

## Analisis Dinamika Atmosfer dan Suhu Permukaan Laut sebagai Indikator Potensial Terjadinya Hujan di Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2022–2023

## Analysis of Atmospheric Dynamics and Sea Surface Temperature as Potential Indicators of Rainfall Occurrence in West Kalimantan Province during 2022–2023

Nadia Fithriana<sup>1,2\*</sup>, Wirastuti Widyatmanti<sup>3</sup>, Emily Nurjani<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia.

<sup>2</sup>Stasiun Klimatologi Kelas IV Papua Selatan, Jl. Poros Semanga Tanah Miring, Merauke, Papua Selatan, Indonesia.

<sup>3</sup>Departemen Sains Informasi Geografis, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia.

<sup>4</sup>Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia.

Email: \*[nadiafithriana@mail.ugm.ac.id](mailto:nadiafithriana@mail.ugm.ac.id); [wwidyatmanti@ugm.ac.id](mailto:wwidyatmanti@ugm.ac.id); [emilya.nurjani@ugm.ac.id](mailto:emilya.nurjani@ugm.ac.id).

**Received: 12<sup>th</sup> September 2025; Revised: 31<sup>th</sup> October 2025; Accepted: 17<sup>th</sup> Nopember 2025**

**Abstrak** – Provinsi Kalimantan Barat merupakan provinsi yang dilalui garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis dengan ciri utama curah hujan yang terjadi hampir sepanjang tahun serta suhu udara rata-rata yang relatif tinggi. Kondisi ini juga diiringi dengan munculnya banyak titik hotspot. Kedua karakteristik iklim tersebut tampak kontradiktif, yang kemungkinan besar berkaitan dengan pola distribusi curah hujan di wilayah tersebut. Tujuan dari penelitian ini menganalisis potensi curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat berdasarkan dinamika atmosfer dan laut. Data yang digunakan meliputi data citra satelit dan reanalisis dari masing parameter tekanan permukaan laut, angin, suhu permukaan laut dan ketinggian pada tahun 2022-2023. Metode analisis yang diterapkan secara deskriptif melalui interpretasi plot untuk menggambarkan distribusi data dan keterkaitannya antarparameter. Distribusi curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat dipengaruhi oleh dinamika iklim global dan kondisi topografi. Tahun 2022 dengan La Nina dan muson barat daya menghasilkan curah hujan tinggi dan merata, sedangkan tahun 2023 dengan El Nino dan muson timur menurunkan curah hujan, terutama di pesisir. Pada sisi yang bergunung tetap mendapatkan hujan sepanjang tahun, meskipun intensitasnya menurun.

**Kata kunci:** Curah hujan; Kalimantan Barat; suhu permukaan laut; tekanan permukaan laut; angin.

**Abstract** – West Kalimantan Province, crossed by the equator, has a tropical climate characterized by almost year-round rainfall and relatively high average air temperatures. This condition is also accompanied by the emergence of numerous hotspots. These two climate characteristics appear contradictory, likely related to rainfall distribution patterns in the region. The purpose of this study is to analyze rainfall potential in West Kalimantan Province based on atmospheric and ocean dynamics. The data used include satellite imagery and reanalysis of each parameter: sea level pressure, wind, sea surface temperature, and altitude in 2022-2023. The analysis method is applied descriptively through plot interpretation to illustrate the data distribution and the relationships between parameters. Rainfall distribution in West Kalimantan Province is influenced by global climate dynamics and topographic conditions. In 2022, with La Nina and the southwest monsoon, rainfall was high and evenly distributed, while in 2023, with El Nino and the east monsoon, rainfall decreased, especially on the coast. The mountainous areas still receive rainfall throughout the year, although the intensity is reduced.

**Keywords:** Rainfall; West Kalimantan; sea surface temperature; sea level pressure; wind.

## **1. Pendahuluan**

Garis equator merupakan garis lintang  $0^\circ$  yang membagi bumi menjadi dua bagian yaitu belahan bumi utara dan belahan bumi selatan. Wilayah yang dilalui garis equator memiliki iklim tropis, yang ditandai dengan intensitas penyinaran matahari tinggi sepanjang tahun. Salah satu provinsi yang dilalui garis equator adalah Provinsi Kalimantan Barat.

Provinsi Kalimantan Barat beriklim tropis dengan karakteristik iklim yaitu suhu rata-rata relatif tinggi dan curah hujan yang tinggi. Provinsi Kalimantan Barat sering disebut dengan provinsi yang terjadi hujan sepanjang tahun, sehingga provinsi tersebut mengalami musim hujan terus menerus [1]. Akan tetapi di sisi lain provinsi tersebut terdapat banyaknya titik hotspot, hal tersebut dikarenakan letak geografis provinsi tersebut berada di jalur equator, dimana matahari berada hampir tegak lurus sepanjang tahun. Akibatnya suhu di provinsi Kalimantan Barat berkisar antara  $26,0-31,0^\circ\text{C}$  yang dapat meningkatkan potensi kekeringan dan memicu terjadinya kebakaran hutan dan lahan.

Curah hujan yang tinggi sepanjang tahun dan disaat yang sama banyaknya titik hotspot yang terjadi di Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan sebuah kejadian yang kontradiktif. Kondisi dengan hujan sepanjang tahun berfungsi mencegah bencana, bukan sebaliknya. Penyebab titik hotspot muncul di beberapa lokasi, salah satunya dikarenakan perbedaan distribusi curah hujan. Hal tersebut dapat diartikan meskipun rata-rata tahunan curah hujan di provinsi ini tergolong tinggi, terdapat wilayah dan periode tertentu yang mengalami penurunan curah hujan yang signifikan, sehingga memungkinkan terjadinya kekeringan lokal dan memicu kebakaran hutan dan lahan.

Perbedaan distribusi intensitas curah hujan dipengaruhi oleh berbagai faktor baik skala lokal hingga skala global. Interaksi antara skala lokal hingga global memengaruhi curah hujan di berbagai wilayah. Suhu permukaan laut, tekanan permukaan laut, dan angin menjadi faktor utama yang berperan terhadap distribusi curah hujan [2]. Pada skala lokal, topografi suatu wilayah memengaruhi faktor lainnya salah satunya angin [3]. Analisis ini didasarkan pada data penginderaan jauh dan data reanalisis yang dapat mengidentifikasi potensi distribusi curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat dari skala global hingga skala lokal.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini bertujuan menganalisis potensi curah hujan di Provinsi Kalimantan Barat berdasarkan dinamika atmosfer dan suhu permukaan laut. Analisis difokuskan pada periode tahun 2022 dan 2023, yang masing-masing merepresentasikan kondisi iklim global berbeda, yaitu tahun 2022 dengan dominasi fenomena La Nina dan tahun 2023 dengan dominasi fenomena El Nino.

## **2. Landasan Teori**

### *2.1. Dinamika atmosfer*

Perbedaan tekanan udara memicu terbentuknya angin, sementara gaya Coriolis membelokkan arah gerakannya sehingga menghasilkan dinamika atmosfer yang kompleks [3]. Dinamika atmosfer tersebut membentuk sirkulasi global yang mengatur transportasi uap air serta memengaruhi proses konveksi, frontal, dan orografis. Selain itu, ketidakseimbangan pemanasan permukaan bumi turut memperkuat gradien energi yang mendorong terbentuknya variasi pola angin dan sistem cuaca pada berbagai skala. Interaksi sirkulasi atmosfer dan distribusi energi turut menentukan zona konvergensi dan divergensi yang memengaruhi intensitas pembentukan awan dan hujan.

### *2.2. Suhu permukaan laut*

Suhu permukaan laut memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan awan dan distribusi curah hujan, khususnya di wilayah tropis. Suhu permukaan laut berperan dalam mengendalikan sirkulasi atmosfer melalui interaksi laut-atmosfer yang memicu pertukaran energi dan uap air. Pemanasan permukaan laut meningkatkan penguapan, yang selanjutnya mendorong kejenuhan atmosfer dan pembentukan awan [4]. Perubahan suhu permukaan laut memengaruhi posisi dan kekuatan pusat tekanan, sehingga dapat mengubah pola angin regional maupun global. Selain itu, anomali suhu permukaan laut seperti El Nino dan La Nina memberikan pengaruh besar terhadap distribusi curah hujan dan variabilitas iklim di berbagai wilayah.

### 2.3. Ketinggian

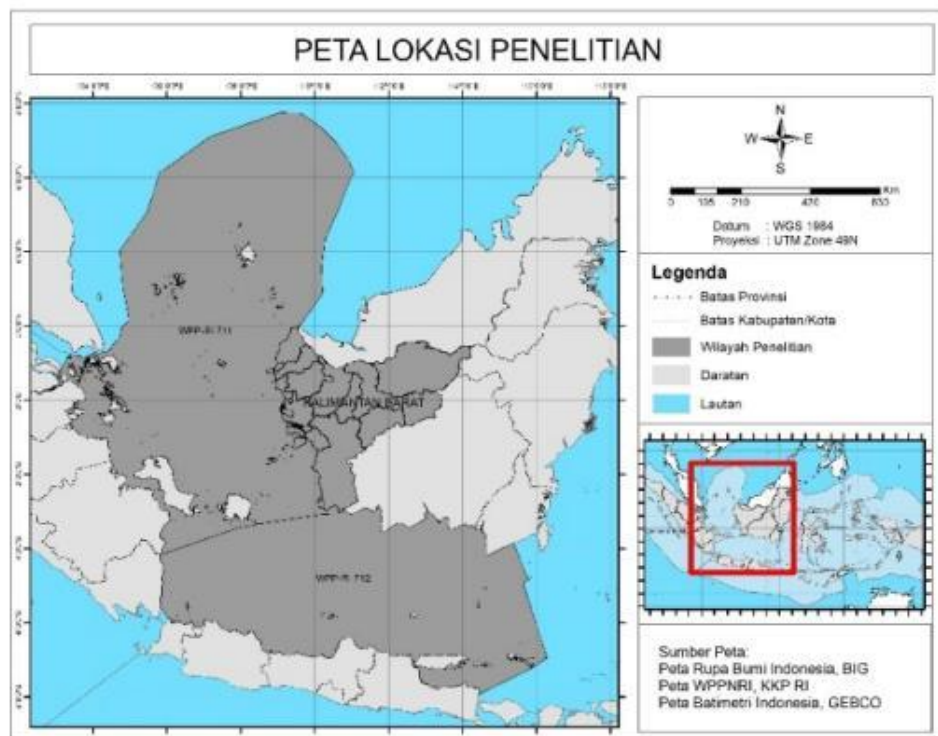
Ketinggian merupakan salah satu faktor topografi yang berpengaruh besar terhadap variasi curah hujan [5]. Seiring bertambahnya ketinggian, tekanan udara cenderung menurun karena densitas udara semakin berkurang. Perubahan tekanan ini memengaruhi dinamika pergerakan massa udara, terutama dalam pembentukan awan dan hujan. Perbedaan ketinggian dapat memicu efek orografis, yaitu ketika massa udara lembap terdorong naik ke lereng pegunungan, mengalami pendinginan dan terjadinya hujan di sisi windward, sementara sisi leeward cenderung kering akibat fenomena rain shadow [6,7]. Variasi ketinggian turut memengaruhi pola aliran angin di sekitar lereng dan lembah, yang dapat memperkuat atau melemahkan proses pengangkatan massa udara dan akhirnya berdampak pada distribusi curah hujan.

### 2.4. Curah hujan

Curah hujan adalah butir air yang jatuh ke permukaan tanah dalam periode waktu tertentu. Curah hujan terbentuk melalui tiga mekanisme yaitu konvektif, frontal, dan orografis [3]. Curah hujan memiliki pola dan distribusi yang bervariasi antarwilayah serta berubah dari waktu ke waktu. Variasi curah hujan dari waktu ke waktu mencerminkan dinamika atmosfer yang terus berubah dan memengaruhi kondisi cuaca harian, bulanan maupun musiman.

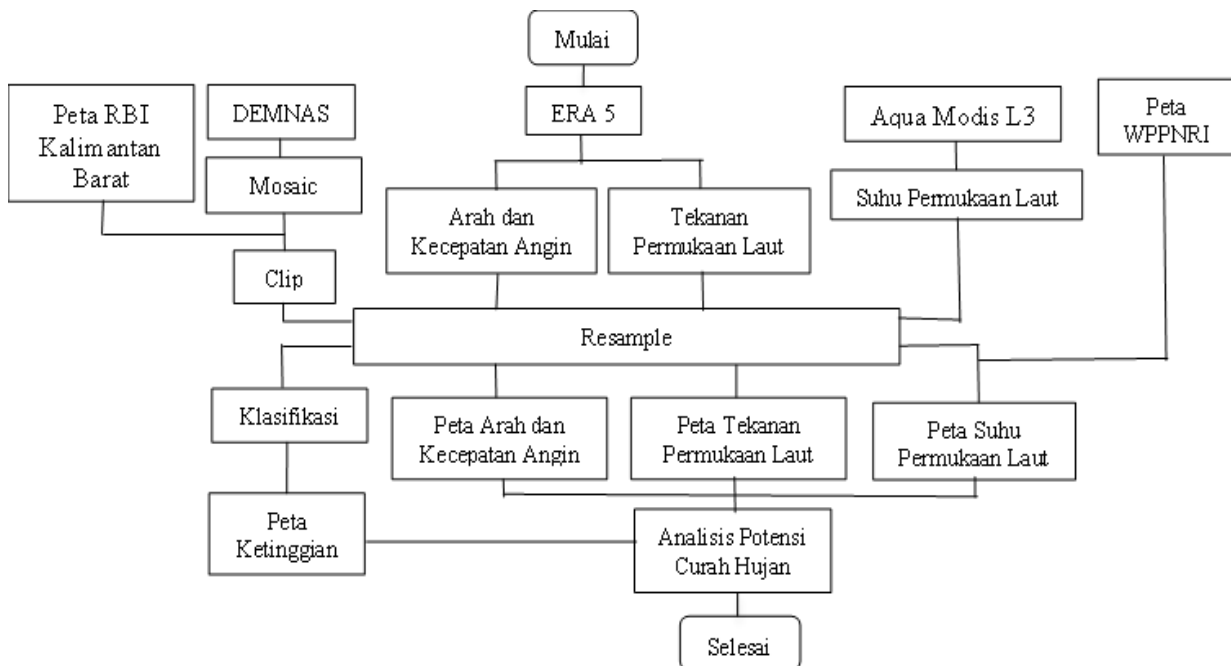
## 3. Material Dan Metode

Dalam penelitian ini menggunakan data citra satelit dan reanalisis sebagai dasar pengolahan penelitian. Data citra satelit yang digunakan adalah citra Aqua MODIS level 3 untuk mengekstrak data suhu permukaan laut yang diunduh dari website <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, sedangkan data ketinggian diperoleh menggunakan DEMNAS dengan didasarkan pada klasifikasi dari Zuidam (1985). Sementara data reanalisis yang digunakan adalah ERA5 diunduh dari website <https://cds.climate.copernicus.eu/> untuk memperoleh data tekanan permukaan laut dan angin (angin u 10m dan angin v 10m). Data angin dari satuan m/s dikonversi menjadi knot, sedangkan data tekanan dikonversikan dari satuan Pa menjadi hPa. Lokasi suhu permukaan laut yaitu di WPP 711 (Laut Natuna Utara, Laut Natuna, dan Selat Karimata) dan WPP 712 (Laut Jawa). Lokasi angin yaitu seluruh Indonesia untuk mengetahui pergerakan arah angin. Lokasi tekanan permukaan laut disekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat dan lokasi ketinggian berada di Provinsi Kalimantan Barat. Lokasi penelitian analisis potensi curah hujan disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Peta lokasi penelitian.

Semua parameter tersebut dianalisis untuk mengetahui potensi terjadinya hujan. Analisis tersebut dilakukan selama 2 tahun yaitu tahun 2022 dan 2023. Diagram alir penelitian potensi terjadinya hujan di Provinsi Kalimantan Barat disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian.

## 4. Hasil Dan Pembahasan

### 4.1. Tekanan permukaan laut

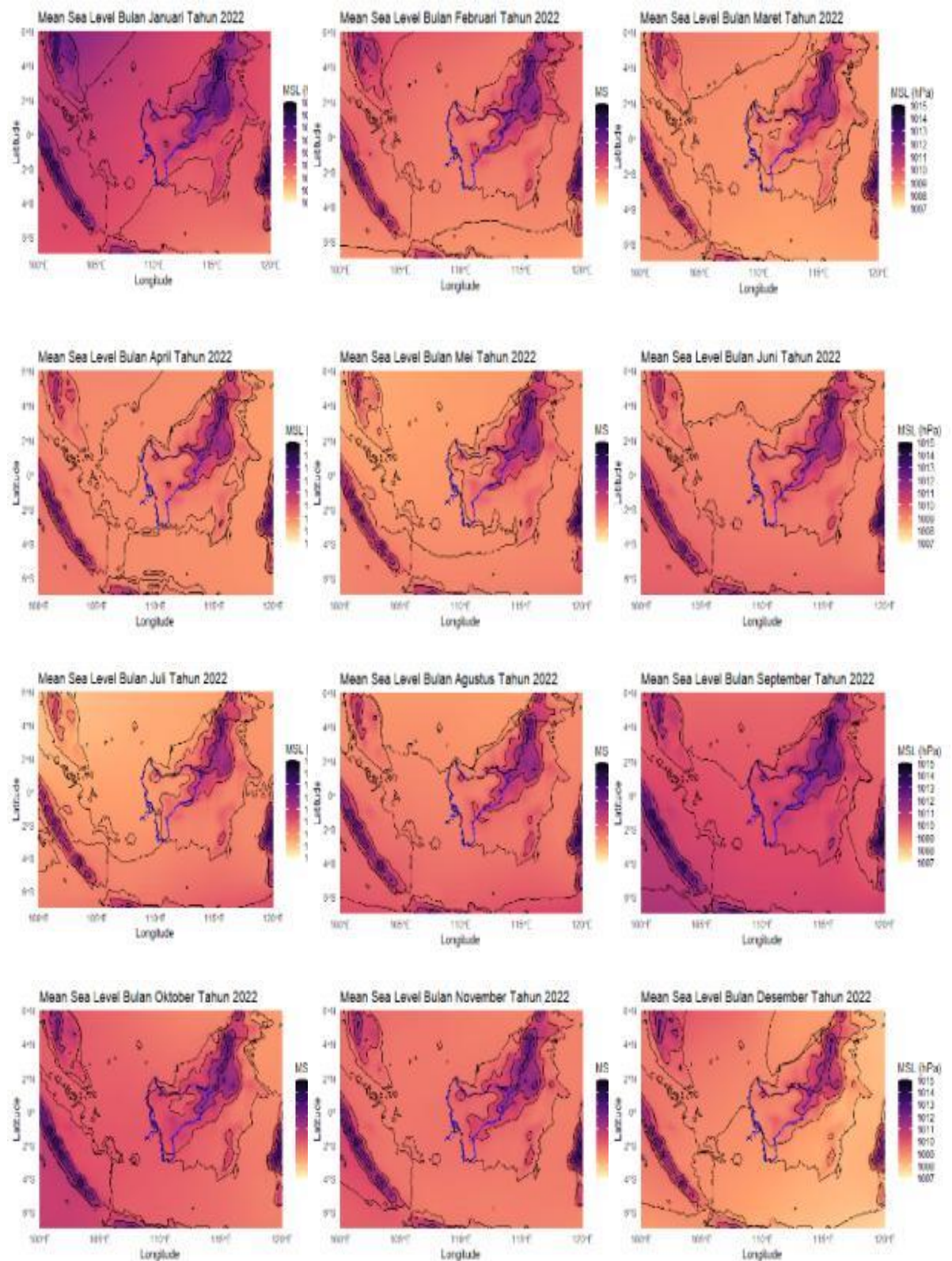
Tekanan permukaan laut sekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat tahun 2022 yang disajikan pada Gambar 3. yang menunjukkan rentang tekanan antara 1008.5 hPa hingga 1012.3 hPa dengan rata-rata 1009.8 hPa. Kondisi tersebut bersamaan dengan fenomena La Nina yang mencerminkan adanya anomali peningkatan tekanan di sisi timur yang dapat dikaitkan dengan subsiden udara atau aliran massa udara turun sebagai respon dari penguatan sirkulasi Walker selama fenomena La Nina [8] sehingga mendukung pembentukan awan dan hujan yang berpotensi terjadi peningkatan curah hujan.

Wilayah yang memiliki tekanan lebih tinggi yaitu diatas 1012.0 hPa di sisi timur Kalimantan Barat pada periode 2022 diduga merupakan pengaruh gabungan antara yang diakibatkan oleh fenomena La Nina dan faktor lokal seperti ketinggian, yang dapat memicu terjadinya subsiden udara di area tersebut. Hal ini berdampak pada distribusi curah hujan yang tidak merata, di mana wilayah timur cenderung mengalami penurunan curah hujan sehingga berkurangnya frekuensi kejadian hujan sepanjang tahun tersebut.

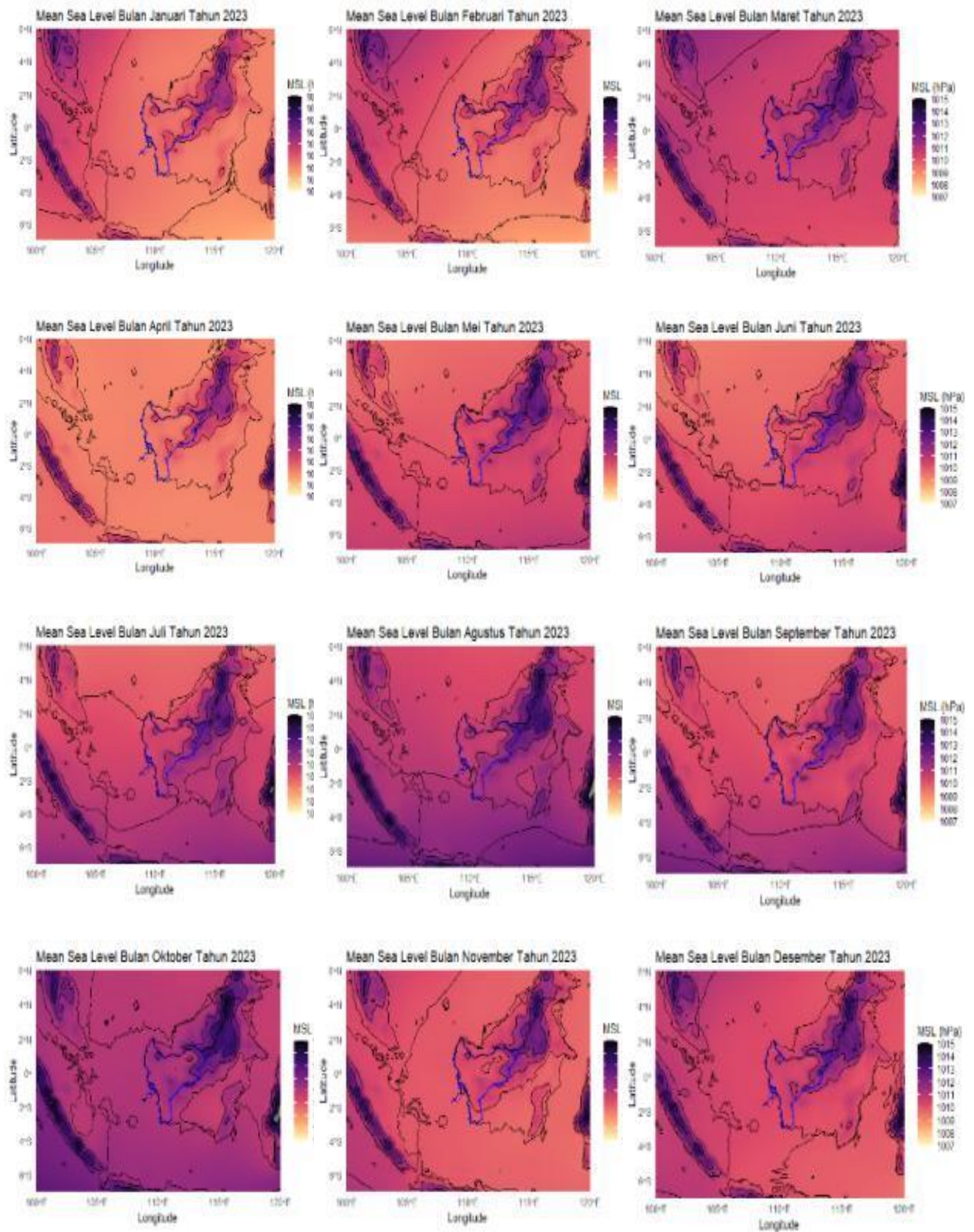
Pada tahun 2023 tekanan permukaan laut sekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat menunjukkan rentang tekanan berkisar antara 1009.2 hPa hingga 1013.3 hPa dengan rata-rata 1010.5 hPa yang disajikan pada Gambar 4.

Kondisi tekanan permukaan tersebut kategori normal hingga tinggi yang menunjukkan kondisi atmosfer relatif stabil dengan aktivitas konveksi yang terbatas [8] yang berkontribusi terhadap berkurangnya curah hujan pada tahun 2023. Kondisi ini diperparah dengan keberadaan El Nino yang berdampak penurunan curah hujan akan menjadi lebih signifikan terutama di sisi timur Provinsi Kalimantan Barat [20].





**Gambar 3.** Tekanan permukaan laut bulan Januari-Desember tahun 2022.

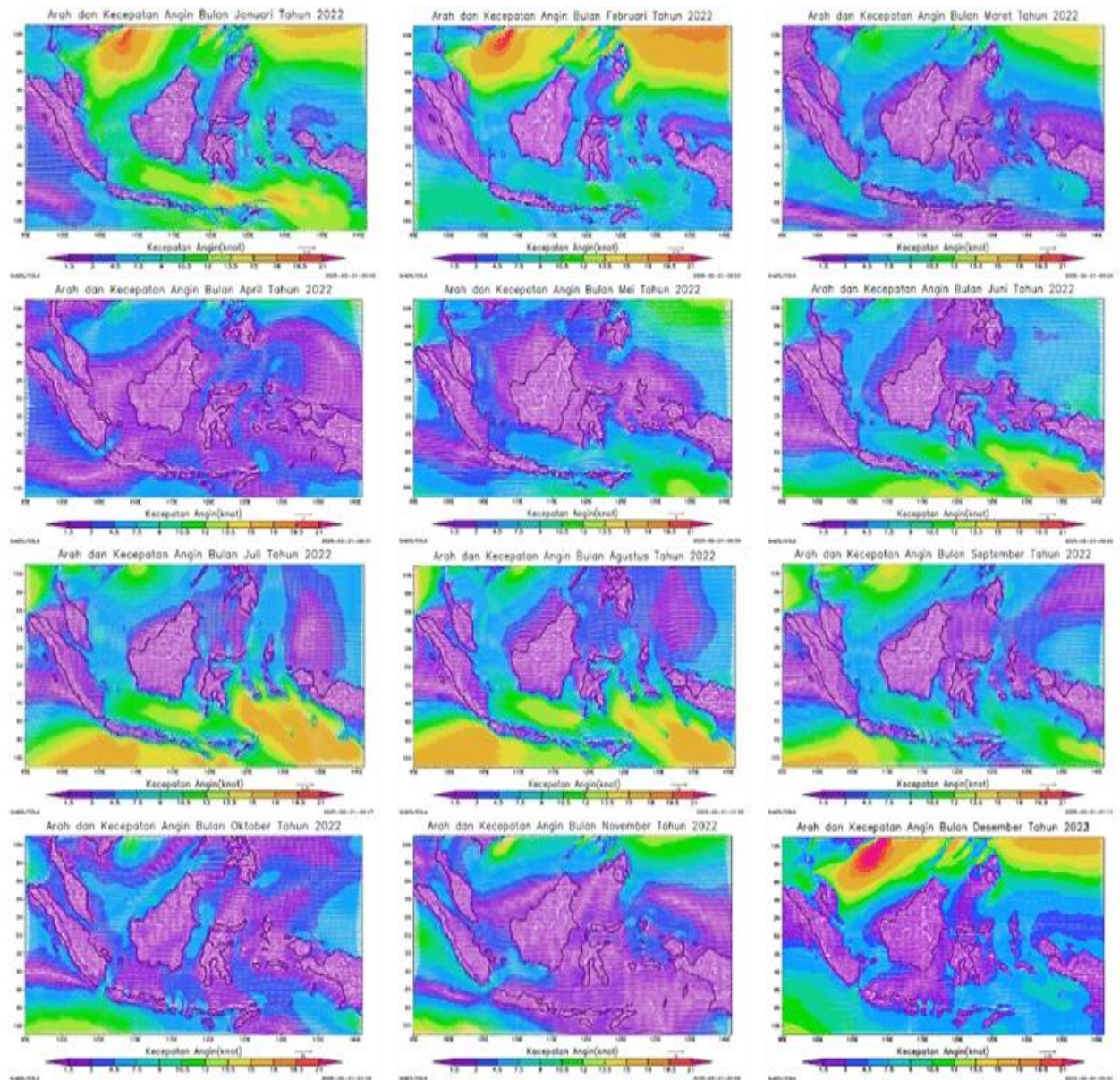


**Gambar 4.** Tekanan permukaan laut bulan Januari-Desember tahun 2023.



#### 4.2. Arah dan kecepatan angin

Kecepatan angin di wilayah Indonesia pada tahun 2022 berada pada rentang 1,5 knot hingga 18 knot. Berdasarkan Gambar 5. secara geografis pada periode tersebut, kecepatan angin maksimum di perairan disekitar wilayah barat Provinsi Kalimantan Barat yaitu perairan Laut Natuna Utara, Laut Natuna, dan Selat Karimata mencapai 18 knot yang mengindikasikan adanya intensifikasi aliran angin laut terbuka dikarenakan berada lebih dekat dengan jalur utama aliran angin Monsun Barat [8], dibandingkan dengan perairan bagian selatan Provinsi Kalimantan Barat yaitu Laut Jawa sekitar 12 knot. Diiringi kejadian La Nina, maka memperkuat pergerakan Monsun Barat membawa uap air dari Samudra Hindia dan wilayah Asia Tenggara menuju kawasan Indonesia sisi barat hingga tengah. Kondisi atmosfer yang lembap dan meningkatkan frekuensi serta intensitas hujan terutama di wilayah pesisir Provinsi Kalimantan Barat didukung dengan tekanan permukaan laut yang disajikan pada Gambar 3.

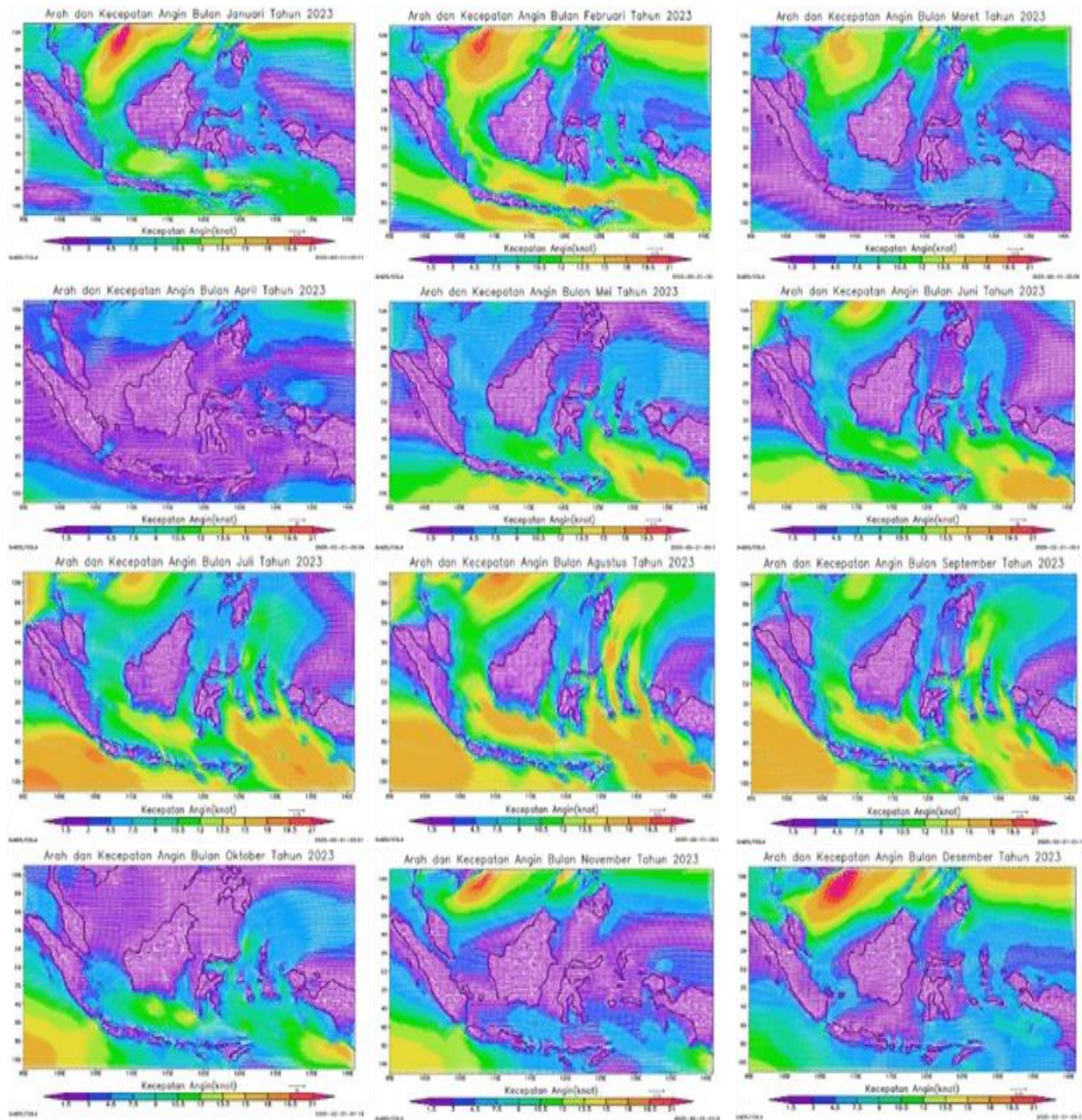


**Gambar 5.** Arah dan kecepatan angin bulan Januari-Desember tahun 2022.

Pada tahun 2023 menunjukkan pola angin yang dominan adalah monsun timur yang membawa massa udara kering dari Benua Australia menuju wilayah Indonesia, dimana angin maksimum terjadi di Laut Jawa dibandingkan Laut Natuna Utara yang disajikan pada Gambar 6.



Kondisi tersebut bersamaan berlangsungnya fenomena El Nino, sehingga berdampak terjadi penurunan curah hujan. Sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Barat berada langsung di jalur utama pergerakan monsun timur, sehingga menerima dampak langsung dari monsun timur dan tidak langsung dari kejadian El Nino [9]. Dengan demikian pada tahun tersebut, Provinsi Kalimantan Barat mengalami kondisi musim kemarau, meskipun dampaknya tidak sepanjang di wilayah selatan Indonesia.

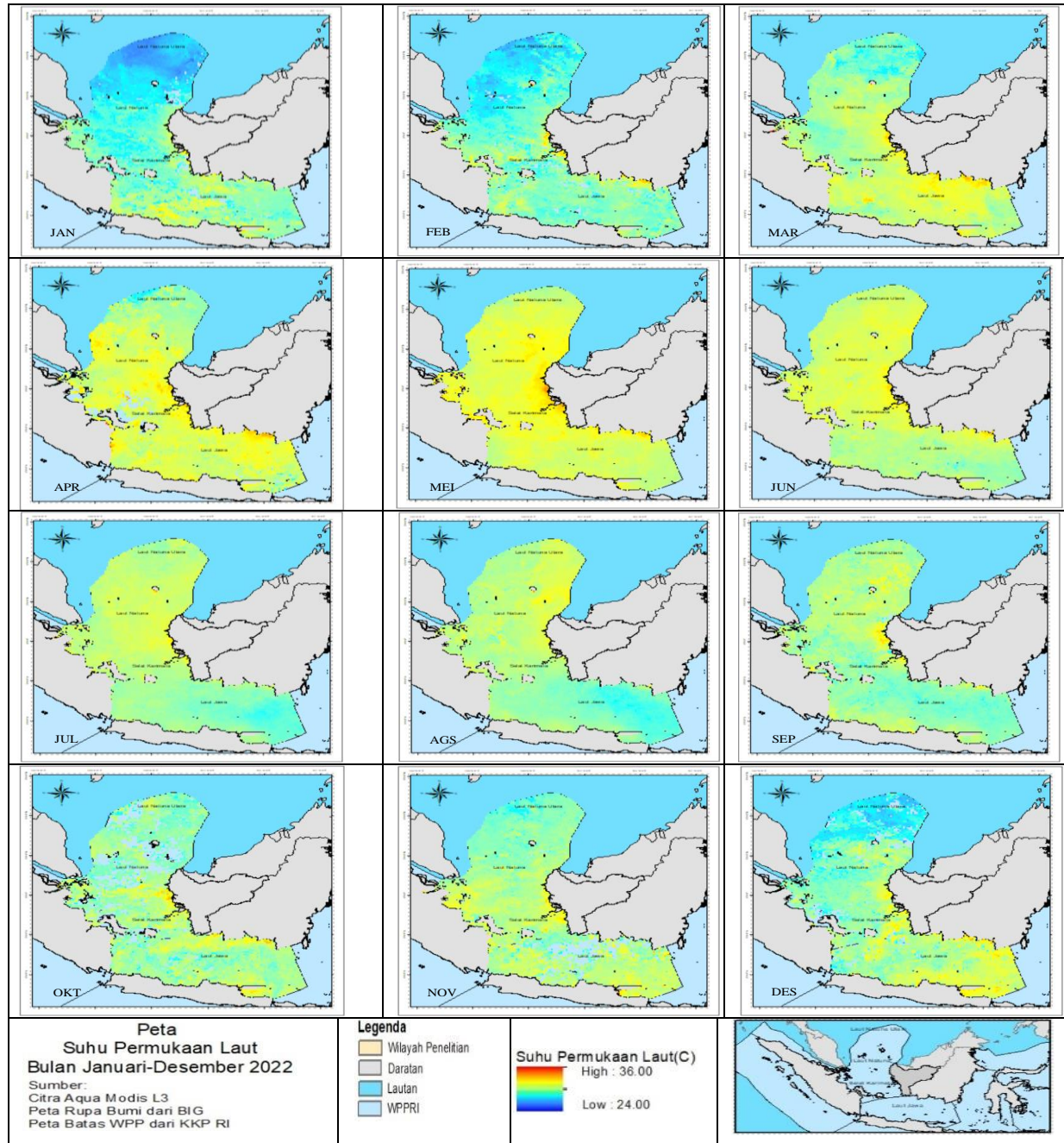


**Gambar 6.** Arah dan kecepatan angin bulan Januari-Desember tahun 2023.

#### 4.3. Suhu permukaan laut

Pada tahun 2022 menunjukkan suhu permukaan laut yang disajikan pada Gambar 7 berkisar antara 24°C - 36°C. Pada bulan Januari dan Februari 2022 menunjukkan sebagian besar wilayah penelitian suhu permukaan laut relatif rendah sekitar 24°C-27°C terutama di perairan sisi barat Provinsi Kalimantan Barat yaitu Laut Natuna Utara. Sementara pada bulan Maret hingga November 2022 suhu permukaan laut mengalami peningkatan dengan rata-rata berkisar 29°C dan berpotensi terjadi peningkatan curah hujan.



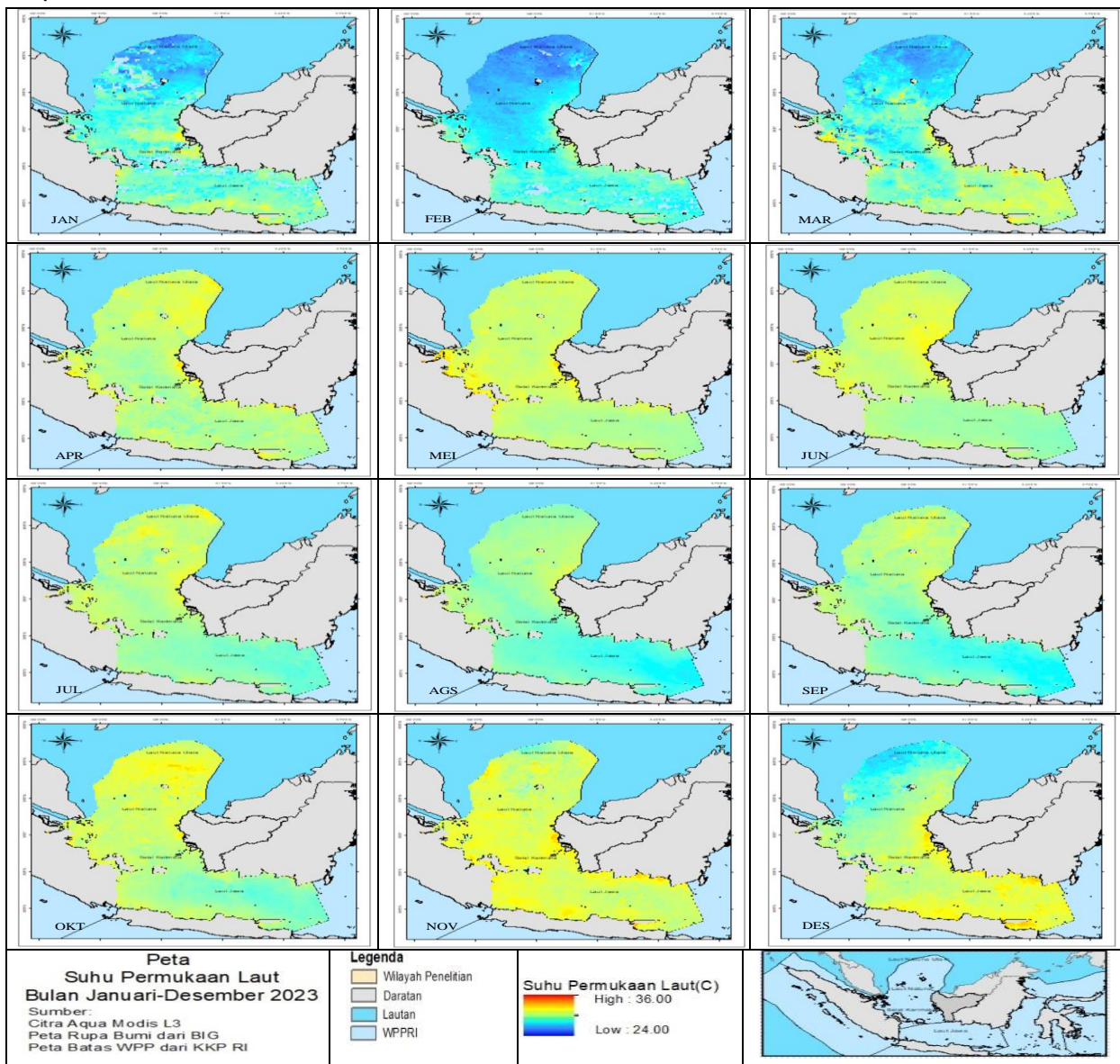


**Gambar 7.** Suhu permukaan laut bulan Januari-Desember tahun 2022.

Kondisi tekanan permukaan laut yang normal (Gambar 3) mendukung terjadinya konveksi, sementara suhu permukaan laut yang relatif tinggi meningkatkan penguapan [21]. Selain itu, angin monsun barat di sekitar Provinsi Kalimantan Barat (Gambar 5) dan fenomena La Nina pada tahun tersebut turut memperkuat mekanisme konveksi, sehingga potensi terjadinya hujan yang tinggi semakin besar. Pada bulan Desember, suhu permukaan laut kembali menurun hingga  $24^{\circ}\text{C}$ . Meskipun pada Januari, Februari, dan Desember suhu permukaan laut relatif rendah, potensi peningkatan curah hujan tetap ada. Hal ini karena sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Barat berada langsung pada jalur utama pergerakan muson barat, sehingga menerima dampak langsung dari muson barat serta pengaruh tidak langsung dari fenomena La Nina [9,11]. Dengan demikian pada tahun tersebut, Provinsi Kalimantan berpotensi mengalami curah hujan yang tinggi.

Pola sebaran suhu permukaan laut tahun 2023 sama dengan tahun sebelumnya antara  $24^{\circ}\text{C}$  hingga  $36^{\circ}\text{C}$ . Suhu permukaan laut bulan Januari hingga Maret yang disajikan pada Gambar 8 menunjukkan

sebagian besar wilayah penelitian suhu permukaan laut relatif rendah mencapai  $24^{\circ}\text{C}$  di perairan Laut Natuna Utara.



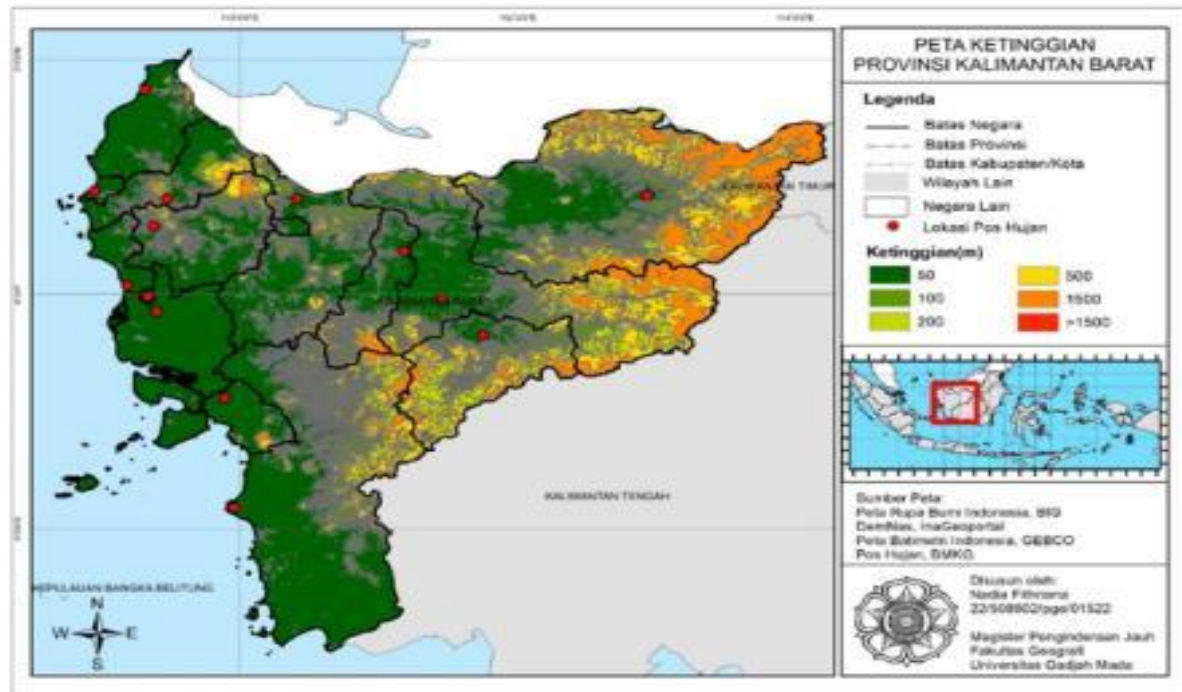
**Gambar 8.** Suhu permukaan laut bulan Januari-Desember tahun 2023.

Memasuki bulan Maret hingga Desember 2023 menunjukkan terjadi peningkatan suhu yang relatif stabil dengan rata-rata suhu permukaan laut  $30^{\circ}\text{C}$  yang dapat mendukung terjadinya konveksi [12]. Meskipun suhu permukaan laut mendukung konveksi, kondisi angin yang lemah sebagaimana disajikan pada Gambar 6 menyebabkan transportasi uap air di atmosfer menjadi terbatas. Hal tersebut menyebabkan kelembapan menumpuk secara lokal namun konveksi tidak tersebar luas, sehingga potensi curah hujan pada tahun 2023 menurun dan terbatas. Sementara itu suhu permukaan laut disekitar wilayah Provinsi Kalimantan Barat mencapai  $36^{\circ}\text{C}$  terjadi karena adanya kombinasi radiasi matahari yang tinggi tanpa awan dan angin, perairan dangkal yang menyerap panas, serta efek *skin layer* lapisan tipis laut yang mengalami pemanasan sangat tinggi dan dapat terdeteksi langsung oleh sensor satelit [13].

#### 4.4. Ketinggian wilayah

Kondisi topografi Provinsi Kalimantan Barat yang disajikan pada Gambar 9 menunjukkan rentang ketinggian yang cukup bervariasi, dengan ketinggian sekitar 50 hingga lebih dari 1500 meter di atas permukaan laut yang merupakan wilayah dataran rendah hingga pegunungan.





**Gambar 9.** Peta ketinggian Provinsi Kalimantan Barat.

Sisi barat Provinsi Kalimantan Barat didominasi dataran rendah, sedangkan sisi timur hingga wilayah pegunungan. Sisi barat yang terletak di wilayah pesisir sangat dipengaruhi oleh dinamika laut, sehingga curah hujan di daerah ini bersifat bervariasi sesuai dengan kondisi atmosfer dan laut yang berkembang [14]. Pada umumnya, hujan di pesisir dipicu karena adanya proses konveksi akibat pemanasan permukaan serta suplai uap air yang melimpah dari laut.

Sementara sisi timur yang merupakan wilayah didominasi daratan dengan ketinggian bervariasi lebih dipengaruhi oleh faktor lokal seperti pegunungan. Meskipun tekanan permukaan laut pada wilayah ini umumnya menunjukkan kondisi tekanan tinggi disajikan pada Gambar 3 dan 4 yang cenderung membatasi aktivitas konveksi, faktor topografi tetap berperan penting. Udara lembab yang bergerak ke arah lereng pegunungan akan terpaksa naik, mengalami pendinginan adiabatik, lalu terkondensasi menjadi awan dan hujan. Akibatnya, distribusi curah hujan di sisi timur tergolong stabil [15], dengan intensitas tinggi pada lereng windward dan lebih rendah di sisi leeward akibat adanya efek bayangan hujan [6,7].

## 5. Kesimpulan

Analisis ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh La Nina yang terjadi pada tahun 2022 yang bersamaan dengan dominasi muson barat daya menyebabkan curah hujan di Kalimantan Barat tinggi dan merata. Pesisir barat menerima suplai uap air dari Laut Natuna, sedangkan wilayah timur yang bergunung mendapat tambahan hujan orografis. Sebaliknya, pada tahun 2023 kondisi El Nino dan dominasi muson timur yang bersifat kering menyebabkan penurunan curah hujan, terutama di pesisir. Meskipun demikian wilayah timur masih mengalami hujan, namun dengan intensitas lebih rendah. Hal ini menunjukkan curah hujan dipengaruhi iklim global dan diperkuat faktor topografi.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dosen Program Magister Penginderaan Jauh FGE Universitas Gadjah Mada atas kerjasama dan bimbingan yang telah diberikan dalam penelitian ini.

## Pustaka

[1] BMKG 2022 Pemutakhiran Zona Musim Indonesia Periode 1991–2020 Pusat Informasi Perubahan

Iklim Jakarta.

- [2] Takahashi H G and Dado J M B 2018 Relationship Between Sea Surface Temperature and Rainfall in the Philippines During the Asian Summer Monsoon *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 96 283–290 Continent observed through satellite scatterometry *Mon. Weather Rev.* 147(6) 2023–2044
- [3] Nicolas Q and Boos W R 2025 Sensitivity of tropical orographic precipitation to wind speed with implications for future projections *Weather Clim. Dynam.* 6 231–244
- [4] Li Y, Sen Gupta A, Taschetto A S, Jourdain N C, Di Luca A, Done J M and Luo J J 2020 Assessing the Role of the Ocean–Atmosphere Coupling Frequency in the Western Maritime Continent Rainfall *Clim. Dyn.* 54(11–12) 4935–4952
- [5] Gnann S J, Baldwin J E, Cuthbert M O, Gleeson T T, Schwanghart W and Wagener T 2025 The influence of topography on the global terrestrial water cycle *Rev. Geophys.* 63(1) e2023RG000810
- [6] Marra F, Armon M, Borga M and Morin E 2021 Orographic effect on extreme precipitation statistics peaks at hourly time scales *Geophys. Res. Lett.* 48 e2020GL091498
- [7] Marra F, Armon M and Morin E 2022 Coastal and orographic effects on extreme precipitation revealed by weather radar observations *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 26 1439–1458
- [8] Kok P H, Wijeratne S, Akhir M F, Pattiaratchi C, Roseli N H and Ali F S M 2021 Interconnection between the Southern South China Sea and the Java Sea through the Karimata Strait *J. Mar. Sci. Eng.* 9(10) 1040
- [9] Trismidianto S, Satiadi D, Harjupa W, Fathrio I *et al.* 2024 Southerly Surge Impact on Rainfall Patterns in Southern Indonesia during Winter Monsoon and Madden–Julian Oscillation (MJO) *Atmosphere* 15(7) 840
- [10] Ahrens C D 2024 *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* 14th ed. Cengage Learning
- [11] Kim J-W, Ham Y-G and Park J-Y 2025 ENSO predictability during and after the 2020–2023 triple-dip La Niña *npj Clim. Atmos. Sci.* 8(1) 22
- [12] Johnson N C and Xie S-P 2010 Changes in the sea surface temperature threshold for tropical convection *Nat. Geosci.* 3 842–845
- [13] Jia C and Minnett P J 2023 Ocean warm skin signals observed by Saildrone at high latitudes *Geophys. Res. Lett.* 50 e2022GL10238
- [14] Ruslana Z N, Sulistyowati S, Umaroh U, Prihatin R S and Ana S E 2022 Pengaruh CENS-CT terhadap curah hujan ekstrem dan banjir di Kota Semarang (studi kasus tanggal 5 dan 6 Februari 2021) *J. Meteorol. Geofis.* 23(2) 63–74
- [15] Nicolas Q and Boos W R 2025 Sensitivity of tropical orographic precipitation to wind speed with implications for future projections *Weather Clim. Dyn.* 6 231–244.