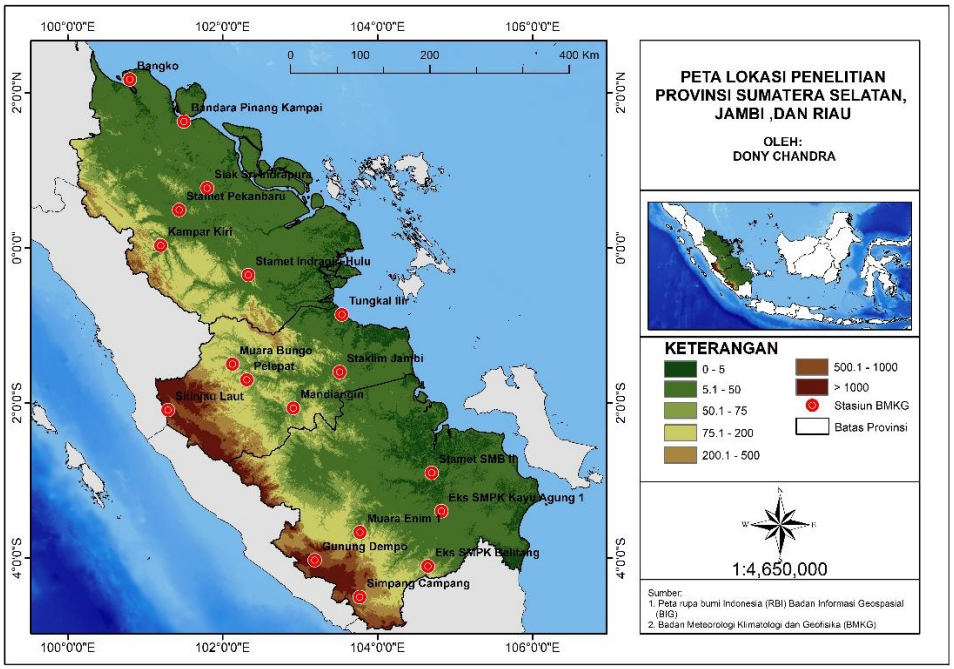
resolusi spasial dari 0,25° × 0,25° dan tersedia sejak 1 Januari 1998 (Roy & Banu, 2021). Informasi terperinci mengenai kelima produk curah hujan berbasis satelit tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi secara Rinci Produk Curah Hujan Satelit

Produk	Resolusi Temporal	Resolusi Spasial	Periode	Sumber Data
CHIRPS	Bulanan	0,05° x 0,05°	2001-2020	https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS/v3.0/
PERSIANN	Harian	0,25° x 0,25°	2001-2020	https://www.ncei.noaa.gov/data/precipitation-persiann/access/
MSWEP	Bulanan	0,1° x 0,1°	2001-2020	https://www.gloh2o.org/
GSMaP	Bulanan	0,1° x 0,1°	2001-2020	https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/
CMORPH	Harian	0,25° x 0,25°	2001-2020	https://www.ncei.noaa.gov/data/cmorph-high-resolution-global-precipitation-estimates/access/

Lokasi Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, wilayah ini membentang secara luas dengan daerah timur berhadapan langsung dengan Selat Malaka dan Laut Cina Selatan, sebelah barat berbatasan dengan pegunungan Bukit Barisan. Secara astronomis wilayah Sumatera bagian tengah terletak di anatara sekitar 2°30'LU - 4°55' LS dan 100° - 106° BT. Ketiga provinsi ini berbatasan langsung dengan Sumatera Utara di sebelah utara, di sebelah selatan dengan Provinsi Lampung, Provinsi Bengkulu dan Sumatera Barat di sisi barat, serta sebelah timur berbatasan dengan Selat Malaka dan Selat Bangka.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Standardized Precipitation Index (SPI)

Standaridzed Precipitation Index (SPI) adalah indeks yang digunakan untuk menentukan penyimpangan curah hujan terhadap normalnya, dalam suatu periode yang panjang mulai dari bulanan, dua bulanan, tiga bulanan dan seterusnya (BMKG, 2024). Indeks kekeringan ini juga merupakan indeks probabilitas dari data curah hujan

CC BY-SA 4.0

dengan indeks negatif menunjukkan kondisi kering sedangkan indeks positif untuk kondisi basah. Nilai SPI dihitung sebagai berikut (Song dkk., 2020):

$$x_s^m(t) = \sum_{i=g-s+1}^{g} x(i), \qquad g = 12(t-1) + m, \tag{1}$$

dengan x adalah hujan bulanan dari N tahun; t = 1, 2, ..., N, yang merepresentasikan indeks tahunan dan m adalah bulan spesifik, seperti Januari, Februari, ..., Desember.
Intensitas kejadian kekeringan berdasarkan SPI dapat diklasifikasikan menurut nilai SPI. Klasifikasi yang paling umum disajikan dalam Tabel 2:

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Kekeringan

Nilai SPI	Kategori
≥2	Basah ekstrem
1,5-1,99	Sangat basah
1-1,49	Basah
0,99-(-0,99)	Normal
-1,49-(-1)	Kering
-1,99- (-1,5)	Sangat kering
≤-2	Kering ekstrem

Sumber : Mckee dkk. (1993)

Metrik Statistik

Selain SPI, terdapat uji Koefisien Korelasi Pearson (r) untuk mengukur kekuatan hubungan linear antara dua variabel kontinu. Penggunaan metode ini mensyaratkan variabel tersedia merupakan data yang terdistribusi normal dan kontinu (Schober & Schwarte, 2018). Selain itu juga uji *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur perbedaan antara hasil prediksi model dengan nilai aktual. Nilai RMSE yang tinggi menunjukkan bahwa variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan menjauhi variasi nilai aslinya atau tidak akurat (Herwanto dkk., 2019). Persamaan-persamaan tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

$$r = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\left(\sqrt{n\Sigma(X^2)}\right) - (\Sigma X)^2(n\Sigma(Y^2) - (\Sigma Y)^2)} \tag{2}$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(X-Y)^2}}{n} \tag{3}$$

dengan n merepresentasikan jumlah data; t merepresentasikan total periode; *X* merepresentasikan nilai data observasi atau aktual; *Y* adalah nilai prediksi.

Metrik Kategori

Analisis menggunakan tabel kontingensi digunakan untuk mengevaluasi kemampuan produk satelit dalam mendeteksi kejadian kekeringan SPI yang menggunakan tabel kontingensi. Klasifikasi dibagi dengan ambang batas nilai (*treshold*) sebesar (-2) ≤ SPI < (0) untuk mendeteksi kejadian "kering" dan 0 ≤ SPI ≤ 2 untuk mendeteksi kejadian "Basah". Selain itu juga, klasifikasi dibagi juga ke dalam tujuh kategori dengan *threshold* merujuk pada standar (Mckee dkk., 1993), yaitu: Sangat Basah (SPI ≥ 2.0), Basah (1.5 ≤ SPI ≤ 1.99), Agak Basah

CC BY-SA 4.0

(1.0 ≤ SPI ≤ 1.49), Normal (-0.99 ≤ SPI ≤ 0.99), Agak Kering (-1.0 ≤ SPI ≤ -1.49), Kering (-1.5 ≤ SPI ≤ -1.99), dan Sangat Kering (SPI ≤ -2.0).

Tabel 3. Tabel Kontingensi untuk Deteksi Kejadian Kekeringan

Data		Observasi	
	Event	**Ya**	**Tidak**
Satelit	**Ya**	*Hit*	*False Alarm*
	Tidak	*Miss*	*Correct Negative*

Dalam tabel kontingensi terdapat empat kategori kejadian, Kategori "*Hit*" merepresentasikan kondisi dengan nilai SPI observasi dan SPI satelit menunjukkan kelas kejadian yang sama pada bulan yang sama. Sebagai ilustrasi pada evaluasi kelas Sangat Kering (SPI ≤ -2,0), "*Hit*" terpenuhi apabila kedua data sama-sama mendeteksi kondisi tersebut. Selanjutnya, kejadian "*Miss*" terjadi ketika data observasi mencatat suatu kelas kejadian tertentu, namun satelit mengklasifikasikannya ke dalam kelas yang berbeda , misalnya observasi mencatat Sangat Kering, tetapi satelit mencatat Kering atau Normal. Sementara itu, "*False Alarm*" merepresentasikan peringatan palsu, yakni ketika satelit mengestimasi suatu kelas kejadian, tetapi observasi aktual menunjukkan kelas yang berbeda. Terakhir, "*Correct Negative*" menunjukkan kondisi kesesuaian dengan data observasi maupun satelit secara bersamaan tidak mendeteksi kejadian pada kelas yang sedang dievaluasi. Setelah itu dilakukan analisis metrik turunan yang digunakan yaitu *Accuracy* (ACC), *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Ratio* (FAR), dan *Critical Success Index* (CSI). Dalam Giarno dkk., 2018, persamaannya didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathrm{ACC} = \frac{Hit + Correct\ Negative}{Hit + False\ Alarm + Miss + Correct\ negative} \tag{4}$$

$$\mathrm{POD} = \frac{Hit}{Hit + Miss} \tag{5}$$

$$\mathrm{FAR} = \frac{False\ Alarm}{Hit + False\ Alarm} \tag{6}$$

$$\mathrm{CSI} = \frac{Hit}{Hit + False\ Alarm + Miss} \tag{7}$$

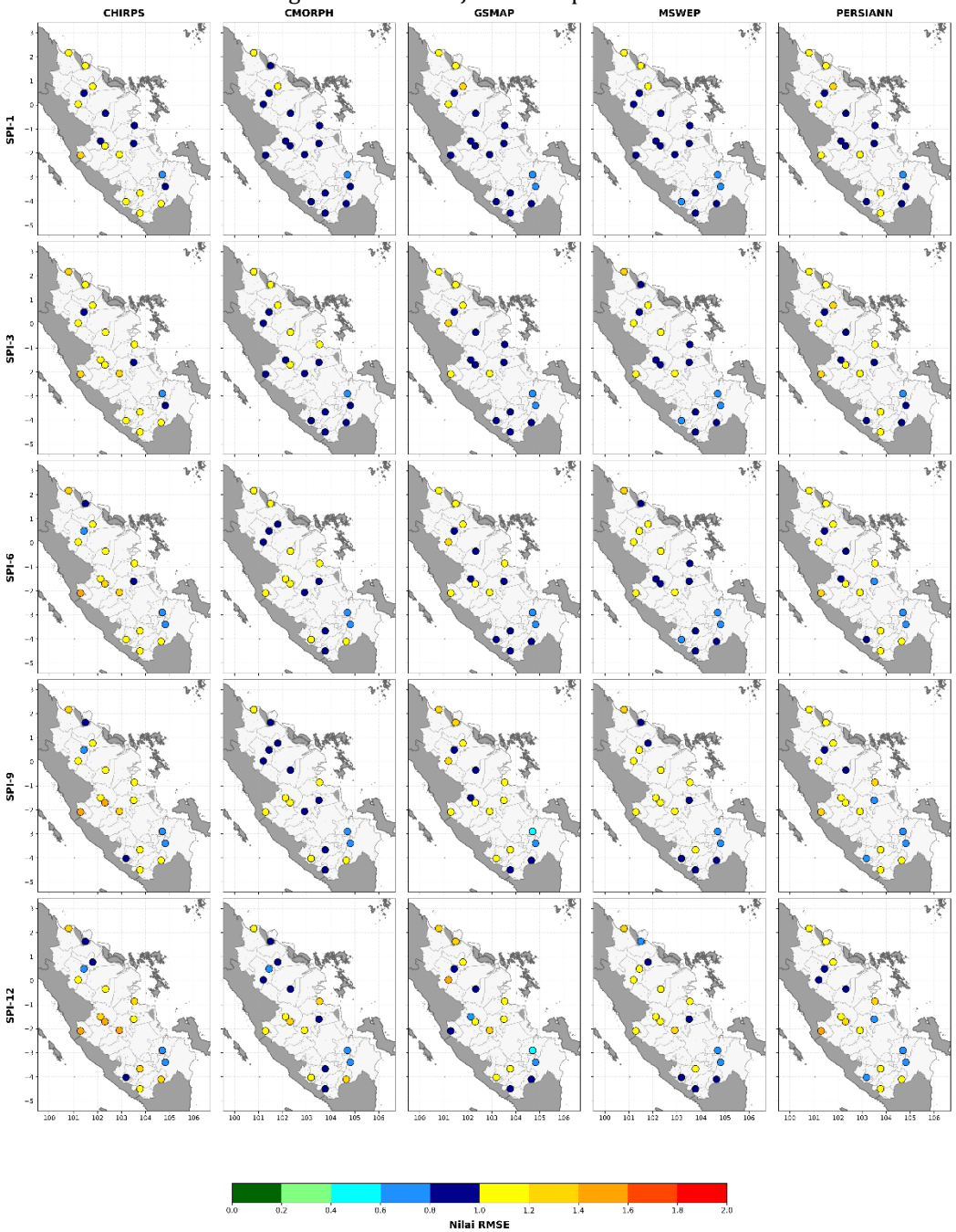
HASIL

Perbandingan Estimasi SPI Grid Produk Satelit dengan SPI Observasi

SPI dari lima produk curah hujan satelit dibandingkan pada penelitian ini. Pola spasial dari korelasi dan RMSE terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tingkat kesalahan estimasi satelit berdasarkan distribusi spasial metrik *Root Mean Square Error* (RMSE) pada Gambar 2 sangat bergantung pada karakteristik geospasial masing-masing wilayah. Secara keseluruhan, rentang nilai RMSE cenderung menengah hingga tinggi di wilayah utara (Provinsi Riau) dan tengah (Provinsi Jambi), namun perlahan membaik dan mencatatkan rata-rata galat terendah di wilayah selatan (Provinsi Sumatera Selatan). Di Provinsi Riau, produk CMORPH mendominasi sebagai satelit paling akurat dengan RMSE terendah pada seluruh skala waktu SPI-1 hingga SPI-12, sedangkan GSMaP menunjukkan performa terburuk dengan titik persebaran galat yang tinggi. Pada Provinsi Jambi, keunggulan bergeser bergantung pada skala pemantauan; MSWEP paling akurat untuk jangka pendek hingga menengah (SPI-1, SPI-3, SPI-6), sementara GSMaP lebih unggul pada SPI-9, SPI-12. Di Provinsi Sumatera Selatan, MSWEP dan GSMaP bersaing sangat ketat menunjukkan performa spasial paling akurat dengan RMSE

CC BY-SA 4.0

terendah di hampir seluruh skala waktu. Sebaliknya, CHIRPS secara konsisten menjadi satelit dengan tingkat akurasi terendah dan memunculkan galat ekstrem di Jambi maupun Sumatera Selatan.



Gambar 2. Distribusi spasial rata-rata RMSE untuk SPI-1 hingga SPI-12 di Jambi, Riau, Sumatera Selatan

Variasi performa spasial ini secara fisis membuktikan bahwa algoritma asimilasi multisensor atau *ensemble* pada MSWEP dan GSMaP sangat efektif mereduksi bias curah hujan orografis akibat Pegunungan Bukit Barisan di kawasan selatan dan tengah. Keunggulan CMORPH di Riau juga menegaskan bahwa teknik *morphing* lebih adaptif dalam menangkap dinamika pola hujan ekuatorial yang siklus konvektifnya berdurasi singkat. Adapun tingginya nilai RMSE pada CHIRPS menyoroti kelemahan sensor inframerah murni (*Thermal Infrared*) yang rentan menumpuk bias pada topografi kompleks karena kesulitan membedakan awan sirus tipis bersuhu dingin dengan awan kumulonimbus tebal penghasil hujan.

CC BY-SA 4.0



Gambar 3. Distribusi spasial rata-rata Korelasi Pearson untuk SPI-1 hinggan SPI-12 di Jambi, Riau, Sumatera Selatan

Berdasarkan visualisasi distribusi spasial Korelasi Pearson pada Gambar 3, terlihat jelas bahwa kesesuaian estimasi satelit dengan data observasi bervariasi secara signifikan mengikuti letak geografis dan rentang akumulasi waktu. Wilayah Sumatera Selatan secara umum menampilkan tingkat korelasi linier yang lebih kuat dan stabil, direpresentasikan oleh dominasi titik berwarna biru hingga sian (rentang korelasi 0,5–0,7). Pada kawasan selatan ini, MSWEP dan GSMaP tampil superior secara konsisten, yang memvalidasi bahwa pendekatan asimilasi multisensor dan metode *ensemble* sangat handal dalam mengatasi bias orografis dari Pegunungan Bukit Barisan.

Bergeser ke kawasan utara di Provinsi Riau, keandalan spasial dikuasai oleh CMORPH dan PERSIANN. Kedua produk tersebut mampu mempertahankan sebaran titik biru tua dan biru (korelasi 0,4–0,6) secara konsisten dari skala SPI-1 hingga SPI-12, menegaskan bahwa teknik pelacakan pergerakan awan dan algoritma jaringan saraf tiruan lebih adaptif merespons dinamika konvektif pola hujan ekuatorial yang singkat. Sementara itu, Provinsi Jambi memperlihatkan pergeseran dominasi secara temporal. Pada skala waktu pendek hingga menengah, MSWEP memimpin dengan sebaran titik korelasi yang baik, namun pada

CC BY-SA 4.0

pemantauan durasi panjang (SPI-9 dan SPI-12), GSMaP mulai mengambil alih keunggulan di wilayah tengah tersebut.

Kontras dengan produk lainnya, CHIRPS menampilkan degradasi performa yang sangat tajam seiring bertambahnya skala waktu. Memasuki pemantauan SPI-6, SPI-9, hingga SPI-12, titik-titik stasiun pada peta CHIRPS khususnya di Jambi dan Sumatera Selatan berubah drastis memunculkan warna jingga hingga merah. Perubahan warna ini mengindikasikan anjloknya nilai korelasi ke level yang sangat lemah (0,0–0,2), menjadi bukti visual bahwa sensor inframerah murni sangat rentan mengalami akumulasi galat sistematis jangka panjang apabila diterapkan pada wilayah dengan topografi kompleks.

Analisis SPI Berdasarkan Kejadian Kekeringan

Bagian ini memaparkan evaluasi kemampuan produk satelit dalam mendeteksi kejadian kekeringan secara kategorikal menggunakan pendekatan tabel kontingensi. Tingkat keandalan deteksi ini diukur secara komprehensif melalui metrik turunan yang mencakup *Accuracy* (ACC), *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Ratio* (FAR), dan *Critical Success Index* (CSI) dengan menerapkan dua skema klasifikasi, yakni skema dua kategori utama "Basah" dan "Kering" serta skema tujuh kategori tingkat keparahan curah hujan. Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, di Provinsi Jambi produk MSWEP mendemonstrasikan performa yang paling responsif dan dominan pada pemantauan SPI-1, SPI-3, SPI-6 serta pemantauan SPI-12. Pada rentang waktu tersebut, MSWEP menghasilkan ACC tertinggi sekaligus mempertahankan sensitivitas POD yang sangat baik dalam mengidentifikasi kejadian "Kering" maupun "Kering Ekstrem", meskipun pada skala khusus SPI-9 keunggulan ini bergeser kepada PERSIANN yang mencatatkan tingkat sensitivitas paling menonjol. Sementara itu, evaluasi untuk Provinsi Riau yang merujuk memperlihatkan variasi performa yang dinamis seiring bertambahnya skala waktu. Pada wilayah ini, CHIRPS tampil sebagai produk paling unggul untuk pemantauan SPI-1, yang kemudian diambil alih oleh CMORPH pada SPI-3 dengan tingkat akurasi keseluruhan yang lebih baik.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Tabel Kontingensi Dua Kategori SPI

Skala Waktu	Kategori	*Hit*	*False Alarm*	*Miss*	*Correct Negative*	POD	FAR	CSI	ACC	Produk	Provinsi
SPI-1	Basah	573	227	192	448	0.749	0.284	0.578	0.709	MSWEP	Jambi
	Kering	448	192	227	573	0.664	0.3	0.517	0.709		
SPI-3	Basah	564	230	196	438	0.742	0.29	0.57	0.702	MSWEP	
	Kering	438	196	230	564	0.656	0.309	0.507	0.702		
SPI-6	Basah	506	229	228	447	0.689	0.312	0.525	0.676	MSWEP	
	Kering	447	228	229	506	0.661	0.338	0.494	0.676		
SPI-9	Basah	472	251	224	445	0.678	0.347	0.498	0.659	PERSIANN	
	Kering	445	224	251	472	0.639	0.335	0.484	0.659		
SPI-12	Basah	440	245	235	454	0.652	0.358	0.478	0.651	MSWEP	
	Kering	454	235	245	440	0.649	0.341	0.486	0.651		
SPI-1	Basah	513	244	230	453	0.69	0.322	0.52	0.671	CHIRPS	Riau
	Kering	453	230	244	513	0.65	0.337	0.489	0.671		
SPI-3	Basah	484	226	245	473	0.664	0.318	0.507	0.67	CMORPH	
	Kering	473	245	226	484	0.677	0.341	0.501	0.67		
SPI-6	Basah	487	244	209	470	0.7	0.334	0.518	0.679	PERSIANN	
	Kering	470	209	244	487	0.658	0.308	0.509	0.679		
SPI-9	Basah	482	225	194	491	0.713	0.318	0.535	0.699	PERSIANN	
	Kering	491	194	225	482	0.686	0.283	0.54	0.699		
SPI-12	Basah	491	216	175	492	0.737	0.306	0.557	0.715	PERSIANN	
	Kering	492	175	216	491	0.695	0.262	0.557	0.715		
SPI-1	Basah	586	177	177	500	0.768	0.232	0.623	0.754	MSWEP	Sumatera

Skala Waktu	Kategori	*Hit*	*False Alarm*	*Miss*	*Correct Negative*	POD	FAR	CSI	ACC	Produk	Provinsi
	Kering	500	177	177	586	0.739	0.261	0.585	0.754		
SPI-3	Basah	548	180	178	522	0.755	0.247	0.605	0.749	MSWEP	
	Kering	522	178	180	548	0.744	0.254	0.593	0.749		
SPI-6	Basah	531	160	176	543	0.751	0.232	0.612	0.762	GSMaP	
	Kering	543	176	160	531	0.772	0.245	0.618	0.762		
SPI-9	Basah	498	165	194	535	0.72	0.249	0.581	0.742	GSMaP	
	Kering	535	194	165	498	0.764	0.266	0.598	0.742		
SPI-12	Basah	471	184	203	516	0.699	0.281	0.549	0.718	GSMaP	
	Kering	516	203	184	471	0.737	0.282	0.571	0.718		

Memasuki fase pemantauan SPI-6, SPI-9, dan SPI-12, dominasi di Riau secara konsisten dipegang oleh PERSIANN yang tidak hanya memberikan nilai ACC tertinggi, tetapi juga terbukti sangat peka dan tanggap dalam mendeteksi kategori "Kering Ekstrem". Pada sisi lain, analisis untuk Provinsi Sumatera Selatan mengungkap pola transisi keandalan yang sangat jelas. Pada rentang SPI-1 dan SPI-3, MSWEP kembali menunjukkan kapabilitas terbaiknya dengan mencatatkan nilai akurasi tertinggi, namun saat pemantauan beralih ke skala SPI-6, SPI-9, dan SPI-12. Dominasi tersebut secara stabil bergeser kepada GSMaP. Pada skala-skala panjang di Sumatera Selatan tersebut, GSMaP secara konsisten mempertahankan posisinya sebagai produk yang paling tangguh dengan tingkat keakuratan mutlak dan kemampuan deteksi kondisi kekeringan yang paling presisi.

Tabel 5. Hasil Evaluasi Tabel Kontingensi Tujuh Kategori SPI

Skala Waktu	Kategori	Jambi			Riau			Sumatera Selatan			Produk
		POD	FAR	CSI	POD	FAR	CSI	POD	FAR	CSI	
SPI-1	Basah Ekstrem	0.214	0.667	0.150	0.200	0.778	0.118	0.364	0.636	0.222	MSWEP (Jambi) CHIRPS (Riau) MSWEP (Sumatera Selatan)
	Sangat Basah	0.194	0.782	0.114	0.268	0.741	0.152	0.232	0.755	0.135	
	Basah	0.278	0.722	0.162	0.226	0.767	0.130	0.329	0.679	0.194	
	Normal	0.755	0.262	0.595	0.749	0.258	0.595	0.762	0.238	0.616	
	Kering	0.263	0.675	0.170	0.161	0.817	0.094	0.299	0.692	0.179	
	Sangat Kering	0.237	0.823	0.113	0.355	0.686	0.200	0.222	0.785	0.123	
	Kering Ekstrem	0.500	0.500	0.333	0.259	0.741	0.149	0.452	0.558	0.288	
SPI-3	Basah Ekstrem	0.071	0.944	0.032	0.286	0.655	0.185	0.320	0.600	0.216	MSWEP (Jambi) CHIRPS (Riau) MSWEP (Sumatera Selatan)
	Sangat Basah	0.193	0.814	0.105	0.117	0.900	0.057	0.349	0.732	0.179	
	Basah	0.151	0.819	0.090	0.200	0.817	0.106	0.245	0.703	0.155	
	Normal	0.749	0.263	0.591	0.734	0.251	0.589	0.781	0.237	0.629	
	Kering	0.178	0.789	0.107	0.200	0.807	0.109	0.195	0.766	0.119	
	Sangat Kering	0.132	0.899	0.061	0.119	0.875	0.065	0.215	0.807	0.113	
	Kering Ekstrem	0.234	0.796	0.122	0.262	0.761	0.143	0.192	0.828	0.100	
SPI-6	Basah Ekstrem	0.074	0.833	0.054	0.045	0.920	0.030	0.133	0.920	0.053	MSWEP (Jambi) PERSIANN (Riau) GSMaP (Sumatera Selatan)
	Sangat Basah	0.140	0.904	0.060	0.186	0.817	0.102	0.274	0.657	0.180	

CC BY-SA 4.0

Skala Waktu	Kategori	Jambi			Riau			Sumatera Selatan			Produk
		POD	FAR	CSI	POD	FAR	CSI	POD	FAR	CSI	
	Basah	0.205	0.803	0.112	0.215	0.812	0.112	0.285	0.735	0.159	
	Normal	0.722	0.258	0.577	0.735	0.258	0.586	0.753	0.257	0.597	
	Kering	0.178	0.831	0.095	0.116	0.869	0.065	0.265	0.687	0.167	
	Sangat Kering	0.115	0.900	0.056	0.123	0.901	0.058	0.258	0.764	0.140	
	Kering Ekstrem	0.128	0.864	0.071	0.152	0.884	0.070	0.240	0.778	0.130	
SPI-9	Basah Ekstrem	0.174	0.826	0.095	0.075	0.857	0.052	0.562	0.700	0.243	PERSIANN (Jambi) PERSIANN (Riau) GSMaP (Sumatera Selatan)
	Sangat Basah	0.034	0.967	0.017	0.108	0.875	0.062	0.229	0.742	0.138	
	Basah	0.126	0.867	0.069	0.211	0.841	0.100	0.309	0.665	0.191	
	Normal	0.688	0.308	0.527	0.724	0.275	0.568	0.743	0.294	0.567	
	Kering	0.179	0.832	0.095	0.150	0.806	0.093	0.253	0.653	0.171	
	Sangat Kering	0.182	0.857	0.087	0.130	0.860	0.072	0.188	0.838	0.095	
	Kering Ekstrem	0.022	0.971	0.013	0.222	0.893	0.078	0.160	0.826	0.091	
SPI-12	Basah Ekstrem	0.077	0.969	0.023	0.081	0.857	0.055	0.474	0.727	0.209	MSWEP (Jambi) PERSIANN (Riau) GSMaP (Sumatera Selatan)
	Sangat Basah	0.268	0.712	0.161	0.063	0.932	0.034	0.225	0.781	0.125	
	Basah	0.218	0.729	0.137	0.157	0.876	0.074	0.314	0.644	0.200	
	Normal	0.713	0.305	0.543	0.713	0.280	0.558	0.750	0.285	0.578	
	Kering	0.132	0.861	0.072	0.180	0.759	0.115	0.246	0.669	0.164	
	Sangat Kering	0.075	0.922	0.040	0.283	0.800	0.133	0.169	0.845	0.088	
	Kering Ekstrem	0.053	0.952	0.026	0.333	0.830	0.127	0.045	0.944	0.026	

PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini secara empiris memvalidasi sejumlah landasan teoretis dari berbagai literatur terkait limitasi fisik dan keandalan pemantauan kekeringan hidrometeorologis berbasis satelit. Konsistensi MSWEP dalam meminimalkan bias prediksi kekeringan jangka pendek hingga menengah (SPI-1 hingga SPI-6) di Jambi dan Sumatera Selatan membuktikan bahwa penggabungan multidata (*ensemble*) secara fisis mampu menutupi celah kelemahan sensor tunggal (Huang dkk., 2025). Sementara itu, pada pemantauan kekeringan jangka panjang (SPI-9 dan SPI-12), peningkatan keandalan ditunjukkan oleh produk CMORPH dan GSMaP.

Keandalan CMORPH selaras dengan teori fisis di balik teknik *morphing* (Joyce dkk., 2004) yang menggunakan vektor pergerakan awan dari data inframerah (IR) geostasioner murni untuk mempropagasikan estimasi curah hujan dari gelombang mikro (PMW). Hal ini sejalan dengan performa GSMaP yang secara dinamis mengestimasi presipitasi menggunakan sensor inframerah dan gelombang mikro melalui pendekatan *Kalman Filter* (Ushio dkk., 2009). Pendekatan fisis pada kedua satelit tersebut terbukti menghasilkan akumulasi presipitasi yang sangat stabil dan representatif untuk analisis iklim berdurasi panjang seperti observasi kekeringan hidrologis (Wang dkk., 2019; Mashuri dkk., 2025).

Terkait dengan performa buruk yang ditunjukkan oleh beberapa produk satelit, tingginya tingkat kesalahan CHIRPS secara konsisten di wilayah Jambi dan Sumatera Selatan dapat dijelaskan oleh kelemahan fisis dari sensor pembentuk utamanya. Algoritma CHIRPS sangat bergantung pada sensor *Thermal Infrared* (TIR) yang mendeteksi hujan berdasarkan suhu puncak awan (*Cloud Top Temperature*) (Funk dkk., 2015). Secara fisis, sensor TIR sering kali kesulitan untuk membedakan antara awan cirrus tipis yang bersuhu sangat dingin dengan awan kumulonimbus tebal penghasil presipitasi. Ditambah dengan adanya turbulensi aliran angin

CC BY-SA 4.0

akibat halangan orografis Bukit Barisan, sensor ini rentan akan terjadinya *underestimate* dalam mendeteksi kejadian hujan ekstrem (Wu dkk., 2019; Alsilibe dkk., 2023).

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Berdasarkan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, hasil evaluasi akurasi secara kuantitatif dan kategorikal menunjukkan performa produk satelit yang bervariasi bergantung pada wilayah dan skala waktu pemantauan, produk terbaik yaitu:
Sumatera Selatan: MSWEP pada SPI-1 hingga SPI-12 untuk akurasi kuantitatif. Namun untuk evaluasi kategorikal, produk terbaik yaitu MSWEP (SPI-1 hingga SPI-3) dan GSMaP (SPI-6 hingga SPI-12).
Jambi: Produk MSWEP (SPI-1 hingga SPI-6) dan GSMaP (SPI-9 hingga SPI-12) pada evaluasi akurasi kuantitatif. Pada akurasi kategorikal yaitu MSWEP (SPI-1 hingga SPI-6 dan SPI-12), GSMaP (SPI-9).
Riau: PERSIANN dan CMORPH (SPI-1), CMORPH (SPI-3 hingga SPI-12). Sedangkan akurasi kategori, yaitu CHIRPS (SPI-1), CMORPH (SPI-3), dan PERSIANN (SPI-6 hingga SPI-12).

DECLARATIONS

Persetujuan Etik: Penelitian ini menggunakan data sekunder, sehingga tidak membutuhkan izin atau persetujuan etik.
Pendanaan: Penelitian ini dibiayai secara mandiri oleh penulis, tanpa adanya bantuan dana atau sponsor khusus dari pihak institusi maupun lembaga mana pun.
Kontribusi Penulis: Penulis utama, Dony Chandra, bertugas dalam memproses data, menganalisis temuan, dan menyusun draf riset. Giarno selaku penulis kedua berperan merumuskan gagasan awal, mengarahkan metode, serta menyupervisi jalannya analisis dan penulisan naskah. Adapun Yahya Darmawan dan Dzikrullah Akbar sebagai penulis ketiga dan keempat berfokus pada evaluasi metodologi dan penyempurnaan tinjauan hasil pembahasan.
Ucapan Terima Kasih: Penghargaan dan terima kasih sebesar-besarnya ditujukan kepada Program Studi Sarjana Terapan Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) atas dukungan akademis yang telah diberikan. Penulis juga mengapresiasi seluruh pihak yang turut andil memperlancar pelaksanaan riset hingga tahapan penyelesaian naskah ini.
Pernyataan Penggunaan AI: Penulis menjamin bahwa seluruh tahapan riset, mulai dari pengumpulan data, analisis, hingga penulisan draf akhir, dikerjakan sepenuhnya secara mandiri tanpa melibatkan bantuan teknologi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*/AI).

DAFTAR PUSTAKA

Alsilibe, F., Bene, K., Bilal, G., Alghafli, K., & Shi, X. (2023). Accuracy Assessment and Validation of Multi-Source CHIRPS Precipitation Estimates for Water Resource Management in the Barada Basin, Syria. *Remote Sensing*, *15*(7). https://doi.org/10.3390/rs15071778

Bankar, A., Venkatesan, P., Chopra, G., & Sujith, R. I. (2025). *Evaluation of High-Resolution Gridded Precipitation Datasets Against a Dense Rain Gauge Network During the Indian Summer Monsoon*.

Beck, H. E., Van Dijk, A. I. J. M., Levizzani, V., Schellekens, J., Miralles, D. G., Martens, B., & De Roo, A. (2017). MSWEP: 3-hourly 0.25° global gridded precipitation (1979-2015) by merging gauge, satellite, and reanalysis data. *Hydrology and Earth System Sciences*, *21*(1), 589–615. https://doi.org/10.5194/hess-21-589-2017

BMKG. (2024, April 17). *(Analisis-Bulanan) Indeks Kekeringan dan Kebasahan Meteorologis 3 Bulanan Untuk Bulan Januari - Februari - Maret Tahun 2024 di Provinsi Jawa Timur*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. https://staklim-jatim.bmkg.go.id/index.php/indeks-presipitasi-terstandarisasi-spi-3-bulanan-di-propinsi-jawa-timur/4231-analisis-bulanan-indeks-kekeringan-dan-kebasahan-meteorologis-3-bulanan-di-provinsi-jawa-timur-tahun-2024/555560865-analisis-bulanan-indeks-kekeringan-dan-kebasahan-meteorologis-3-bulanan-untuk-bulan-januari-februari-maret-tahun-2024-di-provinsi-jawa-timur

BNPB. (2026). *Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI)*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. https://data.bnpb.go.id/

Dandridge, C., Lakshmi, V., Bolten, J., & Srinivasan, R. (2019). Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates in the Lower Mekong River Basin (Southeast Asia). *Remote Sensing*, *11*(22). https://doi.org/10.3390/rs11222709

CC BY-SA 4.0

Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). *Characteristic of 20th Century Drought in The United States at Multiple Time Scales*.

Ferijal, T., Mechram, S., Fauzi, A., & Ferdiansyah, T. (2025). Performance Analysis of Satellite-Derived Precipitation Data in Aceh, Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, *21*(7), 1–15. https://doi.org/10.52939/ijg.v21i7.4311

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, *2*. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66

Giarno, Pramono Hadi, M., Suprayogi, S., & Heru Murti, S. (2018). Distribution of Accuracy of TRMM Daily Rainfall in Makassar Strait. *Forum Geografi: Indonesian Journal of Spatial and Regional Analysis*, *32*, 38–52.

Guo, H., Bao, A., Liu, T., Chen, S., & Ndayisaba, F. (2016). Evaluation of PERSIANN-CDR for meteorological drought monitoring over China. *Remote Sensing*, *8*(5). https://doi.org/10.3390/rs8050379

Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011). The lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *92*(4), 485–488. https://doi.org/10.1175/2010BAMS3103.1

Herwanto, H. W., Widiyaningtyas, T., & Indriana, P. (2019). Penerapan Algoritme Linear Regression untuk Prediksi Hasil Panen Tanaman Padi. Dalam *JNTETI* (Vol. 8, Nomor 4).

Huang, P., Huang, M., Feng, A., Li, Y., Yu, K., Guo, Y., Yu, W., & Yang, K. (2025). Performance of remotely sensed precipitation products in capturing meteorological drought over typical agricultural planting area. *Environmental Earth Sciences*, *84*(13). https://doi.org/10.1007/s12665-025-12258-5

Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., & Xie, P. (2004). *CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution*.

Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Aonashi, K., Takahashi, N., Seto, S., Hirose, M., Takayabu, Y. N., Ushio, T., Nakagawa, K., Iwanami, K., Kachi, M., & Okamoto, K. (2007). Global Precipitation Map Using Satellite-Borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *45*(7), 2259–2275. https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895337

Le, M. H., Lakshmi, V., Bolten, J., & Bui, D. Du. (2020). Adequacy of Satellite-derived Precipitation Estimate for Hydrological Modeling in Vietnam Basins. *Journal of Hydrology*, *586*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124820

Mashuri, Karlina, & Sujono, J. (2025). Assessment of satellite-based rainfall products for drought monitoring in the Siak Watershed, Indonesia. *Environmental Challenges*, *19*. https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101134

Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Eighth Conference on Applied Climatology*, 17–22.

Rahmalina, W., & Novreta. (2020). Peramalan Indeks Kekeringan Kelayang Menggunakan Metode Sarima dan SPI. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*.

Roy, D., & Banu, S. (2021). Comparison of Satellite Derived Rainfall Estimations: CMORPH, IMERG and GSMaP with Observed Precipitation. *American Journal of Climate Change*, *10*(04), 407–421. https://doi.org/10.4236/ajcc.2021.104021

Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, *126*(5), 1763–1768. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864

Song, Z., Xia, J., She, D., Zhang, L., Hu, C., & Zhao, L. (2020). The Development of a Nonstationary Standardized Precipitation Index Using Climate Covariates: A Case Study in The Middle and Lower Reaches of Yangtze River Basin, China. *Journal of Hydrology*, *588*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125115

Sorooshian, S., Hsu, K.-L., Gao, X., Gupta, H. V, & Braithwaite, D. (2000). *Evaluation of PERSIANN System Satellite-Based Estimates of Tropical Rainfall*.

Surmaini, E., & Faqih, D. A. (2016). *Kejadian Iklim Ekstrem dan Dampaknya Terhadap Pertanian Tanaman Pangan di Indonesia Extreme Climate Events and their Impacts on Food Crop in Indonesia*.

Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi* (2nd ed.). Institut Teknologi Bandung. https://perpustakaan.bmkg.go.id/

Tsesmelis, D. E., Leveidioti, I., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Vasilakou, C. G., Tsatsaris, A., & Zervas, E. (2023). Spatiotemporal Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in the Eastern Mediterranean. *Climate*, *11*(5). https://doi.org/10.3390/cli11050095

CC BY-SA 4.0

Ushio, T., Sasashige, K., Kubota, T., Shige, S., Okamoto, K., Aonashi, K., Inoue, T., Takahashi, N., Iguchi, T., Kachi, M., Oki, R., Morimoto, T., & Kawasaki, Z. I. (2009). A Kalman Filter Approach to The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, *87 A*, 137–151. https://doi.org/10.2151/jmsj.87A.137

Vernimmen, R. R. E., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., & Van Dijk, A. I. J. M. (2012). Evaluation and Bias Correction of Satellite Rainfall Data for Drought Monitoring in Indonesia. *Hydrology and Earth System Sciences*, *16*(1), 133–146. https://doi.org/10.5194/hess-16-133-2012

Wagan, B., Zhang, Z., Baopeing, F., Wagan, H., Han, S., Ahmad, I., & Kabo-Bah, A. T. (2015). Using the SPI to Interpret Spatial and Temporal Conditions of Drought in China. *Outlook on Agriculture*, *44*(3), 235–241. https://doi.org/10.5367/oa.2015.0217

Wang, F., Yang, H., Wang, Z., Zhang, Z., & Li, Z. (2019). Drought evaluation with CMORPH satellite precipitation data in the Yellow River basin by using Gridded Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Remote Sensing*, *11*(5). https://doi.org/10.3390/rs11050485

Wanisakdiah, S., Sutikno, S., & Handayani, Y. L. (2017). Analisis Indeks Kekeringan Meteorologis Lahan Gambut di Pulau Tebing Tinggi Provinsi Riau Menggunakan Data Satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). *Jom FTEKNIK*, *4*(2).

WMO. (2012). *Standardized Precipitation Index User Guide*. World Meteorological Organization. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf

Wu, W., Li, Y., Luo, X., Zhang, Y., Ji, X., & Li, X. (2019). Performance evaluation of the CHIRPS precipitation dataset and its utility in drought monitoring over Yunnan Province, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *10*(1), 2145–2162. https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1683082

Zhao, H., & Ma, Y. (2019). Evaluating the Drought-Monitoring Utility of Four Satellite-Based Quantitative Precipitation Estimation Products at Global Scale. *Remote Sensing*, *11*(17). https://doi.org/10.3390/rs11172010

CC BY-SA 4.0