

Studi Variabilitas *Upwelling* Berdasarkan Data Angin, Suhu Permukaan Laut, Dan Klorofil-A Di Laut Flores

Harizal Fikra¹, Yusuf Jati Wijaya^{1,*}, Kunarso¹, Ulung Jantama Wisna^{2,3}

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

²Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jakarta, Indonesia

³Department of Physics and Earth Sciences, University of The Ryukyus
Nishihara, Jepang

Email: *yusufjatiwijaya@gmail.com

Abstrak

Laut Flores merupakan salah satu perairan strategis di kawasan timur Indonesia yang memiliki potensi produktivitas laut tinggi. Fenomena *upwelling* yang terjadi di wilayah ini berperan penting dalam membawa massa air laut dari lapisan bawah yang kaya akan nutrisi ke permukaan. Proses ini berkaitan erat dengan dinamika angin muson dan kondisi oseanografis setempat. Dalam penelitian ini, digunakan data satelit angin, suhu permukaan laut (SPL), dan klorofil-a untuk mengkaji variabilitas klimatologis *upwelling* secara spasial dan temporal selama periode 2008 hingga 2022. Perhitungan indeks *upwelling* dilakukan menggunakan pendekatan *Ekman transport* dan *Ekman pumping* guna melihat kontribusi gaya angin terhadap dinamika vertikal air laut. Wilayah studi dibagi menjadi dua transek berdasarkan sebaran geografis, dan masing-masing dianalisis menggunakan pemrograman Python serta divisualisasikan secara spasial. Hasil analisis menunjukkan bahwa fenomena *upwelling* dominan terjadi pada musim timur, khususnya bulan Juni hingga Agustus, yang ditandai dengan peningkatan kecepatan angin, penurunan SPL, dan lonjakan konsentrasi klorofil-a. Nilai indeks *upwelling* tertinggi tercatat di Transek A, sedangkan pada Transek B *Ekman pumping* bukan merupakan faktor dominan dalam memicu terjadinya *upwelling* pada wilayah tersebut.

Kata kunci: *Upwelling*; *Ekman transport*; *Ekman pumping*; Klorofil-a; Laut Flores

Abstract

Variability Of Upwelling Based On Wind, Sea Surface Temperature, And Chlorophyll-A Data in Flores Sea

The Flores Sea, located in eastern Indonesia, represents a strategically significant marine area characterized by high oceanic productivity. Upwelling processes in this region play a critical role in transporting nutrient-rich subsurface waters to the surface, thereby enhancing biological productivity. These processes are strongly influenced by monsoonal wind patterns and local oceanographic conditions. This study examines the spatial and temporal climatological variability of upwelling in the Flores Sea over the period 2008–2022 using satellite-derived data on wind, sea surface temperature (SST), and chlorophyll-a concentrations. Upwelling indices were calculated based on Ekman transport and Ekman pumping formulations to assess the contribution of wind-induced forcing on vertical oceanic dynamics. The study area was divided into two transects, each analyzed using Python-based data processing and spatial visualization techniques. The findings indicate that upwelling predominantly occurs during the southeast monsoon season (June–August), as evidenced by increased wind speeds, reduced SST, and elevated chlorophyll-a concentrations. The highest upwelling index values were observed in Transect A, Whereas Transect B exhibited consistently positive Ekman pumping values throughout the year, suggesting that Ekman pumping was not the dominant factor driving upwelling in that area. This indicates a limited vertical water movement and highlights the role of other mechanisms in influencing upwelling variability in the Flores Sea.

Keywords: *Upwelling*; *Ekman transport*; *Ekman pumping*; Chlorophyll-a; Flores Sea

PENDAHULUAN

Laut Flores yang terletak di wilayah timur Indonesia merupakan bagian dari perairan kepulauan Indonesia yang dikenal memiliki produktivitas oseanografi dan biologi yang tinggi. Salah satu proses fisis yang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan perairan ini adalah *upwelling* (Silubun *et al.*, 2015), yaitu proses naiknya massa air laut dari lapisan bawah yang kaya akan nutrisi ke permukaan. Proses ini memungkinkan peningkatan biomassa fitoplankton yang menjadi dasar rantai makanan laut, serta mendukung produktivitas perikanan di wilayah sekitarnya.

Suhu permukaan laut (SPL) merupakan parameter penting yang memengaruhi distribusi massa air, sirkulasi laut, dan aktivitas biologis di laut. Variasi SPL di Laut Flores dipengaruhi oleh fenomena iklim skala besar seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD), yang dapat mengubah pola suhu dan arus laut secara signifikan (Susanto *et al.*, 2001). Selain itu, konsentrasi klorofil-a, yang diukur sebagai indikator ketersediaan fitoplankton, menjadi parameter kunci dalam menilai produktivitas perairan. Daerah dengan *upwelling* atau pencampuran vertikal yang kuat akibat angin muson sering menunjukkan peningkatan klorofil-a, terutama selama musim timur (Juni–Agustus) ketika angin timuran dominan (Koch-Larrouy *et al.*, 2007).

Angin permukaan berperan sebagai pendorong utama dalam proses pencampuran lapisan permukaan dan *upwelling*, yang pada gilirannya memengaruhi distribusi nutrisi dan biomassa fitoplankton (Muskananfoli *et al.*, 2021; Wijaya *et al.*, 2024). Di Laut Flores, pola angin yang bervariasi secara musiman turut berkontribusi terhadap dinamika SPL dan klorofil-a. Pemahaman yang komprehensif mengenai interaksi ketiga parameter ini sangat penting untuk memprediksi perubahan ekosistem laut, mendukung pengelolaan sumber daya perikanan, serta mitigasi dampak perubahan iklim.

Untuk memahami dinamika proses ini, diperlukan kajian yang mengintegrasikan berbagai parameter oseanografi seperti angin, SPL, dan klorofil-a, serta indeks *upwelling* berbasis *Ekman transport* (ET) dan *Ekman pumping* (EP). Menurut (Hutabarat dan Evans, 2006) *Upwelling* adalah proses naiknya massa air dari lapisan bawah laut yang kaya akan nutrisi menuju permukaan, dan merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan produktivitas perairan. Dinamika *upwelling* di Laut Flores sangat dipengaruhi oleh angin muson serta kondisi oseanografi lokal yang kompleks. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data satelit berupa angin, SPL, dan klorofil-a selama periode 2008 hingga 2022. Untuk mengetahui kontribusi angin terhadap proses vertikal massa air, digunakan pendekatan perhitungan indeks *upwelling* berbasis ET dan EP. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang mekanisme fisik *upwelling* di Laut Flores dan menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan sumber daya perairan secara berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data angin dari *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) dengan resolusi spasial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ yang diunduh dari situs <https://www.remss.com/measurements/ccmp> (Atlas *et al.*, 2011). Data CCMP yang digunakan merupakan data vektor angin komponen u dan v harian yang diunduh dalam periode tahun 2008 hingga 2022. Selain itu, digunakan pula data SPL dari *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) yang didapat dari situs <https://data.marine.copernicus.eu> dengan resolusi spasial $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ (Donlon *et al.*, 2012). Data distribusi klorofil-a menggunakan data dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) dari situs <https://data.marine.copernicus.eu/product> dengan resolusi spasial 4×4 km (Sathyendranath *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2023).

Penelitian ini difokuskan pada pengolahan data citra satelit yang mencakup wilayah Laut Flores, yang secara geografis berada pada rentang koordinat 4° – 9° LS dan 120° – 124° BT, serta mencakup periode analisis selama 15 tahun, dari Januari 2008 hingga Desember 2022. Untuk memperdalam kajian spasial, area penelitian dibagi menjadi dua transek, yaitu Transek A yang meliputi koordinat $5,5^\circ$ – $6,2^\circ$ LS dan $121,8^\circ$ – 123° BT, serta Transek B yang berada pada kisaran koordinat $6,3^\circ$ – $7,5^\circ$ LS dan $120,2^\circ$ – 122° BT. Penentuan transek ini didasarkan pada sebaran distribusi klorofil-a selama 25 tahun, yang dimanfaatkan konsentrasi klorofil-a di dua transek tersebut menunjukkan variasi nilai setiap bulannya (Gambar 1).

Pengolahan Data

Seluruh data yang diolah dalam format NetCDF *.nc yang diekstrak dan diolah menggunakan python. Untuk menghitung rata-rata bulanan dari semua variabel yang digunakan dalam penelitian ini, baik SPL,

klorofil-a, maupun kecepatan angin, digunakan persamaan klimatologi sebagai berikut (Wirasatriya *et al.* 2017):

$$\bar{X}(x, y, t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \bar{X}_i(x, y, t)$$

Keterangan: $\bar{X}(x, y, t)$ = Rata-rata nilai parameter dalam periode bulanan; $\bar{X}_i(x, y, t)$ = Data harian parameter pada hari ke-t dan posisi bujur (x) serta lintang (y); n = Jumlah hari dalam satu bulan; $t = 1$ = Hari pertama dalam bulan tersebut

*Jika $\bar{X}_i = NaN$, data tersebut dianggap tidak ada (kosong) dan tidak dimasukkan dalam perhitungan rata-rata.

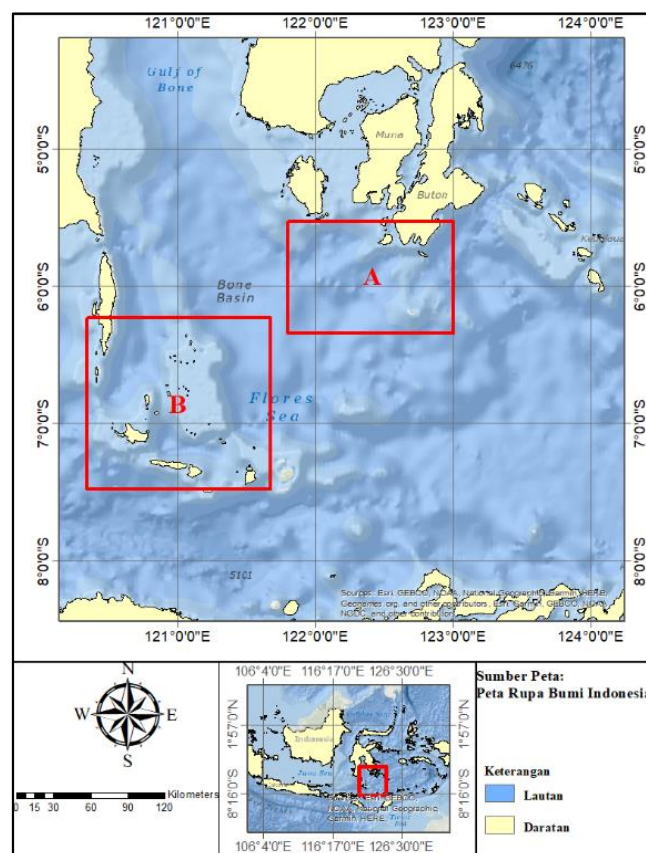
Perhitungan Ekman Transport

ET dihitung berdasarkan nilai tegangan angin (*wind stress*), dengan asumsi bahwa komponen angin pada sumbu x merepresentasikan arah sejajar garis pantai, sedangkan komponen angin pada sumbu y menggambarkan arah yang tegak lurus terhadap pantai. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.*, (2017)

$$E_T = \frac{\tau}{\rho_w f}$$

$$\tau_x = \rho_a C_d U_{10}^2$$

Keterangan: τ = Komponen gaya gesekan angin dengan pantai ($\text{kg/m}^2\text{det}^2$), ρ_w = Densitas air laut (1025 kg/m^3), W = Kecepatan angin (m/det), f = Parameter Coriolis ($f = 2\Omega$; $\Omega = 7.292 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ adalah kecepatan sudut rotasi bumi, dan θ adalah lintang lokasi), ρ_a = Densitas udara (1.2 kg/m^3), C_d = Koefisien drag (1.3×10^{-3})



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

Perhitungan Ekman Pumping

EP dihitung berdasarkan nilai *curl* dari tegangan angin (*wind stress curl*), dengan asumsi bahwa komponen angin pada sumbu-x mewakili arah sejajar pantai, sedangkan komponen pada sumbu-y merepresentasikan arah tegak lurus terhadap garis pantai dengan menggunakan persamaan dari Kok *et al.*, (2017):

$$UI_{EP} = \frac{curl(\tau)}{\rho_w f}$$

$$curl(\tau) = \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y}$$

Keterangan: *curl* = Komponen gaya gesekan angin dengan pantai (kg/m/det²); τ = Vektor wind stress; ρ_w = Densitas air laut (1025 kg/m³); *f* = Parameter Coriolis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dari data SPL, angin, dan klorofil-a selama periode 2008–2022 di Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan adanya pola klimatologi bulanan yang mengindikasikan fenomena upwelling di Laut Flores. Fenomena ini ditandai oleh peningkatan kecepatan angin pada musim timur (Juni–Agustus), yang mendorong massa air permukaan menjauh dari pantai dan memicu naiknya air laut dari lapisan bawah yang kaya nutrisi (Gambar 2). Proses ini menyebabkan SPL menurun hingga mencapai 27,47°C dan konsentrasi klorofil-a meningkat, dengan puncaknya terjadi pada bulan Agustus sebesar 0,31 mg/m³ (Gambar 3). Sebaliknya, pada musim barat (November–Desember), meskipun kecepatan angin cenderung rendah seperti pada November (0,894 m/s), tidak terjadi penurunan SPL maupun lonjakan klorofil-a. Suhu permukaan justru meningkat hingga 29,82°C dan konsentrasi klorofil-a menurun menjadi 0,185 mg/m³, menandakan dominasi proses downwelling (Gambar 4). Secara umum, upwelling di Laut Flores paling kuat terjadi pada musim timur, dengan Juli dan Agustus sebagai periode puncaknya, ditandai oleh angin yang intens (hingga 4,753 m/s) dan peningkatan produktivitas perairan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Dewi *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a memiliki hubungan negatif dengan SPL dan berkorelasi positif dengan kecepatan angin. Rendahnya SPL umumnya disertai peningkatan klorofil-a akibat suplai nutrisi dari lapisan bawah. Sebaliknya, saat suhu permukaan meningkat, kadar klorofil-a menurun karena terbatasnya nutrisi. Selain itu, Wirasatriya *et al.* (2017) menyatakan bahwa kecepatan angin berperan penting dalam memicu proses *upwelling*, yang tidak hanya meningkatkan produktivitas perairan, tetapi juga berkontribusi terhadap pelepasan panas dari laut ke atmosfer, sehingga menurunkan SPL.

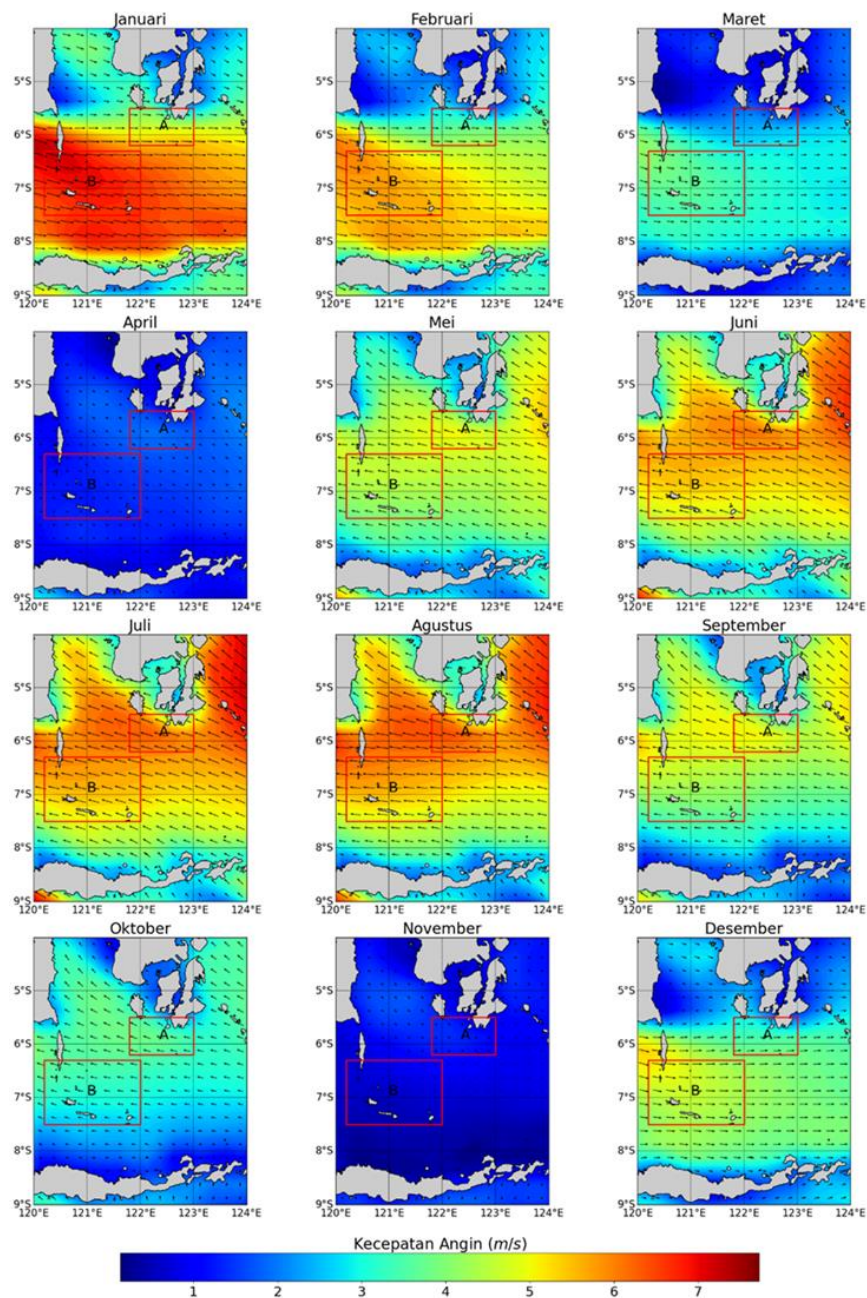
Pada Transek A menunjukkan adanya indikasi kuat terhadap kemunculan fenomena upwelling di wilayah tersebut (Gambar 5b). Selama periode musim timur, khususnya bulan Juli dan Agustus, kecepatan angin mencapai nilai tertinggi sebesar 5,553 m/s dan 5,581 m/s. Kondisi ini disertai dengan penurunan SPL hingga mencapai titik minimum 27,25°C pada bulan Agustus serta peningkatan konsentrasi klorofil-a secara signifikan, dengan nilai maksimum sebesar 0,435 mg/m³. Pola ini mencerminkan terjadinya upwelling, yaitu naiknya massa air laut kaya nutrisi ke permukaan yang mendukung pertumbuhan fitoplankton. Sebaliknya, pada bulan November dan Desember, kecepatan angin menurun drastis hingga mencapai titik terendah sebesar 1,135 m/s, sementara SPL meningkat tajam hingga 29,93°C dan konsentrasi klorofil-a turun menjadi 0,150 mg/m³. Hal ini mengindikasikan dominasi proses downwelling pada akhir tahun. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa fenomena upwelling paling intens terjadi pada musim timur, terutama pada bulan Agustus, sementara musim barat cenderung menunjukkan kondisi yang berlawanan.

Hasil analisis klimatologi bulanan pada Transek B mengindikasikan adanya aktivitas upwelling yang paling menonjol terjadi pada bulan Agustus (Gambar 5c). Hal ini ditandai oleh penurunan SPL hingga mencapai nilai minimum sebesar 27,57°C dan peningkatan konsentrasi klorofil-a ke tingkat maksimum sebesar 0,250 mg/m³. Meskipun kecepatan angin pada bulan tersebut tidak mencapai nilai ekstrem (5,473 m/s), kombinasi antara suhu rendah dan konsentrasi klorofil-a yang tinggi menunjukkan kemungkinan kuat terjadinya suplai nutrisi dari lapisan perairan dalam ke permukaan sebagai akibat dari proses divergensi massa air, karakteristik utama dari upwelling. Sebaliknya, pada bulan Maret dan November tercatat kecepatan angin yang tinggi, masing-masing sebesar 3,428 m/s dan 0,693 m/s. Namun demikian, variabel SPL mengalami peningkatan hingga 29,37°C dan 29,82°C, disertai rendahnya konsentrasi klorofil-a (masing-masing 0,198

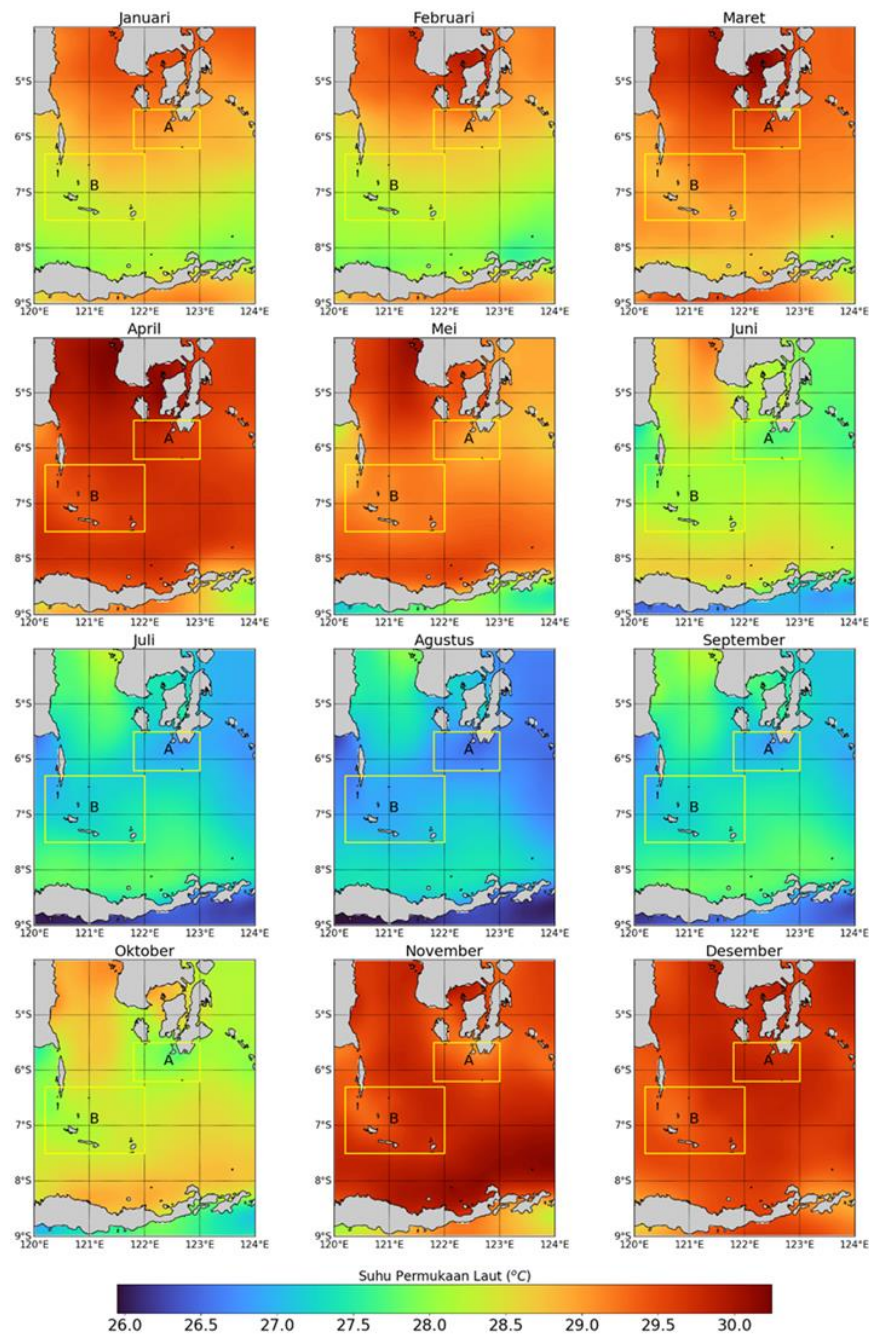
mg/m³ dan 0,178 mg/m³). Kondisi ini menandakan tidak adanya proses upwelling, melainkan justru dominasi downwelling atau stabilisasi kolom air akibat peningkatan suhu dan minimnya asupan nutrisi ke permukaan. Demikian pula pada bulan Juni dan Juli, meskipun angin bertiup relatif kencang (5,242 m/s dan 5,435 m/s), tidak diikuti oleh penurunan SPL yang signifikan maupun lonjakan klorofil-a. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa aktivitas upwelling di Transek B paling intens terjadi pada bulan Agustus, sementara fenomena downwelling lebih mendominasi pada periode transisi dan akhir tahun, ditandai oleh SPL yang tinggi dan konsentrasi klorofil-a yang rendah.

Ekman transport dan Ekman pumping

Variasi klimatologi ET di Laut Flores berkisar antara 0,195–2,556 m²/s, dengan nilai tertinggi terjadi pada musim timur (Juni–Agustus), khususnya pada bulan Juli dan Agustus hal ini sesuai dengan penelitian



Gambar 2. Peta Spasial dan Temporal Variasi Klimatologi Angin 2008-2022 di Laut Flores

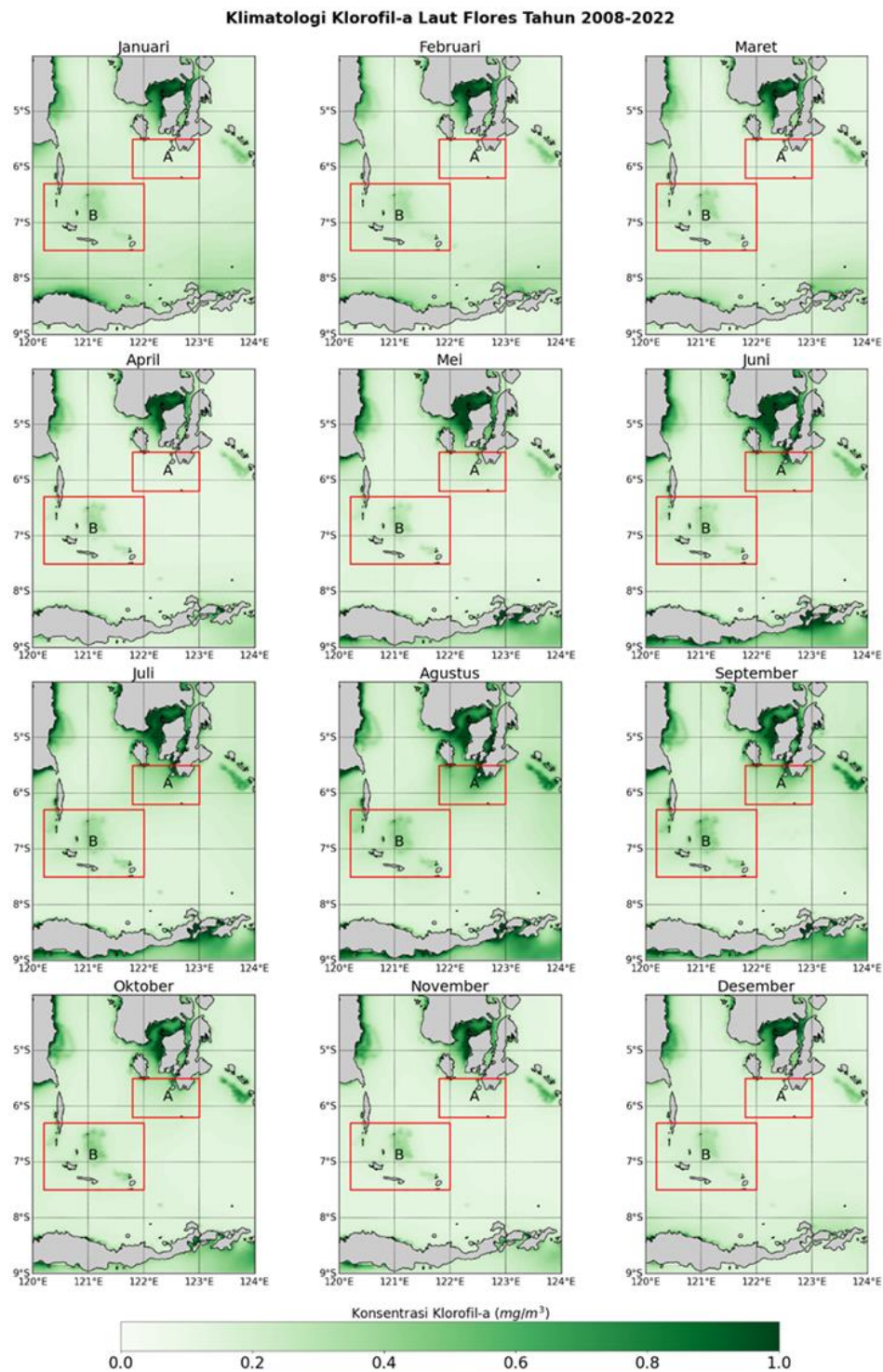


Gambar 3. Peta Spasial dan Temporal Variasi Klimatologi SPL 2008-2022 di Laut Flores.

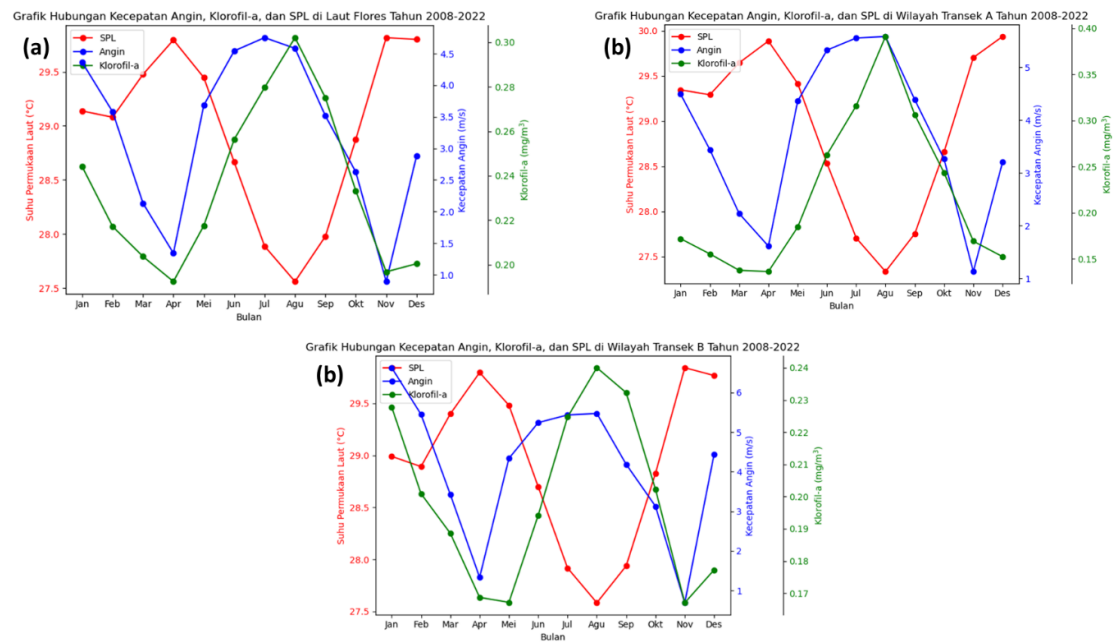
yang dikemukakan oleh Sprintall dan Liu (2005) yang dilakukan selama pertengahan tahun (Gambar 6a), khususnya pada bulan Juni hingga Agustus saat monsun tenggara bertiup ke arah barat, ET bergerak ke selatan. Sebaliknya, pada periode Desember hingga Februari ketika terjadi monsun barat laut dengan arah angin berbalik ke timur, arah transport Ekman bergeser ke utara.. Arah pergerakan massa air dominan dari darat menuju laut lepas, terutama saat musim angin tenggara. Sebaliknya, nilai *ET* cenderung menurun pada musim peralihan II dan mencapai titik terendah pada bulan November. Sementara itu, indeks *upwelling* berdasarkan EP menunjukkan nilai dalam kisaran $-2,134 \times 10^{-5}$ hingga $3,637 \times 10^{-5}$ m/s. Selama musim barat (Desember–Februari), nilai *EP* umumnya positif, mencerminkan divergensi permukaan yang lemah hingga sedang (Gambar 6b). Puncak nilai positif tercatat pada bulan Januari, yang menunjukkan peningkatan suplai massa air ke arah luar permukaan. Namun, memasuki musim timur, nilai *EP* menjadi negatif secara konsisten, terutama

pada bulan Mei hingga Agustus. Nilai negatif ini menandakan dominasi proses *upwelling* akibat curl angin negatif di wilayah selatan ekuator, sesuai dengan temuan Chelton *et al.*, (2004).

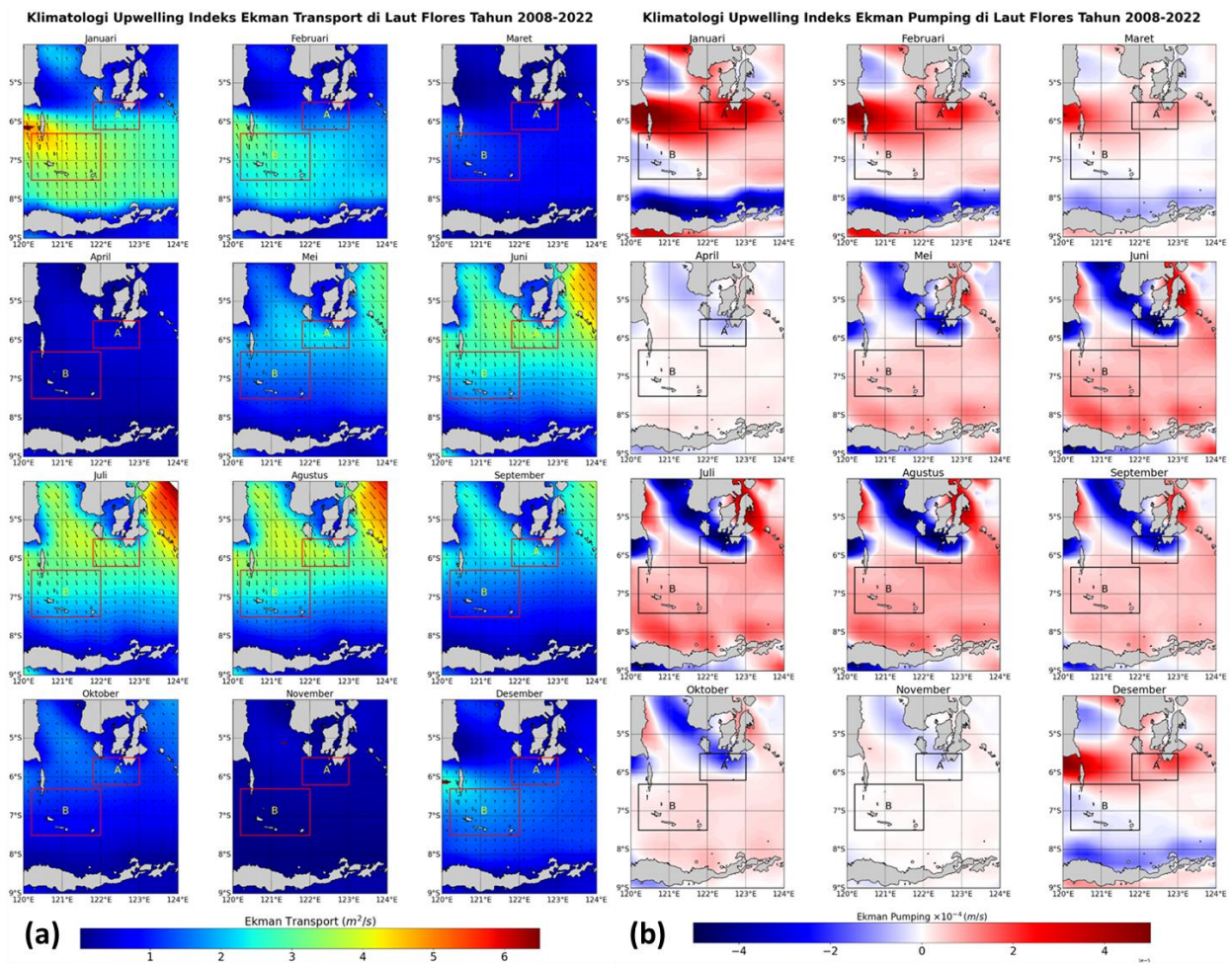
Pada wilayah Transek A, nilai ET dan EP menunjukkan konsistensi dalam menampilkan puncak *upwelling* pada musim timur. ET mencapai maksimum sebesar 2,899 m²/s, sedangkan EP mencapai minimum



Gambar 4. Peta Spasial dan Temporal Variasi Klorofil-a 2008-2022 di Laut Flores



Gambar 5. Hubungan SPL, klorofil-a, dan Angin 2008-2022 di (a) Laut Flores, (b) Transek A, dan (c) Transek B



Gambar 6. Distribusi Spasial dan Temporal (a) ET dan (b) EP di Laut Flores

$-9,778 \times 10^{-6}$ m/s pada Agustus, yang mengindikasikan pergerakan air permukaan menjauh dari pantai dan naiknya massa air dari lapisan bawah secara vertikal. Sebaliknya, pada Transek B, meskipun nilai *ET* menunjukkan pola musiman yang serupa, nilai EP cenderung positif sepanjang tahun dengan variasi relatif kecil, mengindikasikan bahwa proses *upwelling* di wilayah ini lebih dipengaruhi oleh angin permukaan horizontal (transport) daripada curl angin (pumping). Hal ini menjelaskan mengapa Transek A menunjukkan intensitas *upwelling* yang lebih kuat dibanding Transek B.

KESIMPULAN

Fenomena *upwelling* di Laut Flores umumnya terjadi pada musim timur, yakni bulan Juni hingga Agustus, yang ditandai oleh peningkatan kecepatan angin, penurunan SPL, serta kenaikan konsentrasi klorofil-a. Nilai indeks *upwelling* tertinggi tercatat pada bulan-bulan tersebut, sementara nilai terendah terjadi pada musim barat, yaitu Desember hingga Februari. Secara spasial, Transek A menunjukkan respons yang konsisten terhadap aktivitas *upwelling* dengan nilai EP yang cenderung negatif. Sebaliknya, Transek B didominasi oleh nilai EP positif sepanjang tahun, yang mengindikasikan bahwa proses EP bukan faktor utama pemicu *upwelling* di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R., Hoffman, R. N., Ardizzone, J., Leidner, S. M., Jusem, J. C., Smith, D. K., & Gombos, D. 2011. A cross-calibrated, multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(2): 157–174. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2946.1>
- Chelton, D. B., Michael G.S., Michael H. F., & Ralph F. M. 2004. Satellite Measurements Reveal Persistent Small-Scale Features in Ocean Winds. *Science*, 303(5660): 978–983.
- Dewi, Y.W., Wirasatriya, A., Sugianto, D.N., Helmi, M., Marwoto, J., & Maslukah, L. 2020. Effect of ENSO and IOD on the Variability of Sea Surface Temperature (SST) in Java Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1): p.012007.
- Donlon, C. J., Martin, M., Stark, J., Roberts-Jones, J., Fiedler, E., & Wimmer, W. 2012. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. *Remote Sensing of Environment*, 116: 140–158. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.017>
- Hutabarat, S., & S. M. Evans. 2006. Pengantar Oseanografi. Jakarta: UI Press.
- Koch-Larrouy, A., Madec, G., Iudicone, D., & Gordon, A. 2007. Water mass and heat distribution in the Indonesian Archipelago: A model study. *Ocean Modelling*, 17(3–4): 237–267.
- Kok, P. H., Mohd Akhir, M. F., Tangang, F., & Husain, M. L. 2017. Spatiotemporal trends in the southwest monsoon wind-driven upwelling in the southwestern part of the South China Sea. *PLoS ONE*, 12: e0171979.
- Muskananfol, M. R., Jumsar, N., & Wirasatriya, A. 2021. Spatio-temporal distribution of chlorophyll-a concentration, sea surface temperature and wind speed using aqua-modis satellite imagery over the Savu Sea, Indonesia. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 22: p.100483. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100483>
- Sathyendranath, S., Brewin, R. J., Brockmann, C., Brotas, V., Calton, B., Chuprin, A., Cipollini, P., Couto, A. B., Dingle, J., Doerffer, R. & Donlon, C., 2021. An ocean-colour time series for use in climate studies: The experience of the Ocean Colour Climate Change Initiative (OC-CCI). *Sensors*, 21(5): p.1720.
- Silubun, Dortje T., Jonson L. G., & Yuli N. 2015. Estimasi Intensitas Upwelling Pantai dari Satelit AquaMODIS di Perairan Selatan Jawa dan Barat Sumatera. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6 (1): 21–29
- Sprintall, J., & Liu, W. T. 2005. Ekman mass and heat transport in the Indonesian seas. *Oceanography* 18(4): 88–97.
- 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): 1539–1542.
- Wijaya, Y. J., Wisha, U. J., Maslukah, L., Windarto, S., Wirasatriya, A., & Zainuri, M. 2024. Seasonal variation of chlorophyll-a in South Java over the past quarter-century. *Ocean Dynamics*, 74: 703–724. <https://doi.org/10.1007/s10236-024-01629-4>

- Wirasatriya, A., Setiawan, R. Y., & Subardjo, P. 2017. The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, 10(12): 5513-5518.
- Yu, S., Bai, Y., He, X., Gong, F., & Li, T. 2023. A new merged dataset of global ocean chlorophyll-a concentration for better trend detection. *Frontiers in Marine Science*, 10: p.1051619. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1051619>