

DAMPAK *EL NIÑO* DAN *LA NIÑA* TERHADAP SUHU MAKSIMUM DI KABUPATEN TEMANGGUNG***The Impact of El Niño and La Niña on Maximum Temperature in Temanggung Regency***Anugrah Jorgi Firmansyah¹, Emilya Nurjani², Andung Bayu Sekaranom²¹Program Studi Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia²Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, IndonesiaEmail Korespondensi: anugrahjorgi@mail.ugm.ac.id

Received: 13/06/2025 | Revised: 17/08/2025 | Accepted: 01/09/2025

DOI: <https://dx.doi.org/10.31314/jsig.v8i1.4385>

Abstract - This study analyzes the impact of the *El Niño* and *La Niña* phenomena on the maximum temperature in Temanggung Regency in the period 1995 to 2024. The *El Niño* and *La Niña* phenomena can affect temperature and rainfall which have the potential to change local climate conditions and cause hydrometeorological disasters. The method used in this study is spatial analysis using Google Earth Engine, ArcGIS, RStudio software, as well as monitoring the Oceanic Niño Index (ONI) to identify the *El Niño* and *La Niña* phases. The maximum temperature data obtained from the ERA5 reanalysis was corrected with AWS observation data. The mean ratio bias correction method is quite effective in improving the average correlation value of the ERA5 dataset in Temanggung Regency against AWS observation data. The previous average correlation value of -0.1 (before bias correction) strengthened to 0.685 (after bias correction). The data correction factor for ERA5 was 1.3204, which was applied to all ERA5 data points and can improve the MBE, RMSE, MAE, and PBIAS values to be smaller approaching zero so that the maximum temperature data from ERA5 can be used for data processing in this region. The results of the study indicate that the *El Niño* phase causes an increase in maximum temperature, while the *La Niña* phase tends to decrease the maximum temperature. Significant maximum temperature anomalies were recorded during the *El Niño* phase, with the highest temperature reaching 41°C in October or increasing by around 7.89% compared to the neutral phase, which can increase the potential risk of drought. During the *La Niña* phase, the average largest decrease in temperature was in November at -1.53°C or around 4.14% compared to the neutral phase. This study provides important insights for climate change mitigation planning in the Temanggung area, especially in the agriculture and health sectors.

Keywords: *El Niño*, *La Niña*, maximum temperature, Temanggung, ONI

Abstrak – Penelitian ini menganalisis dampak fenomena *El Niño* dan *La Niña* terhadap suhu maksimum di Kabupaten Temanggung pada periode 1995 hingga 2024. Fenomena *El Niño* dan *La Niña* dapat mempengaruhi suhu dan curah hujan yang berpotensi merubah kondisi iklim lokal dan menyebabkan bencana hidrometeorologis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis spasial menggunakan perangkat lunak Google Earth Engine, ArcGIS, RStudio, serta pemantauan indeks *Oceanic Niño Index* (ONI) untuk mengidentifikasi fase *El Niño* dan *La Niña*. Data suhu maksimum yang diperoleh dari reanalisis ERA5 dikoreksi bias dengan data observasi AWS. Koreksi bias menggunakan metode rasio rata-rata cukup efektif untuk memperbaiki nilai rata-rata korelasi dari dataset ERA5 di Kabupaten Temanggung terhadap data permukaan AWS. Rata-rata nilai korelasi sebelumnya sebesar -0,1 (sebelum koreksi bias) menguat menjadi 0,685 (setelah koreksi bias). Faktor koreksi data ERA5 sebesar 1,3204 yang diaplikasikan ke seluruh titik data ERA5 dan dapat memperbaiki nilai MBE, RMSE, MAE, dan PBIAS menjadi lebih kecil mendekati nol sehingga data suhu maksimum dari ERA5 dapat digunakan untuk pengolahan data di wilayah ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase *El Niño* menyebabkan peningkatan suhu maksimum dan fase *La Niña* cenderung menurunkan suhu maksimum. Anomali suhu maksimum yang signifikan tercatat selama fase *El Niño*, dengan suhu tertinggi mencapai 41°C pada bulan Oktober atau naik sekitar 7,89% dari fase netral, yang dapat meningkatkan potensi risiko kekeringan. Saat fase *La Niña*, rata-rata penurunan suhu terbesar berada pada bulan November sebesar -1,53°C atau sekitar

4,14% dari fase netral. Penelitian ini memberikan wawasan penting bagi perencanaan mitigasi perubahan iklim di wilayah Temanggung, khususnya dalam sektor pertanian dan kesehatan.

Kata kunci: *El Niño*, *La Niña*, suhu maksimum, iklim, ONI



Under the license CC BY-NC-SA 4.0

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim global (Irwansyah, 2016). Letaknya yang berada di kawasan khatulistiwa membuat Indonesia memiliki iklim tropis dengan dua musim utama, yakni musim hujan dan musim kemarau, yang terbentuk akibat pengaruh angin muson. Selain itu, kondisi iklim di wilayah ini juga dipengaruhi oleh fenomena alam seperti *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO) yang memiliki fase netral, *El Niño* (fase kering) dan *La Niña* (fase basah) (Cahyarini & Henrizan, 2018). Fenomena tersebut dapat berperan dalam menentukan merubah kondisi cuaca lokal yang pada saat tertentu dapat memicu bencana seperti kekeringan maupun banjir (Hidayati & Suryanto, 2015).

El Niño dan *La Niña* merupakan fenomena yang terjadi secara periodik, biasanya bergantian setiap empat tahun sekali (IPCC, 2007). Peristiwa ini ditandai oleh perubahan bersamaan pada suhu permukaan laut, tekanan udara, pola hujan, dan sirkulasi atmosfer di kawasan ekuator Samudra Pasifik. Selama fase *El Niño*, terjadi gangguan ekstrem pada kondisi laut dan atmosfer yang berdampak pada penurunan curah hujan dan membuat permukaan bumi lebih kering (McPhaden dkk., 2006). Sebaliknya, fase *La Niña* cenderung meningkatkan intensitas hujan dan menurunkan suhu di wilayah Indonesia, baik di musim kemarau maupun musim hujan (A. M. Hidayat dkk., 2018). Salah satu indikator utama untuk mendeteksi fenomena *El Niño* dan *La Niña* adalah melalui pemantauan *Oceanic Niño Index* (ONI) (Lindsey, 2009).

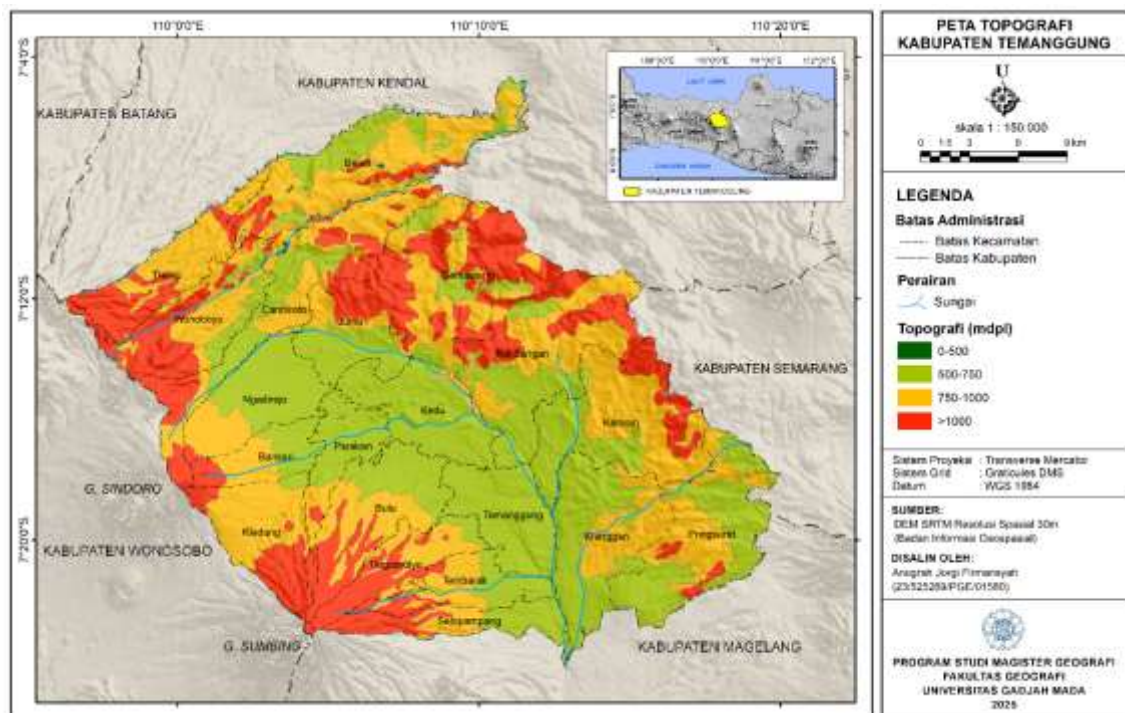
Oceanic Niño Index (ONI) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan dalam pemantauan dan prediksi fenomena *El Niño* maupun *La Niña*, dengan dasar pengukuran suhu permukaan laut (SPL) di wilayah *Niño 3.4*. Indeks ini diadopsi secara luas oleh institusi-institusi meteorologi, termasuk *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), untuk mendeteksi keberadaan fase *El Niño* (anomali nilai ONI positif) maupun *La Niña* (anomali nilai ONI negatif). Selain fungsinya dalam identifikasi ENSO, ONI juga dianggap sebagai indikator krusial dalam kajian variabilitas iklim berskala global (Quispe-Ccalluari dkk., 2018).

Variasi frekuensi dan intensitas kejadian *El Niño* dan *La Niña* dapat berpotensi meningkatkan risiko terhadap bencana hidrometeorologis yang ada di wilayah tropis, salah satunya di Indonesia (Chung & Power, 2014; Sekaranom dkk., 2018). Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia—wilayah yang dikenal rawan terhadap bencana hidrometeorologi, terutama karena dampaknya yang signifikan terhadap kehidupan sehari-hari, seperti sektor pertanian dan kesehatan (Naylor dkk., 2007). Temuan sebelumnya mengindikasikan bahwa kejadian ENSO, khususnya selama fase *El Niño* di Provinsi Jawa Tengah yang merupakan lokasi Kabupaten Temanggung berada, memiliki hubungan dengan sekitar 91% peristiwa kekeringan yang tercatat antara tahun 1981 hingga 2010 (Nurrohmah & Nurjani, 2017).

Secara lokasi geografis, Kabupaten Temanggung berada pada koordinat antara 109°55'–110°19' Bujur Timur dan 7°4'–7°24' Lintang Selatan. Wilayah ini berbatasan dengan Kabupaten Kendal dan Semarang di sebelah utara, Kabupaten Semarang dan Magelang di bagian timur, Kabupaten Magelang di sisi selatan, serta Kabupaten Wonosobo di sebelah barat. Secara administratif, Temanggung terdiri atas 20 kecamatan yang menaungi total 266 desa dan 23 kelurahan (BPS Temanggung, 2025). Kabupaten Temanggung secara umum mengalami musim kemarau antara bulan April hingga September dan musim hujan antara bulan Oktober sampai Maret. Kabupaten Temanggung relatif memiliki suhu udara lebih dingin dibanding

kabupaten/kota lainnya karena posisinya yang strategis di kaki Gunung Sindoro dan Sumbing yang terletak di sisi barat daya dari kabupaten ini serta dikelilingi perbukitan yang berada di sisi utara (Gambar 1). Wilayah yang memiliki suhu udara sejuk terdapat di lereng Gunung Sumbing seperti Kecamatan Tembarak, Tlogomulyo, Bulu, dan sebagian Kledung. Sementara yang berada di lereng Gunung Sindoro yaitu ada sebagian Kecamatan Kledung, Bansari, Ngadirejo, dan Wonoboyo (BPS Temanggung, 2025).

Sebagian besar wilayah Kabupaten Temanggung berada pada ketinggian 500–700 meter di atas permukaan laut, meliputi area seperti Kecamatan Temanggung, Kedu, dan Parakan. Elevasi tertinggi ditemukan di Kecamatan Wonoloyo (1.684 mdpl), sedangkan titik terendah berada di Kecamatan Bejen (460 mdpl), yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Kendal di utara. Secara umum kondisi suhu udara di Kabupaten Temanggung termasuk ke dalam salah satu wilayah yang dingin dibandingkan kabupaten/kota lainnya di Provinsi Jawa Tengah. Penelitian menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata turun sekitar $0,27^{\circ}\text{C}$ untuk setiap kenaikan 100 meter di wilayah dataran tinggi, meskipun laju penurunan ini dapat bervariasi tergantung musim, waktu hari, dan kondisi cuaca lokal (Navarro-Serrano dkk., 2020; Runke dkk., 2022).



Gambar 1. Peta Topografi Kabupaten Temanggung (Sumber: Hasil Analisis)

Studi ini fokus mengkaji perubahan suhu maksimum di Kabupaten Temanggung yang dipengaruhi oleh fenomena *El Niño* maupun *La Niña*. Kajian suhu maksimum suatu wilayah memiliki banyak manfaat penting di berbagai sektor. Data suhu maksimum sangat krusial untuk penelitian perubahan iklim, kesehatan masyarakat, pertanian, konsumsi energi, dan perencanaan perkotaan, karena suhu ekstrem dapat memicu gelombang panas, meningkatkan risiko penyakit, serta memengaruhi hasil panen dan kebutuhan energi untuk pendinginan atau pemanasan (Joy dkk., 2025). Pemantauan dan prediksi suhu maksimum membantu dalam memberikan peringatan dini terhadap gelombang panas, sehingga masyarakat dan pemerintah dapat mengambil langkah mitigasi untuk mengurangi dampak negatifnya (Khan & Maity, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak dari *El Niño* dan *La Niña* terhadap rata-rata suhu maksimum selama periode 1995 hingga 2024 di Kabupaten Temanggung.

METODE DAN DATA

Penelitian ini menggunakan sejumlah perangkat dan data untuk mendukung analisis

spasial dan statistik, termasuk *ArcGIS 10.8*, *RStudio*, *Google Earth Engine* (GEE), data suhu maksimum dari ERA5 dan data observasi lapangan AWS, indeks *Oceanic Nino Index* (ONI) untuk menentukan fase ENSO, serta shapefile wilayah administratif Kabupaten Temanggung (**Tabel 1**). *ArcGIS 10.8* dimanfaatkan dalam pembuatan peta anomali suhu maksimum, sementara *RStudio* digunakan untuk pengolahan data tabular. Data suhu maksimum ERA5 periode 1995–2024 diperoleh melalui proses ekstraksi menggunakan skrip di GEE. Dataset ini, yang disusun oleh *Copernicus Climate Change Service (C3S)* di ECMWF dengan resolusi spasial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan penulis lakukan *resampling* menggunakan metode interpolasi *bilinear* di GEE sehingga data yang diunduh memiliki resolusi spasial $0,05^\circ$ dan lebih detail untuk analisis suhu maksimum Kabupaten Temanggung.

Untuk memastikan keakuratan, data ERA5 tersebut divalidasi dan koreksi bias menggunakan data observasi lapangan dari AWS milik Fakultas Geografi yang ada di Kabupaten Temanggung. Sementara itu, data ONI dari NOAA digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan fase ENSO (netral, *El Niño*, dan *La Niña*) selama periode penelitian. Sebagai pelengkap dalam pemetaan spasial, shapefile wilayah Temanggung diperoleh dari PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian (Sumber: Hasil Analisis)

No.	Alat dan Bahan	Sumber	Fungsi
1.	Perangkat lunak <i>ArcGIS 10.8</i>	<i>Environmental Systems Research Institute (ESRI)</i>	Pembuatan peta anomali suhu maksimum di Kabupaten Temanggung
2.	Perangkat lunak <i>RStudio</i>	<i>Integrated Development Environment (IDE)</i>	Mengolah data tabular dataset ERA5 dan anomali suhu maksimum
3.	<i>Google Earth Engine</i>	Google	Unduh dataset ERA5 periode 1995 – 2024 wilayah Kabupaten Temanggung
4.	Dataset Suhu Maksimum ERA5	<i>Copernicus Climate Change Service (C3S) di European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)</i>	Sumber data suhu maksimum
5.	Data suhu maksimum observasi AWS	AWS Kledung dan Temanggung Fakultas Geografi UGM	Koreksi dataset ERA5
6.	Data <i>Oceanic Nino Index</i> (ONI)	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)</i>	Mengelompokkan fase netral, El Niño, dan La Niña
7.	<i>Shapefile</i> data Kabupaten Temanggung	PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah	Data pendukung pembuatan peta

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui metode inventarisasi menggunakan sumber-sumber sekunder yang tersedia secara daring. Proses ini membutuhkan perangkat digital dan koneksi internet untuk mengakses data dari berbagai platform, antara lain indeks ONI dari situs resmi NOAA, data suhu udara maksimum dari ERA5 periode 1995–2024 yang diekstraksi

dari *Google Earth Engine* (GEE), serta data spasial Kabupaten Temanggung dalam format shapefile dari situs resmi PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah.

Pengolahan data diawali dengan klasifikasi fase ENSO berdasarkan nilai ONI, di mana nilai $< -0,5$ menunjukkan fase *La Niña*, antara $-0,5$ hingga $0,5$ menandakan kondisi netral, dan $> 0,5$ mengindikasikan *El Niño* (Karuniasa & Pambudi, 2022). Setelah data ERA5 diperoleh melalui GEE, dilakukan koreksi bias terhadap data observasi lapangan guna meningkatkan akurasi dan memperkecil kesalahan yang ada. Koreksi bias ini dilakukan dengan pendekatan rasio rata-rata, yakni membandingkan rata-rata suhu maksimum bulanan observasi dengan data reanalysis ERA5 (dos Reis dkk., 2017; Firmansyah dkk., 2022). Rumus koreksi bias ini menggunakan data suhu maksimum bulanan rata-rata observasi yang dibandingkan dengan data iklim bulanan rata-rata ERA5 (Zanin & Satyamurty, 2020) (Persamaan 1):

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

Dimana: T_{*kor} adalah data suhu maksimum terkoreksi; T_{model} adalah data suhu maksimum bulanan ERA5; $\bar{x}T_{obs}$ adalah data suhu maksimum bulanan rata-rata observasi AWS; dan $\bar{x}T_{model}$ adalah rata-rata data suhu maksimum bulanan ERA5.

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 dkk., 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 dkk., 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 suhu maksimum ERA5.

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

Dimana: Ti 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.

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

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

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

Dimana: Ti 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.

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

Dimana: Ti 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.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kejadian ENSO

Penelitian ini mengidentifikasi kejadian ENSO berdasarkan *Oceanic Niño Index* (ONI), yang dihitung dari suhu permukaan laut (SST) di wilayah *Niño 3.4* oleh NOAA, untuk periode 1995–2024. Fase *El Niño* diklasifikasikan ketika nilai ONI mencapai atau melebihi 0,5 selama minimal lima bulan berturut-turut, sedangkan fase *La Niña* ditentukan ketika nilai ONI setara atau kurang dari $-0,5$ dalam periode waktu yang sama. Jika ONI berada dalam kisaran $-0,4$ hingga $0,4$, kondisi tersebut dikategorikan sebagai fase netral. Selain itu, intensitas ENSO ditentukan berdasarkan nilai ONI, dengan klasifikasi ringan ($\pm 0,5$ – $\pm 0,9$), sedang ($\pm 1,0$ – $\pm 1,4$), kuat ($\pm 1,5$ – $\pm 1,9$), dan ekstrem apabila mencapai atau melebihi $\pm 2,0$ (A. M. Hidayat dkk., 2018).

Selama periode 1995 hingga 2024, tercatat delapan kejadian *El Niño* dan dua belas kejadian *La Niña* (**Tabel 2**). Fase *El Niño* terpanjang berlangsung selama 19 bulan, dari Oktober 2014 hingga April 2016, dengan intensitas tergolong kuat. *El Nino* pada periode 2014 – 2026 tersebut berlangsung dengan durasi panjang karena *El Nino* yang mulai berkembang setelah musim panas cenderung bertahan lebih lama (Wu dkk., 2021). Faktor lain yang memengaruhi periode *El Nino* tersebut panjang adalah kondisi suhu laut di Samudra Pasifik yang terus tinggi dan lemahnya umpan balik negatif dari lautan dan atmosfer (seperti pendinginan air laut dan perubahan angin pasat), sehingga *El Nino* bertahan lebih lama (Gao dkk., 2022; Wu dkk., 2019). Sementara itu, *La Niña* terlama terjadi antara Juli 1998 hingga Februari 2001 selama 32 bulan, menunjukkan intensitas bervariasi antara sedang hingga kuat. Periode *La Nina* yang cukup panjang ini terjadi karena faktor sebab-akibat dari kejadian *El Nino* pada tahun sebelumnya (1997 – 1998) yang memiliki intensitas sedang. *El Niño* menyebabkan pelepasan panas laut (*ocean heat content/OHC*) yang sangat besar di Samudra Pasifik. Setelah *El Niño* tersebut berakhir, anomali panas laut negatif yang besar tidak bisa dipulihkan hanya dengan satu musim *La Niña*, sehingga *La Niña* berlanjut ke tahun berikutnya. Setelah *El Niño* kuat, biasanya muncul anomali angin timur (*easterly wind anomalies*) di utara khatulistiwa Samudra Pasifik. Angin ini memperkuat pelepasan panas laut ke arah utara melalui *transport Ekman*, sehingga memperbesar defisit panas laut dan memperpanjang *La Niña* (Iwakiri & Watanabe, 2021).

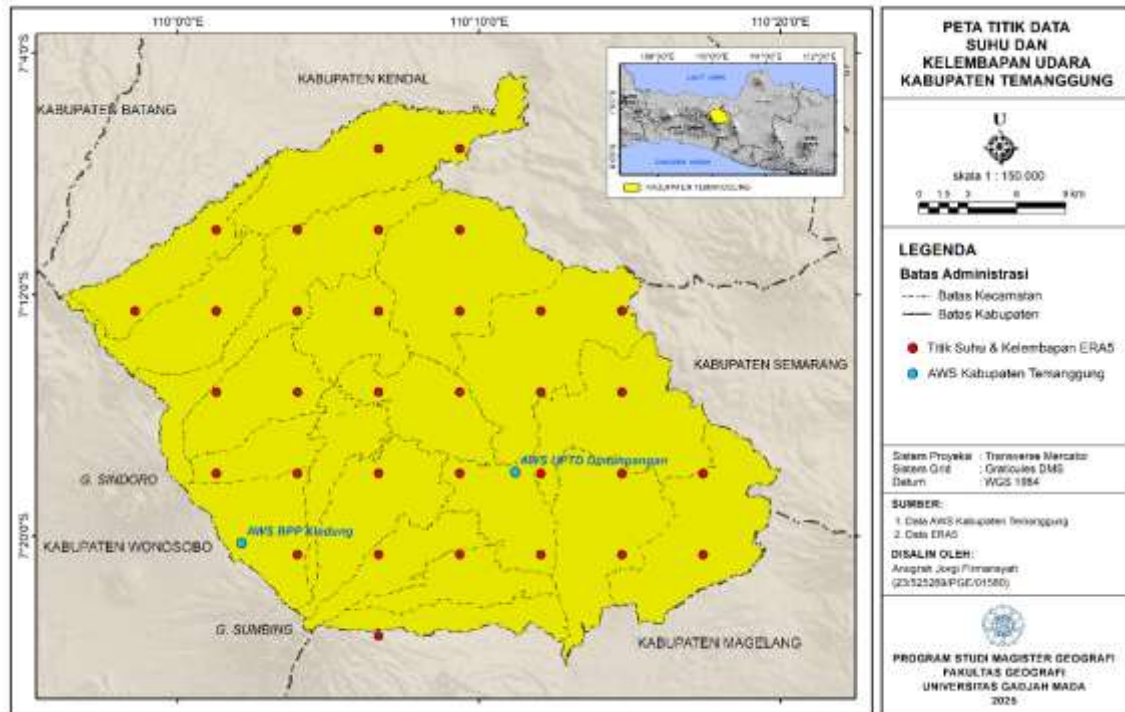
Tabel 2. Pembagian Fase ENSO Berdasarkan Nilai ONI Tahun 1995 – 2024 (Sumber: Hasil Analisis)

Kategori	Rentang ONI	Fase ENSO	Periode Waktu
Netral	$-0.5 \leq ONI \leq +0.5$	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

Koreksi Data Suhu Maksimum ERA5

Proses ekstraksi data suhu maksimum dari dataset ERA5 menghasilkan 33 titik koordinat distribusi data yang disimbolkan dengan titik warna merah (Gambar 2). Data rata-rata suhu maksimum bulanan dari ERA5 ini kemudian dilakukan koreksi bias menggunakan data observasi AWS sebagai referensi. Sebagai acuan dalam proses koreksi, digunakan dua titik AWS milik Fakultas Geografi UGM yang berada di wilayah Kabupaten Temanggung, yaitu AWS di BPP Kledung dan AWS di UPTD Dintanpangan Kabupaten Temanggung (warna biru). Keterbatasan penelitian ini terdapat pada ketersediaan data observasi di lapangan. Data AWS di

dua titik Kabupaten Temanggung ini memiliki keterbatasan dalam perekaman data, terutama dalam cakupan temporal yang tidak dapat *sustain* dalam jangka waktu yang panjang. Data observasi AWS yang digunakan untuk perhitungan koreksi bias suhu maksimum ERA5 yaitu dari tahun 2019 – 2022. Apabila data observasi permukaan tersedia dengan lengkap secara temporal dan spasial, maka proses koreksi bias akan semakin baik, namun terkadang tidak semua tempat memiliki data observasi permukaan yang lengkap dan detail sehingga dapat memaksimalkan dengan data yang ada (Høyer dkk., 2014).



Gambar 2. Peta Titik Data Suhu Maksimum ERA5 dan AWS Observasi di Kabupaten Temanggung (Sumber: Hasil Analisis)

Analisis data dilakukan untuk periode 1995 hingga 2024, dengan cakupan wilayah administratif Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Fokus kajian terletak pada suhu udara maksimum di ketinggian 2 meter. Meskipun data reanalisis seperti ERA5 unggul dalam konsistensi spasial dan temporal, potensi bias tetap ada akibat keterbatasan model dan distribusi data observasi yang tidak merata (Wolf dkk., 2023). Untuk meningkatkan ketepatan analisis, dilakukan koreksi bias terhadap suhu maksimum ERA5, dengan pembandingan data observasi dari stasiun AWS di wilayah Temanggung.

Sebelum dilakukan koreksi, dilakukan perhitungan nilai koefisien korelasi (r) antara data suhu maksimum ERA5 dan data observasi AWS menunjukkan hubungan yang lemah dan negatif, masing-masing sebesar -0,13 dan -0,07 dan rata-ratanya -0,1 (**Tabel 3**). Setelah diterapkan koreksi bias menggunakan nilai faktor koreksi dari bias rata-rata sebesar 1,3637 (BPP Kledung) dan 1,277 (UPTD Dintanpangan), nilai korelasi meningkat signifikan menjadi 1,00 dan 0,37, dengan rata-rata korelasi pasca-koreksi sebesar 0,685. Rata-rata faktor koreksi yang diaplikasikan pada penelitian ini di Kabupaten Temanggung adalah 1,3204, yang berfungsi untuk menyesuaikan data reanalisis rata-rata suhu maksimum bulanan dari ERA5.

Uji statistik menunjukkan bahwa sebelum koreksi, data ERA5 mengalami bias negatif dengan nilai MBE sebesar -9,5°C (BPP Kledung) dan -7,9°C (UPTD Dintanpangan), serta nilai RMSE dan MAE yang tinggi antara 7,9 hingga 9,8°C. PBIAS juga menunjukkan underestimasi suhu maksimum, masing-masing -26,7% dan -21,7%. Setelah koreksi dilakukan, sebagian besar nilai kesalahan mendekati nol, dan hanya RMSE serta MAE di UPTD Dintanpangan yang masih tersisa pada 2,5°C dan 1,9°C. Hasil ini menegaskan bahwa koreksi bias cukup efektif dalam meningkatkan akurasi data ERA5, sehingga lebih andal untuk analisis klimatologi dan

aplikasi meteorologi skala lokal.

Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi (r) serta perbandingan uji Mean Bias Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan Percent Bias (PBIAS) Suhu Maksimum ERA5 Sebelum dan Sesudah Koreksi (Sumber: Hasil Analisis)

No	AWS	r	ERA5 asli				Faktor Koreksi	r koreksi	ERA5 koreksi			
			MBE	RMSE	MAE	PBIAS			MBE	RMSE	MAE	PBIAS
1	Kledung	-0,13	-9,5	9,8	9,5	-26,7	1,3637	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0
2	UPTD	-0,07	-7,9	8,5	7,9	-21,7	1,277	0,37	0,0	2,5	1,9	0,0
	Dintanpangan Temanggung											
	Rata-rata	-0,1	-8,7	9,15	8,7	-24,2	1,3204	0,685	0,0	1,25	0,95	0,0

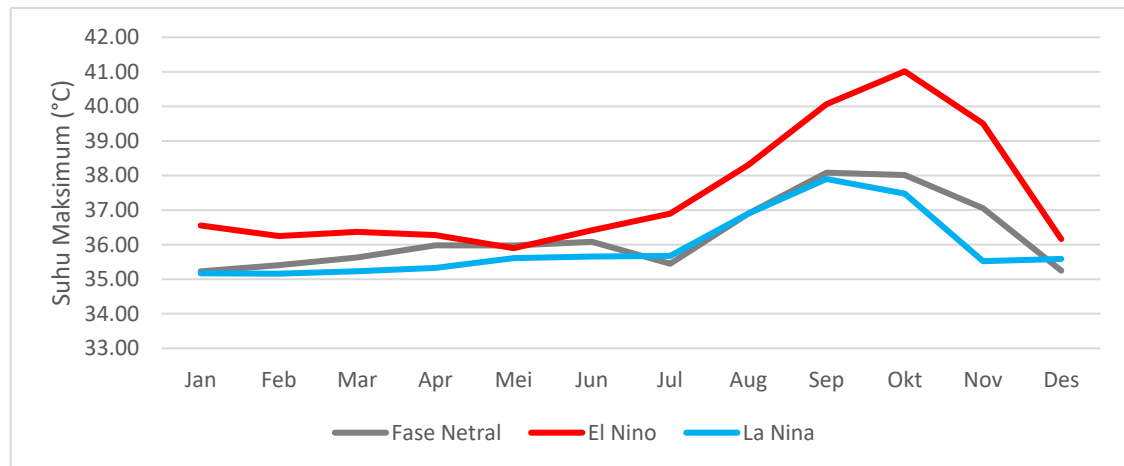
Anomali Suhu Maksimum Saat *El Niño* dan *La Niña*

Berdasarkan **Tabel 4**, suhu maksimum rata-rata bulanan di Kabupaten Temanggung selama periode 1995 – 2024 menunjukkan perbedaan mencolok antar fase *El Niño* dan *La Niña*. Selama *El Niño*, suhu maksimum mencapai 37,48°C, lebih tinggi dibanding fase netral (36,25°C) dan *La Niña* (36,03°C). Anomali kenaikan tertinggi terjadi pada Oktober saat *El Niño* (+3°C) dan suhu mencapai 41°C, sedangkan penurunan terbesar tercatat pada bulan November pada fase *La Niña* (-1,53°C). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *El Niño* dan *La Niña* cukup signifikan terhadap suhu, khususnya menjelang awal musim hujan. Secara umum, *El Niño* berasosiasi dengan peningkatan suhu dan kekeringan, sedangkan *La Niña* cenderung menurunkan suhu dan meningkatkan curah hujan. Temuan ini selaras dengan kajian Trenberth (2019) yang mencatat bahwa *El Niño* memicu peningkatan suhu permukaan dan penurunan curah hujan di Indonesia. Peningkatan suhu maksimum saat *El Niño*, terutama pada September hingga November, turut meningkatkan potensi risiko kekeringan di wilayah tropis seperti Indonesia.

Tabel 4. Anomali Suhu Maksimum Rata-Rata Bulanan saat *El Niño* dan *La Niña* di Kabupaten Temanggung Tahun 1995-2024 (Sumber: Hasil Analisis)

Bulan	Suhu Maksimum Fase Netral (°C)	Suhu Maksimum El Niño (°C)	Anomali Suhu Maksimum (°C)	Persentase anomali (%)	Suhu Maksimum Fase Netral (°C)	Suhu Maksimum La Niña (°C)	Anomali Suhu Maksimum (°C)	Persentase anomali (%)
Jan	35,23	36,56	1,33	3,77	35,23	35,17	-0,06	-0,16
Feb	35,41	36,25	0,84	2,38	35,41	35,16	-0,25	-0,70
Mar	35,63	36,37	0,74	2,08	35,63	35,23	-0,40	-1,12
Apr	35,98	36,28	0,30	0,82	35,98	35,33	-0,65	-1,81
Mei	35,98	35,90	-0,08	-0,22	35,98	35,61	-0,37	-1,02
Jun	36,08	36,41	0,33	0,92	36,08	35,66	-0,43	-1,18
Jul	35,45	36,90	1,45	4,09	35,45	35,68	0,23	0,64
Aug	36,90	38,30	1,41	3,82	36,90	36,90	0,00	0,01
Sep	38,08	40,06	1,98	5,20	38,08	37,90	-0,18	-0,48
Okt	38,01	41,02	3,00	7,89	38,01	37,47	-0,54	-1,42
Nov	37,05	39,51	2,45	6,62	37,05	35,52	-1,53	-4,14
Des	35,25	36,16	0,91	2,58	35,25	35,58	0,33	0,95
Rata-rata (°C/bulan)	36,25	37,48	1,22	3,37	36,25	36,03	-0,22	-0,60

Gambar 3 menampilkan fluktuasi rata-rata suhu maksimum bulanan di Kabupaten Temanggung selama fase netral, *El Niño*, dan *La Niña*. Suhu maksimum saat *El Niño* (ditandai garis merah) terlihat secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dua fase lainnya, terutama pada bulan September, Oktober, November (SON) ketika suhu mencapai lebih dari 40°C. Sebaliknya, selama *La Niña* (garis biru), suhu maksimum cenderung lebih rendah daripada kondisi netral hampir sepanjang tahun. Pola ini mencerminkan sifat *El Niño* yang mengurangi curah hujan dan meningkatkan suhu udara, sementara *La Niña* cenderung membawa lebih banyak hujan dan menurunkan suhu.

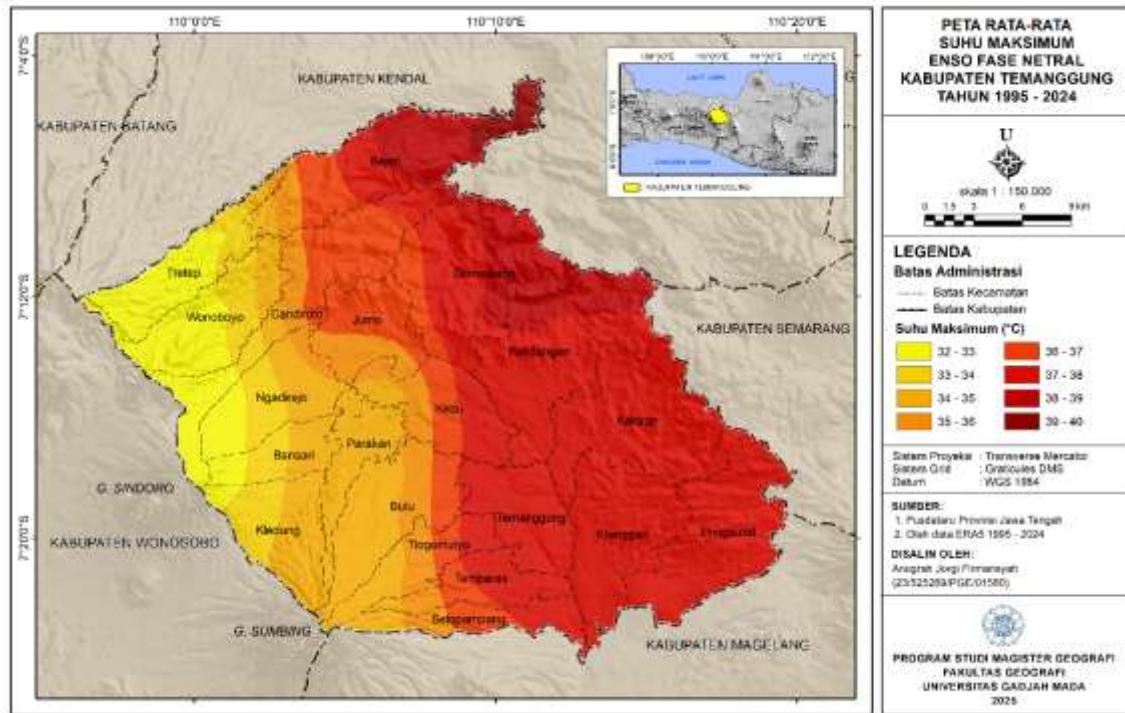


Gambar 3. Grafik Rata-Rata Suhu Maksimum Bulanan pada Fase Netral, *El Niño*, dan *La Niña* di Kabupaten Temanggung (Sumber: Hasil Analisis)

Gambar 4 menyajikan visualisasi spasial suhu maksimum rata-rata di Kabupaten Temanggung selama fase netral ENSO periode 1995 – 2024. Terdapat pola penurunan suhu dari timur ke barat, di mana suhu maksimum terendah (32 – 33°C) tercatat di kawasan barat seperti Kecamatan Tretep dan Wonoboyo, sementara suhu tertinggi (39 – 40°C) berada di wilayah timur seperti Kecamatan Kandungan dan Kaloran. Variasi ini mencerminkan pengaruh topografi dan kondisi iklim lokal, mengingat karakteristik wilayah Temanggung yang didominasi oleh lanskap dataran tinggi dan berada di kaki Gunung Sumbing dan Sindoro (John dkk., 2024).

Wilayah dengan suhu maksimum yang lebih rendah umumnya berada di bagian utara Gunung Sindoro yang ditandai dengan warna kuning dan oranye yang merepresentasikan rentang suhu 32–35°C dan semakin naik menuju ke arah barat (warna semakin tua). Kondisi suhu maksimum yang tidak terlalu tinggi di lereng Gunung Sumbing dan Sindoro ini dipengaruhi oleh elevasi yang lebih tinggi serta tutupan vegetasi yang lebih rapat sehingga dapat lebih menjaga suhu udara yang ada dari radiasi matahari. Sebaliknya, area timur yang ditandai dengan warna merah tua menunjukkan suhu maksimum antara 37–40°C, mencerminkan wilayah dataran rendah dengan paparan radiasi matahari yang lebih intens, sehingga suhu permukaan lebih tinggi. Temuan ini mendukung kecenderungan umum bahwa suhu maksimum meningkat di daerah rendah dan menurun seiring bertambahnya elevasi (Li dkk., 2015).

Analisis distribusi spasial suhu maksimum memiliki peran penting dalam memahami kondisi iklim lokal yang memengaruhi berbagai sektor di Kabupaten Temanggung, seperti pertanian, manajemen air, dan upaya mitigasi kekeringan. Daerah Kabupaten Temanggung sisi timur yang bersuhu lebih tinggi berpotensi mempercepat laju penguapan dan menimbulkan stres pada tanaman, sedangkan kawasan barat yang lebih sejuk cenderung mendukung budidaya komoditas seperti sayuran, kopi, dan tembakau (F. Hidayat dkk., 2024). Pemetaan suhu ini dapat dijadikan dasar dalam perencanaan penggunaan lahan dan strategi adaptasi terhadap perubahan iklim.

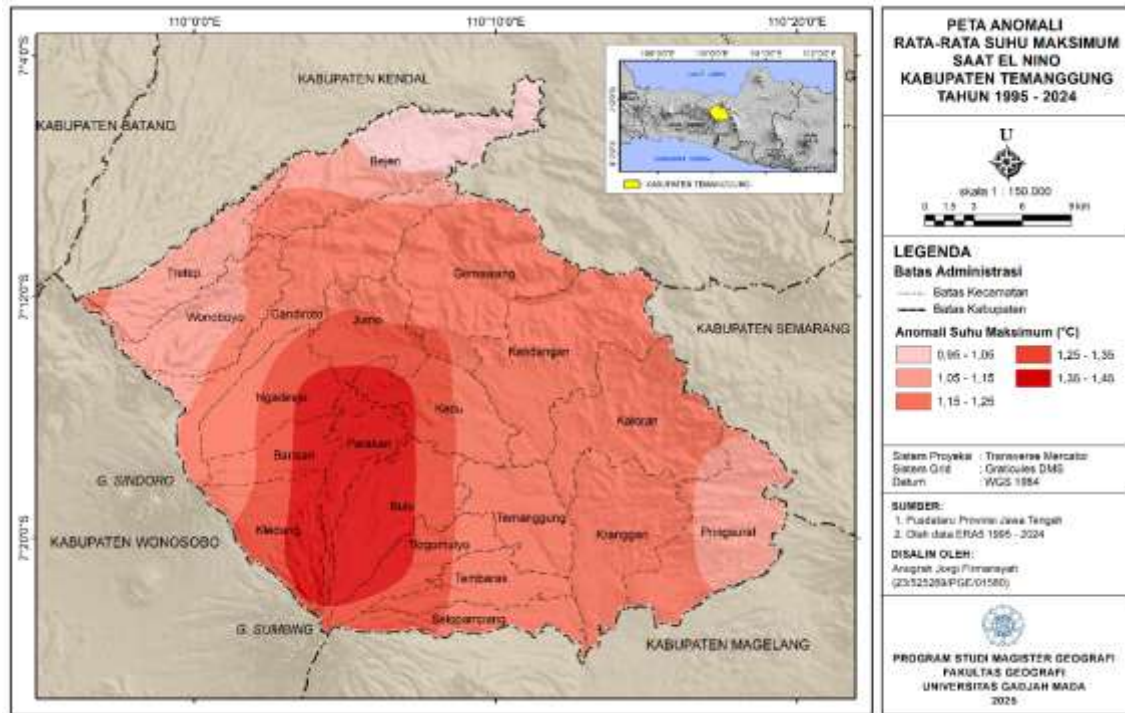


Gambar 4. Peta Rata-Rata Suhu Maksimum Fase Netral di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024 (Sumber: Hasil Analisis)

Pada anomali rata-rata suhu maksimum selama peristiwa *El Niño* di Kabupaten Temanggung tahun 1995–2024 memiliki pola spasial tinggi di sisi selatan (lereng Gunung Sumbing) dan melemah menuju ke sisi utara, timur, dan barat (Gambar 5). Kenaikan suhu maksimum akibat *El Niño* ini berkisar antara 0,95°C hingga 1,45°C. Kenaikan suhu tertinggi berada di sisi selatan yang disimbolkan dengan warna merah tua dan kemudian melemah yang disimbolkan dengan warna merah memudar menuju sisi timur, utara, dan barat laut.

Anomali kenaikan suhu terbesar pada kelas 1,35 – 1,45°C yang berada di sisi selatan dari kabupaten ini. Wilayahnya mencakup sebagian Kecamatan Kledung, Bulu, Parakan, dan Bansari. Suhu maksimum di fase netralnya, wilayah ini memiliki suhu 33 – 34°C yang berarti apabila terjadi peristiwa *El Niño* maka suhunya akan naik ke 34 – 35°C. Kenaikan akibat *El Niño* ini cenderung masih dibawah dari suhu maksimum yang ada pada sisi utara kabupaten ini yang pada fase netralnya mencapai 38 – 40°C pada sisi utara dan timur laut. Suhu maksimum yang mungkin terjadi di Kabupaten Temanggung akibat *El Niño* ini dapat terjadi di sisi utara yang mencakup Kecamatan Bejen, Gemawang, dan Kandangan yang dapat mencapai 40°C di masa depan apabila terjadi *El Niño* dengan intensitas yang kuat.

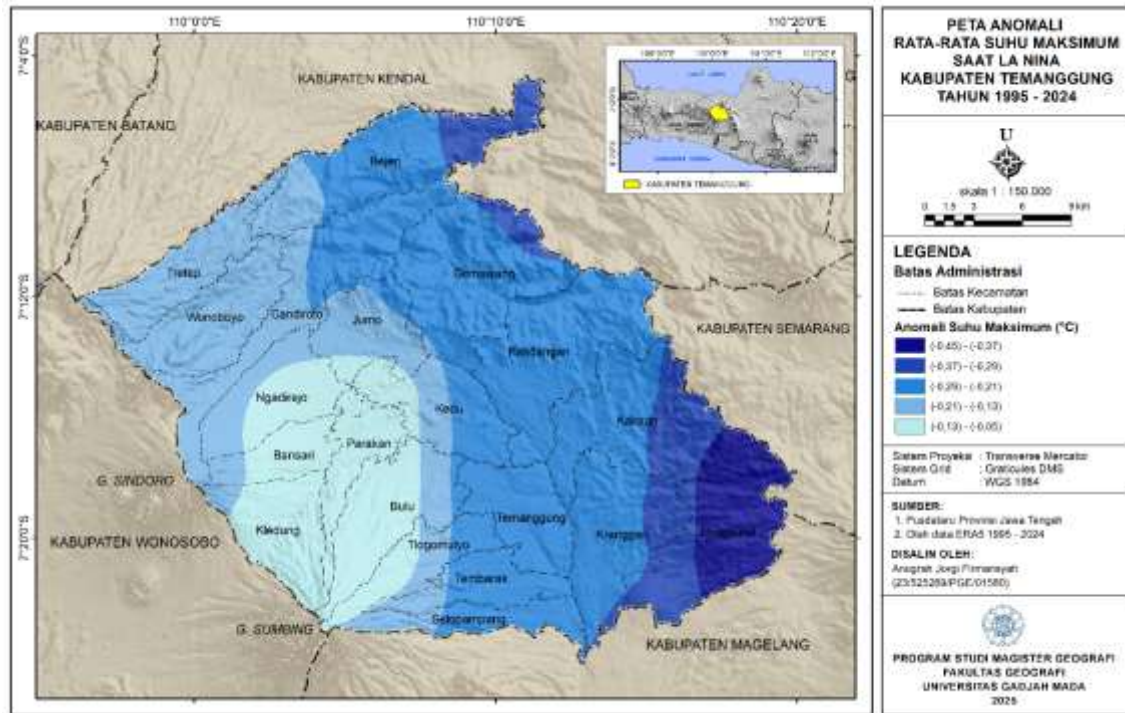
Peningkatan suhu maksimum yang terjadi di Temanggung selama *El Niño* ini dapat menyebabkan dampak yang berbahaya terutama pada sektor pertanian. Tanaman yang sensitif terhadap suhu ekstrem, seperti tembakau, hortikultura, dan padi, dapat terpengaruh oleh kondisi suhu yang lebih tinggi pada siang hari. Selain itu, suhu yang lebih tinggi juga meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti ISPA dan heat stress pada masyarakat, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia (Srinivasa & Babji, 2024). Oleh karena itu, pemantauan dan mitigasi risiko suhu ekstrem sangat penting untuk meminimalkan dampak suhu maksimum yang dipicu oleh *El Niño* di masa depan (Suud & Kusbianto, 2024).



Gambar 5. Peta Anomali Rata-Rata Suhu Maksimum Saat *El Niño* di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024 (Sumber: Hasil Analisis)

Gambar 6 menampilkan distribusi spasial anomali suhu maksimum di Kabupaten Temanggung selama periode *La Niña* dari 1995 hingga 2024. Penurunan suhu maksimum terbesar ($0,37 - 0,45^{\circ}\text{C}$), ditunjukkan dengan warna biru gelap, terlihat di wilayah timur seperti Kecamatan Pringsurat. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan kelembapan dan pendinginan atmosfer akibat *La Niña*. Sebaliknya, anomali yang lebih ringan ($0,05 - 0,13^{\circ}\text{C}$) muncul di wilayah selatan antara Gunung Sumbing dan Sindoro, termasuk Kecamatan Kledung, Bulu, Bansari, Parakan, dan Ngadirejo.

Area dengan elevasi tinggi, seperti sekitar lereng Gunung Sindoro dan Sumbing, cenderung menunjukkan perubahan suhu maksimum yang lebih kecil, menandakan bahwa kawasan pegunungan relatif stabil terhadap pengaruh *La Niña*. Sementara itu, wilayah dataran rendah di timur mengalami penurunan suhu yang sedikit lebih besar, meskipun dampaknya tidak sekuat *El Niño* dalam memicu anomali suhu (Alizadeh, 2022; An & Jin, 2004). Fenomena ini konsisten dengan pernyataan bahwa *La Niña* yang menyebabkan suhu permukaan laut di sekitar Indonesia menjadi lebih hangat, sehingga meningkatkan penguapan dan pembentukan awan serta curah hujan, yang akhirnya berkontribusi pada turunnya suhu udara di wilayah yang terdampak (Suparta dkk., 2012).



Gambar 6. Peta Anomali Rata-Rata Suhu Maksimum Saat *La Niña* di Kabupaten Temanggung Tahun 1995 – 2024 (Sumber: Hasil Analisis)

KESIMPULAN

Fenomena *El Niño* dan *La Niña* memiliki dampak yang signifikan terhadap suhu maksimum di Kabupaten Temanggung, Indonesia, dengan *El Niño* menyebabkan kenaikan suhu yang cukup tinggi, terutama pada bulan-bulan kering menuju basah seperti September hingga November. Rata-rata suhu maksimum saat terjadi fase *El Niño* tercatat lebih tinggi hingga mencapai $+3^{\circ}\text{C}$ atau sekitar $+7,8\%$ dari suhu saat fase netral. Sebaliknya, *La Niña* cenderung menurunkan suhu maksimum dari kondisi netral, terutama di wilayah dataran yang lebih rendah meskipun dampak yang ditimbulkan tidak sekuat *El Niño*. Peningkatan suhu selama fase *El Niño* berpotensi memperburuk kondisi saat terjadi kekeringan dan meningkatkan potensi gagal panen pada sektor pertanian, terutama tanaman yang sensitif terhadap suhu ekstrem. Oleh karena itu, pemantauan suhu maksimum secara berkala dan penyusunan strategi mitigasi-adaptasi terhadap suhu ekstrem sangat penting untuk mengurangi dampak buruk yang mungkin timbul, terutama dalam menghadapi fenomena iklim global yang semakin tidak menentu. Pembuatan *dashboard* dengan integrasi data suhu maksimum *real-time* ke dalam sistem peringatan dini milik BMKG akan sangat bermanfaat bagi masyarakat maupun pemangku kebijakan setempat. Manfaat dari menerima informasi suhu ekstrem secara cepat dan akurat dapat digunakan untuk mengambil tindakan preventif. Dengan adanya tindakan preventif ini dapat mengurangi dampak buruk yang mungkin ditimbulkan seperti gagal panen pada sektor pertanian, mengurangi kemungkinan penyakit *heat stroke* pada makhluk hidup, dan dapat menjadi masukan bagi pemangku kebijakan untuk menyusun langkah mitigasi dan adaptasi terhadap suhu ekstrem yang mungkin terjadi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizadeh, O. (2022). Amplitude, duration, variability, and seasonal frequency analysis of the El Niño-Southern Oscillation. *Climatic Change*, 174(3–4), 20. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03440-w>
- An, S.-I., & Jin, F.-F. (2004). Nonlinearity and Asymmetry of ENSO. *Journal of Climate*,

- 17(12), 2399–2412. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C2399:NAAOE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C2399:NAAOE%3E2.0.CO;2)
- 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>
- BPS Temanggung. (2025). *Kabupaten Temanggung Dalam Angka 2025*.
- 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>
- Chung, C. T. Y., & Power, S. B. (2014). Precipitation response to La Niña and global warming in the Indo-Pacific. *Climate Dynamics*, 43(12), 3293–3307. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2105-9>
- 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>
- Gao, Z., Hu, Z.-Z., Zheng, F., Li, X., Li, S., & Zhang, B. (2022). Single-year and double-year El Niños. *In Review*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1650169/v1>
- Hidayat, A. M., 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/jstm.v19i2.3143>
- Hidayat, F., Zaitun, Z., Mayani, N., Erika, C., Halim, A., & Alhafiz, P. (2024). The effect of tree shading on soil temperature at Arabica coffee plantation (*Coffea arabica* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1297(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012029>
- 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. <https://journal.umy.ac.id/index.php/esp/article/view/1217>
- Høyer, J. L., Le Borgne, P., & Eastwood, S. (2014). A bias correction method for Arctic satellite sea surface temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 146, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.020>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Canadian Electronic Library.
- 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.b.2016.09.008>
- Iwakiri, T., & Watanabe, M. (2021). Mechanisms linking multi-year La Niña with preceding strong El Niño. *Scientific Reports*, 11(1), 17465. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96056-6>
- John, A., Olden, J. D., Oldfather, M. F., Kling, M. M., & Ackerly, D. D. (2024). Topography influences diurnal and seasonal microclimate fluctuations in hilly terrain environments of coastal California. *PLOS ONE*, 19(3), e0300378. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300378>
- Joy, A., Satheesan, K., & Paul, A. (2025). High-resolution maximum air temperature estimation over India from MODIS data using machine learning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 37, 101463. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101463>
- 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>
- Khan, M. I., & Maity, R. (2022). Hybrid deep learning approach for multi-step-ahead prediction for daily maximum temperature and heatwaves. *Theoretical and Applied Climatology*,

- 149(3–4), 945–963. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04103-7>
- Li, Y., Zeng, Z., Zhao, L., & Piao, S. (2015). Spatial patterns of climatological temperature lapse rate in mainland China: A multi-time scale investigation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(7), 2661–2675. <https://doi.org/10.1002/2014JD022978>
- Lindsey, R. (2009, Agustus 30). *Climate Variability: Oceanic Niño Index*. Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-nino-index>
- McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (2006). ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science*, 314(5806), 1740–1745. <https://doi.org/10.1126/science.1132588>
- 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.
- Navarro-Serrano, F., López-Moreno, J. I., Azorin-Molina, C., Alonso-González, E., Aznarez-Balta, M., Buisán, S. T., & Revuelto, J. (2020). Elevation effects on air temperature in a topographically complex mountain valley in the Spanish pyrenees. *Atmosphere*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/atmos11060656>
- Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 7752–7757. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104>
- 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>
- 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>
- Runke, W., Xiaoni, Y., Yaya, S., Chengyong, W., & Baokang, L. (2022). Study on air temperature estimation and its influencing factors in a complex mountainous area. *PLoS ONE*, 17(8 August). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272946>
- Sekaranom, A. B., Nurjani, E., Hadi, M. P., & Marfai, M. A. (2018). Comparison of TRMM Precipitation Satellite Data over Central Java Region – Indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 37(3), 97–114. <https://doi.org/10.2478/quageo-2018-0028>
- Srinivasa, R. D., & Babji, P. Ch. (2024). A study on the effects of El Niño and global warming in India: Climatic changes, issues and challenges. *Disaster Advances*, 18(2), 52–59. <https://doi.org/10.25303/182da052059>
- Suparta, W., Iskandar, A., Singh, M., Singh, J., Mohd. Ali, Mohd. A., Yatim, B., & Mohd Yatim, A. N. (2012). Impact of La Niña event in Southeast Asia region during the year 2011 from GPS observation. *2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology*, 54–57. <https://doi.org/10.1109/GUT.2012.6344187>
- Suud, H. M., & Kusbianto, D. E. (2024). Exploring El Niño effects on agricultural area using Landsat images analysis: A case study in Bondowoso Regency, Indonesia. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 21(2), 126. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v21i2.85190>
- Trenberth, K. E. (2019). El Niño Southern Oscillation (ENSO). Dalam *Encyclopedia of Ocean Sciences* (hlm. 420–432). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.04082-3>
- Wolf, K., Bellouin, N., Boucher, O., Rohs, S., & Li, Y. (2023). *Correction of temperature and relative humidity biases in ERA5 by bivariate quantile mapping: Implications for contrail classification*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2356>
- Wu, X., Okumura, Y. M., & DiNezio, P. N. (2019). What Controls the Duration of El Niño and La Niña events? *Journal of Climate*, 32(18), 5941–5965. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0681.1>
- Wu, X., Okumura, Y. M., & DiNezio, P. N. (2021). Predictability of El Niño duration based on the onset timing. *Journal of Climate*, 34(4), 1351–1366. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0963.1>

Zanin, P. R., & Satyamurty, P. (2020). Hydrological processes interconnecting the two largest watersheds of South America from multi-decadal to inter-annual time scales: A critical review. *International Journal of Climatology*, 40(9), 4006–4038. <https://doi.org/10.1002/joc.6442>