

Dampak *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) Terhadap Anomali Curah Hujan Di Kabupaten Temanggung 1995 – 2024

Anugrah Jorgi Firmansyah^{1*}, Emilya Nurjani², Dan Andung Bayu Sekaranom²

¹Program Studi Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

***E-mail:** anugrahjorgi@mail.ugm.ac.id

Received: 27 05 2025 / Accepted: 23 12 2025 / Published online: 21 01 2026

ABSTRAK

Fenomena *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) memengaruhi kondisi curah hujan disuatu wilayah, salah satunya Kabupaten Temanggung. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak ENSO terhadap anomali curah hujan di Kabupaten Temanggung pada periode 1995–2024. Data yang digunakan berupa curah hujan satelit CHIRPS yang dikoreksi dengan data observasi dan membandingkan rata-rata curah hujan saat fase *El Niño* serta *La Niña* dengan fase netral berdasarkan nilai *Oceanic Niño Index* (ONI). Metode analisis data temporal dan spasial yang disajikan secara deskriptif kuantitatif digunakan untuk menjelaskan hasil yang telah diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan secara temporal dampak *El Niño* memicu penurunan curah hujan rata-rata sebesar 20,6% dengan penurunan terbesar hingga 82,9% pada bulan Oktober, dengan dampak terbesar di sekitar lereng Gunung Sumbing dan Sindoro dan sisi utara pada perbukitan yang berbatasan dengan Kabupaten Kendal. Dampak *La Niña* meningkatkan curah hujan tahunan sekitar 14%, dengan peningkatan tertinggi di lereng Gunung Sumbing dan Sindoro dan semakin melemah menuju wilayah dengan elevasi yang lebih rendah. Secara temporal, dampak ENSO terhadap curah hujan di Temanggung lebih berpengaruh pada bulan Agustus-Oktober yang dapat memengaruhi perubahan antara musim kemarau ke penghujan di wilayah ini. Secara spasial, sebaran anomali curah hujan di Kabupaten Temanggung memiliki hubungan dengan kondisi topografinya dengan dampak lebih tinggi pada daerah pegunungan dan melemah menuju elevasi yang lebih rendah. Perlunya strategi adaptasi dan mitigasi lokal yang mempertimbangkan variasi spasial anomali curah hujan akibat ENSO guna mengantisipasi dampak lebih buruk akibat perubahan iklim yang diprediksi akan memperkuat frekuensi dan intensitas ENSO di masa depan.

Kata Kunci: ENSO, Anomali Curah Hujan, Oceanic Niño Index, Kabupaten Temanggung

ABSTRACT

The El Niño–Southern Oscillation (ENSO) phenomenon influences rainfall conditions in various regions, including Temanggung Regency. This study aims to analyze the impact of ENSO on rainfall anomalies in Temanggung Regency during the period 1995–2024. The data used consist of CHIRPS satellite rainfall that were bias-corrected using observational data, and a comparison of average rainfall during El Niño and La Niña phases with neutral conditions based on the Oceanic Niño Index (ONI). Temporal and spatial analysis methods were applied to explain the results obtained. The results show that, temporally, El Niño events trigger a decrease in average rainfall of 20.6%, with the largest reduction reaching 82.9% in October. The strongest impacts are observed around the slopes of Mount Sumbing and Mount Sindoro, as well as the hilly northern areas bordering Kendal Regency. In contrast, La Niña events increase annual rainfall by approximately 14%, with the highest increases occurring on the slopes of Mount Sumbing and Mount Sindoro and gradually weakening toward lower-elevation areas. Temporally, ENSO

impacts on rainfall in Temanggung are most pronounced during August–October, a period that influences the transition from the dry season to the wet season in the region. Spatially, the distribution of rainfall anomalies in Temanggung Regency is closely related to topographic conditions, with stronger impacts in mountainous areas that diminish toward lower elevations. These findings highlight the need for local adaptation and mitigation strategies that account for the spatial variability of ENSO-induced rainfall anomalies to anticipate more severe impacts associated with climate change, which is projected to intensify the frequency and intensity of ENSO events in the future.

Keywords: ENSO, Rainfall Anomalies, Oceanic Niño Index, Temanggung Regency

PENDAHULUAN

Fenomena *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) memiliki dampak signifikan terhadap pola iklim di berbagai daerah. ENSO terjadi karena perubahan suhu permukaan laut di Samudra Pasifik yang terbagi menjadi dua fase utama, yaitu *El Niño* yang biasanya terkait dengan kondisi kering dan minim curah hujan, serta *La Niña* yang cenderung membawa peningkatan curah hujan (Nugroho et al., 2022; Sekaranom et al., 2020). Perubahan iklim yang dipicu oleh ENSO menyebabkan ketidakstabilan pola cuaca di sejumlah wilayah, termasuk Indonesia. Hal ini dikarenakan posisi geografis Indonesia yang berada pada Zona Konvergensi Intertropis (ITCZ), sehingga negara ini lebih rentan terhadap efek yang ditimbulkan oleh ENSO (Amirudin et al., 2020).

Indonesia merupakan salah satu negara yang paling terdampak oleh perubahan iklim global (Irwansyah, 2016). Berada di sekitar garis khatulistiwa, Indonesia memiliki iklim tropis dengan dua musim utama, yaitu kemarau dan hujan, yang dipengaruhi oleh pola monsun. Selain itu, secara geografis kondisi iklim di Indonesia juga dipengaruhi oleh fenomena seperti ENSO dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Cahyarini & Henrizan, 2018). Kedua fenomena ini memengaruhi pola curah hujan yang kemudian dapat menyebabkan bencana alam seperti kekeringan maupun banjir (Hidayati & Suryanto, 2015).

Fenomena ENSO muncul secara berulang dalam siklus sekitar empat tahun (Santoso et al., 2017). Siklus ini mencakup perubahan bersamaan pada suhu permukaan laut, tekanan udara di permukaan, pola curah hujan, serta sirkulasi atmosfer di wilayah ekuator Samudra Pasifik. Saat fase *El Niño* terjadi, kondisi ekstrem pada atmosfer dan laut menyebabkan berkurangnya curah hujan dan penurunan ketersediaan air permukaan (Nizamani et al., 2025). Sebaliknya, fase *La Niña* biasanya berkontribusi pada peningkatan intensitas curah hujan di Indonesia, baik selama musim kemarau maupun musim hujan (Hidayat et al., 2018). Salah satu cara untuk mengidentifikasi kejadian ENSO adalah dengan mengamati nilai *Oceanic Niño Index* (ONI) (Marjani et al., 2019).

Oceanic Niño Index (ONI) digunakan untuk memantau dan memprediksi ENSO berdasarkan suhu permukaan laut (SPL) di wilayah *Niño 3.4*. Nilai ONI dipakai oleh berbagai lembaga meteorologi, seperti Badan Kelautan dan Atmosfer Nasional (NOAA), untuk mengidentifikasi fenomena *El Niño* (fase hangat) dan *La Niña* (fase dingin). Selain itu, angka ini juga menjadi acuan utama dalam mengukur variasi iklim yang penting di tingkat global (Quispe-Ccalluari et al., 2018).

Perubahan frekuensi dan intensitas *El Niño* serta *La Niña* di masa depan yang dipengaruhi oleh perubahan, meningkatkan kerentanan terhadap bencana hidrometeorologi (Sekaranom et

al., 2018). Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia, di mana bencana hidrometeorologi merupakan salah satu jenis bencana yang paling sering terjadi dan telah memiliki dampak negatif yang cukup besar terutama pada sektor pertanian (Firmansyah et al., 2025; Isnaini, 2019). Penelitian menunjukkan bahwa fenomena ENSO, khususnya selama fase *El Niño* yang terjadi di Jawa Tengah, bertepatan dengan sekitar 91% kejadian bencana kekeringan di wilayah tersebut selama periode 1981–2010 (Nurrohmah & Nurjani, 2017).

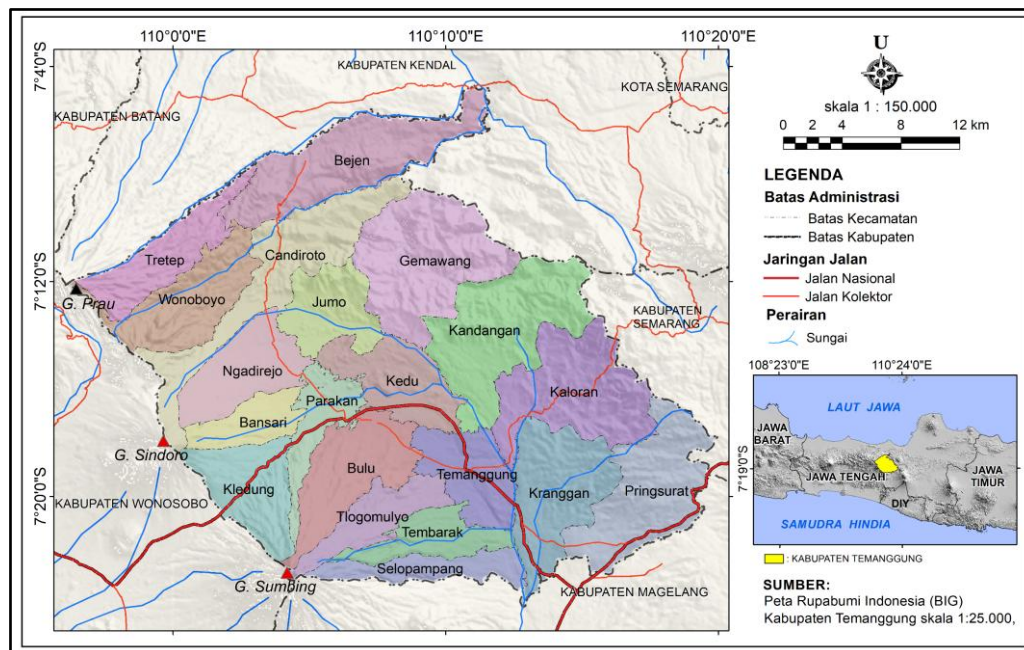
Penelitian ini memiliki keterbaruan pada analisis anomali curah hujan di Kabupaten Temanggung yang dipengaruhi oleh fenomena ENSO, baik pada fase *El Niño* maupun *La Niña*. Penelitian ini merupakan pengembangan lebih detail dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai anomali iklim akibat ENSO di Provinsi Jawa Tengah (Firmansyah et al., 2022; Yustiana et al., 2023). Analisis secara spasial dan temporal dari anomali curah hujan di

wilayah penelitian sangat penting untuk merancang strategi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak ENSO terhadap anomali curah hujan secara temporal dan spasial di Kabupaten Temanggung pada tahun 1995 – 2024.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada rentang waktu tahun 1995 – 2024 di Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Secara geografis, Kabupaten Temanggung terletak di antara $109^{\circ}55'$ hingga $110^{\circ}19'$ Bujur Timur dan $7^{\circ}4'$ sampai $7^{\circ}24'$ Lintang Selatan. Wilayah ini berbatasan di utara dengan Kabupaten Kendal dan Semarang, di timur dengan Kabupaten Semarang dan Magelang, di selatan dengan Kabupaten Magelang, serta di barat dengan Kabupaten Wonosobo. Kabupaten Temanggung terdiri dari 20 kecamatan yang membawahi 266 desa dan 23 kelurahan (BPS Temanggung, 2025).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Kabupaten Temanggung

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan antara lain perangkat lunak ArcGIS 10.8, Rstudio, *Google Earth Engine*, dataset curah hujan CHIRPS, data *Oceanic Niño Index* (ONI), dan *shapefile* data Kabupaten Temanggung (Tabel 1). Perangkat lunak ArcGIS 10.8 digunakan untuk membuat peta tematik sebaran anomali curah hujan. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Perangkat lunak Rstudio digunakan untuk mengolah data tabular curah hujan dan anomali curah hujan diolah dengan perangkat lunak RStudio dari *Integrated Development Environment* (IDE).

Data curah hujan CHIRPS periode 1995 – 2024 di Kabupaten Temanggung diekstrak dan diunduh menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Ekstraksi dan unduh data dari GEE ini menggunakan *script* untuk memanggil dataset CHIRPS serta mengunduh datanya sesuai dengan kebutuhan. Dataset CHIRPS ini sendiri

bersumber dari *Climate Hazards Center* University of California, Santa Barbara, serta *USGS Earth Resources Observation and Science* (EROS). Data tersebut merupakan hasil reanalisis dengan resolusi spasial sebesar 0,05° x 0,05°, yang cukup detail untuk keperluan analisis hidrometeorologi. Data curah hujan observasi lapangan juga digunakan untuk uji korelasi dan koreksi data CHIRPS tersebut. Data curah hujan observasi didapatkan dari pos stasiun hujan milik BPSDA Probolo yang ada di wilayah Kabupaten Temanggung.

Data *Oceanic Niño Index* (ONI) yang diterbitkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) berfungsi untuk mengelompokkan fase ENSO, yakni fase netral, El Niño, dan La Niña. Data seputar wilayah Kabupaten Temanggung dalam format *shapefile* diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Temanggung sebagai bahan pendukung dalam pembuatan peta tematik anomali curah hujan di wilayah kajian.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No.	Alat dan Bahan	Sumber	Fungsi
1.	Perangkat lunak ArcGIS 10.8	<i>Environmental Systems Research Institute</i> (ESRI)	Pembuatan peta persebaran jejak air di Kabupaten Temanggung
2.	Perangkat lunak RStudio	<i>Integrated Development Environment</i> (IDE)	Mengolah data tabular CHIRPS dan anomali curah hujan
3.	Google Earth Engine	Google	Unduh dataset CHIRPS periode 1995 – 2024 wilayah Kabupaten Temanggung
4.	Dataset Curah Hujan CHIRPS	<i>Climate Hazards Center di University of California, Santa Barbara, dan USGS Earth Resources Observation and Science</i> (EROS)	Data curah hujan hasil reanalisis resolusi 0.05° x 0.05°
5	Data curah hujan observasi BPSDA Probolo	PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah	Koreksi data CHIRPS
6.	Data <i>Oceanic Niño Index</i> (ONI)	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (NOAA)	Mengelompokkan fase netral, <i>El Niño</i> , dan <i>La Niña</i>
7.	<i>Shapefile</i> Kabupaten Temanggung	DPUPR Kabupaten Temanggung	Data pendukung pembuatan peta

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif secara temporal dan spasial dengan pengolahan data curah hujan CHIRPS yang telah dikoreksi serta pengelompokan fase ENSO dari nilai ONI. Metode kuantitatif mencakup pengumpulan serta pengolahan data dalam bentuk angka, sehingga peneliti mempelajari fenomena dan keterkaitan antar variabel menggunakan pendekatan ilmiah yang sistematis dan terorganisir (Siroj et al., 2024). Selain pengolahan secara kuantitatif dalam bentuk tabular dan grafik untuk melihat tren temporal, penelitian ini juga memvisualisasikan data menggunakan perangkat lunak GIS untuk menjelaskan sebaran spasial dalam bentuk peta.

Metode Pengumpulan, Pengolahan, Dan Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode inventarisasi berdasarkan publikasi informasi yang tersedia secara *online* (data sekunder). Proses pengumpulan data sekunder memerlukan perangkat serta akses internet untuk mendapatkan data yang dibutuhkan. Sumber data sekunder seperti nilai ONI diakses dari laman resmi NOAA, data curah hujan CHIRPS periode 1995 – 2024 diunduh melalui GEE, dan data curah hujan observasi dari BPSDA Probolo diunduh melalui.

Tahap pengolahan data dimulai dari pengelompokan fase ENSO berdasarkan nilai ONI. Ketika nilai ONI kurang dari -0,5, kondisi tersebut menunjukkan fase La Niña, sementara nilai antara -0,5 hingga 0,5 dianggap netral, dan nilai di atas 0,5 menandakan fase El Niño (Karuniasa & Pambudi, 2022). ONI ini memiliki peran penting sebagai salah satu indikator utama dalam penelitian klimatologi terutama pada fenomena iklim global ENSO.

Ekstraksi dan unduh data curah hujan CHIRPS pada penelitian ini

menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Setelah mendapatkan data curah hujan CHIRPS, kemudian dilakukan koreksi bias curah hujan tersebut terhadap curah hujan observasi. Proses koreksi bias antara data CHIRPS dengan data curah hujan observasi di lapangan dilakukan untuk mengurangi ketidakakuratan atau ketidaksesuaian data curah hujan yang digunakan dalam penelitian (Dos Reis et al., 2017). Koreksi bias data iklim dilakukan dengan metode rasio rata-rata (Firmansyah et al., 2022). Metode ini menggunakan rasio data iklim bulanan rata-rata observasi yang dibandingkan dengan data iklim bulanan rata-rata satelit (Persamaan 1).

$$P_{*kor} = P_{model} \times \left[\frac{\bar{x}P_{obs}}{\bar{x}P_{model}} \right] \quad (1)$$

Dimana P_{*kor} adalah data curah hujan terkoreksi; P_{raw} adalah data curah hujan bulanan CHIRPS; $\bar{x}P_{obs}$ adalah data curah hujan bulanan rata-rata observasi; dan $\bar{x}P_{model}$ adalah data iklim bulanan rata-rata CHIRPS.

Kinerja koreksi bias menggunakan metode rasio rata-rata diuji dengan beberapa parameter, yaitu koefisien korelasi (r) untuk menilai kekuatan hubungan linier antar variabel (persamaan 2); *Mean Bias Error* (MBE) yang mengukur rata-rata perbedaan antara nilai hasil model dan data observasi (persamaan 3) (Misnawati et al., 2018); *Root Mean Square Error* (RMSE) yang menunjukkan tingkat bias statistik antara hasil model dan data observasi (persamaan 4); *Mean Absolute Error* (MAE) yang memberikan rata-rata nilai absolut selisih antara data model dan observasi (persamaan 5); serta *Percent Bias* (PBIAS) yang mengukur total bias sebagai persentase terhadap data observasi (persamaan 6) (Atiah et al., 2023).

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x - \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2) - (n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (2)$$

Dimana x adalah data observasi dan y adalah data model CHIRPS.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Pi - Oi) \quad (3)$$

Dimana Pi adalah data model dan Oi adalah data observasi, dengan interpretasi $MBE > 0$: model overestimasi (terlalu tinggi), $MBE < 0$: model underestimasi (terlalu rendah), dan $MBE = 0$: tidak ada bias rata-rata.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2} \quad (4)$$

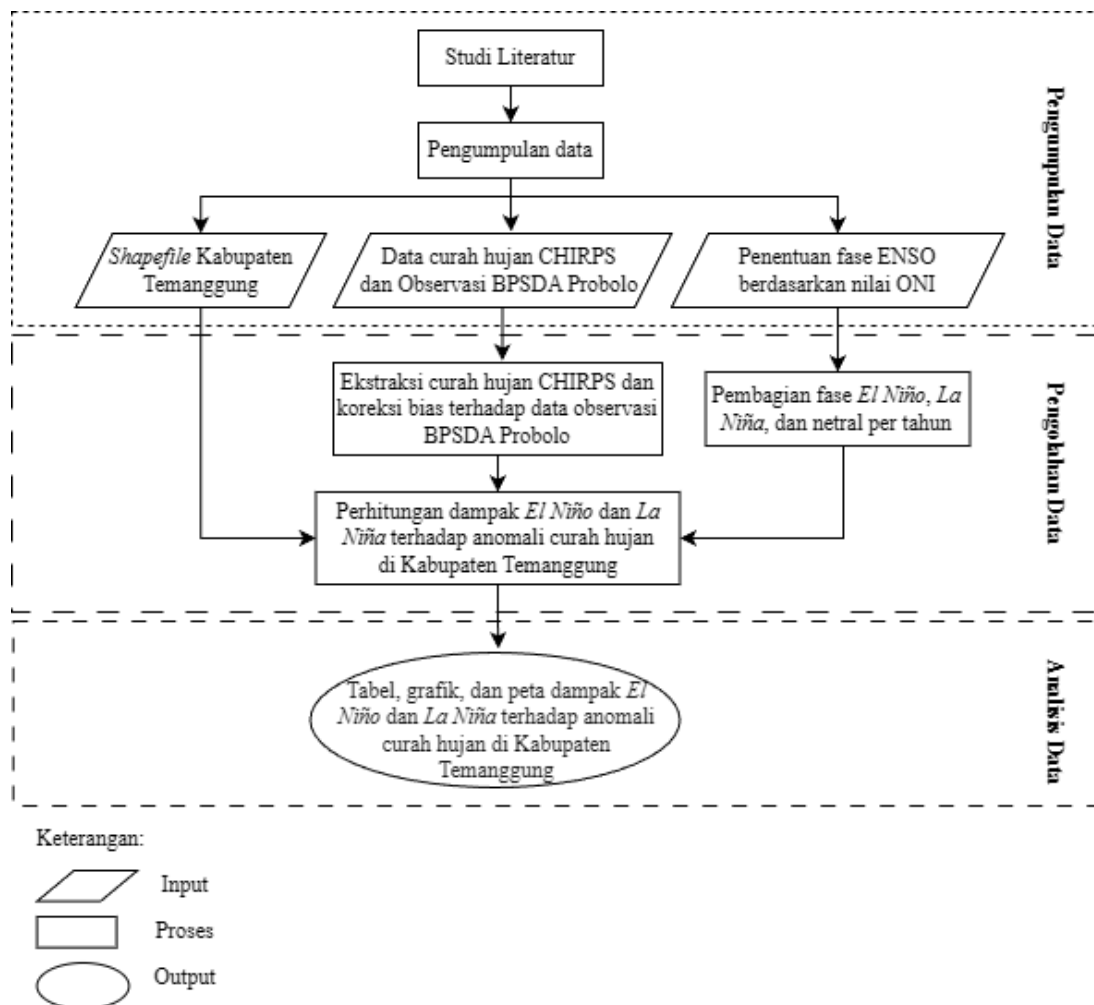
Dimana Pi adalah data model dan Oi adalah data observasi. Interpretasi hasil RMSE yang lebih kecil menunjukkan kesesuaian model yang lebih baik terhadap data observasi.

$$MAE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Pi - Oi|} \quad (5)$$

Dimana Pi adalah data model dan Oi adalah data observasi, dengan interpretasi seperti RMSE, tapi tidak memberi penalti besar pada outlier. MAE lebih "toleran" terhadap error ekstrem.

$$PBIAS = \frac{\sum(Pi - Oi)}{\sum Oi} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana Pi adalah data model dan Oi adalah data observasi. Interpretasi hasil dari *Percent Bias* (PBIAS) ini adalah apabila $PBIAS > 0$: model terlalu tinggi (overestimasi), $PBIAS < 0$: model terlalu rendah (underestimasi), dan nilai mendekati 0 = hasil koreksi bias lebih akurat. Diagram alir dari penelitian ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN
Analisis Kejadian ENSO

Penentuan kejadian ENSO dalam penelitian ini menggunakan nilai *Oceanic Niño Index* (ONI) yang diukur dari suhu muka laut (SST) oleh NOAA di wilayah *Nino 3.4* untuk periode 1995 hingga 2024. Suatu periode dianggap mengalami fase *El Niño* jika nilai ONI $\geq 0,5$ selama minimal lima bulan berturut-turut, sedangkan fase *La Niña* terjadi bila ONI $\leq -0,5$ dalam waktu yang sama. Jika ONI berada antara $-0,4$ sampai $0,4$, kondisi ENSO dikategorikan netral. Intensitas ENSO juga diklasifikasikan berdasarkan besaran ONI, mulai dari ringan ($\pm 0,5$ – $\pm 0,9$), sedang ($\pm 1,0$ – $\pm 1,4$), kuat ($\pm 1,5$ – $\pm 1,9$), hingga

ekstrem jika nilai ONI mencapai $\geq \pm 2,0$ (Hidayat et al., 2018).

Secara keseluruhan, fase *El Niño* tercatat terjadi delapan kali dalam periode 1995 hingga 2024, sementara fase *La Niña* muncul sebanyak dua belas kali (Tabel 2). Fase *El Niño* terpanjang berlangsung dari Oktober 2014 hingga April 2016 selama 19 bulan, dengan intensitas yang masuk kategori kuat dan lebih kuat daripada tahun 1997 (Yuniasih et al., 2023). Sedangkan fase *La Niña* terlama terjadi dari Juli 1998 hingga Februari 2001 selama 32 bulan, dengan tingkat intensitas sedang hingga kuat. *La Niña* cenderung memiliki periode kejadian yang lebih lama dan lebih intens dibandingkan dengan *El Niño* (Wang et al., 2023).

Tabel 2. Pembagian Fase ENSO Berdasarkan Nilai ONI Tahun 1995 - 2024

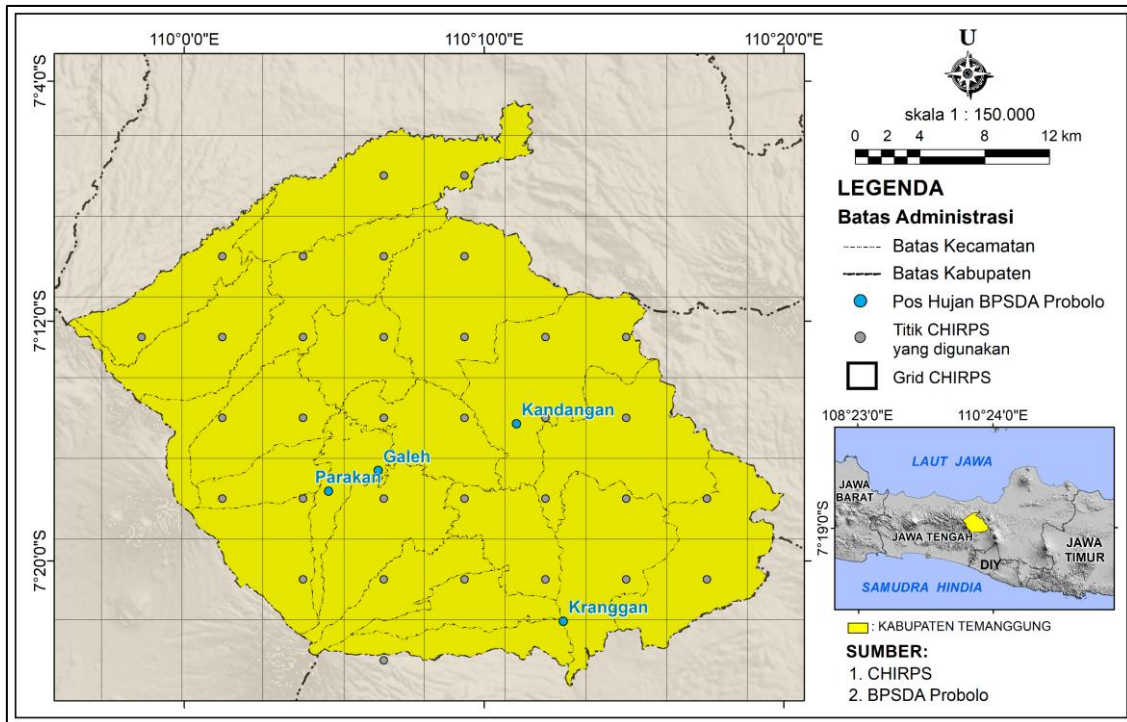
Kategori	Rentang ONI	Fase ENSO	Periode Waktu
Netral	$-0.5 \leq \text{ONI} \leq +0.5$	Netral	1996, 2001, 2003, 2012, 2013, 2014, 2017, 2018, 2024
Lemah	0.5 hingga 0.9	El Niño Lemah	2002, 2004-2005, 2006-2007, 2019
	-0.5 hingga -0.9	La Niña Lemah	1995-1996, 2005-2006, 2008-2009, 2012, 2016, 2018
Sedang	1.0 hingga 1.4	El Niño Sedang	2009-2010
	-1.0 hingga -1.4	La Niña Sedang	1998-2001, 2007-2008, 2010-2011, 2020-2022
Kuat	> 1.5	El Niño Kuat	1997-1998, 2015-2016, 2023-2024
	< -1.5	La Niña Kuat	1999-2000, 2021-2022

Sumber: Pengolahan data ONI dari NOAA

Hasil ekstraksi data CHIRPS menghasilkan 55 titik koordinat data (Gambar 3). Dari data titik curah hujan CHIRPS bulanan ini akan dilakukan yang koreksi bias dari stasiun observasi yang menjadi sampel. Terdapat 4 stasiun observasi dari BPSDA Probolo yang terdapat di Kabupaten Temanggung yaitu stasiun parakan, galeh, kranggan, dan kandang yang digunakan untuk menjadi acuan perhitungan koreksi bias data CHIRPS.

Metode rasio rata-rata digunakan untuk mengoreksi bias pada data curah hujan

satelit, terutama di wilayah yang sangat bergantung pada data tersebut karena minimnya pengamatan langsung. Setelah koreksi, evaluasi dilakukan dengan indikator statistik seperti MBE, RMSE, MAE, dan PBIAS untuk menilai tingkat perbaikan. Tujuannya adalah mengurangi kesalahan sistematis, menyelaraskan data satelit dengan observasi, dan meningkatkan akurasi prediksi dalam model hidrologi dan iklim (Bárdossy et al., 2021).



Gambar 3. Peta Titik CHIRPS dan Stasiun Hujan Observasi BPSDA Probolo di Kabupaten Temanggung

Proses koreksi bias dimulai dengan menghitung faktor koreksi rasio rata-rata untuk tiap stasiun pengamatan. Didapatkan nilai sebesar 0,797 untuk Parakan, 0,670 untuk Galeh, 0,769 untuk Kandangan, dan 0,963 untuk Kranggan. Rata-rata faktor koreksi dari keempat stasiun tersebut adalah 0,799, yang kemudian digunakan untuk mengkalibrasi data curah hujan CHIRPS selama 30 tahun di Kabupaten Temanggung. Pendekatan ini sudah terbukti efektif dalam menyesuaikan data satelit dengan data observasi lokal sehingga menghasilkan data yang lebih akurat untuk analisis anomali iklim (Londhe et al., 2023).

Evaluasi koreksi dilakukan dengan berbagai indikator statistik. Koefisien korelasi meningkat dari rata-rata 0,83 menjadi 0,88 setelah koreksi, menunjukkan hubungan yang semakin kuat antara data CHIRPS dan data observasi (Tabel 3). Nilai MBE, yang mengukur selisih rata-rata antara data model dan observasi, turun mendekati nol setelah koreksi, menandakan perbaikan

akurasi. Selain itu, nilai RMSE juga menurun dari 110,9 mm/bulan menjadi 68,9 mm/bulan, dan MAE berkurang dari 83,9 mm/bulan menjadi 50,5 mm/bulan, yang secara keseluruhan menunjukkan peningkatan signifikan pada estimasi curah hujan satelit setelah koreksi. Namun, efektivitas koreksi ini sedikit berbeda di tiap stasiun, misalnya di Kranggan yang memiliki variabilitas curah hujan lebih tinggi.

Persentase bias (PBIAS) menunjukkan perbaikan paling jelas, dari bias positif rata-rata 27,1% sebelum koreksi menjadi mendekati nol setelah koreksi menggunakan metode rasio rata-rata. Hal ini berarti estimasi curah hujan CHIRPS yang telah dikoreksi sangat mendekati nilai observasi sebenarnya. Metode rasio rata-rata dipilih karena efisiensinya dan kemudahannya dalam interpretasi, khususnya di wilayah dengan data observasi terbatas (Alyavara et al., 2025).

Scatter plot pada masing-masing stasiun hujan menunjukkan adanya

hubungan linier searah antara curah hujan observasi dan data CHIRPS, baik sebelum maupun setelah koreksi (Gambar 4). Data curah hujan CHIRPS bekerja lebih baik di daerah dengan curah hujan tinggi dan dataran tinggi seperti Kabupaten Temanggung (Belay et al., 2019). Pada CHIRPS asli terlihat bahwa sebaran titik masih relatif menyebar dan lebih jauh terhadap garis regresi, terutama pada nilai curah hujan menengah hingga tinggi. Hal ini menunjukkan meskipun CHIRPS mampu menggambarkan pola umum curah hujan, masih terdapat perbedaan nilai pada skala lokal yang dipengaruhi oleh kondisi fisik wilayah, seperti variasi topografi dan proses hujan setempat.

Setelah dilakukan koreksi, pola sebaran titik pada scatter plot menjadi lebih rapat dan lebih mendekat terhadap

sumbu x yang merupakan data hujan observasi dari masing-masing stasiun hujan. Perubahan ini menunjukkan adanya peningkatan kesesuaian antara data satelit dan data observasi lapangan, yang sejalan dengan hasil evaluasi statistik yang menunjukkan perbaikan kinerja. Koreksi tidak hanya mengurangi besarnya kesalahan secara numerik, tetapi juga meningkatkan konsistensi hubungan linier antara kedua sumber data tersebut.

Perbedaan karakter sebaran antar stasiun mencerminkan pengaruh kondisi geografis setempat terhadap ketelitian data CHIRPS. Stasiun dengan variasi data curah hujan yang lebih tinggi cenderung menunjukkan sebaran data yang lebih lebar. Keterbatasan dalam data curah hujan observasi yang tersedia juga menjadi tantangan dalam penelitian ini.

Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi (r) Serta Perbandingan Uji MBE, RMSE, MAE, dan PBIAS antara Curah Hujan Observasi dengan Data CHIRPS

No	Stasiun Hujan	r	CHIRPS asli				Faktor Koreksi	r koreksi	CHIRPS koreksi			
			MBE	RMSE	MAE	PBIAS			MBE	RMSE	MAE	PBIAS
1	Parakan	0,81	51,5	105,6	75,1	25,5	0,797	0,94	0,0	46,5	37,4	0,0
2	Galeh	0,85	81,2	121,2	91,6	49,1	0,670	0,88	0,0	62,5	46,2	0,0
3	Kandangan	0,80	57,2	113,8	84,9	30,0	0,769	0,83	0,0	76,0	55,4	0,0
4	Kranggan	0,84	8,8	102,8	77,4	3,8	0,963	0,88	0,0	90,7	63,1	0,0
Rata-rata		0,83	49,7	110,9	83,9	27,1	0,799	0,88	0,0	68,9	50,5	0,0

Sumber: Pengolahan data CHIRPS

Dampak ENSO Terhadap Anomali Curah Hujan di Kabupaten Temanggung

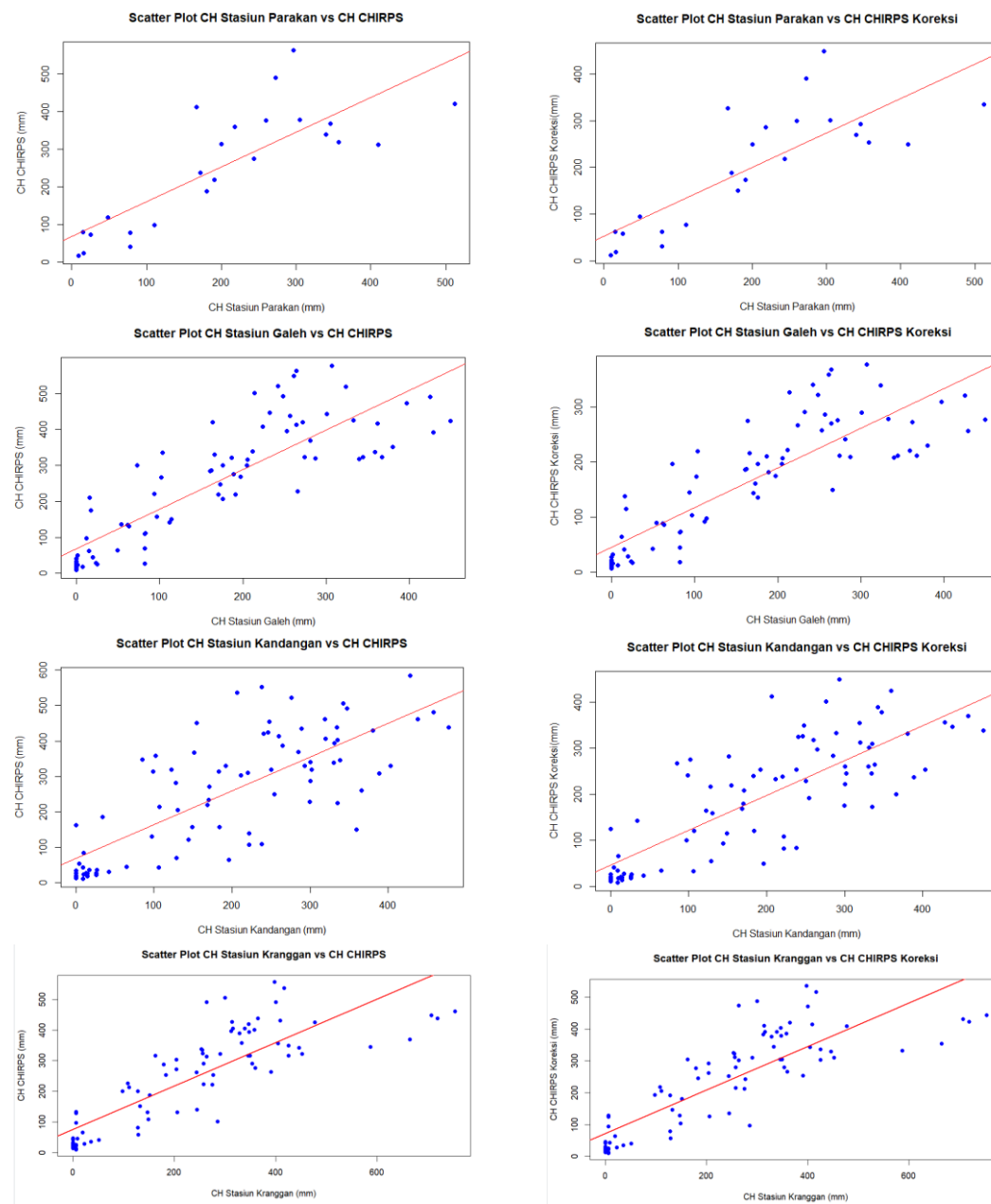
Analisis dampak ENSO terhadap anomali curah hujan dilakukan dengan membagi data berdasarkan fase *El Niño* dan *La Niña*. Sebagai acuan untuk menghitung anomali curah hujan, digunakan nilai rata-rata curah hujan pada tahun-tahun dengan kondisi ENSO netral, yaitu tahun 2001, 2003, 2004, 2005, 2013, dan 2014, di mana nilai ONI umumnya berada dalam rentang -0,5 hingga +0,5 meskipun terdapat beberapa bulan dengan nilai ONI di luar batas netral. Data rata-rata curah hujan pada fase *El Niño* diambil dari

tahun-tahun dengan nilai ONI di atas 1, seperti tahun 1997, 1998, 2015, 2016, 2023, dan 2024. Sedangkan untuk fase *La Niña*, rata-rata curah hujan dihitung dari tahun-tahun dengan nilai ONI kurang dari -1, yakni pada akhir tahun 1998 hingga 2000, serta tahun 2007, 2008, 2010, 2011, 2020, 2021, dan 2022.

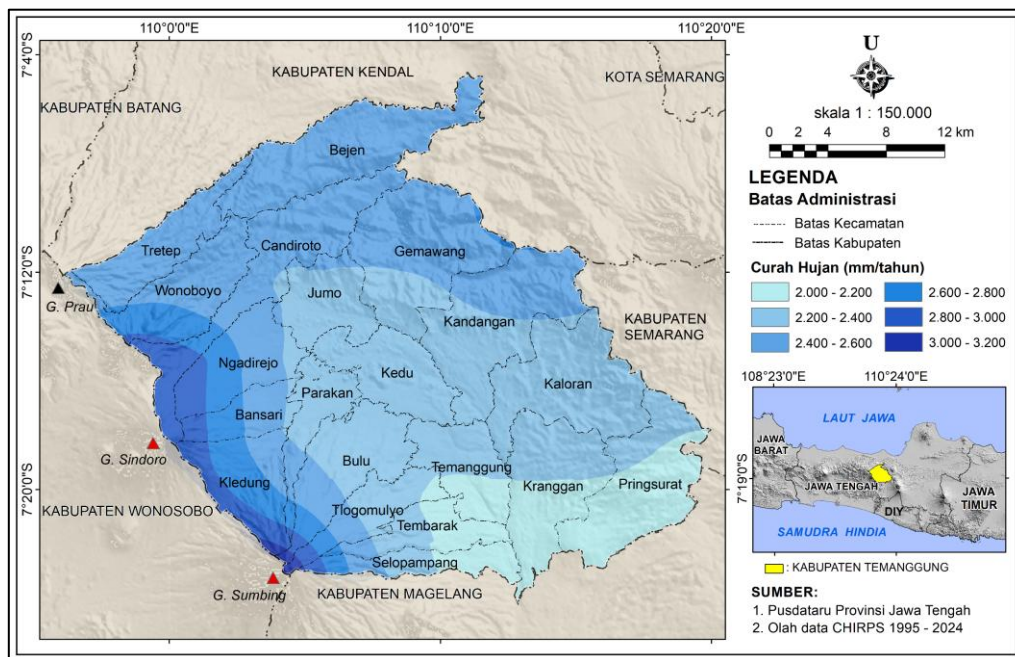
Sebaran spasial curah hujan tahunan pada fase ENSO netral di Kabupaten Temanggung selama periode 1995 hingga 2024 menunjukkan intensitas tertinggi berada di lereng atas Gunung Sindoro dengan curah hujan mencapai 3.000 hingga 3.200 mm per tahun, yang terletak di sisi selatan hingga barat daya

wilayah Kabupaten Temanggung (Gambar 5). Daerah dengan curah hujan tahunan tertinggi kedua, sekitar 2.800 hingga 3.000 mm, ditemukan di lereng tengah Gunung Sindoro dan Gunung Sumbing, meliputi sebagian Kecamatan Selopampang, Tembarak, Tlogomulyo, dan beberapa kecamatan lainnya. Curah hujan

cenderung menurun seiring dengan turunnya elevasi, di mana dataran tinggi secara umum menerima curah hujan lebih banyak dibandingkan dataran rendah di sekitarnya, khususnya pada wilayah yang menghadap arah angin (Qothrunada & Risnayah, 2020).



Gambar 4. Scatter Plot antara Data Curah Hujan Observasi BPSDA Probolo dan CHIRPS asli serta CHIRPS koreksi di Kabupaten Temanggung



Gambar 5. Peta Curah Hujan Tahunan Fase Netral di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024

Fase ENSO baik *El Niño* maupun *La Niña* memengaruhi cuaca dan pola curah hujan tahunan secara berbeda di setiap wilayah Indonesia (Afghani et al., 2025). Hasil pengolahan data anomali curah hujan selama fase ENSO di Kabupaten Temanggung menunjukkan bahwa *El Niño* lebih berdampak pada musim kemarau hingga awal musim hujan pada bulan Januari, sementara pengaruhnya relatif kecil pada Februari hingga April meskipun nilai ONI sudah menunjukkan kategori *El Niño*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan di Provinsi Jawa Tengah oleh Yustiana et al. (2023).

Secara keseluruhan, *El Niño* menyebabkan penurunan rata-rata curah hujan sebesar 20,6% di Kabupaten Temanggung, dengan penurunan tertinggi mencapai 82,9% pada bulan Oktober, diikuti oleh Juni dan September (Tabel 4). Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Athoillah et al. (2017) mengenai *El Niño* kuat tahun 2015 yang terlihat dampaknya

pada musim kering yaitu berupa penurunan curah hujan sekitar 50-300 mm/bulan pada musim kemarau bulan Agustus-Oktober 2015 di wilayah Indonesia bagian selatan.

Fase *La Niña* dengan intensitas sedang hingga kuat menyebabkan peningkatan curah hujan hampir di seluruh bulan, kecuali Januari dan Juni yang mungkin dipengaruhi data anomali serta faktor iklim lainnya. Kenaikan paling kecil terjadi pada Februari sebesar 6 mm (1,8%), sementara peningkatan signifikan terjadi pada Agustus (47 mm, 138,8%), September (49 mm, 101,4%), dan Oktober (78 mm, 55,2%). Secara keseluruhan, curah hujan tahunan naik sekitar 340 mm atau 14% dibandingkan kondisi normal. Meski *La Niña* berkaitan dengan peningkatan curah hujan yang jelas, dampaknya di Kabupaten Temanggung tidak sebesar *El Niño*, karena pengaruh *La Niña* cenderung lebih singkat dan kurang kuat di Indonesia (Qian et al., 2010).

Tabel 4. Anomali Curah Hujan Saat *El Niño* Dan *La Niña* Di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 - 2024

Bulan	CH Normal (mm)	CH <i>El Niño</i> Kuat (mm)	Anomali CH (mm/bulan)	Anomali (%)	CH Normal (mm)	CH <i>La Niña</i> Kuat(mm)	Anomali CH (mm/bulan)	Persentase anomali (%)
Jan	346	228	-118	-34.1	346	319	-27	-7.9
Feb	348	400	52	15.0	348	354	6	1.8
Mar	325	353	28	8.5	325	370	45	13.9
Apr	226	270	43	19.1	226	265	39	17.3
Mei	158	114	-44	-27.9	158	176	17	10.9
Jun	122	37	-85	-69.4	122	101	-21	-17.1
Jul	65	31	-34	-51.9	65	83	18	28.2
Aug	34	17	-17	-49.3	34	81	47	138.8
Sep	48	16	-32	-67.0	48	97	49	101.4
Okt	141	24	-117	-82.9	141	218	78	55.2
Nov	267	170	-97	-36.3	267	323	56	21.1
Des	350	268	-82	-23.5	350	383	33	9.3
Total	2430	1928	-502	-20.6	2430	2770	340	14.0

Sumber: Pengolahan data CHIRPS

Gambar 6 memperlihatkan grafik tren rata-rata curah hujan bulanan selama tahun dengan kondisi netral, *El Niño*, dan *La Niña*. Pada fase *El Niño*, curah hujan secara signifikan menurun terutama antara bulan Mei hingga Oktober, dengan titik terendah sekitar 20 mm/bulan pada bulan Juli dan Agustus, yang mengindikasikan dapat menyebabkan potensi kekeringan parah jika *El Niño* berlangsung pada periode tersebut.

Fase *La Niña* memperlihatkan curah hujan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi netral, khususnya dari Juli hingga Desember, dengan puncak curah hujan hampir mencapai 400 mm per bulan pada bulan Desember. Data menunjukkan bahwa dampak *La Niña* paling terasa peningkatan curah hujan rata-rata pada bulan Agustus hingga Desember, saat awal musim hujan mulai berlangsung, namun berkurang pada puncak musim hujan di Januari dan Februari.

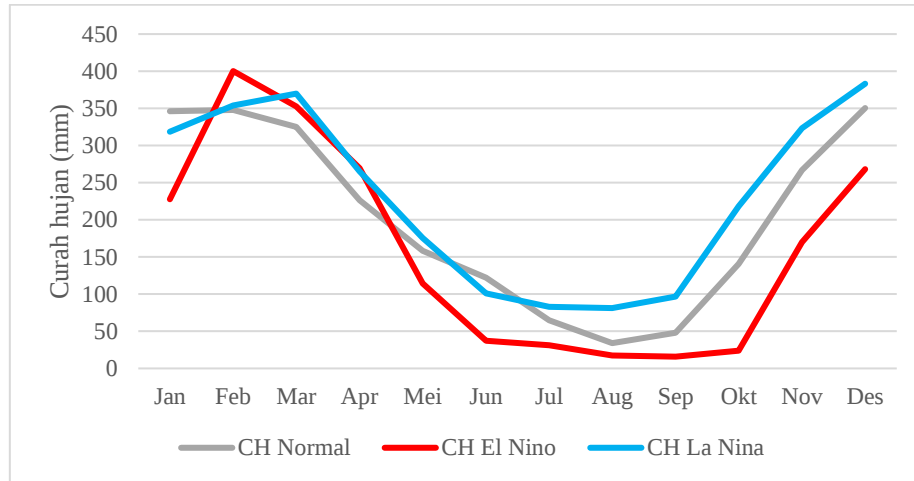
Salah satu faktor pembentuk pola peningkatan curah hujan dari fase *La Niña* disebabkan oleh sumber kelembapan dari Samudra Hindia dan angin timur yang

lemah yang meningkatkan presipitasi di sisi selatan wilayah studi. Saat musim hujan mencapai puncaknya, pola angin berganti menjadi angin barat, yang memengaruhi tingkat pengaruh ENSO terhadap curah hujan setempat. Selain itu, faktor lokal seperti kondisi geografis turut menentukan seberapa besar dampak *El Niño* dan *La Niña* terhadap anomali curah hujan di suatu daerah (Huang et al., 2025).

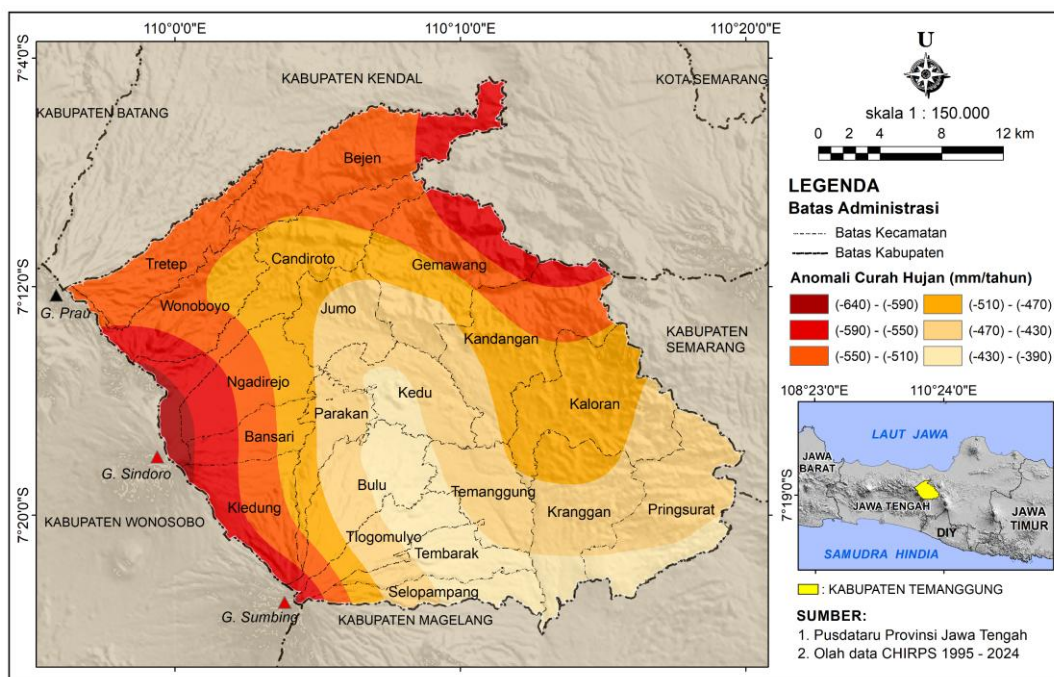
Sebaran anomali curah hujan tahunan selama fase *El Niño* di Kabupaten Temanggung disajikan pada Gambar 7, dengan nilai anomali berkisar antara -390 hingga -640 mm per tahun. Pola penyebaran anomali ini mengikuti bentuk topografi wilayah, dimana penurunan curah hujan terbesar terjadi di lereng atas Gunung Sumbing di bagian barat daya, dengan nilai antara -590 sampai -640 mm per tahun. Wilayah yang lebih rendah, seperti lembah di sekitar Kecamatan Bulu, Tembarak, Temanggung, dan Selopampang, mengalami penurunan curah hujan yang relatif lebih kecil, yaitu antara -390 hingga -430 mm per tahun. Kondisi topografi di daerah dataran tinggi

seperti Kabupaten Temanggung memiliki pengaruh dalam variasi curah hujan yang lebih tinggi, terlebih ketika ada fenomena

iklim seperti *El Niño* maupun *La Niña* (Hidayat & Ando, 2014).



Gambar 6. Rata-Rata Curah Hujan Bulanan Pada Fase Netral, *El Niño*, Dan *La Niña* Di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024
Sumber: Pengolahan data CHIRPS



Gambar 7. Peta Rata-Rata Anomali Curah Hujan Tahunan Saat *El Niño* di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024

Gambar 8 memperlihatkan sebaran spasial anomali curah hujan tahunan selama fase *La Niña* di Kabupaten Temanggung. Peningkatan curah hujan tertinggi, antara 450 hingga 490 mm per

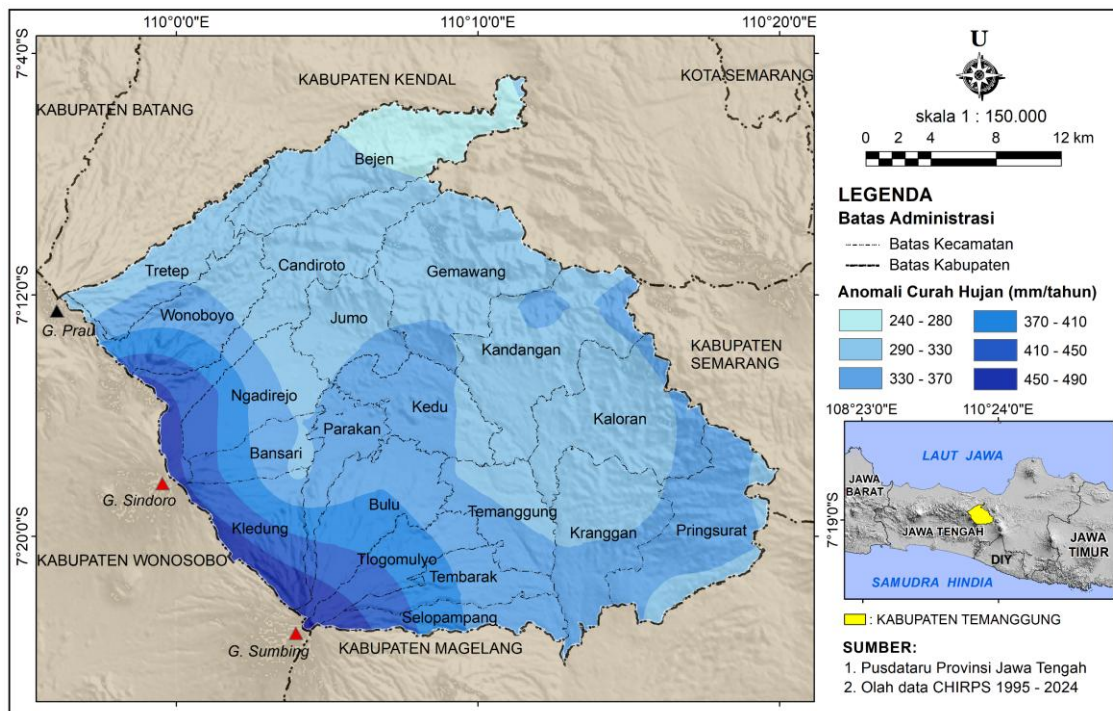
tahun, terjadi di lereng atas Gunung Sumbing dan Sindoro, meliputi beberapa kecamatan di barat daya kabupaten seperti Kledung, Ngadirejo, dan Parakan. Pola anomali ini mirip dengan fase *El Niño*,

yakni intensitas tertinggi di bagian barat daya dan menurun menuju utara, sesuai dengan kondisi topografi. Peningkatan curah hujan terendah, sekitar 240 sampai 280 mm per tahun, ditemukan di wilayah utara Kabupaten Temanggung, terutama di Kecamatan Bejen yang berbatasan dengan Kabupaten Kendal.

Hasil ini sejalan dengan penelitian pola distribusi curah hujan akibat *La Niña* di Indonesia oleh As-syakur et al. (2014). Pada periode Juni hingga November 1998, *La Niña* kuat menyebabkan peningkatan curah hujan lebih dari 100% di wilayah selatan Indonesia, terutama di Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, serta bagian barat dan utara Sumatra, dengan puncak intensitas selama bulan-bulan tersebut. Dampak *La Niña* bersifat dinamis, awalnya mempengaruhi bagian selatan Indonesia, kemudian bergeser ke utara dan berakhir di timur. Temuan ini sejalan dengan studi ini, dimana daerah selatan-barat daya penelitian menunjukkan

peningkatan curah hujan hingga 490 mm/tahun yang semakin melemah ke arah utara menuju 240 mm/tahun.

Dampak anomali curah hujan di Kabupaten Temanggung ini lebih detail juga dipengaruhi oleh berbagai faktor iklim global yang kompleks. Faktor iklim yang dimaksud antara lain perubahan suhu permukaan laut di wilayah perairan Indonesia, posisi zona konvergensi Sirkulasi Walker, Zona Konvergensi Intertropis (ITCZ) yang menjadi pertemuan massa udara dari belahan bumi utara dan selatan, serta perubahan arah dan kecepatan angin monsun. Selain itu, kondisi geografis Kabupaten Temanggung yang memiliki keberagaman topografi juga ikut memengaruhi. Faktor-faktor ini dapat terjadi secara bersamaan dengan intensitas yang berbeda-beda dan berubah-ubah sepanjang bulan hingga tahun yang memengaruhi sejauh mana fenomena *El Niño* dan *La Niña* berdampak pada pola curah hujan di Kabupaten Temanggung.



Gambar 8. Peta Rata-Rata Anomali Curah Hujan Tahunan Saat *La Niña* di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024

KESIMPULAN

El Niño menyebabkan penurunan curah hujan yang signifikan di Kabupaten Temanggung, terutama pada musim kemarau hingga awal musim hujan, dengan penurunan hingga 82,9%. Dampaknya bervariasi secara spasial, dengan wilayah lereng pegunungan terdampak lebih besar dibandingkan daerah yang memiliki elevasi lebih rendah. Sebaliknya, *La Niña* meningkatkan curah hujan, terutama pada pertengahan musim kemarau dan puncaknya pada Desember, dengan dampak terkuat pada daerah lereng gunung yang berada di barat daya dari Kabupaten Temanggung ini.

Pemahaman mengenai dampak ENSO terhadap kondisi curah hujan di Kabupaten Temanggung penting untuk merencanakan strategi mitigasi terhadap potensi kekeringan saat *El Niño* dan banjir saat *La Niña*, mengingat pengaruh perubahan iklim di masa depan.

Penelitian ini memiliki beberapa kelemahan, antara lain terbatasnya data curah hujan observasi yang digunakan untuk koreksi data CHIRPS, sehingga hasil koreksi bias belum dapat maksimal untuk diaplikasikan pada rentang periode penelitian. Selain itu, penelitian ini belum mempertimbangkan faktor-faktor lain yang juga dapat mempengaruhi kondisi curah hujan di lokasi penelitian, seperti fenomena iklim *Indian Ocean Dipole* (IOD) maupun siklon yang periode waktu terjadinya tidak menentu dan dapat memengaruhi kondisi curah hujan yang lebih ekstrem.

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan faktor iklim lain seperti fenomena IOD dan siklon yang pernah terjadi di sekitar wilayah kajian. Selain itu, penting untuk mengkaji dampak fenomena ENSO dalam konteks perubahan iklim yang lebih luas, serta mengembangkan model prediksi untuk

masa depan sebagai langkah strategi mitigasi yang lebih efektif di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afghani, F. A., Ravaella Lumbantobing, G., Christian Halawa, J., Yehezkiel Sidauruk, V., & Giarno. (2025). Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Curah Hujan di Pesisir Dan Pegunungan: Studi Kasus Tanjung Priok, DKI Jakarta, Dan Puncak, Jawa Barat. *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 9(2), 292–311.
<https://doi.org/10.22236/jgel.v9i2.17930>
- Alyavara, M. F., Suhartanto, E., & Prasetyorini, L. (2025). Evaluasi Kinerja Teknik Koreksi Bias untuk Meningkatkan Akurasi Global Precipitation Measurement (GPM) di Daerah Aliran Sungai Rejoso, Indonesia. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 9(2), 165–180.
<https://doi.org/10.59465/jppdas.2025.9.2.165-180>
- Amirudin, A. A., Salimun, E., Tangang, F., Juneng, L., & Zuhairi, M. (2020). Differential influences of teleconnections from the Indian and Pacific Oceans on rainfall variability in Southeast Asia. *Atmosphere*, 11(9).
<https://doi.org/10.3390/ATMOS11090886>
- As-syakur, Abd. R., Adnyana, I. W. S., Mahendra, M. S., Arthana, I. W., Merit, I. N., Kasa, I. W., Ekayanti, N. W., Nuarsa, I. W., & Sunarta, I. N. (2014). Observation of spatial patterns on the rainfall response to ENSO and IOD over Indonesia using TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA). *International*

- Journal of Climatology*, 34(15), 3825–3839.
<https://doi.org/10.1002/joc.3939>
- Athoillah, I., Sibarani, R. M., & Doloksaribu, D. E. (2017). Analisis Spasial El Nino Kuat Tahun 2015 dan La Nina Lemah Tahun 2016 (Pengaruhnya Terhadap Kelembapan, Angin dan Curah Hujan di Indonesia). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 18(1).
<https://ejournal.brin.go.id/JSTMC/article/view/1310>
- Atiah, W. A., Johnson, R., Muthoni, F. K., Mengistu, G. T., Amekudzi, L. K., Kwabena, O., & Kizito, F. (2023). Bias correction and spatial disaggregation of satellite-based data for the detection of rainfall seasonality indices. *Heliyon*, 9(7).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17604>
- Bárdossy, A., Seidel, J., & El Hachem, A. (2021). The use of personal weather station observations to improve precipitation estimation and interpolation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(2), 583–601.
<https://doi.org/10.5194/hess-25-583-2021>
- Belay, A. S., Fenta, A. A., Yenehun, A., Nigate, F., Tilahun, S. A., Moges, M. M., Dessie, M., Adgo, E., Nyssen, J., Chen, M., Griensven, A. V., & Walraevens, K. (2019). Evaluation and Application of Multi-Source Satellite Rainfall Product CHIRPS to Assess Spatio-Temporal Rainfall Variability on Data-Sparse Western Margins of Ethiopian Highlands. *Remote Sensing*, 11(22), 2688.
<https://doi.org/10.3390/rs11222688>
- BPS Temanggung. (2025). *Kabupaten Temanggung dalam angka 2025* (pp. 1–348). Badan Pusat Statistik Kabupaten Temanggung.
- Cahyarini, S. Y., & Henrizan, M. (2018). Coral based-ENSO/IOD related climate variability in Indonesia: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012052>
- Dos Reis, J. B. C., Rennó, C. D., & Lopes, E. S. S. (2017). Validation of satellite rainfall products over a mountainous watershed in a humid subtropical climate region of Brazil. *Remote Sensing*, 9(12).
<https://doi.org/10.3390/rs9121240>
- Firmansyah, A. J., Nurjani, E., & Sekaranom, A. B. (2022). Effects of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on rainfall anomalies in Central Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(24), 1746.
<https://doi.org/10.1007/s12517-022-11016-2>
- Firmansyah, A. J., Nurjani, E., & Sekaranom, A. B. (2025). Dampak El Niño dan La Niña Terhadap Suhu Maksimum di Kabupaten Temanggung. *Jurnal Sains Informasi Geografi*, 8(1), 45.
<https://doi.org/10.31314/jsig.v8i1.4385>
- Hidayat, Efendi, U., Agustina, L., & Winarso, P. A. (2018). Korelasi indeks Nino 3.4 dan southern oscillation index (SOI) dengan variasi curah hujan di Semarang. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 75.
<https://doi.org/10.29122/jstmc.v19i2.3143>
- Hidayat, R., & Ando, K. (2014). Variabilitas Curah Hujan Indonesia dan Hubungannya dengan

- ENSO/IOD: Estimasi Menggunakan Data JRA-25/JCDAS. *Agromet*, 28(1), 1. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.28.1.1-8>
- Hidayati, I. N. & Suryanto. (2015). Pengaruh perubahan iklim terhadap produksi pertanian dan strategi adaptasi pada lahan rawan kekeringan. *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, 16(1), 42–52.
- Huang, C., Yeh, C. M., Ufongene, C., Fashina, T., Chan, R. V. P., Shantha, J. G., Yeh, S., & Mwanza, J.-C. (2025). Impact of El Nino Southern Oscillation and Climate Change on Infectious Diseases with Ophthalmic Manifestations. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 10(10), 297. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed10100297>
- Irwansyah. (2016). What do scientists say on climate change? A study of Indonesian newspapers. *Pacific Science Review B: Humanities and Social Sciences*, 2(2), 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.psr.2016.09.008>
- Isnaini, R. (2019). Analisis Bencana Tanah Longsor di Wilayah Provinsi Jawa Tengah. *Islamic Management and Empowerment Journal*, 1(2), 143–160. <https://doi.org/10.18326/imej.v1i2.143-160>
- Karuniasa, M., & Pambudi, P. A. (2022). The analysis of the El Niño phenomenon in the East Nusa Tenggara Province, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 52, 180–185. <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.140388>
- Londhe, D. S., Katpatal, Y. B., & Bokde, N. D. (2023). Performance Assessment of Bias Correction Methods for Precipitation and Temperature from CMIP5 Model Simulation. *Applied Sciences*, 13(16), 9142. <https://doi.org/10.3390/app13169142>
- Marjani, S., Alizadeh-Choobari, O., & Irannejad, P. (2019). Frequency of extreme El Niño and La Niña events under global warming. *Climate Dynamics*, 53(9–10), 5799–5813. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04902-1>
- Misnawati, Faqih, A., Boer, R., & June, T. (2018). Perbandingan metodologi koreksi bias data curah hujan CHIRPS. *LIMNOTEK Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 25(1), 18–29.
- Nizamani, M. M., Hughes, A. C., Wang, Y., Zhang, H.-L., & Lai, Z. (2025). Climate extremes and socioeconomic impact of El Niño and La Niña events. *Environmental Development*, 56, 101276. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101276>
- Nugroho, Tamagawa, I., & Harada, M. (2022). Spatiotemporal analysis on the teleconnection of ENSO and IOD to the stream flow regimes in Java, Indonesia. *Water*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/w14020168>
- Nurrohman, H., & Nurjani, E. (2017). Kajian Kekeringan Meteorologis Menggunakan Standardized Precipitation Index (SPI) di Provinsi Jawa Tengah. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 15(1). <https://doi.org/10.21831/gm.v15i1.16230>
- Qian, J.-H., Robertson, A. W., & Moron, V. (2010). Interactions among ENSO, the Monsoon, and Diurnal

- Cycle in rainfall variability over Java, Indonesia. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67(11), 3509–3524.
<https://doi.org/10.1175/2010JAS3348.1>
- Quispe-Ccalluari, C., Tam, J., Demarcq, H., Chamorro, A., Espinoza-Morriberón, D., Romero, C., Dominguez, N., Ramos, J., & Oliveros-Ramos, R. (2018). An index of coastal thermal effects of El Niño Southern Oscillation on the Peruvian Upwelling Ecosystem. *International Journal of Climatology*, 38(7), 3191–3201.
<https://doi.org/10.1002/joc.5493>
- Santoso, A., Mcphaden, M. J., & Cai, W. (2017). The Defining Characteristics of ENSO Extremes and the Strong 2015/2016 El Niño. *Reviews of Geophysics*, 55(4), 1079–1129.
<https://doi.org/10.1002/2017RG000560>
- Sekaranom, A. B., Nurjani, E., Hadi, M. P., & Marfai, M. A. (2018). Comparson of TRMM Precipitation Satellite Data over Central Java Region – Indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 37(3), 97–114.
<https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0028>
- Sekaranom, A. B., Nurjani, E., Harini, R., & Muttaqin, A. S. (2020). Simulation of daily rainfall data using articulated weather generator model for seasonal prediction of ENSO-affected zones in Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 52(2), 143.
<https://doi.org/10.22146/ijg.50862>
- Siroj, R. A., Afgani, W., Fatimah, Septaria, D., & Salsabila, G. Z. (2024). Metode Penelitian Kuantitatif Pendekatan Ilmiah untuk Analisis Data. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(3).
- Wang, B., Sun, W., Jin, C., Luo, X., Yang, Y.-M., Li, T., Xiang, B., McPhaden, M. J., Cane, M. A., Jin, F., Liu, F., & Liu, J. (2023). Understanding the recent increase in multiyear La Niñas. *Nature Climate Change*, 13(10), 1075–1081.
<https://doi.org/10.1038/s41558-023-01801-6>
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., & Wardana, D. A. S. (2023). Anomali iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013-2022. *AGROISTA : Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 136–143.
<https://doi.org/10.55180/agi.v6i2.332>
- Yustiana, M., Zainuri, M., Sugianto, D. N., Batubara, M. P. N., & Hidayat, A. M. (2023). Dampak Variabilitas Iklim Inter-Annual (El Niño, La Niña) Terhadap Curah Hujan dan Anomali Tinggi Muka Laut di Pantai Utara Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 109–124.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.48377>