

ANALISA UPWELLING DAN DOWNWELLING BERDASARKAN DATA VERTICAL CURRENT VELOCITY DAN KONSENTRASI KLOORIFIL-A (STUDI KASUS DI SELAT OMBAI)

UPWELLING AND DOWNWELLING ANALYSIS BASED ON VERTICAL CURRENT VELOCITY AND CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION DATA (CASE STUDY IN THE OMBAI STRAIT)

Muhammad Azis Kurniawan¹, Hendra¹, Agustinus¹, Widodo S. Pranowo^{1,3}, & I Made Jiwa Astika²

¹Program Studi S-2 Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

²Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

³Badan Riset dan Inovasi Nasional

e-mail : medz932@gmail.com

Diterima tanggal: 30 Mei 2023 ; diterima setelah perbaikan: 13 November 2023 ; Disetujui tanggal: 29 November 2023

ABSTRAK

Selat Ombai adalah selat yang menghubungkan Laut Banda menuju Laut Sawu. Hidrodinamika di wilayah perairan Selat Ombai sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis dari perairan disekitarnya, beragamnya variasi kondisi geografis inilah yang menyebabkan terjadinya beberapa fenomena sirkulasi di lautan yang kompleks seperti *upwelling* dan *downwelling*. Penelitian ini bertujuan menganalisa fenomena *upwelling* dan *downwelling* yang terjadi di Selat Ombai menggunakan data model *vertical current velocity* dan Konsentrasi klorofil-a yang didapatkan dari situs data Marine Copernicus (CMEMS). Dalam penelitian ini dilakukan proses analisa data model selama periode satu tahun (2021). Fenomena *upwelling* tertinggi terjadi pada Bulan September 2021 sebesar $7,9 \times 10^{-4}$ m/detik yang terjadi pada kedalaman 155,85 meter dan menuju ke kedalaman 7,93 meter. Sedangkan fenomena *downwelling* tertinggi terjadi pada Bulan Maret 2021 sebesar $-2,5 \times 10^{-4}$ m/detik yang terjadi pada kedalaman 33,43 meter dan menuju ke kedalaman 109,73 meter. Konsentrasi klorofil-a terbesar yaitu pada Bulan Desember 2021 sebesar $0,67 \text{ mg/m}^3$.

Kata kunci: *upwelling, downwelling, vertical current velocity, konsentrasi klorofil-a.*

ABSTRACT

The Ombai Strait is a strait that connects the Banda Sea to the Sawu Sea. Hydrodynamics in the waters of the Ombai Strait are greatly influenced by the geographical conditions of the surrounding waters, this wide variation in geographical conditions causes several complex circulation phenomena in the ocean such as upwelling and downwelling. This research aims to analyze the upwelling and downwelling phenomena that occur in the Ombai Strait by utilizing the vertical current velocity and the chlorophyll-a concentration model data provided by the Copernicus Marine Data Store (CMEMS). In this study, the process of analyzing the model data was carried out over a period of one year (2021). The highest upwelling phenomenon occurred in September 2021 at 7.9×10^{-4} m/s from a depth of 155.85 meter to a depth of 7.93 meters. Meanwhile, the highest downwelling phenomenon occurred in March 2021 at -2.5×10^{-4} m/s which occurred from a depth of 33.43 meter and headed to a depth of 109.73 meters. The highest number of the chlorophyll-a concentration was founded in December 2021 of 0.67 mg/m^3 .

Keywords: *upwelling, downwelling, vertical current velocity, chlorophyll-a concentration.*

PENDAHULUAN

Selat Ombai adalah selat yang menghubungkan Laut Banda menuju Laut Sawu. Selat Ombai juga memisahkan Pulau Timor dengan Pulau Alor, Pulau Pantar, Pulau Wetar dan Pulau Ataruo. Hidrodinamika di wilayah perairan Laut Arafura, Laut Timor dan Selat Ombai sangat dipengaruhi oleh pasang surut, pola angin dan laju massa air terangkut (*transport*) dan beragamnya kondisi geografis dari perairan disekitarnya (Pranowo, 2012). Beragamnya variasi kondisi geografis inilah yang menyebabkan terjadinya beberapa fenomena sirkulasi di lautan dengan yang sistem kompleks, salah satunya interaksi atmosfer yang mengakibatkan terjadinya fenomena *upwelling* (Purba & Pranowo, 2019).

Secara umum, fenomena *upwelling* dapat diartikan sebagai pergerakan ke atas massa air di dalam kolom air yang berlangsung dalam waktu yang cukup lama (beberapa hari sampai beberapa minggu), durasi waktu yang lama ini memungkinkan sekali untuk mengangkat massa air pada jarak vertikal (kedalaman) 100 meter atau lebih (Kämpf & Chapman, 2016). Menurut penelitian (Bowden & Ferguson, 1980), mereka menyatakan bahwa fenomena *upwelling* biasanya terjadi pada perairan dengan kedalaman berkisar 200-300 meter. Menurut (Kämpf & Chapman, 2016) ketika massa air yang kaya akan nutrisi bergerak ke atas, hal ini akan menyebabkan produksi fitoplankton yang bergerak dari dasar ke atas juga mengalami peningkatan dan akan menyuburkan kondisi perairan, proses ini disebut juga *upwelling*. Purba & Khan (2019) menyatakan bahwa *upwelling* juga terjadi di Indonesia,

tepatnya di 11 (sebelas) wilayah dengan intensitas berbeda-beda. Wilayahnya terletak di Sumatera bagian Barat, sekitar selatan Jawa dan Nusa Tenggara, Laut Aru dan Banda, Sulawesi, Halmahera, dan Papua bagian Utara.

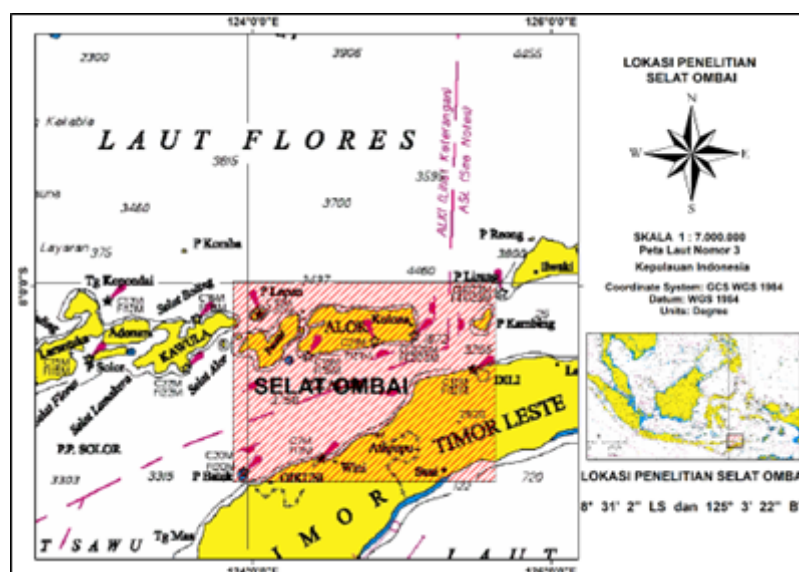
Penelitian tentang *upwelling* sebagian besar selalu melibatkan parameter suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a. Sebaran dan tinggi rendahnya konsentrasi klorofil-a sangat terkait dengan kondisi oseanografi suatu perairan (Sitepu *et al.*, 2021). Konsentrasi klorofil-a merupakan indikator utama dalam penentuan kesuburan perairan (Adani *et al.*, 2013). Secara analogi, wilayah perairan yang mengalami arus vertikal akan berhubungan dengan kesuburan perairan yang kaya akan nutrisi (Ruiz & Navarro, 2006). Menurut (Myrberg & Andrejev, 2003), *upwelling* dan *downwelling* juga berkaitan erat dengan kecepatan arus vertikal.

Penelitian ini bertujuan menganalisa fenomena *upwelling* dan *downwelling* yang terjadi di Selat Ombai menggunakan data *vertical current velocity* dan Konsentrasi klorofil-a. Novelty dari penelitian ini adalah belum adanya artikel yang membahas tentang analisa *upwelling* dan *downwelling* ini menggunakan dataset dari Marine Copernicus dengan variabel *vertical current velocity*.

BAHAN DAN METODE

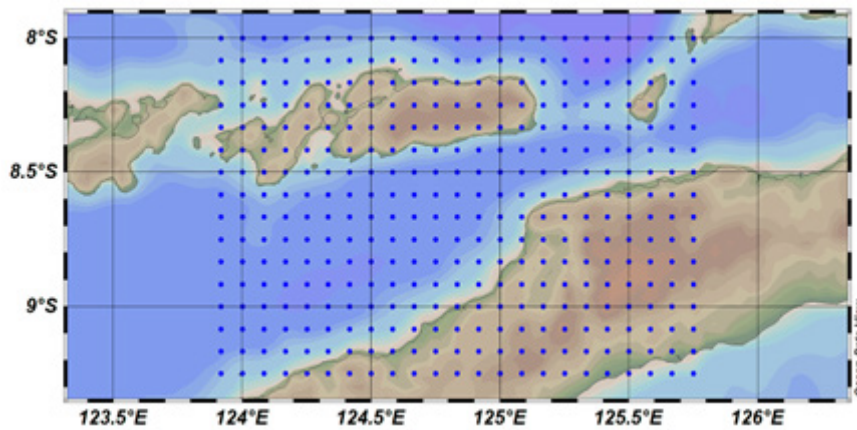
Lokasi Penelitian dan Sumber Data

Lokasi penelitian berada di Selat Ombai. Untuk lebih fokus dan memudahkan dalam analisa spasial, pada



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Selat Ombai. (Peta Laut Indonesia Nomor 3).

Figure 1. Map of research locations in the Ombai Strait. (Indonesian Sea Map Number 3).



Gambar 2 Full Domain Model (*Ocean Data View*).
Figure 2 Full Domain Model. (*Ocean Data View*)

lokasi penelitian dibuat model domain yang berupa area berbentuk persegi panjang (Gambar 1 dan Gambar 2).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *Vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a selama satu tahun (2021). Data ini diperoleh dari situs resmi Marine Copernicus dengan mengunduh langsung pada situs di <https://data.marine.copernicus.eu>. Data konsentrasi klorofil-a memiliki resolusi spasial 0.25o x 0.25o sedangkan data *Vertical current velocity* memiliki resolusi spasial 0.083o x 0.083o. Resolusi temporal dari kedua data tersebut yaitu tiap 1 bulan.

Analisis Data

Data *Vertical current velocity* menghasilkan data kecepatan arus vertikal yang bernilai positif dan negatif (*upward* dan *downward*). *Upwelling* adalah *upward current velocity* yang ditandai dengan nilai positif *vertical velocity*, dengan pergerakan current velocity dari bawah (dasar laut) menuju ke atas (permukaan). Sedangkan *downwelling* adalah *downward current velocity* yang memiliki nilai negatif *vertical velocity*, dengan pergerakan current velocity dari atas (permukaan) menuju ke bawah (dasar laut).

Untuk menganalisa fenomena *upwelling* dan *downwelling* di Selat Ombai, data *vertical current velocity* dan Konsentrasi klorofil-a disajikan dalam bentuk sebaran vertikal dan horizontal pada section yang sudah dipilih menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV). Selanjutnya data dari kedua variabel tersebut dianalisa secara temporal berdasarkan pembagian empat musim yaitu : Musim Barat, Musim Peralihan 1, Musim Timur dan Musim Peralihan 2. Dengan analisa sesuai pembagian empat musim tersebut, dapat diketahui berapa nilai *upwelling*,

downwelling serta konsentrasi klorofil-a tertinggi pada masing-masing musim.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan antara variabel *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a dengan menggunakan rumus umum yaitu :

$$r = \frac{n\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] [n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}}$$

Keterangan :

- r : Nilai Korelasi
- n : Banyaknya pasangan data X dan Y
- ΣX : Total Jumlah variabel X
- ΣY : Total Jumlah variabel Y
- $(\Sigma X)^2$: Kuadrat dari total jumlah variabel X
- $(\Sigma Y)^2$: Kuadrat dari total jumlah variabel Y
- ΣXY : Hasil perkalian dari total jumlah variabel X dan Y

HASIL DAN PEMBAHASAN

Musim Barat

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *upwelling* dengan intensitas lemah di Selat Ombai terjadi pada Musim Barat pada tahun 2021. Hal ini sesuai dengan penelitian (Wyrcki, 1962), yang menemukan bahwa pada musim Barat dugaan terjadinya *upwelling* dengan nilai intensitas yang lemah terjadi di wilayah antara Pulau Jawa dan Benua Australia yaitu terletak pada wilayah selatan Pulau Jawa dan Sumbawa, bukan di sepanjang pantai barat Laut Australia. Selain itu (Mustikasari *et al.*, 2015), juga menemukan bahwa pada musim barat *upwelling* lemah muncul di Laut Sawu dengan area yang relatif luas.

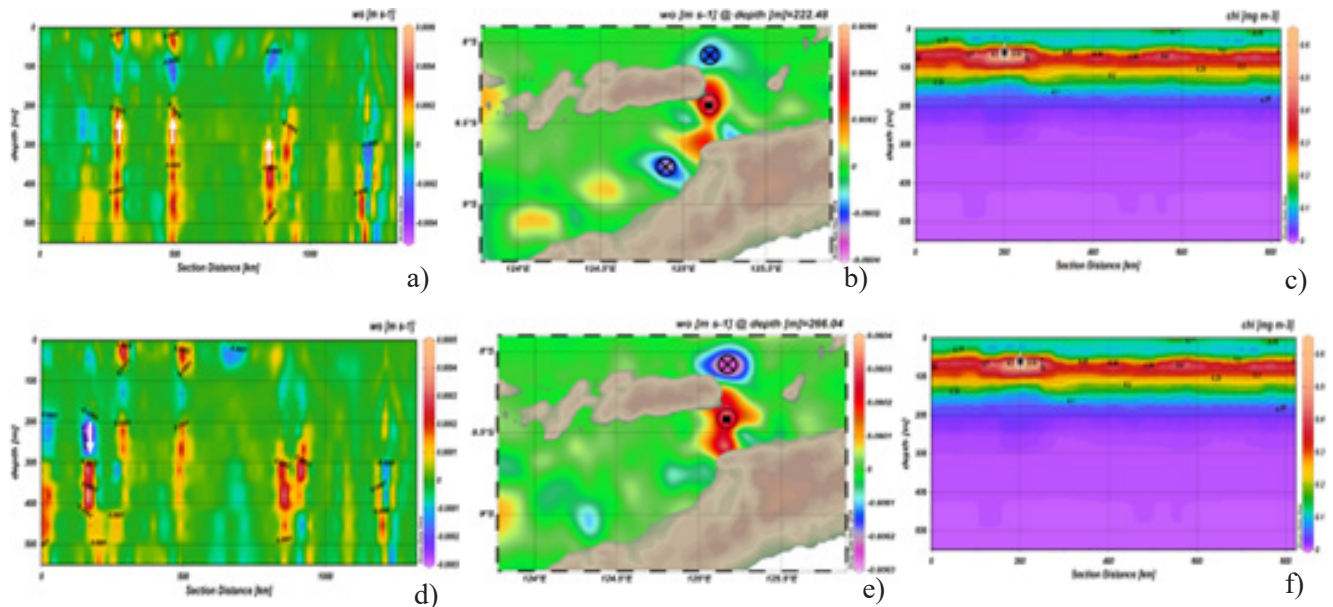
Hasil pengolahan data dengan menggunakan dua variabel, *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a dapat menjelaskan dugaan terjadinya fenomena *upwelling* dan *downwelling*. Pada musim Barat yang terjadi pada Bulan Desember-Januari-Februari, didapatkan data dengan nilai *upwelling* tertinggi terjadi pada Bulan Februari 2021 sebesar 2×10^{-4} m/detik yang terjadi pada kedalaman 541 meter menuju ke kedalaman 222,48 meter. *Upwelling* yang terjadi ini bersifat lemah. Sedangkan untuk nilai tertinggi *downwelling* pada musim Barat terjadi pada Bulan Desember 2021 sebesar -2×10^{-4} m/detik yang terjadi pada kedalaman 186,13 meter menuju ke kedalaman 266,04 meter. Dengan kata lain, dilokasi Selat Ombai dapat diduga terjadi *upwelling* dan *downwelling* dengan intensitas lemah (Gambar 3).

Dugaan terjadinya *upwelling* dan *downwelling* juga didukung dengan hasil pengolahan data profil horizontal. Pada profil horizontal terlihat adanya tampilan warna yang menjelaskan terjadinya fenomena *upwelling* dan *downwelling*. *Upwelling* terjadi dengan terlihatnya warna merah pada kedalaman 222,48 meter dan *downwelling* ditandai dengan warna biru keunguan pada kedalaman 266,04 meter. Pada musim Barat

upwelling terjadi di antara Pulau Alor dan Timor Leste sedangkan *downwelling* terjadi di timur laut Pulau Alor dan di Utara Atapupu Nusa Tenggara Timur. Dalam satu profil horizontal kedalaman, dapat dimungkinkan terjadinya *upwelling* dan *downwelling* sekaligus dan di beberapa titik. Hal ini dikarenakan area model yang diolah cukup luas. Untuk konsentrasi klorofil-a tertinggi pada musim Barat, yaitu terjadi pada bulan Desember 2021 sebesar $0,62 \text{ mg/m}^3$ yang terjadi pada kedalaman diantara 50 meter sampai 80 meter.

Musim Peralihan 1

Pada Musim Peralihan 1 (Gambar 4), nilai dari *vertical current velocity* maksimal tercatat lebih tinggi daripada musim Barat. Berdasarkan hasil penelitian ini pada musim Peralihan 1, didapatkan nilai *upwelling* tertinggi terjadi pada Bulan Mei 2021 sebesar 3×10^{-4} m/detik yang terjadi pada kedalaman 318,13 meter menuju ke permukaan. Adapun untuk nilai tertinggi *downwelling* pada Musim Peralihan 1 terjadi pada Bulan Maret 2021 sebesar $-2,5 \times 10^{-4}$ m/detik yang terjadi pada kedalaman 33,43 meter menuju ke kedalaman 109,73 meter. *vertical current velocity* memiliki nilai positif dan negatif. Nilai positif menandakan *upwelling* dan nilai negatif menyatakan *downwelling*. Hal ini sesuai



Gambar 3. Indikasi *upwelling* musim Barat pada bulan Februari (a), profil horizontal *upwelling* musim Barat pada bulan Februari (b), konsentrasi klorofil-a musim Barat pada bulan Desember (c) dan (f), Indikasi *downwelling* musim Barat pada bulan Desember (d) dan profil horizontal *downwelling* musim Barat pada bulan Desember (e). Ket : *Vertical current velocity* digambarkan dengan anak panah, warna merah bernilai positif sebagai indikator *upwelling*, sedangkan warna biru bernilai negatif sebagai indikator *downwelling*.

Figure 3. Indication of West monsoon *upwelling* in February (a), horizontal profile of West monsoon *upwelling* in February (b), West monsoon chlorophyll-a concentration in December (c) and (f), Indication of West monsoon *downwelling* in December (d) and horizontal profile of West monsoon *downwelling* in December (e). Note: *Vertical current velocity* is depicted with arrows, red has a positive value as an indicator of *upwelling*, while blue has a negative value as an indicator of *downwelling*.

dengan pendapat dari penelitian (Mustikasari *et al.*, 2015), yang menyatakan bahwa komponen arus vertikal positif berarti arah arus ke atas yang dikenal *upwelling* dan komponen arus negatif berarti arah arus kebawah yang dikenal sebagai *downwelling*. *Upwelling* dan *downwelling* yang terjadi bersifat lemah.

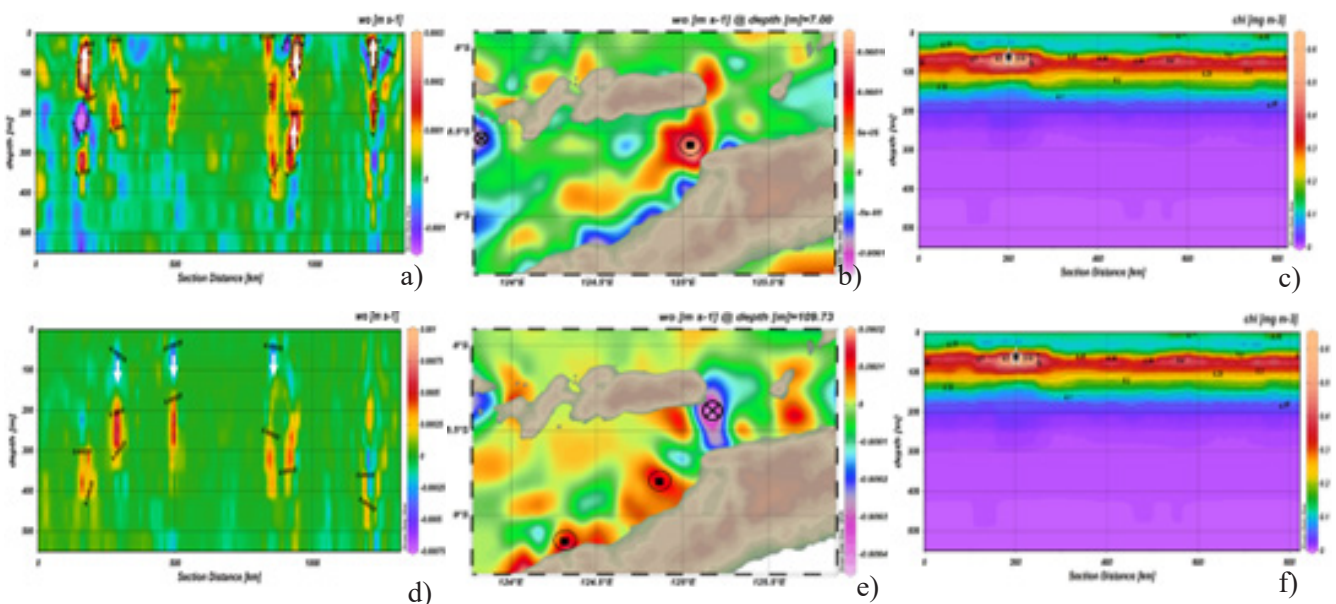
Berdasarkan hasil pengolahan data profil horizontal pada musim Peralihan 1 *upwelling* terjadi pada kedalaman 7 meter di Utara Kuikora Timor Leste, di Utara Pante Makasar Timor Leste dan Utara Atapupu Nusa Tenggara Timur. Sedangkan *downwelling* terjadi pada kedalaman 109 meter di antara Pulau Alor dan Timor Leste, di Barat Daya Pulau Marisa Nusa Tenggara Barat dan di sepanjang Pantai Utara Atapupu sampai ke Pante Makasar. Untuk konsentrasi klorofil-a tertinggi pada musim Peralihan 1, yaitu terjadi pada bulan Mei 2021 sebesar $0,57 \text{ mg/m}^3$ yang terjadi pada kedalaman diantara 40 meter sampai 60 meter.

Musim Timur

Nilai dari *vertical current velocity* maksimal pada musim Timur (Gambar 5) mengalami kenaikan yang cukup signifikan dibandingkan pada Musim Peralihan 1, dimana pada Musim Timur nilai maksimal dari *vertical current velocity* menjadi $7,6 \times 10^{-4} \text{ m/detik}$. Hal

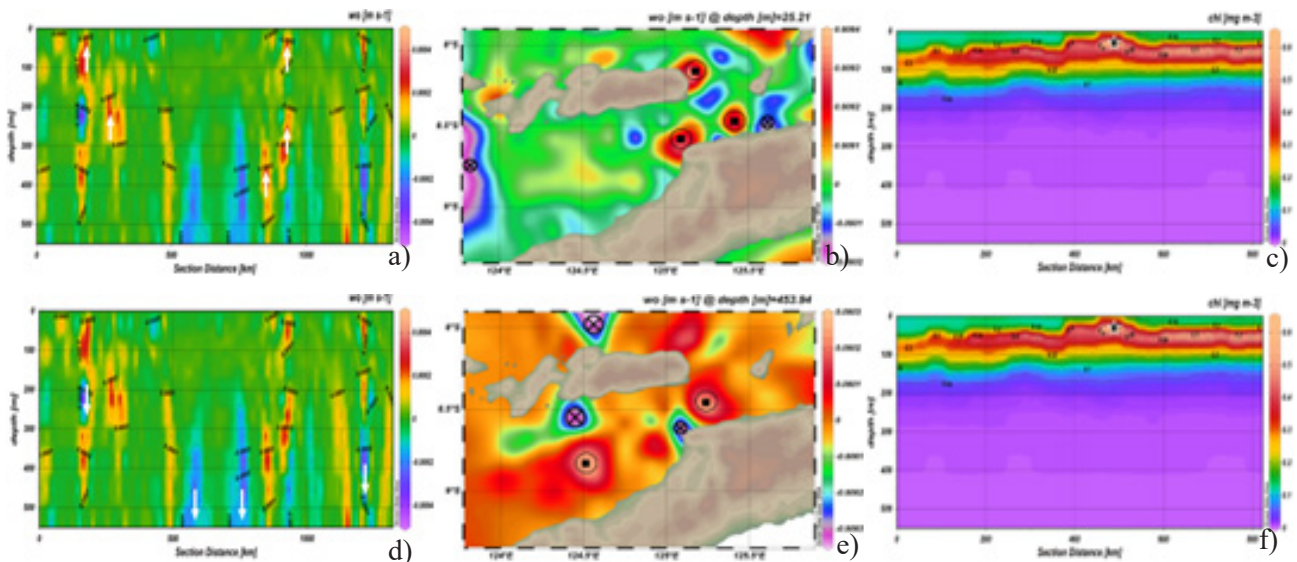
ini bisa dikatakan juga bahwa pada Musim Timur yang terjadi pada Bulan Juni-Juli-Agustus, *upwelling* yang terjadi bersifat kuat dan terjadi pada kedalaman 453,94 meter dan menuju ke kedalaman 25,21 meter. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian dari (Mustikasari *et al.*, 2015), yang juga menemukan bahwa *upwelling* kuat muncul di Selatan Pulau Flores, Sumba, Sawu, Timor, Roti, utara dan selatan Pulau Adonara, Siantar dan Alor. Sedangkan untuk nilai tertinggi fenomena *downwelling* pada Musim Timur juga terjadi pada Bulan Juli 2021 sebesar $-2 \times 10^{-4} \text{ m/detik}$ yang terjadi pada kedalaman 266,04 meter dan menuju ke kedalaman 453,94 meter. *Downwelling* yang terjadi bersifat lemah.

Profil horizontal pada Musim Timur memperlihatkan sebaran lokasi terjadinya *upwelling* dan *downwelling* yang cukup bervariasi. *Upwelling* terjadi dari kedalaman 25 meter di Utara Kuikora Timor Leste, di Utara Tibar Port Timor Leste, di Utara Dili Timor Leste, di Timur dan Selatan Pulau Alor. Sedangkan *downwelling* terjadi pada kedalaman 400 meter di Selatan dan Utara Pulau Alor. Untuk konsentrasi klorofil-a tertinggi pada musim Timur, yaitu terjadi pada bulan Agustus 2021 sebesar $0,63 \text{ mg/m}^3$ yang terjadi pada kedalaman diantara 40 meter sampai 50 meter.



Gambar 4. Indikasi *upwelling* musim Peralihan 1 pada bulan Mei (a), profil horizontal *upwelling* musim Peralihan 1 pada bulan Mei (b), konsentrasi klorofil-a musim Peralihan 1 pada bulan Mei (c) dan (f), Indikasi *downwelling* musim Peralihan 1 pada bulan Maret (d) dan profil horizontal *downwelling* musim Peralihan 1 pada bulan Maret (e). Ket : *Vertical current velocity* digambarkan dengan anak panah, warna merah bernilai positif sebagai indikator *upwelling*, sedangkan warna biru bernilai negatif sebagai indikator *downwelling*.

Figure 4. Indication of *upwelling* of Transition season 1 in May (a), horizontal profile of *upwelling* of Transition season 1 in May (b), chlorophyll-a concentration of Transition season 1 in May (c) and (f), Indication of *downwelling* of Transition season 1 in March (d) and the horizontal profile of Transition season 1 *downwelling* in March (e). Note: *Vertical current velocity* is depicted with arrows, red has a positive value as an indicator of *upwelling*, while blue has a negative value as an indicator of *downwelling*.



Gambar 5. Indikasi *upwelling* musim Timur pada bulan Juli (a), profil horizontal *upwelling* musim Timur pada bulan Juli (b), konsentrasi klorofil-a musim Timur pada bulan Agustus (c) dan (f), Indikasi *downwelling* musim Timur pada bulan Juli (d) dan profil horizontal *downwelling* musim Timur pada bulan Juli (e). Ket : *Vertical current velocity* digambarkan dengan anak panah, warna merah bernilai positif sebagai indikator *upwelling*, sedangkan warna biru bernilai negatif sebagai indikator *downwelling*.

Figure 5. Indication of East monsoon *upwelling* in July (a), horizontal profile of East monsoon *upwelling* in July (b), East monsoon chlorophyll-a concentration in August (c) and (f), Indication of East monsoon *downwelling* in July (d) and horizontal profile of East monsoon *downwelling* in July (e). Note: *Vertical current velocity* is depicted with arrows, red has a positive value as an indicator of *upwelling*, while blue has a negative value as an indicator of *downwelling*.

Musim Peralihan 2

Nilai maksimal dari variabel *vertical current velocity* positif pada musim Peralihan 2 ini merupakan nilai tertinggi dari tiap-tiap musim selama tahun 2021. Pada penelitian ini, nilai maksimal *vertical current velocity* pada musim Peralihan 2 sebesar $7,9 \times 10^{-4}$ m/detik, hal ini bisa diartikan juga bahwa kecepatan arus vertikal yang tinggi ini akan menyebabkan *upwelling*. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari (Ningsih *et al.*, 2013), yang menyatakan bahwa dengan menggunakan data temperatur dan klorofil dari data satelit dapat mendeteksi *upwelling* dengan intensitas kuat terjadi di sekitar perairan Selatan Bali dan Nusa Tenggara pada periode Juni-Oktober. Pada musim Peralihan 2, *upwelling* terjadi pada kedalaman 155,85 meter dan menuju ke kedalaman 7,93 meter dan bersifat kuat. Sedangkan untuk nilai tertinggi fenomena *downwelling* pada musim Peralihan 2 terjadi pada bulan November 2021 sebesar -1×10^{-4} m/detik yang terjadi pada kedalaman 318,13 meter menuju ke kedalaman 541,69 meter dan bersifat lemah.

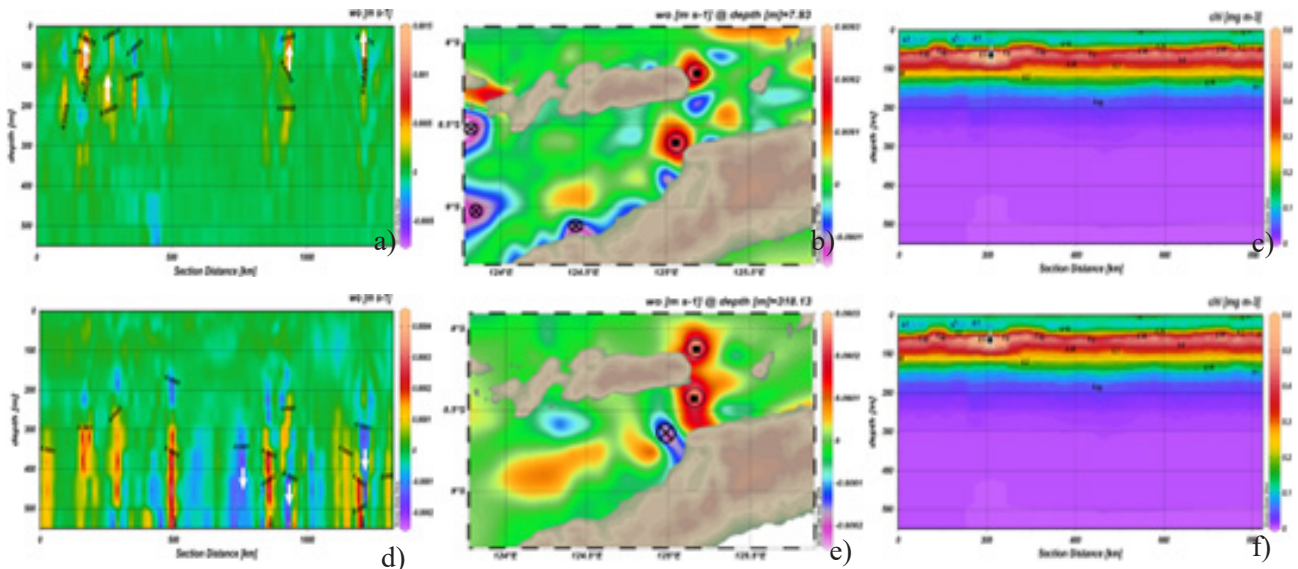
Pada musim Peralihan 2, *upwelling* dan *downwelling* juga tersebar di beberapa lokasi sesuai hasil pengolahan profil horizontalnya. *Upwelling* terjadi pada kedalaman 8 meter di Utara Kuikora Timor Leste, di Timur Pulau Alor dan di antara Pulau Alor dan Timor Leste.

Sedangkan *downwelling* terjadi pada kedalaman 318 meter di Utara Biacou Timor Leste, di sepanjang Pantai Utara Pante Makasar Timor Leste dan di Barat Daya Pulau Marisa. Untuk konsentrasi klorofil-a tertinggi pada musim Peralihan 2 juga mencapai nilai tertinggi diantara musim yang lain dalam tahun 2021, yaitu sebesar 0,67 mg/m³ yang terjadi pada bulan November 2021 di kedalaman antara 50 meter sampai 60 meter.

Tabulasi Nilai *Upwelling*, *Downwelling* dan Konsentrasi Klorofil-a Tiap Musim

Profil batimetri suatu lokasi juga menjadi salah satu pengaruh terbentuknya fenomena *Upwelling* dan *Downwelling*. Hal ini sesuai dengan pendapat (Pranowo, 2012), yang menyatakan kondisi profil batimetri di Selat Ombai yang mempunyai nilai kedalaman lebih dari 4000 meter dapat berperan sebagai salah satu terbentuknya fenomena *upwelling* dan *downwelling* dengan nilai intensitas yang berbeda pula.

Berdasarkan hasil tabulasi menggunakan data model pada tahun 2021 di atas, dapat diduga terjadinya *upwelling* dan *downwelling* di Perairan Selat Ombai. Pada Musim Barat sampai Musim Peralihan 1 menunjukkan terjadinya *upwelling* dengan intensitas lemah, sedangkan pada Musim Timur sampai Musim Peralihan 2 menunjukkan terjadinya *upwelling* dengan



Gambar 6. Indikasi *upwelling* musim Peralihan 2 pada bulan September (a), profil horizontal *upwelling* musim Peralihan 2 pada bulan September (b), konsentrasi klorofil-a musim Peralihan 2 pada bulan November (c) dan (f), Indikasi *downwelling* musim Peralihan 2 pada bulan November (d) dan profil horizontal *downwelling* musim Peralihan 2 pada bulan November (e). Ket : *Vertical current velocity* digambarkan dengan anak panah, warna merah bernilai positif sebagai indikator *upwelling*, sedangkan warna biru bernilai negatif sebagai indikator *downwelling*.

Figure 6. Indication of *upwelling* of Transition season 2 in September (a), horizontal profile of *upwelling* of Transition season 2 in September (b), chlorophyll-a concentration of Transition season 2 in November (c) and (f), Indication of *downwelling* of Transition season 2 in November (d) and horizontal profile of Transition season 2 *downwelling* in November (e). Note: *Vertical current velocity* is depicted with arrows, red has a positive value as an indicator of *upwelling*, while blue has a negative value as an indicator of *downwelling*.

Tabel 1. Tabulasi nilai *upwelling*, *downwelling* dan konsentrasi klorofil-a tiap musim
Table 1. Tabulation of *upwelling*, *downwelling* and chlorophyll-a concentration values for each season

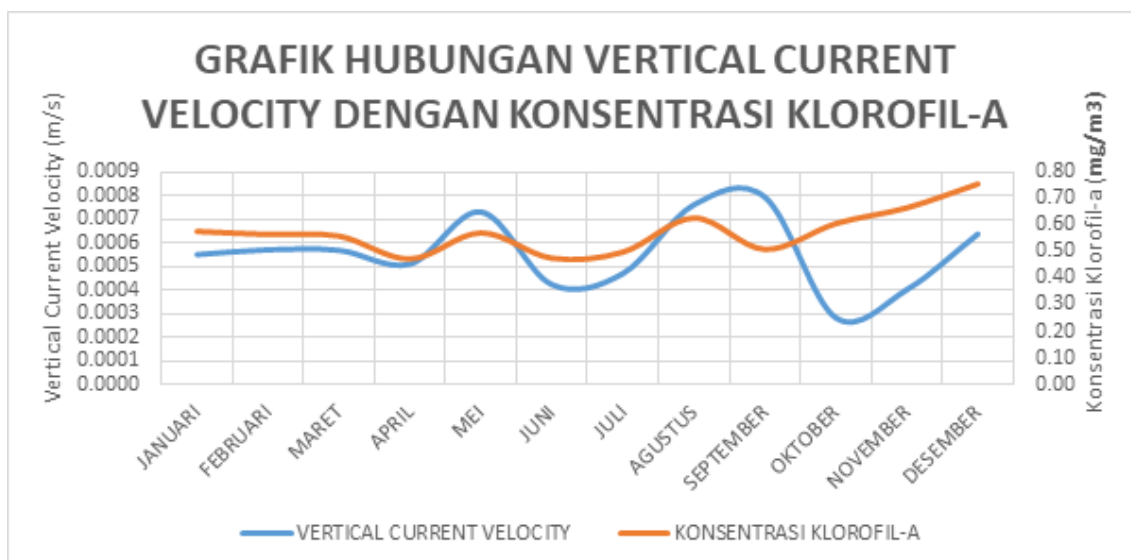
| Musim | Vertical Current Velocity (M/S) | | Mass Chlorophyll Concentration (Mg/M ³) | CH-ETP (mm) |
|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|-------------|
| | Upwelling | Downwelling | | |
| Musim Barat | Feb : 2×10^{-4} m/s | Des : -2×10^{-4} m/s | 0,56 - 0,62 mg/m ³ | 1 |
| Musim Peralihan I | Mei : 3×10^{-4} m/s | Mar : $-2,5 \times 10^{-4}$ m/s | 0,48 - 0,57 mg/m ³ | 0,78444 |
| Musim Timur | Agt : $7,6 \times 10^{-4}$ m/s | Jul : -2×10^{-4} m/s | 0,49 - 0,63 mg/m ³ | 0,99992 |
| Musim Peralihan Ii | Sep : $7,9 \times 10^{-4}$ m/s | Nov : -1×10^{-4} m/s | 0,51 - 0,67 mg/m ³ | -0,81836 |

intensitas kuat. Hal ini sesuai dengan penelitian (Mustikasari *et al.*, 2015), yang menyatakan bahwa pada musim Barat sampai musim Peralihan 1 menunjukkan terjadinya fenomena *upwelling* dengan intensitas lemah, sedangkan pada musim Timur sampai musim Peralihan 2 menunjukkan terjadinya fenomena *Upwelling* dengan intensitas kuat di Lokasi Laut Sawu, Selatan Flores, Selatan Pulau Alor, Adonara dan Selat Ombai.

Menurut (Ningsih *et al.*, 2013) variabilitas musiman konsentrasi klorofil-a yang terjadi di Pantai Selatan Bali dan Selatan Nusa Tenggara pada musim Barat bernilai lebih rendah yaitu berkisar antara 0,11-2,21 mg/m³, sedangkan pada musim Timur nilai konsentrasinya jauh lebih tinggi antara 0,42-5,31 mg/m³. Hasil ini sesuai

dengan penelitian ini yang dilakukan di Selat Ombai, hasil pengolahan data model yang menunjukkan variabilitas musiman konsentrasi klorofil-a yang terjadi pada musim Barat bernilai lebih rendah yaitu 0,56-0,62 mg/m³ dibandingkan dengan Musim Timur yang bernilai 0,49-0,63 mg/m³ dan masih cenderung naik sampai bulan September dan Oktober sampai 0,67 mg/m³.

Sedangkan untuk nilai korelasi antara variabel *vertical current velocity* dan Konsentrasi klorofil-a pada tahun 2021, terlihat nilai korelasi yang kuat dan sangat kuat pada semua musim (positif dan negatif). Pada musim Barat, musim Peralihan 1 dan musim Timur nilai korelasi menunjukkan nilai positif kuat (antara 0,78 sampai 1), yang artinya antara variabel *vertical*



Gambar 7. Grafik hubungan *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a tahun 2021.

Figure 7. Graph of the relationship between *vertical current velocity* and chlorophyll-a concentration in 2021.

current velocity dan konsentrasi klorofil-a memiliki hubungan linier positif yang sangat kuat. Pada saat nilai variabel *vertical current velocity* naik, akan diikuti juga dengan naiknya nilai variabel konsentrasi klorofil-a dan sebaliknya. Hal ini berbeda dengan nilai korelasi pada musim Peralihan 2 yang menunjukkan nilai negatif kuat (-0,82) yang artinya antara variabel *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a memiliki hubungan linier negatif yang kuat. Pada saat nilai variabel *vertical current velocity* naik, maka nilai variabel konsentrasi klorofil-a akan turun dan begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan plot grafik hubungan antara *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a dapat dilihat adanya kesamaan pola trendline grafik antara dua variabel tersebut yang terjadi selama satu tahun. Pada bulan Januari sampai Maret nilai *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a cenderung sama sehingga pola grafik yang dihasilkan juga cenderung sama. Pada bulan April, terjadi penurunan nilai dari dua variabel tersebut sehingga plot grafik hubungan pun terlihat turun. Hal ini juga bisa diartikan bahwa dengan menurunnya nilai *vertical current velocity* juga akan berakibat pada turunnya nilai Konsentrasi klorofil-a.

Pada bulan Mei, terjadi kenaikan nilai, baik dari nilai *vertical current velocity* maupun konsentrasi klorofil-a. Hal ini juga bisa diartikan bahwa dengan naiknya nilai *vertical current velocity* berpengaruh dan berbanding lurus terhadap nilai konsentrasi klorofil-a. Pada bulan Juni dan Juli, terjadi penurunan nilai dari *vertical*

current velocity dan konsentrasi klorofil-a sehingga plot grafik hubungan pun terlihat turun. Hal ini bisa diartikan bahwa dengan menurunnya nilai *vertical current velocity* juga berbanding lurus turunnya nilai konsentrasi klorofil-a.

Pada bulan Agustus, kecenderungan kenaikan nilai *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a masih terjadi secara bersamaan. Terjadi perbedaan pola plot grafik pada bulan September, dimana untuk variabel *vertical current velocity* masih cenderung naik nilainya sedangkan untuk konsentrasi klorofil-a mengalami penurunan nilai.

Pada bulan Oktober, pola plot grafik masih berbeda antara dua variabel, untuk variabel *vertical current velocity* menunjukkan adanya penurunan nilai, hal ini terbalik dengan variabel konsentrasi klorofil-a yang cenderung nilainya naik. Pada bulan November dan Desember, terjadi kenaikan nilai, baik dari nilai *vertical current velocity* maupun konsentrasi klorofil-a. Hal ini juga bisa diartikan bahwa dengan naiknya nilai *vertical current velocity* berpengaruh dan berbanding lurus terhadap nilai konsentrasi klorofil-a.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengolahan data model dengan menggunakan dua variabel, *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a dapat disimpulkan bahwa fenomena *upwelling* dan *downwelling* terjadi di Selat Ombai selama periode tahun 2021. Nilai intensitas *upwelling* dan *downwelling* yang terjadi selama tahun

2021 bervariasi dari intensitas lemah sampai kuat. Pada musim Barat sampai musim Peralihan 1 *upwelling* dan *downwelling* terjadi dengan intensitas lemah (3×10^{-4} m/detik), sedangkan pada musim Timur sampai musim Peralihan 2 *upwelling* dan *downwelling* yang terjadi dengan intensitas lemah ke kuat ($7,9 \times 10^{-4}$ m/detik). Hal ini berbanding lurus dengan nilai konsentrasi klorofil-a pada tahun 2021 di Selat Ombai. Pada musim Barat sampai musim Peralihan 1 nilai konsentrasi klorofil-a lebih kecil dibandingkan pada musim Timur sampai musim Peralihan 2.

Untuk nilai korelasi antara variabel *vertical current velocity* dan konsentrasi klorofil-a pada tahun 2021, terlihat nilai korelasi yang kuat dan sangat kuat pada semua musim (positif dan negatif). Pada musim Barat, musim Peralihan 1 dan musim Timur nilai korelasi menunjukkan nilai positif kuat (antara 0,78 sampai 1) dan nilai korelasi pada musim Peralihan 2 yang menunjukkan nilai negatif kuat (-0,82).

Upwelling dan *downwelling* dengan intensitas kuat yang terjadi pada bulan September dan Maret juga didukung oleh terjadinya arus pusaran (eddy) secara siklonik (*upwelling*) dan anti siklonik (*downwelling*). Arus pusaran siklonik dan anti siklonik tersebut akan menyebabkan terjadinya pencampuran atau pergantian kolom air antara lapisan bawah dengan lapisan permukaan.

Data model dari situs Marine Copernicus dapat digunakan untuk pengamatan dan penelitian, dikarenakan hasil pengolahan data tersebut memiliki kesamaan hasil dengan beberapa penelitian yang dilakukan oleh peneliti lain dengan sumber data yang berbeda (data primer).

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis adalah kontributor utama pada artikel ilmiah ini. Artikel ini merupakan bagian dari Riset Pemutakhiran Basis Data Fusi-Oseanografi untuk kepentingan Oseanografi Taktis yang dikelola oleh Laboratorium Hidro-Oseanografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL).

DAFTAR PUSTAKA

Adani, N. G., Muskanonfolo, M. R., & Hendrarto, I. B. (2013). Kesuburan Perairan Ditinjau Dari Kandungan Klorofil-a Fitoplankton : Studi Kasus Di Sungai Wedung, Demak. *Management*

of Aquatic Resources Journal (MAQUARES), 2(4), 38-45. doi:10.14710/marj.v2i4.4266

Bowden, K. F., & Ferguson, S. R. (1980). Variations With Height Of The Turbulence In A Tidally-Induced Bottom Boundary Layer. *Marine Turbulence, Elsevier, Amsterdam*, 28(1980), 259-286. doi.org/10.1016/S0422-9894(08)71224-8

Kampf, J., & Chapman, P. (2016). *Upwelling Systems of the World*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-42524-5

Mustikasari, E., Dewi, L. C., Heriati, A., & Pranowo, W. S. (2015). Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D) Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling Di Perairan Indonesia. *Jurnal Segara*, 11(1), 25-35. DOI:10.15578/segara.v11i1.9081

Myrberg, K., & Andrejev, O. (2003). Main *upwelling* regions in the Baltic Sea a statistical analysis based on three-dimensional modelling. *Boreal Environment Research*, 8, 97-112.

Ningsih, N. S., Rakhmaputeri, N., & Harto, A. B. (2013). Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara. *Ocean Science Journal*, 48, 49-57. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s12601-013-0004-3

Pranowo, W. S. (2012). Upwelling-Downwelling Dynamics Of Arafura And Timor Seas. *WIDYARISSET*, 15(2), 415-424.

Purba, N. P., & Khan, A. M. (2019). Upwelling session in Indonesia waters Noir. *World News of Natural Sciences*, 25(2019), 72-83.

Ratnawati, H. I., Hidayat, R., Bey, A., & June, T. (2016). Upwelling di Laut Banda dan Pesisir Selatan Jawa serta Hubungannya dengan ENSO dan IOD. *Omni-Akuatika*, 12(3), 119-130.

Ruiz, J., & Navarro, G. (2006). Upwelling spots and vertical velocities in the Gulf of Ca' diz: An approach for their diagnose by combining temperature and ocean colour remote sensing. *Deep-Sea Research II*, 53(11-13), 1282-1293. doi:10.1016/j.dsr2.2006.04.006

Sitepu, M. P., Hartuti, M., & Wiryawan, A. P. (2021). Pemanfaatan Data Klorofil-A dari Citra

Penginderaan Jauh untuk Mendukung Operasi Keamanan Laut (Studi Kasus Perairan Laut Sulawesi). *Jurnal Chart Datum*, 7(2), 87–98. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v7i2.213>

Sukresno, B., Jatisworo, D., & Kusuma, D. W. (2018). Analisis Multilayer Variabilitas Upwelling di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(1), 15-25. <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v1i1.6619>

Wyrski, K. (1962). The Upwelling In The Region Between Java And Australia During The South-East Monsoon. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 13(3), 217-225.