

Analisis ENSO terhadap Variabilitas Kedalaman Mixed Layer di Laut Maluku

Adinda Rizki Amalia*, Anindya Wirasatriya dan Rikha Widiaratih

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

Email: *adindarizkiyamalia@students.undip.ac.id

Abstrak

Kondisi oseanografi di perairan Maluku dipengaruhi oleh variabilitas iklim ENSO salah satunya adalah kedalaman *mixed layer*. Menggunakan data satelit observasi dan data model untuk mengetahui kondisi angin, suhu permukaan laut dan kedalaman *mixed layer* tebal jangka waktu 10 tahun, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ENSO terhadap ketebalan *mixed layer* di perairan Maluku. Dengan menggunakan data kedalaman *mixed layer* dari Marine Copernicus, kami menemukan bahwa saat periode *El-Niño* (2015/2016) pada wilayah *upwelling* mengalami penipisan sebesar 2 meter sedangkan pada wilayah yang tidak terjadi *upwelling* mengalami penebalan sebesar 1- 2 meter. Saat periode *La-Niña* (2010/2011) tidak mengalami *upwelling* sehingga perairan ini mengalami penipisan hingga 7 meter pada seluruh perairan Maluku. Fenomena ini sangat berkaitan dengan kondisi angin di perairan Maluku.

Kata kunci: ENSO, Suhu Permukaan Laut, Angin, Kedalaman *Mixed Layer* dan Perairan Maluku

Abstract

ENSO Analysis of Mixed Layer Depth Variability in Maluku Seas

Oceanographic conditions in Maluku Seas are influenced by ENSO climate variability, one of which is the mixed layer depth. Using satellite observation and model data to determine wind, sea surface temperature and mixed layer depth condition in a period 10 years, this study aims to determine the influence of ENSO on the mixed layer depth in Maluku Seas. Using mixed layer depth data from Marine Copernicus, we found that during the El-Niño (2015/2016) the upwelling area experienced a shallower 2 meters while in the area that did not occur upwelling experienced a deeper 1-2 meters. During the La-Niña (2010/2011) there was no upwelling so that these seas experienced shallower up to 7 meters in Maluku Seas. This phenomenon is clearly related to wind conditions in the Maluku Seas.

Keywords: ENSO, Sea Surface Temperature, Mixed Layer Depth, Winds, and Maluku Seas

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu wilayah yang mengalami dampak dari fenomena ENSO salah satunya Laut Maluku (Setiawan *et al.*, 2019). Fenomena ENSO ini memiliki pengaruh terhadap perubahan Suhu Permukaan Laut (SPL) (Susanto *et al.*, 2001; Nurafifah *et al.*, 2022). El-Niño Southern Oscillation (ENSO) merupakan fenomena klimatologi yang berulang di Samudera Pasifik bagian timur (Anugrah *et al.*, 2020). Fenomena ENSO terbagi menjadi dua yaitu El-Niño dan La-Niña. El-Niño ditandai dengan mendinginnya SPL di Perairan Timur Pasifik, sedangkan La-Niña ditandai dengan mendinginnya SPL di Perairan Barat Pasifik (Suniada, 2020). Hasil penelitian Nurafifah *et al.* (2022) di perairan Laut Banda menjelaskan bahwa pada saat El-Niño dan IOD Negatif SPL di perairan Banda mengalami penurunan.

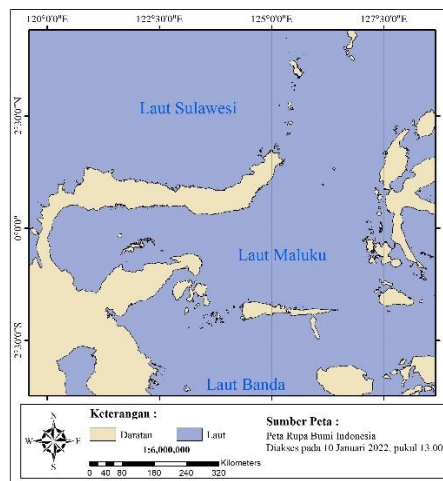
Kedalaman *mixed layer* adalah kedalaman dimana terjadi penurunan suhu 0.2°C dibandingkan dengan suhu pada kedalaman 10 m (Drevillon *et al.*, 2021). Perubahan kedalaman *mixed layer* berdampak pada aktivitas biologis, dan berperan penting dalam mempengaruhi laut dalam interaksi atmosfer dan laut. Selain itu, lapisan campuran permukaan samudera menyimpan panas yang menyediakan sumber untuk mendorong variabilitas global seperti *El-Niño* dan *La-Niña*.

Penelitian fenomena ENSO terhadap kedalaman *mixed layer* sangatlah penting untuk bidang dinamika laut dan perikanan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Radjawane *et al.* (2015) dan Kunarso *et al.* (2012) menjelaskan bahwa pemahaman yang lebih tentang fenomena ENSO terhadap kedalaman *mixed layer*

akan membantu nelayan untuk menentukan kedalaman dalam mencari ikan. Penelitian yang dilakukan sebelumnya umumnya hanya berkaitan dengan lapisan kedalaman termoklin untuk mencari batas atas dan bawah perairan (Kunarso, 2012). Wirasatriya *et al.* (2017) menemukan bahwa ENSO berpengaruh terhadap intensitas upwelling di Laut Maluku dengan melihat indikasi perubahan suhu permukaan laut (SPL) dan klorofil-a. Namun demikian, aspek kedalaman *mixed layer* tidak dikaji dalam analisis mereka. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena ENSO terhadap kedalaman *mixed layer* di Laut Maluku.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini berfokus pada wilayah Laut Maluku, yang dapat dilihat pada Gambar 1. Lokasi ini berada diantara Pulau Sulawesi dan Kepulauan Maluku.



Gambar 1. Wilayah Penelitian di Laut Maluku

Data SPL menggunakan data citra OISST (*Optimally Interpolated Sea Surface Temperature*) dari REMMS (*Remote Sensing System*) level 4 dan data kedalaman *mixed layer* didapat dari data model *marine copernicus* dan data angin didapat dari *marine copernicus* dengan format data *Common Data File Net* (NetCDF). Data SPL dapat diunduh dari *website* <ftp://ftp.remss.com/sst/daily/>. Sedangkan untuk data kedalaman *mixed layer* dan angin melalui *website* <https://resources.marine.copernicus.eu>. SPL menggunakan resolusi 8 Km sedangkan pada data kedalaman *mixed layer* menggunakan resolusi 0,25° dan data angin dengan resolusi 0.125°.

Variabilitas iklim ENSO ditentukan dengan indeks. Indeks ENSO atau *Ocean Niño Index* (ONI) adalah data indeks variabilitas iklim ENSO yang diambil dari nilai anomali suhu di wilayah *Niño3.4* (5°LU-5°LS dan 120°BT- 170°BT). Anomali SPL > 0,5°C disebut *El-Niño*, anomali SPL < -0,5 °C disebut *La-Niña*, dan anomali SPL antara -0,5°C – 0,5°C disebut kondisi normal.

Data yang digunakan merupakan data harian selama 10 tahun (2010 – 2020). Data harian diolah menjadi data bulanan dan diolah kembali menjadi data bulanan klimatologi menggunakan rumus berikut:

$$\bar{x}b(x, y) = \frac{1}{mh} \sum_{i=1}^{mh} xi(x, y, t) \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{x}b(x, y)$ = Rata – rata harian

$xi(x, y, t)$ = Data jam ke-i pada posisi bujur x, lintang y dan jam ke-t

mh = Jumlah jam tebal 1 hari

$i = 1$ = Jam ke-1

*Jika xi = NaN, maka data tersebut tidak memiliki nilai (data kosong) dan tidak diasumsikan tebal perhitungan rata – rata.

(Wirasatriya *et al.*, 2017)

Untuk mengetahui korelasi antara SPL dan curah hujan terhadap ENSO menggunakan persamaan korelasi. Persamaan korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan antara 3 variabel yaitu ENSO dengan SPL, ENSO dengan kedalaman *mixed layer*, dan ENSO dengan angin. Menurut Archdeacon (1994) rumus korelasi tersebut ditulis pada persamaan berikut:

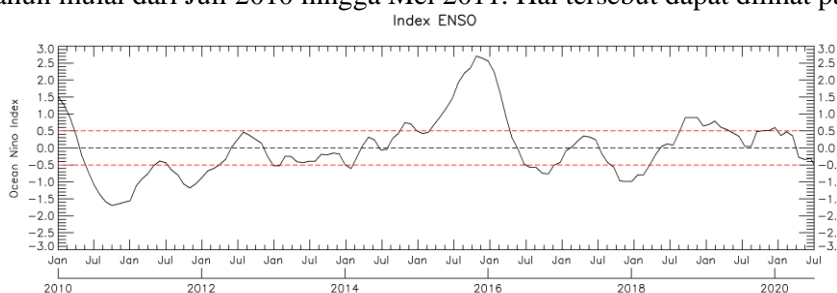
$$r = \frac{N(\sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{(N(\sum X^2) - (\sum X)^2)(N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \quad (2)$$

Keterangan : r = nilai koefisien korelasi y = nilai variabel kedua
 x = nilai variabel pertama N = jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

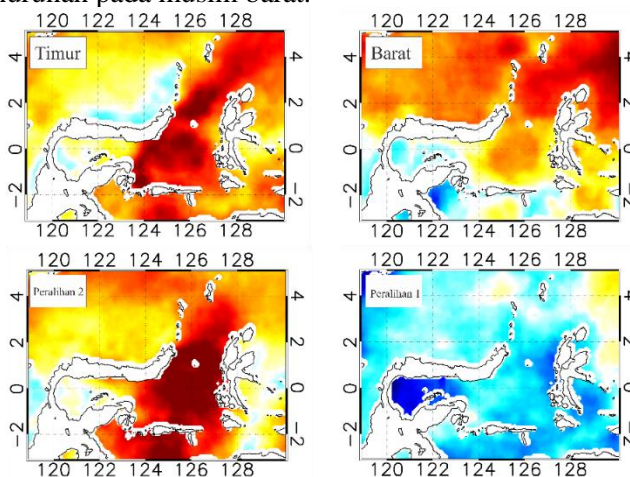
Pengaruh ENSO terhadap Suhu Permukaan Laut

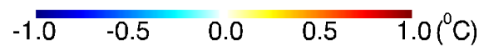
El-Niño kuat terjadi selama 1 tahun mulai dari Juli 2015 hingga Mei 2016 sedangkan La-Niña kuat terjadi selama 1 tahun mulai dari Juli 2010 hingga Mei 2011. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Time Series *La-Niña* Kuat (Juni 2010-Mei 2011) dan *El-Niño* kuat (Mei 2015 - Mei 2016)

Berdasarkan Gambar 3, anomali suhu permukaan laut pada saat *La-Niña* periode 2010-2011 pada perairan Maluku diperoleh hasil bahwa pada sebelah utara distribusi suhu permukaan laut dingin sedangkan suhu panas di sebelah selatan pada musim barat yang ditampilkan pada musim Barat yang memiliki kenaikan rentang suhu berkisar 0,5 – 1°C dari kondisi normal. Beralih ke musim peralihan I suhu panas yang berangsur-angsur mendingin bergerak dari Selatan ke Utara yang nilainya sebesar 0,3°C. Suhu panas bergerak ke perairan Maluku pada musim timur dimana anomali suhu permukaan pada saat *La-Niña* di Perairan Maluku memiliki suhu yang naik sekitar 0,6 – 1°C di sebelah Selatan. Terlihat pada musim peralihan II anomali suhu panas yang berada di utara bergerak ke arah Selatan yang memiliki kenaikan suhu 1°C dan suhu dingin kembali berada di utara mengalami penurunan pada musim barat.

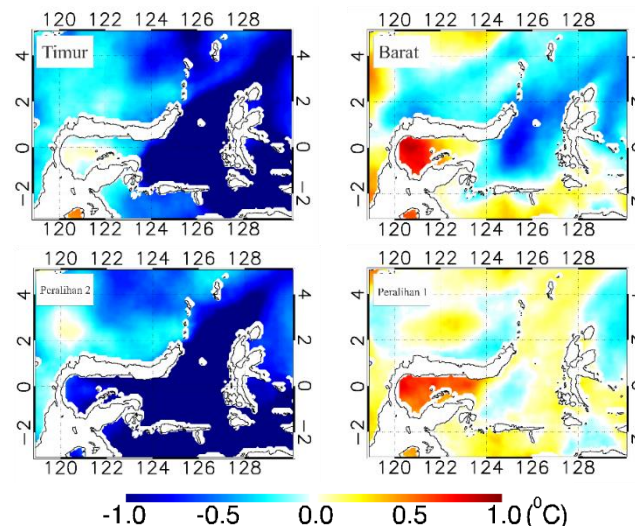




Gambar 3. Anomali SPL di Laut Maluku saat *La-Niña* kuat 2010/2011 di musim yang berbeda.

Menurut Wirasatrya *et al.* (2017) pada saat fenomena *La-Niña* di perairan Maluku angin yang lemah menyebabkan suhu permukaan laut hangat hal ini ditunjukkan pada Gambar 3, dimana selama musim timur anomali suhu permukaan laut mengalami kenaikan yang sangat tinggi hal ini disebabkan karena saat kejadian *La-Niña* kecepatan angin lebih lemah daripada keadaan normal sehingga menyebabkan proses *mixing* di daerah tersebut kurang kuat maka dari itu suhu permukaan laut menjadi lebih hangat dan kedalaman *mixed layer* tipis pada saat *La-Niña* hal ini sejalan dengan penelitian Amalia *et al.* (2019) bahwa lapisan termoklin tidak terangkat karena tidak adanya proses *upwelling* pada kondisi *La-Niña* daripada saat *El-Niño* karena pada kondisi *La-Niña* tidak ada *upwelling* sehingga hanya terjadi proses *mixing* yang menyebabkan kedalaman *mixed layer* menjadi lebih tipis daripada saat kondisi normal.

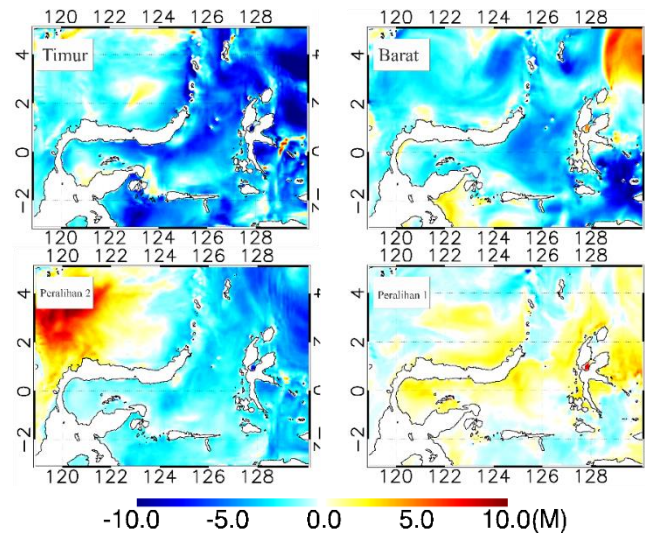
Anomali suhu permukaan laut saat *El-Niño* kuat periode 2015-2016 (Gambar 4) diperoleh hasil bahwa pada sebelah utara perairan Maluku anomali suhu permukaan laut dingin pada musim barat yang memiliki kenaikan rentang suhu berkisar $0,5 - 0,7^{\circ}\text{C}$ dan terlihat suhu panas pada daerah selat Makasar dari kondisi normal. Beralih ke musim peralihan I suhu panas yang berangsur-angsur bergerak dari selatan ke utara yang nilainya sebesar $0,1 - 0,3^{\circ}\text{C}$. Suhu panas bergerak ke perairan Maluku pada musim timur dimana anomali suhu permukaan pada saat *El-Niño* di Perairan Maluku memiliki suhu yang semakin mendingin sekitar $0,6 - 1^{\circ}\text{C}$ di sebelah Selatan. Terlihat pada musim peralihan II anomali suhu dingin yang berada di utara bergerak ke arah Selatan yang memiliki kenaikan suhu 1°C dan suhu dingin kembali berada di utara mengalami kenaikan pada musim barat. Kondisi *El-Niño* menurut Wirasatriya *et al.* (2017) membuat kecepatan angin meningkat sehingga proses *mixing* di perairan meningkat dan pelepasan panas dari laut ke atmosfer juga meningkat yang menyebabkan terjadinya pendinginan di perairan.



Gambar 4. Anomali SPL di Laut Maluku saat *El-Niño* kuat 2015/2016 di musim yang berbeda.

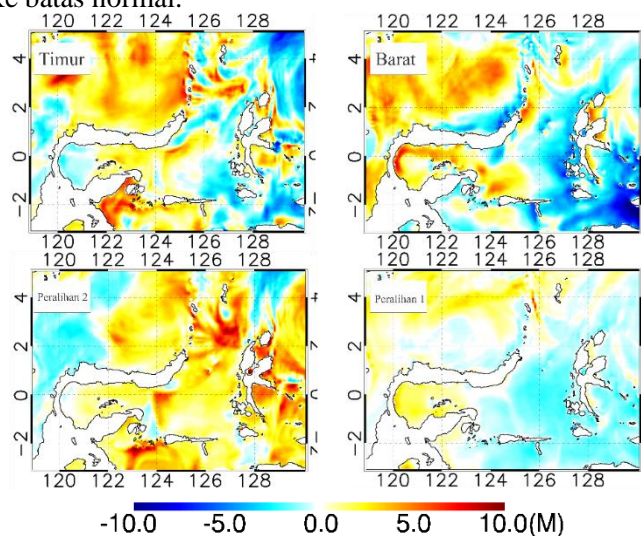
Pengaruh ENSO terhadap Kedalaman *Mixed Layer*

Berdasarkan Gambar 5, *La-Niña* kuat terjadi selama 1 tahun mulai dari 2010-2011 di Perairan Maluku. Pada musim timur mengalami penipisan dengan rata-rata 5-8m. Memasuki musim Peralihan II pengaruh *La-Niña* terhadap kedalaman *mixed layer* pada Laut Sulawesi mengalami Penebalan sedangkan pada Laut Maluku tetap mengalami penipisan dengan nilai 1-4 meter. Pada musim barat kedalaman *mixed layer* mulai mengalami penipisan sebesar 1-3 meter. Pada musim peralihan II di Laut Maluku hingga Laut Halmahera kembali mengalami penebalan hingga 3 meter.



Gambar 5. Anomali kedalaman *mixed layer* di Laut Maluku saat *La-Niña* kuat 2010/2011 pada musim yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 6 *El-Niño* kuat terjadi selama 1 tahun mulai dari 2015-2016 di Perairan Maluku. Pada musim timur *El-Niño* mengalami penebalan dengan rata-rata 3-6m. Memasuki musim Peralihan II pengaruh *El-Niño* terhadap kedalaman *mixed layer* rata-rata 2-6 m. Pada musim barat di Laut Maluku kedalaman *mixed layer* mulai mengalami penebalan pada bulan Januari dengan nilai 1-2 meter dan Februari mulai mengalami penipisan dengan rerata 3 meter. Pada musim peralihan II di Laut Maluku hingga ke Utara Laut Sulawesi kembali mengalami penebalan 2-4 meter. Sedangkan pada pada laut Maluku mengalami penipisan 4 meter hingga ke batas normal.

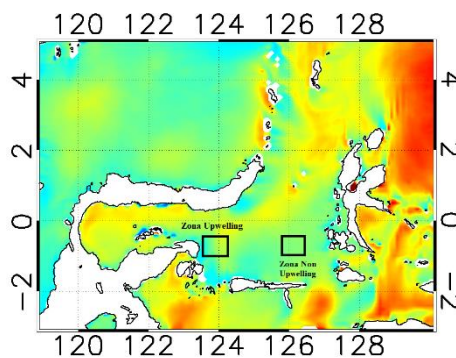


Gambar 6. Anomali kedalaman *mixed layer* di Laut Maluku saat *El-Niño* kuat 2015/2016 pada musim yang berbeda.

Kondisi ENSO mempengaruhi keadaan angin di Indonesia, pada keadaan *La-Niña* angin bertiup lemah sehingga menyebabkan terjadinya mixing dan membuat kedalaman *mixed layer* semakin tipis (Radjawane *et al.*, 2015). Hal ini sejalan dengan Gambar 6 dimana saat musim timur kedalaman *mixed layer* tebal kondisi *El-Niño* semakin tebal dari kondisi normal sedangkan sebaliknya pada saat *La-Niña* yang ditunjukkan Gambar 5 terlihat bahwa kondisi kedalaman *mixed layer* lebih tipis.

Korelasi ENSO terhadap Angin, SPL, dan Kedalaman *Mixed Layer*

Untuk menghitung korelasi antara ENSO dengan angin, SPL dan kedalaman *mixed layer*, kami memilih 2 lokasi yang mewakili daerah *upwelling* dan daerah *non upwelling* seperti yang tertera di Gambar 7.



Gambar 7. Zona Wilayah Perairan Maluku yang dipengaruhi *Upwelling* dan *non-Upwelling*

Tabel 1. Korelasi ENSO terhadap Angin, SPL, dan Kedalaman *Mixed Layer*

KORELASI MUSIM	NON UPWELLING			UPWELLING		
	SPL	ANGIN	MLD	SPL	ANGIN	MLD
Barat	-0.47899	0.452646	0.036991	0.094278	0.214267	-0.02509
Peralihan 1	-0.13908	0.354786	-0.01975	0.075054	0.223427	-0.12831
Timur	-0.56876	0.350708	0.092838	-0.4516	0.388627	0.229073
Peralihan 2	-0.50811	0.217428	0.293402	-0.47145	0.29739	0.217428

Hubungan antara ENSO terhadap suhu permukaan laut pada daerah *non upwelling* adalah -0.47899 (musim barat), -0.13908 (musim peralihan 1), -0.567876 (musim timur) dan -0.50811 (musim peralihan 2). Hubungan antara ENSO terhadap angin pada daerah *non upwelling* adalah 0.452646 (musim barat), 0.354786 (musim peralihan 1), 0.350708 (musim timur) dan 0.217428 (musim peralihan 2). Hubungan antara ENSO terhadap kedalaman *mixed layer* pada daerah *non upwelling* adalah 0.036991 (musim barat), -0.01975 (musim peralihan 1), 0.092838 (musim timur) dan 0.293402 (musim peralihan 2). Sedangkan hubungan antara ENSO terhadap suhu permukaan laut pada daerah *upwelling* adalah 0.094278 (musim barat), 0.075054 (musim peralihan 1), -0.4516 (musim timur) dan -0.47145 (musim peralihan 2). Hubungan antara ENSO terhadap angin pada daerah *upwelling* adalah 0.214267 (musim barat), 0.223427 (musim peralihan 1), 0.388627 (musim timur) dan 0.29739 (musim peralihan 2). Hubungan antara ENSO terhadap kedalaman *mixed layer* pada daerah *upwelling* adalah -0.02509 (musim barat), -0.012381 (musim peralihan 1), 0.229073 (musim timur) dan 0.217428 (musim peralihan 2). Hubungan ENSO terhadap suhu permukaan laut cukup tinggi pada wilayah *upwelling* dan wilayah yang tidak terjadi *upwelling*. Hal ini sejalan dengan penelitian Wirasatriya *et al.* (2017) dimana saat *El-Niño* suhu permukaan laut mendingin sedangkan pada kecepatan angin mengalami kenaikan. Pada Table 1 terlihat nilai korelasi yang negatif dimana saat kejadian *El-Niño* nilai suhu permukaan laut akan menurun. Sedangkan pada hubungan terhadap angin memiliki nilai korelasi yang positif dimana saat kejadian *El-Niño* nilai kecepatan angin akan meningkat. Pada kedalaman *mixed layer* nilai korelasinya positif dimana saat kejadian *El-Niño* nilai kedalaman *mixed layer* akan semakin bertambah atau semakin tebal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa fenomena ENSO mempengaruhi variabilitas kedalaman *mixed layer* saat periode *El-Niño* (2015/2016) pada wilayah *upwelling* mengalami penipisan sebesar 2 meter sedangkan pada wilayah yang tidak terjadi *upwelling* mengalami penebalan sebesar 1- 2 meter. Saat periode *La-Niña* (2010/2011) tidak mengalami *upwelling* sehingga perairan ini mengalami penipisan hingga 7 meter

pada seluruh perairan Maluku. Angin yang bertiup lemah membuat suhu permukaan laut menjadi lebih panas dan menipiskan lapisan *mixed layer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, F., Mubarok, S., dan Mandang, I., 2019. Estimation of *Mixed layer* Depth from Argo Float Data in Makassar Strait during El Niño Southern Oscillation. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*. doi:10.1088/1742-6596/1282/1/012092
- Anugrah, N. N., Samad, W., & Berlianty, D. 2020. The Changes in Oceanographic Condition of Makassar Strait Related with El-Niño Southern Oscillation (ENSO) Events of 2009 - 2019. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1-19. doi:10.1088/1755-1315/618/1/012017
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., & Baskoro, M. S. 2012. Perubahan Kedalaman dan Kedalaman Termoklin pada Variasi Kejadian ENSO, IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa Hingga Pulau Timor. *Ilmu Kelautan*, 87-98.
- 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. *Indonesia Journal of Oceanography*, 4(3):74-85
- Radjawane, I. M., Nurdjaman, S., & Apriansyah. 2015. Seasonal variability of mixed layer depth in Indonesian Seas. AIP Conference Proceedings. doi:10.1063/1.4930690
- Sukresno, B. 2010. Empirical Orthogonal Functions (EOF) Analysis of SST Variability in Indonesia Water Concerning. Balai Riset dan Observasi Kelautan.
- Setiawan R, dan Abdullah, H. 2011. Satellite Detection of Summer Chlorophyll-a Bloom in the Gulf of Tomini. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 4(4):944-948.
- Maisyarah, S., Wirasatriya, A., Marwoto, J., Subardjo, P, & Prasetyawan, I.B. 2019. The Effect of the ENSO on the Variability of SST and Chlorophyll-a in the South China Sea. *IOPSCIENCE*, 246: 1-11.
- Suniada, K. I. 2020. Variability of Sea Surface Temperature in Fisheries Management Area 715, Indonesia and its Relation to The Moonsoon, ENSO and Fishery Production. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 17(2), 99-114. doi:10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3370
- Khaldun, M. H., A. Wirasatriya, A. A. Suryo, dan Kunarso. 2018. The Influence of Indian Ocean Dipole (IOD) on The Variability of Sea Surface Temperature and Precipitation in Sumatera Island. *Earth and Environmental Science*.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. 2001. Upwelling Along the Coast of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO. *J. Geophysical Research Letters*, 28(8):1599-1602
- Wirasatriya, A., Y. R. Setiawan, dan P. Subardjo. 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 Observations And Remote Sensing*, 10:5513-5518.