

Variabilitas Arus Laut Permukaan dan Suhu Permukaan Laut di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda pada Fase ENSO

Variability of Surface Ocean Currents and Sea Surface Temperature in the Southeast Sulawesi–Banda Sea during ENSO Phases

Fadhila Aulia Sulidadi^{1*}, Latifah Nurul Qomariyatuazzamzami¹, Avrionesti¹, Aditya Mulya¹

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang

*Korespondensi : fadhilaaulia75@gmail.com

Abstrak

Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda merupakan bagian dari jalur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang dipengaruhi oleh variabilitas iklim global, termasuk *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). Penelitian ini bertujuan menganalisis variabilitas arus laut permukaan dan suhu permukaan laut (SPL) di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda selama periode September–November (SON) pada fase *El Niño* kuat, *La Niña* kuat, dan netral. Data arus laut permukaan dan SPL diperoleh dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) periode 2010–2024 dan dianalisis menggunakan metode komposit berdasarkan *Oceanic Niño Index* (ONI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fase *El Niño* kuat, kecepatan arus laut permukaan rata-rata tertinggi sebesar 0,191 m/s dengan SPL rata-rata terendah sebesar 28,463°C, sedangkan fase *La Niña* kuat memiliki kecepatan arus rata-rata terendah sebesar 0,127 m/s dengan SPL rata-rata tertinggi sebesar 29,398°C. Pada fase netral, kecepatan arus laut permukaan rata-rata sebesar 0,130 m/s dengan SPL rata-rata sebesar 29,046°C. Pola arus pada ketiga fase memperlihatkan arah aliran yang bervariasi disertai indikasi sirkulasi lokal menyerupai pusaran, yang secara visual lebih banyak teridentifikasi pada fase *La Niña* kuat dibandingkan fase lainnya. Perbedaan karakteristik arus tersebut diikuti oleh perubahan SPL, dengan kecepatan arus yang lebih tinggi berkaitan dengan SPL yang lebih rendah. Pola tersebut diduga berkaitan dengan proses transport dan pencampuran massa air yang dapat memengaruhi distribusi suhu permukaan laut.

Kata Kunci: Arus Laut Permukaan, ENSO, Suhu Permukaan Laut, Laut Banda.

Abstract

The Southeast Sulawesi–Banda Sea waters are part of the Indonesian Throughflow (ITF) pathway and are influenced by global climate variability, including the *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). This study aims to analyze the variability of surface ocean currents and sea surface temperature (SST) in the Southeast Sulawesi–Banda Sea waters during the September–November (SON) period under strong *El Niño*, strong *La Niña*, and neutral phases. Surface ocean current and SST data were obtained from the *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) for the 2010–2024 period and analyzed using a composite method based on the *Oceanic Niño Index* (ONI). The results show that during the strong *El Niño* phase, the mean surface current speed was the highest at 0.191 m/s, with the lowest mean SST of 28.463°C, whereas the strong *La Niña* phase had the lowest mean current speed at 0.127 m/s and the highest mean SST at 29.398°C. During the neutral phase, the mean surface current speed was 0.130 m/s, with a mean SST of 29.046°C. Current patterns across the three phases showed varying flow directions accompanied by indications of local circulations resembling eddies, which were visually identified more frequently during the strong *La Niña* phase than during the other phases. Differences in current characteristics were accompanied by changes in SST, with higher current speeds being associated with lower SST. This pattern may be related to water-mass transport and mixing processes that can influence the distribution of sea surface temperature.

Keywords: Surface Ocean Current, ENSO, Sea Surface Temperature, Banda Sea.

PENDAHULUAN

Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda merupakan wilayah kepulauan yang memiliki konfigurasi batimetri kompleks, terdiri atas gugusan pulau, terumbu karang, palung, dan cekungan laut. Kondisi tersebut berperan dalam mengontrol arah, kecepatan, serta pembelokan aliran massa air yang mampu memengaruhi dinamika oseanografi di kawasan ini (Utami & Guruh P, 2009). Secara geografis, wilayah ini merupakan bagian dari jalur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Massa air dari Samudra Pasifik memasuki wilayah Indonesia melalui Laut Sulawesi dan Selat Makassar, kemudian mengalir menuju Laut Banda sebelum keluar melalui Selat Ombai, Laut Sawu, dan Laut Timor (Giu *et al.*, 2020; Gordon, 2005). Selain dipengaruhi oleh transport massa air ARLINDO, dinamika oseanografi di kawasan ini juga dipengaruhi oleh sistem arus musiman yang membentuk pola sirkulasi massa air (Giu *et al.*, 2020). Wilayah ini juga merupakan bagian dari Sunda Banda Seascape (SBS) yang memiliki keanekaragaman hayati laut tinggi dan menjadi salah satu wilayah penting bagi sumber daya perikanan nasional. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik oseanografi di kawasan ini penting guna mendukung pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya kelautan secara berkelanjutan (Estradivari *et al.*, 2022).

Salah satu pengendali utama variabilitas oseanografi di perairan Indonesia adalah *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). Fenomena ini memengaruhi transport massa air antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia melalui perubahan gradien tekanan antarkedua samudra. Pada fase El Niño, pelemahan angin pasat menyebabkan gradien tekanan melemah sehingga transport massa air melalui Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) cenderung menurun. Sebaliknya, pada fase La Niña, penguatan angin pasat meningkatkan gradien tekanan sehingga transport massa air melalui ARLINDO cenderung menguat (Hu *et al.*, 2022; Sprintall *et al.*, 2019). Perubahan transport massa air tersebut dapat memengaruhi dinamika arus laut permukaan yang berperan dalam mengendalikan distribusi suhu permukaan laut melalui pergerakan massa air, pengadukan, dan pencampuran secara horizontal (Wardhani *et al.*, 2021).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa respons oseanografi terhadap ENSO berbeda pada setiap wilayah di Indonesia. Mudlika *et al.* (2025) menemukan bahwa fase El Niño di Laut Banda diikuti oleh peningkatan kecepatan arus laut permukaan dan penurunan suhu permukaan laut, sedangkan fase La Niña menunjukkan kondisi yang berlawanan. Namun, penelitian tersebut menggunakan satu tahun sebagai representasi masing-masing fase ENSO dan menganalisis karakteristik oseanografi pada periode Juni–Agustus. Oleh karena itu, karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada periode peralihan dengan menggunakan komposit dari beberapa kejadian El Niño kuat, La Niña kuat, dan netral masih perlu dikaji lebih lanjut. Wangdiarta *et al.* (2024) menunjukkan bahwa perubahan suhu permukaan laut di Perairan Masalemba berkaitan dengan dinamika arus laut permukaan yang dipengaruhi oleh variasi angin selama fase ENSO. Sementara itu, Amalia *et al.* (2025) menemukan bahwa suhu permukaan laut di Perairan Pulau Enggano cenderung meningkat pada fase El Niño dan menurun pada fase La Niña. Berbeda dengan hasil tersebut, Marthinus *et al.* (2024) menunjukkan bahwa di Laut Halmahera suhu permukaan laut justru menurun pada fase El Niño kuat dan meningkat pada fase La Niña kuat. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa respons arus laut permukaan dan suhu permukaan laut terhadap ENSO bersifat regional dan dipengaruhi oleh karakteristik oseanografi masing-masing wilayah.

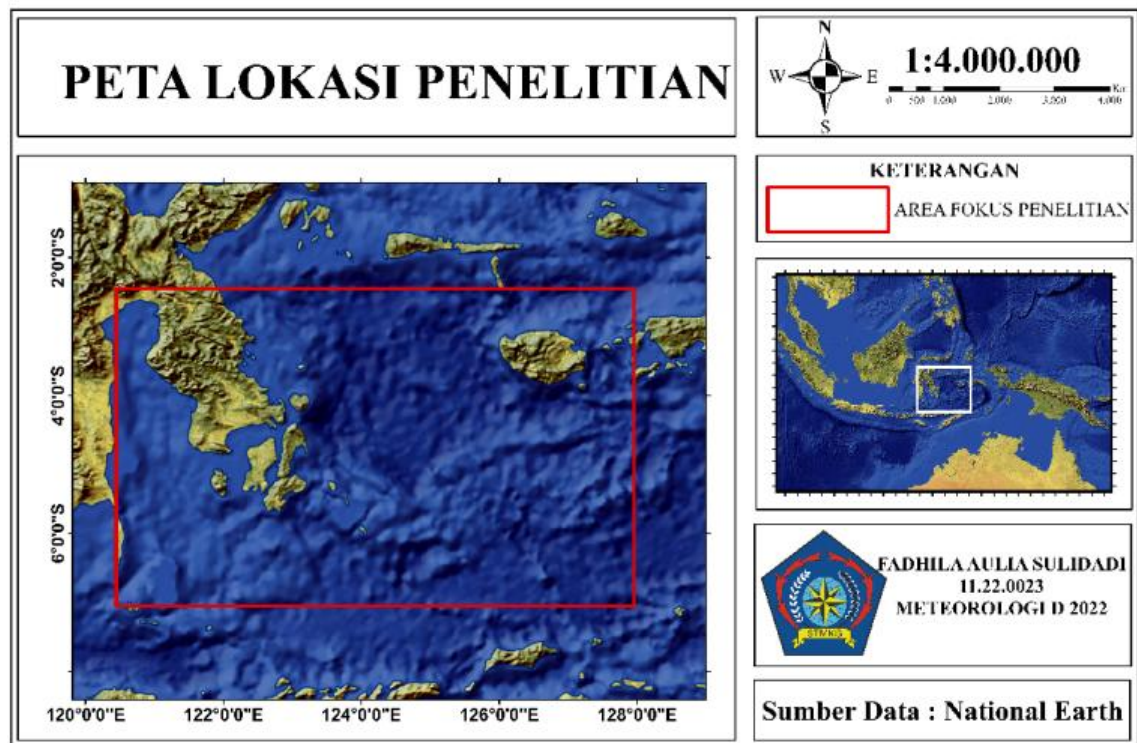
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut selama periode ENSO di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda penting dilakukan karena wilayah ini berada pada jalur sirkulasi laut regional yang dipengaruhi oleh variabilitas ENSO. Penelitian difokuskan pada fase El Niño kuat, La Niña kuat, dan netral untuk menganalisis dinamika arus laut permukaan serta distribusi suhu permukaan laut pada kondisi yang berbeda. Pemilihan fase ENSO kuat didasarkan pada besarnya anomali suhu permukaan laut dibandingkan fase lemah atau moderat, sehingga respons dinamika laut lebih mudah diidentifikasi (Santoso *et al.*, 2017). Untuk meminimalkan pengaruh musiman, analisis dibatasi pada periode peralihan sebagai fase transisi monsun di Indonesia, sehingga tidak dipengaruhi secara dominan oleh monsun timur maupun monsun barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung

pemahaman dinamika laut regional serta menjadi dasar dalam pengelolaan sumber daya kelautan dan aktivitas maritim.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda dengan koordinat 121° sampai 128° BT dan 7° LS sampai 3° LS. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Data dan Alat Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data *Oceanic Niño Index* (ONI) periode 2010–2024 yang diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) untuk menentukan fase El Niño kuat, La Niña kuat, dan netral, serta data arus laut permukaan dan suhu permukaan laut dari produk *Global Ocean Physics Reanalysis* (GLORYS12V1) yang diperoleh melalui *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dengan resolusi spasial $0,083^\circ \times 0,083^\circ$, resolusi temporal bulanan, dan kedalaman data arus 0,49 m. Data arus pada kedalaman tersebut digunakan untuk merepresentasikan arus laut permukaan. Seluruh proses pengolahan, analisis, dan visualisasi data dilakukan menggunakan *Google Colaboratory* dengan bahasa pemrograman Python.

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Penelitian diawali dengan penentuan fase ENSO menggunakan *Oceanic Niño Index* (ONI) periode 2010–2024 yang diperoleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Fase ENSO diklasifikasikan menjadi El Niño kuat dengan nilai $ONI \geq +1,5$ °C, La Niña kuat dengan nilai $ONI \leq -1,5$ °C, dan kondisi netral dengan nilai ONI antara $-0,5$ °C hingga $+0,5$ °C. Berdasarkan kriteria tersebut, diperoleh beberapa tahun yang termasuk dalam fase El Niño kuat, La Niña kuat, dan netral selama periode September–November (SON), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, fase El Niño kuat terdiri atas tahun 2015 dan 2023, fase La Niña kuat terdiri atas tahun 2010, sedangkan fase netral terdiri atas tahun 2012, 2013, dan 2024. Dengan mempertimbangkan tiga bulan dalam periode SON, masing-masing fase berkontribusi sebanyak 6

observasi bulanan untuk El Niño kuat, 3 observasi bulanan untuk La Niña kuat, dan 9 observasi bulanan untuk kondisi netral dalam pembentukan komposit.

Tabel 1. Penentuan fase ENSO berdasarkan nilai ONI periode SON 2010–2024

Tahun	ONI September	ONI Oktober	ONI November	Fase ENSO
2010	-1.56 °C	-1.64 °C	-1.64 °C	La Niña Kuat
2012	0.41 °C	0.31 °C	0.13 °C	Netral
2013	-0.21 °C	-0.13 °C	-0.1 °C	Netral
2015	2.21 °C	2.47 °C	2.64 °C	El Niño Kuat
2023	1.6 °C	1.83 °C	1.99 °C	El Niño Kuat
2024	-0.17 °C	-0.21 °C	-0.3 °C	Netral

Selanjutnya, data arus laut permukaan dan suhu permukaan laut dari *produk Global Ocean Physics Reanalysis* (GLORYS12V1) periode 2010–2024 dikumpulkan berdasarkan fase ENSO yang telah ditentukan. Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode komposit dengan menghitung nilai rata-rata pada setiap fase ENSO untuk memperoleh karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut. Hasil pengolahan selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk peta spasial berupa peta komposit arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada masing-masing fase ENSO.

Komposit arus laut permukaan dihitung berdasarkan komponen arus zonal (*u*) dan meridional (*v*) pada setiap titik grid. Nilai komposit masing-masing komponen arus dihitung dengan merata-ratakan data bulanan yang termasuk dalam setiap fase ENSO menggunakan Persamaan (1) dan (2).

$$u_c(x,y) = \frac{1}{N_c} \sum_{t \in c} u(x,y,t)$$

(1)

$$v_c(x,y) = \frac{1}{N_c} \sum_{t \in c} v(x,y,t)$$

(2)

Kecepatan arus laut permukaan kemudian dihitung berdasarkan komponen arus zonal dan meridional menggunakan Persamaan (3).

$$V_c(x,y) = \sqrt{u_c(x,y)^2 + v_c(x,y)^2}$$

(3)

V merupakan kecepatan arus laut permukaan (m/s), *u* merupakan komponen arus zonal (m/s), dan *v* merupakan komponen arus meridional (m/s). Komposit suhu permukaan laut dihitung pada setiap titik grid dengan merata-ratakan data bulanan yang termasuk dalam masing-masing fase ENSO menggunakan Persamaan (4).

$$\overline{SST}_c(x,y) = \frac{1}{N_c} \sum_{t \in c} SST(x,y,t)$$

(4)

Selain nilai rata-rata, simpangan baku (*standard deviation*) dihitung untuk menggambarkan variabilitas arus dan suhu permukaan laut pada setiap fase ENSO. Perhitungan simpangan baku ini didasarkan pada nilai rata-rata bulanan dari masing-masing parameter yang termasuk dalam tiap fase ENSO. Secara matematis, nilai simpangan baku ditentukan menggunakan Persamaan (5):

$$SD_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_c} (Xi,c - \overline{Xc})^2}{Nc - 1}}$$

(5)

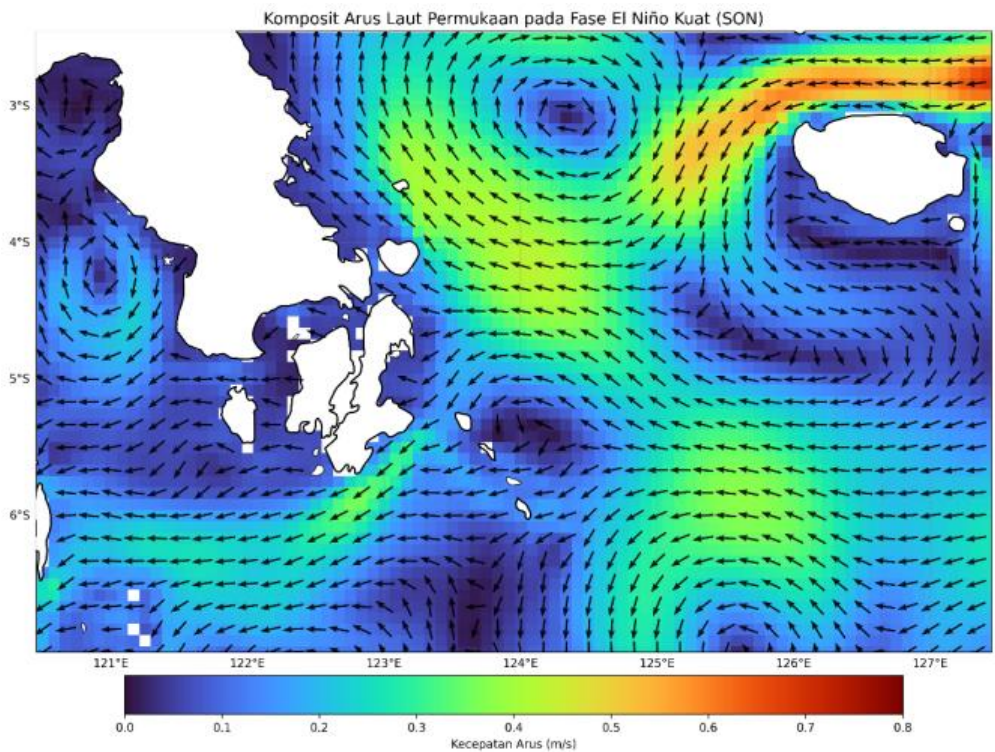
Dalam persamaan tersebut, SD_c merupakan simpangan baku parameter pada fase ENSO c , sedangkan Xi, c melambangkan nilai rata-rata parameter pada bulan ke- i dalam fase ENSO c . Selanjutnya, $\overline{Xc}$ merupakan rata-rata parameter seluruh bulan pada fase ENSO c , dan Nc merupakan jumlah bulan yang termasuk dalam fase ENSO c . Parameter yang dihitung meliputi kecepatan arus laut permukaan (m/s) dan suhu permukaan laut ($^{\circ}\text{C}$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus Laut Permukaan

1. Fase El Niño Kuat

Pola arus laut permukaan pada fase El Niño kuat di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa pola arus laut permukaan pada fase El Niño kuat selama periode September–November (SON) menunjukkan arah pergerakan massa air yang bervariasi di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda. Arus dengan intensitas relatif lebih tinggi berkembang pada bagian timur laut wilayah penelitian ($126,0^{\circ}$ – $127,3^{\circ}$ BT dan $2,7^{\circ}$ – $3,0^{\circ}$ LS), sedangkan pada bagian utara Laut Banda ($123,5^{\circ}$ – $124,5^{\circ}$ BT dan $2,8^{\circ}$ – $3,3^{\circ}$ LS) terlihat perubahan arah arus yang membentuk pola sirkulasi menyerupai pusaran. Indikasi sirkulasi menyerupai pusaran juga dijumpai pada bagian barat dan tengah wilayah penelitian, meskipun dengan luasan yang lebih kecil. Keberadaan pola sirkulasi tersebut menunjukkan bahwa distribusi arus laut permukaan berkembang secara tidak seragam selama fase El Niño kuat. Kondisi ini sejalan dengan Darmawan *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa Laut Banda merupakan salah satu wilayah dengan frekuensi kemunculan *eddies* yang tinggi, terutama pada periode peralihan akibat interaksi dinamika arus regional.



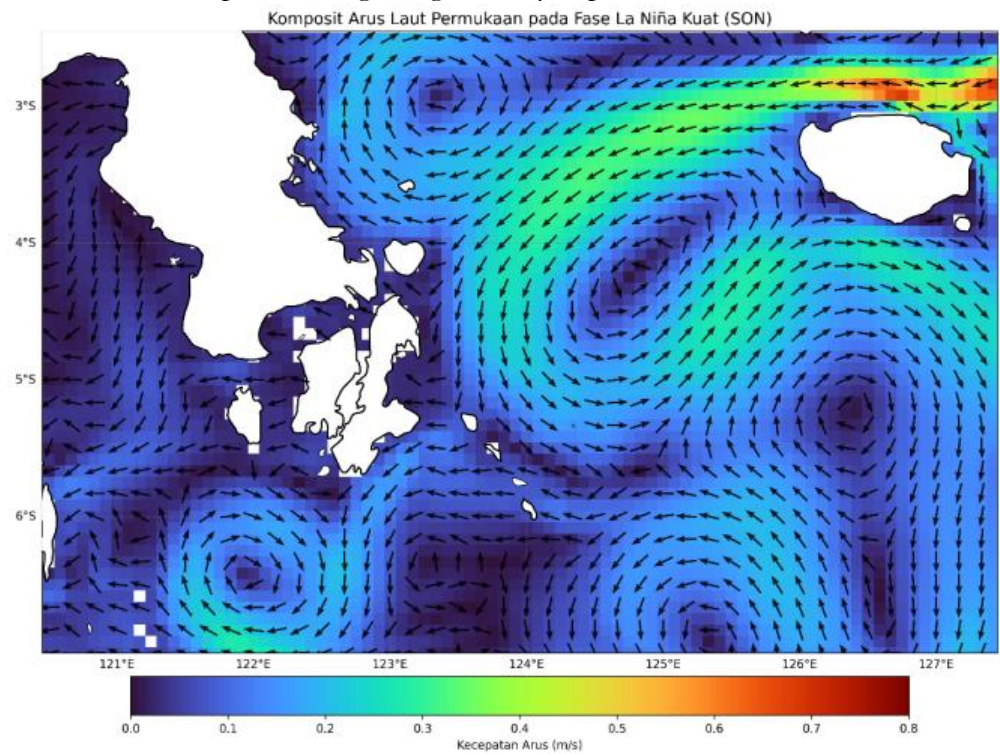
Gambar 1. Komposit arus laut permukaan fase El Niño kuat

Karakteristik arus laut permukaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi topografi Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda yang memiliki konfigurasi batimetri kompleks serta dikelilingi oleh gugusan pulau. Variasi topografi dasar laut menyebabkan perubahan arah aliran dan membentuk pola sirkulasi yang lebih beragam (Utami & Guruh P, 2009). Arus dengan intensitas relatif lebih tinggi pada bagian timur laut wilayah penelitian, terutama pada perairan di sekitar Pulau Buru, diduga berkaitan dengan pengaruh sistem Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). Menurut Asmoro *et al.* (2024), massa air ARLINDO mengalir melalui kawasan Kepulauan Maluku, Taliabu, Sula, dan

Buru menuju Laut Banda. Sebagai jalur utama transport massa air yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, ARLINDO berperan dalam membentuk sirkulasi di Laut Banda (Sprintall *et al.*, 2019), sehingga tingginya intensitas arus yang teramati pada perairan sekitar Pulau Buru diduga berkaitan dengan pengaruh transport massa air tersebut. Sebaliknya, arus dengan intensitas lebih rendah umumnya dijumpai di wilayah pesisir Sulawesi Tenggara dan perairan antarpulau. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh interaksi aliran dengan morfologi pantai, konfigurasi kepulauan, serta topografi dasar laut yang memodifikasi karakteristik arus permukaan (Purba *et al.*, 2025; Utami & Guruh P, 2009). Perbedaan distribusi kecepatan arus tersebut menunjukkan bahwa pola arus permukaan di wilayah penelitian tidak bersifat seragam. Meskipun fase El Niño secara umum menyebabkan pelemahan transport ARLINDO (Sprintall *et al.*, 2014; Sprintall *et al.*, 2019), pola arus laut permukaan di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda tidak sepenuhnya mengikuti karakteristik tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa respons arus laut permukaan di wilayah penelitian dimodifikasi oleh kondisi oseanografi regional, seperti batimetri, konfigurasi kepulauan, dan interaksi antarmassa air di Laut Banda.

2. Fase La Niña Kuat

Pola arus laut permukaan pada fase La Niña kuat di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, dapat dilihat bahwa pola arus laut permukaan pada La Niña kuat selama periode September–November (SON) menunjukkan arah pergerakan massa air yang bervariasi di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda. Arus dengan intensitas relatif lebih tinggi berkembang pada bagian timur laut wilayah penelitian ($126,0^{\circ}$ – $127,3^{\circ}$ BT dan $2,7^{\circ}$ – $3,0^{\circ}$ LS), sedangkan pada bagian utara Laut Banda ($123,8^{\circ}$ – $124,5^{\circ}$ BT dan $2,8^{\circ}$ – $3,2^{\circ}$ LS) terlihat perubahan arah arus yang membentuk pola sirkulasi menyerupai pusaran. Indikasi sirkulasi menyerupai pusaran juga berkembang pada bagian tengah, timur, dan barat daya wilayah penelitian sehingga distribusi arus laut permukaan menjadi lebih kompleks dibandingkan fase El Niño kuat. Berkembangnya beberapa sirkulasi menyerupai pusaran tersebut menunjukkan bahwa massa air tidak hanya bergerak mengikuti satu jalur aliran, tetapi mengalami pembelokan yang membentuk sistem sirkulasi pada berbagai bagian wilayah penelitian.



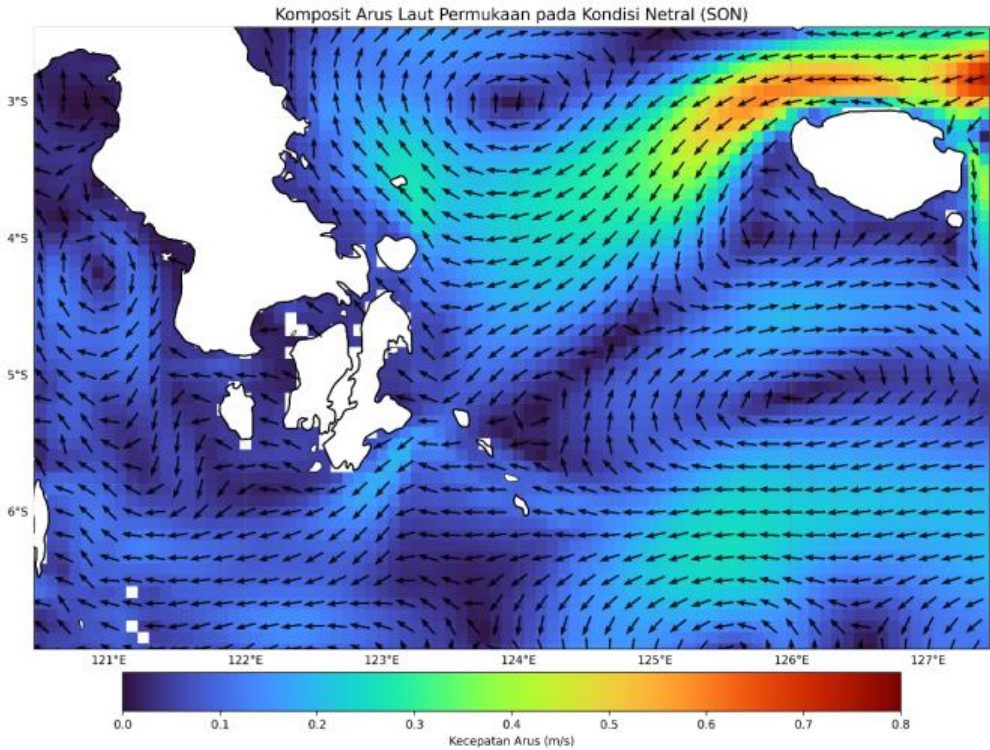
Gambar 2. Komposit arus laut permukaan fase La Niña kuat

Terbentuknya beberapa sirkulasi menyerupai pusaran pada fase La Niña kuat menunjukkan bahwa dinamika arus permukaan di Laut Banda berkembang secara aktif selama periode penelitian.

Kondisi ini sejalan dengan Chen et al. (2020) yang menjelaskan bahwa selama fase La Niña pola sirkulasi arus di Laut Banda terbagi menjadi dua sistem, yaitu arus yang bergerak berlawanan arah jarum jam pada cekungan barat dan searah jarum jam pada cekungan timur. Perbedaan pola sirkulasi tersebut menyebabkan sirkulasi menyerupai pusaran berkembang dan tersebar mengikuti jalur sirkulasi arus di berbagai bagian Laut Banda, sehingga menghasilkan distribusi sirkulasi yang lebih luas dibandingkan pada fase El Niño. Nanlohy et al. (2017) juga menjelaskan bahwa interaksi massa air yang memasuki Laut Banda melalui dua jalur utama Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) membentuk pola sirkulasi yang kompleks, sedangkan Horhoruw et al. (2020) menunjukkan bahwa peningkatan vortisitas *eddies* pada fase La Niña mengindikasikan berkembangnya sirkulasi lokal yang lebih intensif. Meskipun secara umum fase La Niña dikaitkan dengan penguatan transport ARLINDO (Sprintall et al., 2014; Sprintall et al 2019), sebagian besar wilayah penelitian justru didominasi oleh arus dengan intensitas relatif lebih rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pembentukan *eddies* serta interaksi arus dengan batimetri dan konfigurasi kepulauan turut memodifikasi karakteristik arus laut permukaan di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda.

3. Fase Netral

Pola arus laut permukaan pada fase netral di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa pola arus laut permukaan pada fase netral selama periode September–November (SON) menunjukkan arah pergerakan massa air yang bervariasi di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda. Arus dengan intensitas relatif lebih tinggi berkembang pada bagian timur laut wilayah penelitian (126,0°–127,3° BT dan 2,7°–3,0° LS), sedangkan pada bagian utara Laut Banda (123,7°–124,4° BT dan 2,8°–3,2° LS) terlihat pembelokan arah arus yang membentuk pola sirkulasi menyerupai pusaran. Indikasi sirkulasi menyerupai pusaran juga dijumpai pada bagian barat dan tenggara wilayah penelitian, sehingga distribusi arus laut permukaan berkembang melalui beberapa jalur aliran dan tidak seragam di seluruh wilayah penelitian.



Gambar 3. Komposit arus laut permukaan fase Netral

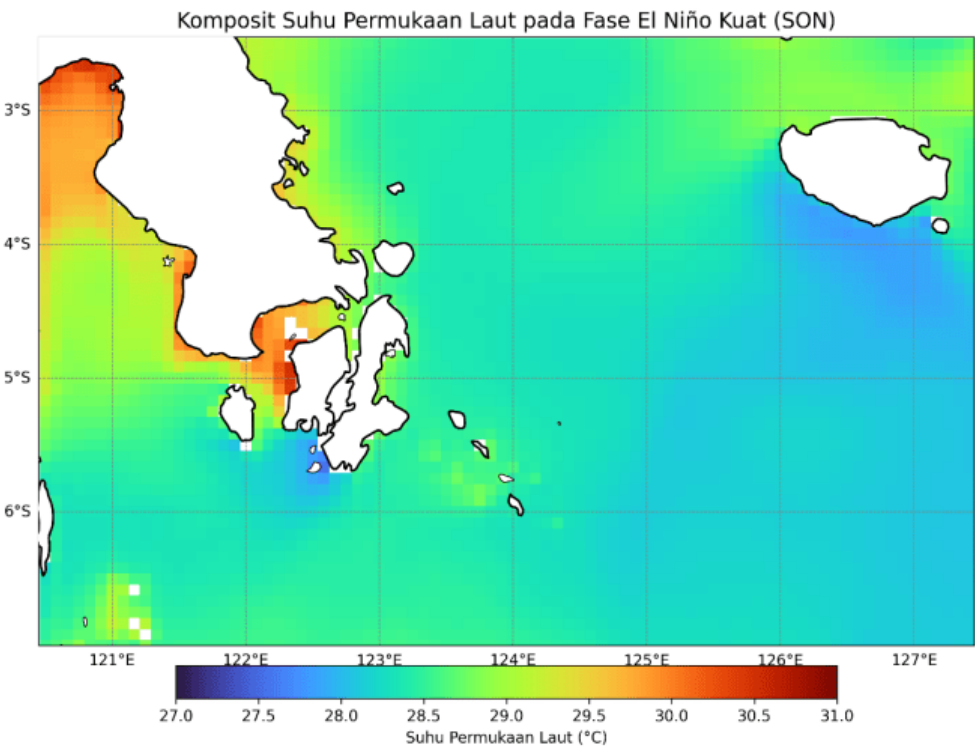
Keberadaan beberapa sirkulasi menyerupai pusaran pada kondisi netral menunjukkan bahwa pembentukan sirkulasi lokal di Laut Banda tidak hanya dipengaruhi oleh variabilitas ENSO, tetapi juga oleh karakteristik oseanografi regional. Konfigurasi batimetri yang kompleks, keberadaan gugusan pulau, serta interaksi arus regional menyebabkan arus yang melintas

mengalami pembelokan dan membentuk sirkulasi lokal (Purba *et al.*, 2025; Utami & Guruh P, 2009). Selain itu, posisi Laut Banda sebagai bagian dari jalur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) memungkinkan dinamika sirkulasi tetap berkembang meskipun tidak terdapat anomali ENSO yang kuat (Gordon, 2005; Sprintall *et al.*, 2014). Sebaran arus pada kondisi netral juga menunjukkan intensitas yang relatif lebih merata dibandingkan fase El Niño kuat maupun La Niña kuat, sehingga mencerminkan kondisi sirkulasi permukaan yang lebih stabil selama periode peralihan. Kondisi ini sejalan dengan Utama *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa selama periode September–November pola arus permukaan di Laut Banda mengalami perubahan mengikuti perubahan pola angin monsun. Pada September–Oktober arus masih dipengaruhi oleh angin monsun tenggara yang mulai melemah, sedangkan memasuki November pola angin menjadi tidak teratur sehingga arus permukaan melemah, arahnya menjadi kurang jelas, dan di beberapa bagian Laut Banda teridentifikasi pembentukan *eddies* selama periode peralihan.

Karakteristik Suhu Permukaan Laut

1. Fase El Niño Kuat

Distribusi suhu permukaan laut pada fase El Niño Kuat di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, distribusi suhu permukaan laut pada fase El Niño kuat selama periode September–November (SON) di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda menunjukkan variasi spasial yang cukup jelas. Sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh suhu permukaan laut berkisar 28–29°C, terutama pada bagian tengah hingga timur Laut Banda. Zona perairan yang lebih hangat berkembang di sekitar pesisir Sulawesi Tenggara dan perairan antar pulau pada kisaran 122°–123° BT dan 4,5°–5,0° LS, serta memanjang di sepanjang pesisir barat laut wilayah penelitian pada kisaran 120,8°–121,3° BT dan 2,5°–4,0° LS. Sebaliknya, area dengan suhu yang lebih rendah teridentifikasi di sekitar Perairan Pulau Buru (126°–127° BT dan 3°–4° LS) serta pada beberapa perairan di sekitar gugusan pulau bagian tengah wilayah penelitian (122,5°–123° BT dan 5,0°–5,8° LS). Pola tersebut membentuk gradien suhu dari bagian barat menuju timur wilayah penelitian.



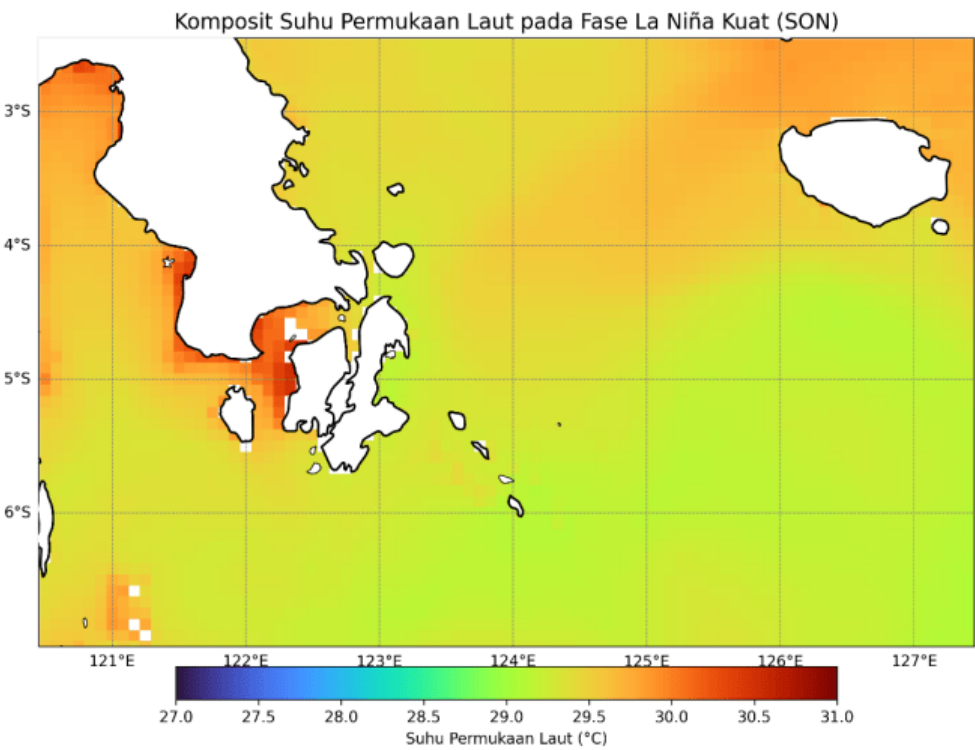
Gambar 4. Komposit suhu permukaan laut fase El Niño kuat

Perbedaan sebaran suhu permukaan laut tersebut mengindikasikan bahwa respons termal perairan selama fase El Niño tidak berlangsung secara seragam. Perairan pesisir dan antarpulau menunjukkan suhu permukaan laut yang relatif lebih tinggi, sedangkan perairan terbuka Laut Banda

cenderung memiliki suhu yang lebih rendah. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik batimetri perairan pesisir yang relatif dangkal sehingga volume massa air yang mengalami pemanasan lebih sedikit dan proses pemanasan berlangsung lebih cepat dibandingkan perairan yang lebih dalam. Penjelasan ini sejalan dengan Swandiko *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa batimetri yang relatif dangkal mempercepat proses pemanasan massa air sehingga menghasilkan suhu permukaan laut yang lebih tinggi. Selain itu, perubahan dinamika sirkulasi laut selama fase El Niño turut memengaruhi distribusi panas melalui proses adveksi dan pencampuran massa air sehingga distribusi suhu permukaan laut menjadi tidak merata (Qu *et al.*, 2005; Susanto *et al.*, 2001).

2. Fase La Niña Kuat

Distribusi suhu permukaan laut pada fase La Niña Kuat di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, distribusi suhu permukaan laut pada fase La Niña kuat selama periode September–November (SON) di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda menunjukkan variasi spasial yang relatif kecil sehingga pola sebarannya tampak lebih homogen dibandingkan fase El Niño kuat. Sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh suhu permukaan laut berkisar 29–30°C yang tersebar di perairan Laut Banda maupun perairan sekitar Sulawesi Tenggara. Zona perairan yang lebih hangat teridentifikasi pada perairan antarpulau sekitar 122,0°–122,5° BT dan 4,5°–5,1° LS, serta memanjang di sepanjang pesisir Sulawesi Tenggara pada kisaran 120,8°–121,3° BT dan 2,5°–4,0° LS. Nilai suhu yang relatif lebih tinggi juga tampak di sekitar Perairan Pulau Buru pada kisaran 125,5°–127,2° BT dan 2,5°–3,5° LS. Sebaliknya, area dengan suhu yang relatif lebih rendah berkembang pada bagian tengah hingga tenggara Laut Banda, terutama pada kisaran 123°–127° BT dan 4°–6° LS, sehingga membentuk gradien suhu yang relatif lemah antara wilayah pesisir dan perairan terbuka.



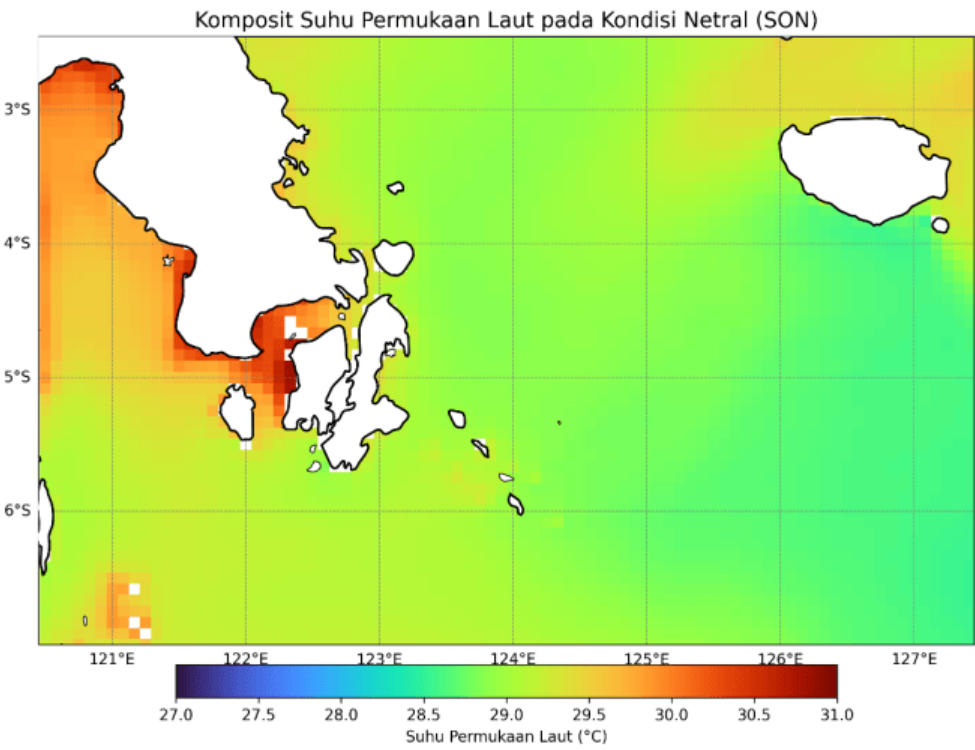
Gambar 5. Komposit suhu permukaan laut fase La Niña kuat

Pola tersebut menunjukkan bahwa kondisi termal perairan selama fase La Niña cenderung lebih hangat dan relatif merata di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda. Penguatan angin pasat pada fase La Niña meningkatkan transport massa air dari Samudra Pasifik menuju perairan Indonesia melalui sistem Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), sehingga distribusi suhu permukaan laut di wilayah penelitian menjadi lebih homogen. Meskipun demikian, variasi suhu masih dijumpai pada beberapa bagian Laut Banda yang diduga dipengaruhi oleh dinamika sirkulasi regional, proses pencampuran massa air, serta kondisi batimetri dan konfigurasi kepulauan. Hasil penelitian ini

sejalan dengan Mudlika *et al.* (2025) yang menyatakan bahwa suhu permukaan laut di Laut Banda cenderung lebih tinggi selama fase La Niña dibandingkan fase El Niño. Selain itu, Susanto *et al.*, (2001) dan Qu *et al.* (2005) menjelaskan bahwa perubahan sirkulasi laut selama ENSO berperan dalam mengendalikan distribusi suhu permukaan laut melalui proses adveksi dan pencampuran massa air.

3. Fase Netral

Distribusi suhu permukaan laut pada fase netral di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, distribusi suhu permukaan laut pada kondisi netral selama periode September–November (SON) di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda menunjukkan variasi spasial yang cukup jelas. Sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh suhu permukaan laut berkisar 28,5–29,5°C yang tersebar di perairan Laut Banda maupun perairan sekitar Sulawesi Tenggara. Zona perairan yang lebih hangat teridentifikasi pada perairan antarpulau sekitar 122,0°–122,5° BT dan 4,5°–5,1° LS, serta memanjang di sepanjang pesisir Sulawesi Tenggara pada kisaran 120,8°–121,3° BT dan 2,5°–4,0° LS. Nilai suhu yang relatif lebih tinggi juga tampak di sekitar Perairan Pulau Buru pada kisaran 125,5°–127,0° BT dan 2,5°–3,5° LS. Sebaliknya, area dengan suhu yang relatif lebih rendah berkembang pada bagian tengah hingga timur Laut Banda, terutama pada kisaran 124°–127,5° BT dan 4°–6,8° LS, sehingga membentuk gradien suhu antara wilayah pesisir dan perairan terbuka.

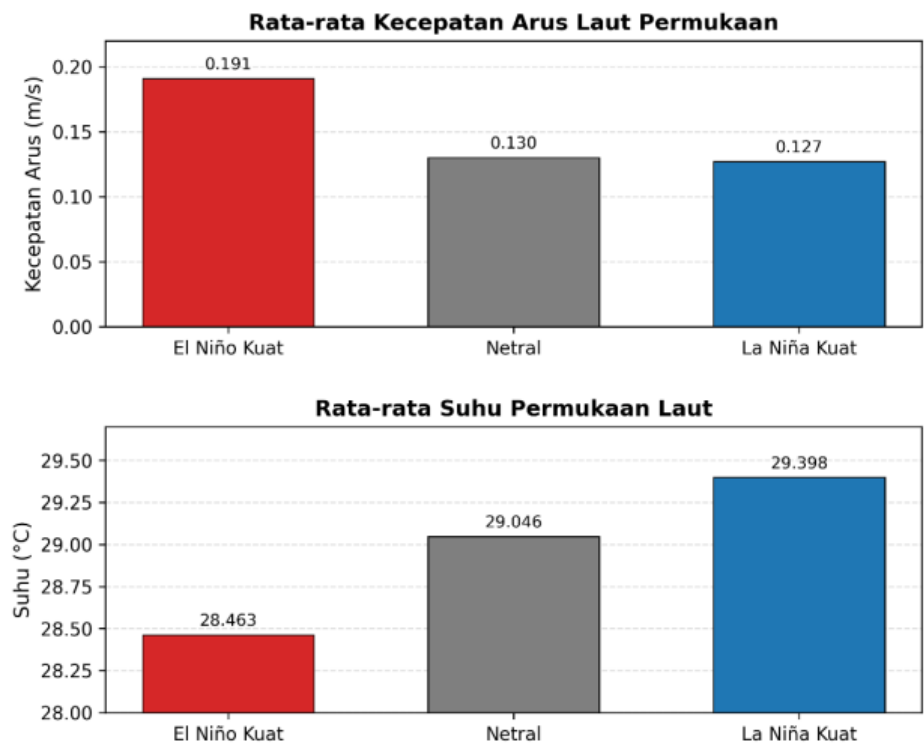


Gambar 6. Komposit suhu permukaan laut fase Netral

Pola tersebut menunjukkan bahwa kondisi termal pada fase netral berada di antara karakteristik fase El Niño dan La Niña. Distribusi suhu permukaan laut masih memperlihatkan variasi spasial yang dipengaruhi oleh dinamika oseanografi regional, meskipun tanpa adanya anomali ENSO yang dominan. Wilayah pesisir dan perairan antarpulau cenderung memiliki suhu yang lebih hangat dibandingkan perairan terbuka Laut Banda, yang diduga berkaitan dengan pengaruh batimetri, proses adveksi, serta pencampuran massa air. Kondisi ini menunjukkan bahwa distribusi suhu permukaan laut di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda tidak hanya dikendalikan oleh variabilitas ENSO, tetapi juga oleh karakteristik oseanografi regional. Temuan ini sejalan dengan Susanto *et al.* (2001) dan Qu *et al.* (2005) yang menjelaskan bahwa distribusi suhu permukaan laut di wilayah Indonesia dipengaruhi oleh interaksi antara dinamika sirkulasi laut, proses adveksi, dan pencampuran massa air.

Perbandingan Karakteristik Arus Laut Permukaan dan Suhu Permukaan Laut pada Setiap Fase ENSO

Karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada wilayah Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda menunjukkan perbedaan pada setiap fase ENSO. Perbedaan tersebut tidak hanya terlihat dari nilai kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut, tetapi juga dari pola sebaran spasial yang terbentuk pada masing-masing fase. Secara umum, fase El Niño kuat menunjukkan kondisi yang berbeda dibandingkan fase La Niña kuat dan Netral, baik dari sisi dinamika arus laut permukaan maupun distribusi suhu permukaan laut. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbedaan karakteristik tersebut, dilakukan perbandingan antar fase ENSO berdasarkan hasil pengolahan nilai arus laut permukaan dan suhu permukaan laut yang telah diperoleh.



Gambar 7. Nilai rata-rata kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut

Tabel 2. Simpangan baku kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada setiap fase ENSO

Fase ENSO	SD kecepatan arus (m/s)	SD SPL (°C)
El Niño Kuat	0,049	1,242
La Niña kuat	0,022	0,705
Netral	0,029	1,019

Berdasarkan Gambar 8 dan Tabel 2, fase El Niño kuat menunjukkan kecepatan arus laut permukaan rata-rata tertinggi sebesar 0,191 m/s dengan simpangan baku 0,049 m/s, sedangkan suhu permukaan laut rata-rata terendah sebesar 28,463°C dengan simpangan baku 1,242°C. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada fase El Niño kuat. Temuan ini sejalan dengan mekanisme yang dijelaskan oleh Wirasatriya *et al.* (2019), bahwa variasi suhu permukaan laut dipengaruhi oleh transport massa air, proses *upwelling*, dan pencampuran vertikal yang berperan dalam mendistribusikan massa air bersuhu lebih rendah ke lapisan permukaan. Oleh karena itu, karakteristik arus permukaan yang lebih tinggi pada fase El Niño kuat diduga berkaitan dengan distribusi suhu permukaan laut yang lebih rendah di wilayah penelitian. Sebaliknya, pada fase La Niña kuat, kecepatan arus laut permukaan rata-rata sebesar 0,127 m/s dengan simpangan baku 0,022 m/s, sedangkan suhu

permukaan laut rata-rata sebesar $29,398^{\circ}\text{C}$ dengan simpangan baku $0,705^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik dibandingkan fase El Niño kuat. Temuan ini sejalan dengan Nurafifah *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa pada kondisi La Niña suhu permukaan laut di Laut Banda cenderung lebih hangat dibandingkan fase El Niño akibat melemahnya proses pencampuran massa air dan intensitas *upwelling*. Sementara itu, pada fase netral, kecepatan arus laut permukaan rata-rata sebesar $0,130\text{ m/s}$ dengan simpangan baku $0,029\text{ m/s}$, sedangkan suhu permukaan laut rata-rata sebesar $29,046^{\circ}\text{C}$ dengan simpangan baku $1,019^{\circ}\text{C}$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada fase netral berada di antara kondisi El Niño kuat dan La Niña kuat.

Perbedaan nilai rata-rata kecepatan arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada setiap fase ENSO menunjukkan adanya pola yang berlawanan antara kedua parameter di wilayah penelitian. Fase El Niño kuat memiliki kecepatan rata-rata arus laut permukaan yang relatif lebih tinggi dengan suhu permukaan laut yang lebih rendah, sedangkan fase La Niña kuat menunjukkan kondisi sebaliknya. Pola tersebut menunjukkan adanya asosiasi antara arus laut permukaan dan distribusi suhu permukaan laut pada antar fase ENSO, tetapi tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat karena penelitian ini tidak melakukan analisis korelasi maupun kausalitas. Secara fisik, pola tersebut dapat dikaitkan dengan proses transport massa air, transport panas oleh arus, dan pencampuran vertikal yang berperan dalam distribusi suhu permukaan laut (Deser *et al.*, 2010). Sejalan dengan itu, Pei *et al.* (2021) menunjukkan bahwa di Laut Banda pencampuran vertikal berkontribusi besar terhadap pendinginan suhu permukaan laut, sedangkan arus permukaan mengadveksikan massa air dingin hasil *upwelling* sehingga penyebaran suhu permukaan laut yang lebih rendah dapat meluas ke wilayah sekitarnya. Mekanisme tersebut memberikan dasar fisik yang dapat digunakan untuk menjelaskan pola asosiasi antara karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut yang teramati dalam penelitian ini.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut, respons arus yang diamati tidak sepenuhnya mengikuti pola ENSO secara umum. Secara fisik, fase El Niño berkaitan dengan perubahan distribusi massa air di Samudra Pasifik yang disertai pelemahan angin pasat, pendalaman termoklin, serta perubahan struktur termal laut sehingga memengaruhi dinamika sirkulasi laut (Nurholis *et al.*, 2026). Walaupun demikian, hasil penelitian ini justru menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata arus laut permukaan pada fase El Niño kuat merupakan yang tertinggi dibandingkan La Niña kuat maupun fase netral. Sprintall *et al.* (2019) menjelaskan bahwa massa air yang mengalir melalui sistem Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) mengalami transformasi akibat interaksi fluks udara-laut dan proses pencampuran internal, sehingga memengaruhi karakteristik massa air di perairan Indonesia. Selain itu, pengaruh ENSO terhadap transport ARLINDO tidak selalu menunjukkan respons yang seragam karena setiap kejadian ENSO dapat berinteraksi dengan dinamika regional. Oleh karena itu, tingginya kecepatan arus permukaan pada fase El Niño kuat dalam penelitian ini diduga merupakan hasil interaksi antara pengaruh ENSO dengan kondisi oseanografi lokal, seperti konfigurasi batimetri, keberadaan gugusan pulau, dan dinamika sirkulasi di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda (Nurholis *et al.*, 2026; Sprintall *et al.*, 2019; Utami & Guruh P, 2009).

KESIMPULAN DAN SARAN

Variabilitas arus laut permukaan dan suhu permukaan laut di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda selama periode September–November (SON) berbeda pada setiap fase ENSO. Fase El Niño kuat memiliki kecepatan arus laut permukaan rata-rata tertinggi sebesar $0,191\text{ m/s}$ dengan suhu permukaan laut rata-rata terendah sebesar $28,463^{\circ}\text{C}$. Sebaliknya, fase La Niña kuat memiliki kecepatan arus laut permukaan rata-rata terendah sebesar $0,127\text{ m/s}$ dengan suhu permukaan laut rata-rata tertinggi sebesar $29,398^{\circ}\text{C}$, sedangkan fase netral memiliki kecepatan arus laut permukaan rata-rata sebesar $0,130\text{ m/s}$ dan suhu permukaan laut rata-rata sebesar $29,046^{\circ}\text{C}$. Pola arus pada ketiga fase memperlihatkan arah aliran yang bervariasi disertai terbentuknya sirkulasi menyerupai pusaran, sehingga karakteristik arus laut permukaan di wilayah penelitian dipengaruhi oleh interaksi

antara variabilitas ENSO dan dinamika oseanografi regional. Perbedaan kecepatan arus laut permukaan pada setiap fase ENSO diikuti oleh perubahan suhu permukaan laut. Fase El Niño kuat menunjukkan kecepatan arus yang lebih tinggi dan suhu permukaan laut yang lebih rendah, sedangkan fase La Niña kuat menunjukkan kondisi sebaliknya. Pola tersebut menunjukkan adanya asosiasi antara karakteristik arus laut permukaan dan suhu permukaan laut di wilayah penelitian, sedangkan proses transport dan pencampuran massa air merupakan mekanisme fisik yang dapat berperan dalam distribusi suhu permukaan laut.

Penelitian selanjutnya disarankan menganalisis variabilitas arus laut permukaan dan suhu permukaan laut pada seluruh musim serta menambahkan parameter oseanografi, seperti kecepatan angin atau tinggi muka laut, sehingga informasi mengenai pengaruh ENSO dan dinamika oseanografi regional terhadap karakteristik oseanografi di Perairan Sulawesi Tenggara–Laut Banda menjadi lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, I., Lubis, A. M., & Cahyarini, S. Y. (2025). Pengaruh ENSO Dan IOD Terhadap Suhu Permukaan Laut di Perairan Pulau Enggano. *Jurnal Kelautan Tropis*, 28(1), 71–81. <https://doi.org/10.14710/jkt.v28i1.25759>
- Asmoro, N. W., Pranowo, W. S., Nurhidayat, Setiyadi, J., Santoso, A. I., & Sumardana E Putra, I. W. (2024). Analysis of internal wave in the Buru Island coastal waters, Banda Sea, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 51(3), 100238. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100238>
- Chen, B., Xie, L., Zheng, Q., Zhou, L., Wang, L., Feng, B., & Yu, Z. (2020). Seasonal variability of mesoscale eddies in the Banda Sea inferred from altimeter data. *Acta Oceanologica Sinica*, 39(12), 11–20. <https://doi.org/10.1007/s13131-020-1665-2>
- Darmawan, L. K., Pranowo, W. S., Harsono, G., Sukoco, N. B., & Putra, I. (2020). Purwarupa Informasi untuk Keselamatan Pelayaran Berdasarkan Karakteristik Eddy di Laut Banda: Information Prototype for Sailing Safety Based on Eddy Characteristics in the Banda Sea. *Jurnal Chart Datum*, 6(2), 33–39.
- Deser, C., Alexander, M. A., Xie, S. P., & Phillips, A. S. (2010). Sea surface temperature variability: Patterns and mechanisms. In *Annual Review of Marine Science* (Vol. 2, Issue 1). <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120408-151453>
- Estradivari, Andradi-Brown, D. A., Amkieltiela, Handayani, C. N., Sjahrudin, F. F., Agung, M. F., Campbell, S. J., Claborn, K., De Nardo, M., Fox, H. E., Glew, L., Hakim, A., Lazuardi, M. E., Nanlohy, H., Sanjaya, W., Setyawan, E., Timisela, N. R., Veverka, L., Wiwardhana, N. W., ... Ahmadia, G. N. (2022). Marine conservation in the Sunda Banda Seascape, Indonesia. *Marine Policy*, 138(February). <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104994>
- Giu, L. O. M. G., Atmadipoera, A. S., Naulita, Y., & Nugroho, D. (2020). Struktur Vertikal Dan Variabilitas Arlindo yang Masuk ke Tepi Barat Laut Banda. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 457–472. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.29142>
- Gordon, A. L. (2005). Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow. *Oceanography*, 18(4), 14–27.
- Horhoruw, S. M., Fadli, M., Atmadipoera, A., Lekalette, J., Nugroho, D. Y., Tatipatta, W. M., & Kainama, F. (2020). Horizontal Structure of Banda Eddies and the Relationship to Chlorophyll-a during South East Monsoon in Normal and ENSO Period on 2008-2010. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 618(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012011>
- Hu, X., Xue, H., & Liang, L. (2022). Impact of ENSO on the Entrance of the Indonesian Throughflow: The Oceanic Wave Propagation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(12), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2022JC018782>
- Marthinus, L., Avrionesti, A., Haryanto, Y. D., & Qomariyatuzzamzami, L. N. (2024). Analysis of Upwelling Parameters when the El Nino Southern Oscillation (ENSO) Occurred in the Halmahera Sea. *Tropical Marine Environmental Sciences*, 2(2), 36–41. <https://doi.org/10.31258/tromes.2.2.36-41>

- Mudlika, L., Irwan Nur, A., Studi Ilmu Perikanan, P., Pascasarjana, P., Halu Oleo, U., & Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, J. (2025). Karakteristik Oseanografi Selama El Nino Southern Oscillation (ENSO) di Laut Banda Oceanographic Characteristics During the El Nino Southern Oscillation (ENSO) in Banda Sea. *Journal of Fishery Science and Innovation*, 9(2), 229–237. <https://doi.org/10.33772/jsipi.v9i2.1616>
- Nanlohy, P., Hehanussa, N. S., Atmadipoera, A. S., Nurjaya, W., & Elim, H. I. (2017). A unique cyclonic and anti-cyclonic eddies current character in Banda Sea. *International Journal of Health Medicine and Current Research*, 2(4), 600–604. <https://doi.org/10.22301/IJHMCR.2528-3189.600>
- Nurafifah, U. O., Zainuri, M., & Wirasatriya, A. (2022). Pengaruh ENSO dan IOD Terhadap Distribusi Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Pada Periode Upwelling di Laut Banda. In *Indonesian Journal of Oceanography* (Vol. 4, Issue 3). <http://marine.copernicus.eu>.
- Nurholis, Kunarso, Azis, R., Rima Putri, P., & Eko, S. (2026). Analisis Perubahan Kedalaman Termoklin, Suhu, dan Salinitas di Samudra Pasifik pada Studi Kasus Kejadian La Niña 2011, Normal 2013, dan El Niño 2015. *Indonesian Journal of Oceanography*, 8(2), 130–144. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v8i2.31164>
- Pei, S., Shinoda, T., Steffen, J., & Seo, H. (2021). Substantial Sea Surface Temperature Cooling in the Banda Sea Associated With the Madden-Julian Oscillation in the Boreal Winter of 2015. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(6), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2021JC017226>
- Purba, N. P., Aryanto, N. C. D., Febriawan, H. K., Nugroho, A. B., Akhir, M. F., Johari, A., Harahap, S. A., Faid, G. M., Ilmi, M. H., Hascaryo, A. P., Sobaruddin, D. P., Dharma, C. S., Muljana, B., & Endyana, C. (2025). Water mass stability and mixing in the Banda Sea derived from Global Data Repository and the Jalacitra II Expedition. *Oceanologia*, 67(2). <https://doi.org/10.5697/NRNG3078>
- Qu, T., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G., & Slingo, J. (2005). Sea surface temperature and its variability in the Indonesian region. *Oceanography*, 18(4), 50–61.
- 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>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., & Wijffels, S. E. (2014). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience*, 7(7), 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Wijffels, S. E., Feng, M., Hu, S., Koch-Larrouy, A., Phillips, H., Nugroho, D., Napitu, A., Pujiana, K., Dwi Susanto, R., Sloyan, B., Yuan, D., Riama, N. F., Siswanto, S., Kuswardani, A., Arifin, Z., Wahyudi, A. J., Zhou, H., ... Setiawan, A. (2019). Detecting change in the Indonesian seas. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00257>
- Susanto, R. D., Gordon, A. L., & Zheng, Q. (2001). Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1599–1602.
- Swandiko, M., Wirasatriya, A., Marwoto, J., Muslim, M., Indrayanti, E., Subardjo, P., & Ismunarti, D. H. (2021). Studi Persistensi Suhu Permukaan Laut Tinggi (>30°C) di Perairan Selat Malaka. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(2), 162–170. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i2.31554>
- Utama, C., Tubalawony, S., Waas, H. J. D., Hukubun, R. D., & Wattimena, M. C. (2025). Seasonal Variability of Wind, Surface Current and Sea Surface Temperature in the Eastern Seram Waters During the 2015 Super El Nino. *Nekton*, 5(2), 163–176. <https://doi.org/10.47767/nekton.v5i2.1062>
- Utami, W. T., & Guruh P, D. (2009). Pengaruh Topografi Dasar Laut Terhadap Gerakan Arus Laut. *Geoid*, 5(1), 059–065.
- Wangdiarta, F. P., Wirasatriya, A., & Harsono, G. (2024). Respon Suhu Permukaan Laut (SPL) Terhadap ENSO di Perairan Masalemba Periode 2010-2019. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(1), 57–71. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i1.17944>
- Wardhani, S. D., Suryo, A. A. D., Atmodjo, W., Indrayanti, E., & Baskoro, R. (2021). Pengaruh

- Arus terhadap Sebaran Horizontal Suhu dan Salinitas pada 3 Kedalaman yang Berbeda di Perairan Samudera Hindia Bagian Selatan Pulau Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(2), 134–140.
- Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., Helmi, M., Setiawan, R. Y., & Koch, M. (2019). Distinct Characteristics of SST Variabilities in the Sulawesi Sea and the Northern Part of the Maluku Sea during the Southeast Monsoon. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(6), 1763–1770. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2913739>