

Pengaruh Ekman Mass Transport dan Ekman Pumping Velocity Terhadap Upwelling di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa

Elsa Mayora Jovanka Putri*, Anindya Wirasatriya dan Jarot Marwoto

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: elsamayorajp@gmail.com

Abstrak

Upwelling merupakan pengangkatan massa air laut dari perairan yang lebih dalam ke permukaan. Massa air tersebut membawa banyak nutrisi yang selanjutnya akan mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Biomassa fitoplankton dapat diidentifikasi melalui pengukuran klorofil-a. Selain tingginya klorofil-a, proses *upwelling* ini juga ditandai dengan massa air yang memiliki suhu yang lebih rendah. Faktor pembangkit *upwelling* disebabkan oleh angin yang selanjutnya menyebabkan adanya *Ekman Mass Transport* (EMT) dan *Ekman Pumping Velocity* (EPV). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh EMT dan EPV terhadap nilai sebaran suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a yang digunakan untuk mendeteksi *upwelling* di Perairan Selatan Bali-Sumbawa. Hasil penelitian menunjukkan adanya parameter lain yang mempengaruhi *upwelling* selain angin, yaitu EMT dan EPV. Pengaruh EPV berperan lebih kuat dibanding EMT dalam mempengaruhi terjadinya *upwelling* di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa, berakibat pada suhu permukaan laut yang rendah dan klorofil-a tinggi di wilayah A dibanding dengan wilayah B dan C. Akibat Dinamika Ekman yang terjadi menyebabkan Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa mengalami *upwelling* dengan kekuatan yang berbeda.

Kata kunci: *Ekman Mass Transport, Ekman Pumping Velocity, upwelling, suhu permukaan laut, klorofil-a*

Abstract

The Effect of Ekman Mass Transport and Ekman Pumping Velocity on the Distribution of the Upwelling in the Southern Coast of Bali-Sumbawa Island

Upwelling is the lifting of seawater masses from deeper waters to the surface. This water mass carries a lot of nutrients, which will then influence the growth of phytoplankton. Chlorophyll-a measurements can identify phytoplankton biomass. Apart from high levels of chlorophyll-a, this upwelling process is also characterized by water masses having lower temperatures. Wind causes the upwelling generating factor, which in turn leads to Ekman mass transport (EMT) and Ekman pumping velocity (EPV). This research aims to determine the effect of EMT and EPV on the distribution of sea surface temperatures and chlorophyll-a concentrations, which are used to detect upwelling in the southern waters of Bali-Sumbawa. The research results show that there are other parameters that influence upwelling besides wind, namely EMT and EPV. The influence of EPV plays a stronger role than EMT in influencing the occurrence of upwelling in the southern waters of Bali-Sumbawa Island, resulting in low sea surface temperatures and high chlorophyll-a in region A compared to regions B and C. Due to the Ekman dynamics that occur, the southern waters of the island of Bali-Sumbawa experience upwelling with different strengths.

Keywords: *ekman mass transport, ekman pumping velocity, upwelling, sea surface temperature, chlorophyll-a*

PENDAHULUAN

Upwelling merupakan pengangkatan massa air dari dasar perairan ke permukaan. Fenomena *upwelling* menyebabkan terbawanya nutrisi dari perairan dalam ke permukaan yang ditandai dengan meningkatnya konsentrasi klorofil-a dipermukaan laut dan pendinginan suhu permukaan laut. Salah satu faktor pembangkit *upwelling* yaitu dinamika *Ekman Mass Transport* (EMT) dan *Ekman Pumping Velocity* (EPV) yang diakibatkan oleh angin muson. *EMT* akan menggerakkan massa air yang disebabkan oleh adanya pergerakan

angin yang berhembus sejajar garis pantai dan akan dibelokkan oleh gaya *coriolis* sehingga massa air laut yang berasal dari lapisan dalam akan naik menggantikan massa air yang ada di lapisan permukaan (Wirasatriya *et al.*, 2020). *EPV* akan menggerakkan massa air menuju dasar perairan (*downwelling*) ataupun dapat menggerakkan massa air menuju permukaan (*upwelling*) dalam arah vertikal, tergantung pada konvergensi dan divergensi terhadap permukaan perairan laut (Hestingsih *et al.*, 2017). Perairan di Indonesia yang menjadi salah satu perairan yang terdapat fenomena *upwelling* yaitu Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Hafizhurrahman *et al.* (2015) menyatakan bahwa Perairan Selatan Bali-Sumbawa ini memiliki karakteristik yang unik dan dinamika yang kompleks. Karakteristik massa air di perairan selatan Bali-Sumbawa ini salah satunya dipengaruhi oleh sistem angin muson. Angin muson yang bergerak di atas permukaan laut ini akan menyebabkan terjadinya dinamika ekman EMT dan EPV dan mempengaruhi kenaikan massa air atau *upwelling*.

Studi mengenai pengaruh *EPV* dan *EPV* terhadap *upwelling* sebelumnya pernah dilakukan di perairan selatan Jawa (Wirasatriya *et al.*, 2020). Kajian mengenai *upwelling* di perairan selatan Bali dengan parameter suhu permukaan laut, klorofil-a dan IOD juga pernah dilakukan (Hafizhurrahman *et al.*, 2015). Namun, studi mengenai pengaruh EMT dan EPV terhadap *upwelling* di perairan selatan Bali belum dikaji pada penelitian sebelumnya. Angin muson yang melewati perairan ini akan membangkitkan EMT dan EPV di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Adanya pergerakan EMT dan EPV di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa akan menyebabkan terjadi *upwelling*. Terjadinya *upwelling* akan menyebabkan suhu permukaan laut rendah dan klorofil-a tinggi di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan mengkaji bagaimana pengaruh *EMT dan EPV* terhadap nilai sebaran suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a. Kedua parameter tersebut sering digunakan sebagai indikator terjadinya *upwelling*.

Proses *upwelling* selanjutnya mempengaruhi produktivitas perairan menjadi lebih subur. Menurut Setiawati *et al.* (2015), perairan selatan Jawa - Sumbawa memiliki potensi terhadap tempat penangkapan ikan tuna khususnya. Perairan Selatan Pulau Bali merupakan perairan dengan tingkat penangkapan ikan lemuru yang tinggi terjadi pada bulan September-Oktober (Rintaka *et al.*, 2015). Kondisi perairan dengan produktivitas tinggi akan menjadikan Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa menjadi salah satu wilayah zona penangkapan ikan tuna dan lemuru, budidaya ikan dan berdampak positif juga pada bidang ekonomi. Penelitian ini nantinya dapat dijadikan sebagai tambahan informasi mengenai kekuatan *upwelling* akibat dinamika EMT dan EPV yang menyebabkan produktivitas perairan tinggi sehingga dapat dijadikan acuan dalam penangkapan ikan di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

MATERI DAN METODE

Materi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data angin dari *Advance Scatterometer (ASCAT)* dengan resolusi spasial 12.5x12.5 km. Data ASCAT yang digunakan merupakan data komponen u dan v angin per hari dari Januari 2010 hingga Desember 2019 yang diunduh dari *website* <http://marine.copernicus.eu>. Menurut Stoffelen *et al.* (2017), menyatakan bahwa bias dari ASCAT yaitu 0.2 m/s. Penelitian ini juga menggunakan data suhu permukaan laut dari *The Multi-scale Ultra-high Resolution Group for High Resolution SST (MUR-GHRSST)* level 4 harian dengan resolusi 1 x 1 km yang di *download* melalui situs <https://podaac.jpl.nasa.gov> pada tahun 2010 - 2019. Data klorofil-a dari *Ocean Color Climate Change Initiative (OC-CCI)* diambil dari situs <https://climate.esa.int/en/projects/ocean-colour/> pada tahun 2010 - 2019 dengan resolusi spasial 4 x 4 km. Data OCCCI adalah gabungan dari data SeaWiFS, MERIS, Aqua MODIS, dan VIIRS. Berdasarkan penelitian Harshada *et al.* (2021), yang telah melakukan validasi terhadap data OCCCI dimana hasilnya menyatakan bahwa data OCCCI yang digunakan dapat mempresentasikan kondisi klorofil yang sebenarnya dengan bias data OCCCI yaitu 0,63 mg/m³.

Pengolahan Data Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a dan Angin

Data spl, klorofil-a dan angin dalam format **.nc* diekstrak dengan menggunakan IDL kemudian disimpan dalam format **.sav*. Hestingsih *et al.* (2017) menjelaskan bahwa penggunaan *software* IDL (*Interactive Data Language*) diawali membuat skrip bahasa pemrograman. Prosesnya antara lain meliputi ekstrak data citra,

kompilasi citra bulanan dan klimatologi untuk melihat variabilitas klorofil-a dan suhu permukaan laut. Tahapan komposit menggunakan persamaan yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.*, 2017 (Persamaan 1):

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

Keterangan:

- $\bar{X} b(x, y)$ = Rata-rata bulanan
 $xi(x, y, t)$ = Data hari ke-1 pada posisi bujur (x), lintang (y), dan hari ke-t
 n = Jumlah hari dalam satu bulan
 $i=1$ = Hari ke-1

*jika $xi = \text{Nan}$, maka data tersebut tidak mempunyai nilai (data kosong) dan tidak dimasukkan dalam perhitungan.

Perhitungan Ekman Mass Transport (EMT)

Ekman Mass Transport (EMT) dihitung dari *wind stress*, dengan asumsi bahwa komponen angin sumbu x dengan arah sejajar pantai dan komponen angin sumbu y dengan arah tegak lurus pantai. Menurut Wirasatriya *et al.* (2020) *Ekman Transport* (EMT) dapat dihitung dengan persamaan 2-4:

$$EMT = \frac{\tau}{\rho_w f} \quad (2)$$

$$\tau = \rho_a C_d U_{10}^2 \quad (3)$$

$$f = 2 \Omega \sin \varphi \quad (4)$$

Keterangan:

- τ = vektor *wind stress*
 ρ_w = densitas air laut ($1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
 ρ_a = densitas udara (1.25 kg/m^3)
 f = parameter *coriolis*
 C_d = koefisien drag (2.6×10^{-3})
 U_{10} = kecepatan angin 10 meter diatas permukaan laut,
 φ = *latitude* (dalam radian)
 u dan v = komponen *zonal* dan *meridional* angin.

Perhitungan Ekman Pumping Velocity (EPV)

Ekman Pumping Velocity (EPV) dapat dihitung dari *wind stress curl*. dengan asumsi jika komponen angin sumbu x dengan arah sejajar pantai dan komponen angin sumbu y dengan arah tegak lurus pantai. EPV dihitung mengikuti yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.* (2020), seperti yang tersaji pada persamaan 5 dan 6.

$$EPV = -\frac{curl}{\rho_w f} \quad (5)$$

$$curl = \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \quad (6)$$

Keterangan:

- $curl$ = vektor *wind stress curl*
 τ = vektor *wind stress*
 ρ_w = densitas air laut ($1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
 f = parameter *coriolis*

Analisis Korelasi

Analisis korelasi dalam penelitian ini untuk menentukan keterkaitan antara EMT dan EPV di wilayah kajian. Menurut Candra dan Sakban (2016), korelasi dapat dihitung dengan rumus:

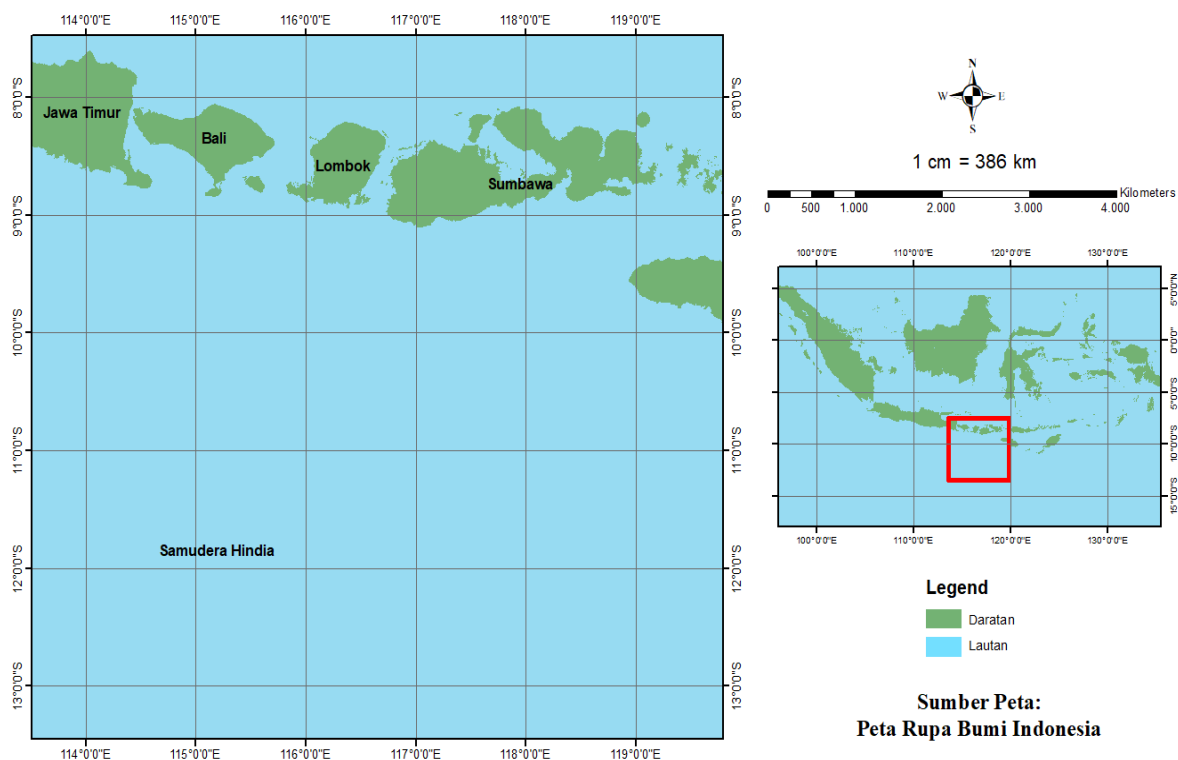
$$r = \frac{N(\sum XY) - (\sum X \sum Y)}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (7)$$

Keterangan:

- r = Nilai koefisien korelasi
 X = Nilai variabel pertama
 Y = Nilai variabel kedua
 N = Jumlah data

Lokasi Penelitian

Waktu Penelitian ini dilakukan selama 10 tahun dari Januari 2010 sampai Desember 2019. Lokasi penelitian yaitu di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa dengan koordinat $7^{\circ}30'00''$ LS – $13^{\circ}00'00''$ LS dan $114^{\circ}00'00''$ BT – $119^{\circ}30'00''$ BT seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

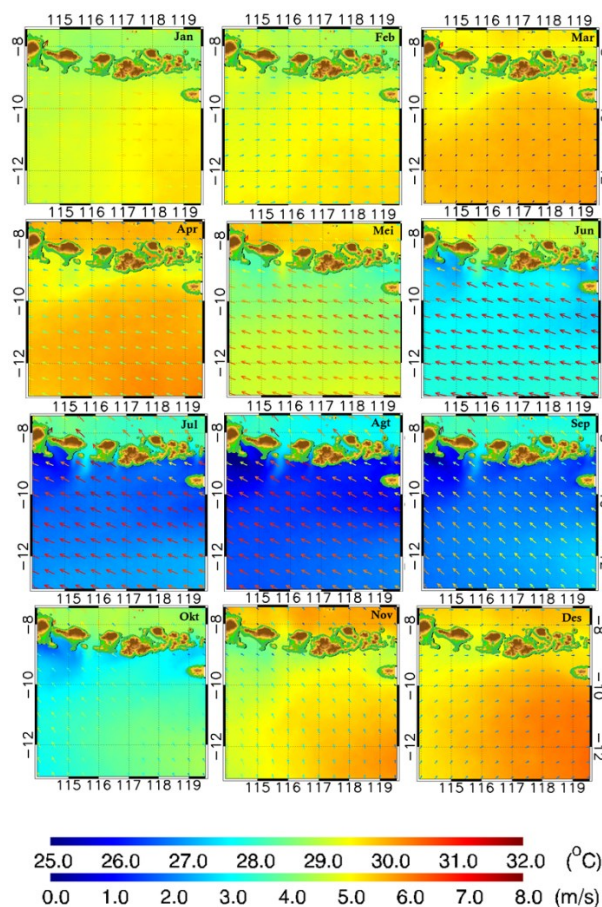
HASIL DAN PEMBAHASAN**Sebaran Spasial Suhu Permukaan Laut (SPL), Klorofil-a dan Angin Klimatologi Bulanan di Perairan Selatan Bali – Sumbawa**

Sebaran spasial suhu permukaan laut, klorofil-a dan kecepatan serta arah angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa pada tahun 2010-2019 memiliki nilai yang bervariasi setiap bulannya. Pola sebaran spasial disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, terlihat nilai SPL bulan Desember hingga Maret berkisar 29°C - 30°C . Nilai SPL terendah berada di sekitar 25°C - 27°C yang terjadi pada bulan Juli hingga September. Puncak terendah SPL berada pada bulan Agustus yaitu $25,66^{\circ}\text{C}$ yang terjadi di wilayah Perairan Selatan Bali. Pergerakan angin bulan Desember – Februari yang bergerak dari barat menuju ke tenggara dengan kecepatan rata-rata $2 - 5$ m/s ikut mempengaruhi nilai SPL tersebut. Bulan Maret pola pergerakan angin mulai mengalami perubahan dan kecepatan angin cenderung kecil yaitu dibawah 2 m/s. Hal ini disebabkan pada bulan Maret terjadi peralihan dari arah angin Muson Barat ke Muson Tenggara, sehingga menyebabkan arah angin pada bulan ini berasal dari barat yang disekitar pesisir pantai dan dari barat daya yang di area lepas pantai. Bulan

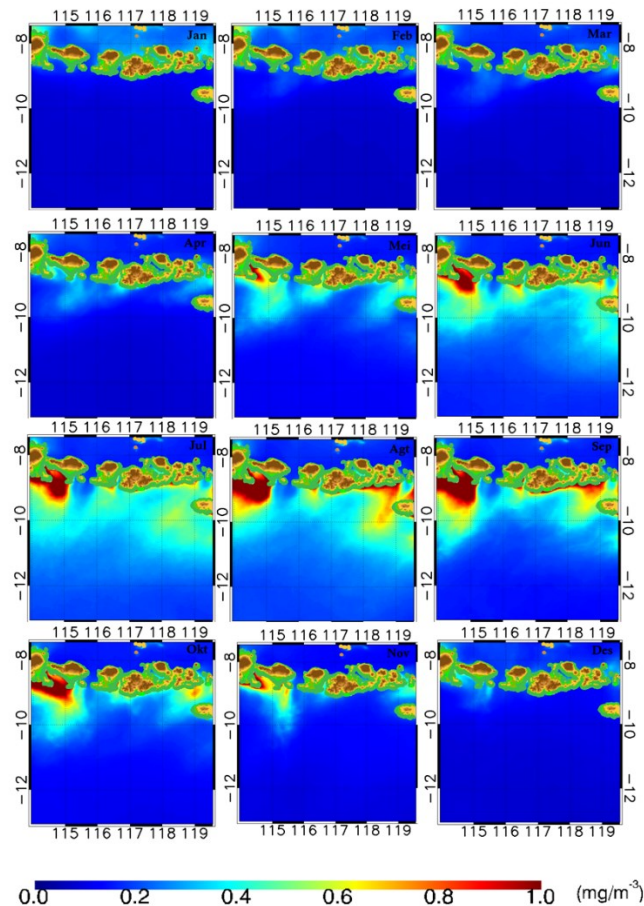
April sendiri mulai ada perubahan pola angin, yaitu dari tenggara menuju ke barat dengan kecepatan angin berkisar 3 – 4 m/s. Puncak dari pola pergerakan angin ini dimulai dari bulan Mei – Agustus dimana kecepatan anginnya mencapai 6 – 8 m/s dengan angin yang bergerak dari tenggara menuju barat laut. Memasuki bulan September kecepatan anginnya mulai menurun berkisar 4 – 5 m/s dan terus menurun pada bulan Oktober – November yaitu 3 – 4 m/s.

Sebaran klorofil-a di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa dapat dilihat dalam Gambar 3. dimana pada sebaran klorofil pada bulan Desember – Maret berkisar 0,0 – 0,2 mg/m³. Bulan April klorofil-a konsentrasi yang masih rendah di sekitar Perairan Selatan Bali, Lombok dan Sumbawa. Konsentrasinya berkisar 0,4 mg/m³ di ketiga area tersebut. Bulan Mei–Oktober konsentrasi klorofil-a di sepanjang Perairan Selatan Bali-Sumbawa mulai mengalami peningkatan konsentrasinya berkisar 0,4 – 1 mg/m³ di selatan Bali tetapi sebarannya belum menyeluruh, 0,4 – 0,6 mg/m³ di selatan Lombok dan selatan Sumbawa. Pada bulan Juni–Oktober konsentrasi klorofil-a mulai berbeda, Juni - Oktober di wilayah selatan Bali sebaran klorofil-a mulai menyebar memenuhi Perairan Selatan Bali dari pesisir sampai ke menuju laut lepas hingga konsentrasinya berkisar 0,4 – 1,3 mg/m³, di Perairan Selatan Lombok sendiri konsentrasinya 0,4 – 0,8 mg/m³ di Perairan Selatan Sumbawa memiliki konsentrasi berkisar 0,4 – 0,9 mg/m³. Bulan November dapat dilihat konsentrasi klorofil-a di sepanjang selatan Bali-Sumbawa tertinggi berada di wilayah selatan Bali dengan konsentrasi 0,4 – 0,8 mg/m³, sedangkan di wilayah lain dari selatan Lombok sampai Sumbawa konsentrasi klorofil-a berkisar kurang dari 0,4 mg/m³.

Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa (lokasi penelitian) ini dipilih 3 titik lokasi seperti Gambar 4. yaitu lokasi A di perairan selatan Pulau Bali, lokasi B perairan selatan Pulau Lombok dan lokasi C di perairan selatan Pulau Sumbawa bagian timur. Pemilihan tiga titik lokasi ini untuk merepresentasikan adanya perbedaan distribusi suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin yang saling berpengaruh.

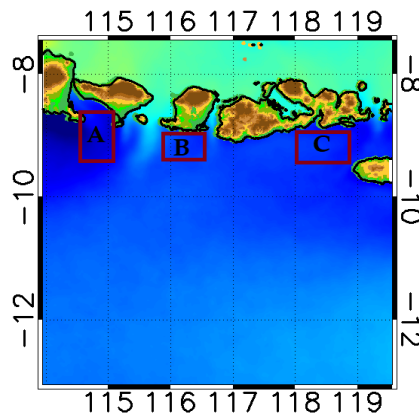


Gambar 2. Peta overlay sebaran SPL dan pola pergerakan angin permukaan klimatologi bulanan (2010-2019) di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

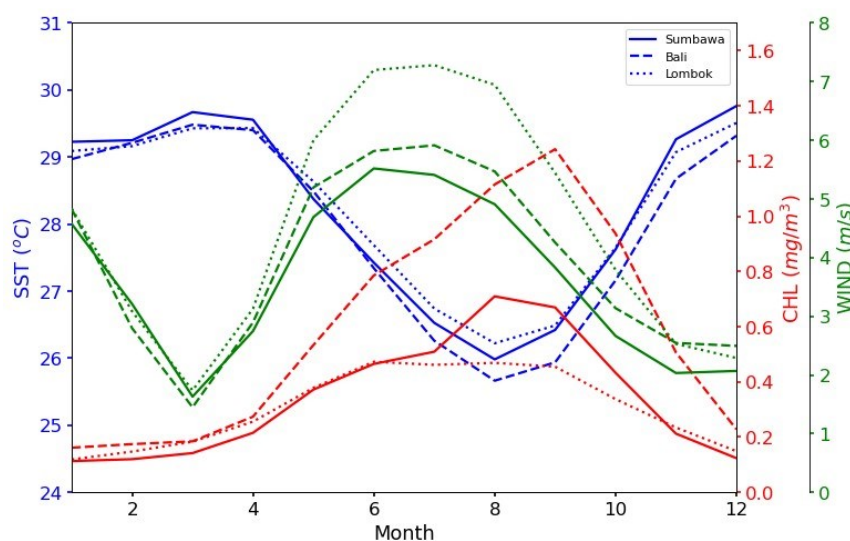


Gambar 3. Peta sebaran klorofil-a klimatologi bulanan (2010-2019) di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

Hubungan suhu permukaan laut dan angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa seperti pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa pola angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa memiliki pola dan kecepatan yang berbeda tiap bulannya. Dari ketiga titik lokasi tersebut nilai suhu permukaan laut terendah terjadi pada Perairan Selatan Pulau Bali dengan nilai suhu permukaan lautnya yaitu $25,66^{\circ}\text{C}$ yang terjadi pada bulan Agustus dengan nilai kecepatan anginnya tinggi $5,46\text{ m/s}$. Korelasi pengaruh angin terhadap suhu permukaan laut di wilayah A, B dan C seperti pada Tabel 1. dengan korelasi pada wilayah A ($r = -0,66$), wilayah B ($r = -0,78$) dan wilayah C ($r = -0,68$). Pengaruh angin terhadap suhu permukaan laut berkorelasi kuat pada wilayah A, B maupun C. Nilai negatif tersebut menunjukkan ada hubungan berbanding terbalik antara suhu permukaan laut dan angin. Angin juga berpengaruh terhadap sebaran konsentrasi klorofil-a yang ada di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Pada Gambar 5., juga terlihat bahwa ketika kecepatan angin kuat maka konsentrasi klorofil-a juga tinggi, begitu sebaliknya. Pada Tabel 1. juga ditampilkan korelasi pengaruh angin terhadap sebaran konsentrasi klorofil-a, dimana korelasi wilayah A ($r = 0,56$), wilayah B ($r = 0,82$) dan wilayah C ($r = 0,58$). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh angin terhadap klorofil-a di wilayah B lebih kuat dibanding dengan wilayah A dan C. Nilai positif pada korelasi antara angin dan klorofil-a ini menunjukkan bahwa angin menaikkan klorofil-a. Hubungan suhu permukaan laut dan klorofil-a juga dapat dilihat pada Gambar 5. dimana pada saat bulan Juni-Agustus yang merupakan bulan dimana nilai SPL rendah, konsentrasi klorofil-a justru tinggi. Korelasi SPL dan klorofil-a di tiap wilayah disajikan pada Tabel 1. dengan korelasi wilayah A ($r = -0,96$), wilayah B ($r = -0,87$) dan wilayah C ($r = -0,96$). Pengaruh angin terhadap suhu permukaan laut dan klorofil-a berkorelasi sangat kuat pada tiga wilayah tersebut.



Gambar 4. Peta wilayah yang diplotkan dalam grafik



Gambar 5. Grafik hubungan suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

Tabel 1. Korelasi suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa

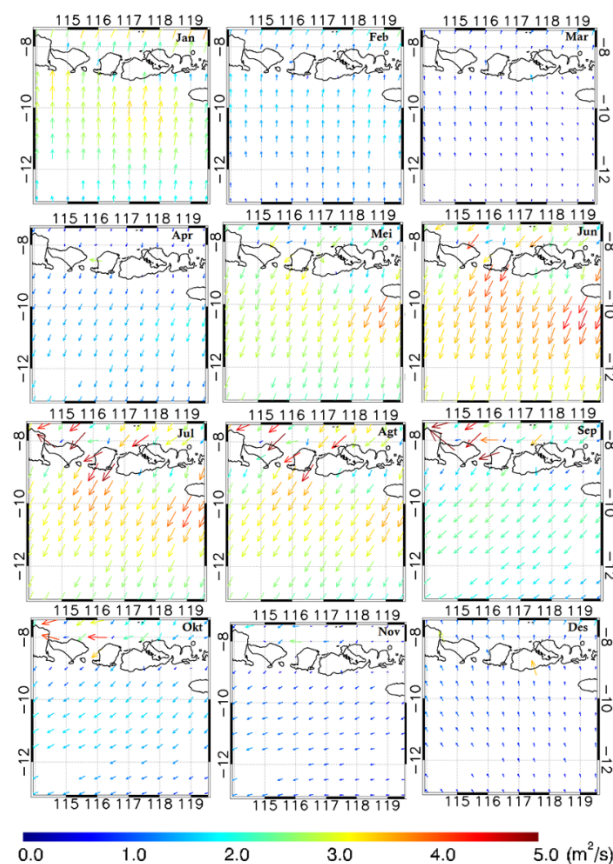
Wilayah A		Wilayah B		Wilayah C	
WIND - SST	-0,66855	WIND - SST	-0,78383	WIND - SST	-0,68275
SST - CHL-a	-0,96759	SST - CHL-a	-0,87953	SST - CHL-a	-0,96874
WIND - CHL-a	0,564502	WIND - CHL-a	0,825517	WIND - CHL-a	0,58656

Dewi *et al.* (2018) menyatakan bahwa pendinginan permukaan laut ini akibat dari kekuatan angin yang tinggi sehingga proses *mixing* makin kuat yang menyebabkan suhu permukaan laut menurun. Selain itu, Wirasatriya *et al.* (2017) menunjukkan dimana angin permukaan menyebabkan proses *mixing* yang akan meningkatkan nutrisi ke permukaan ditandai dengan adanya peningkatan klorofil-a. Pada tiga titik wilayah yang dipilih di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa, dapat dilihat perbedaan kecepatan dan arah angin, nilai suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil-a seperti pada Gambar 5. Korelasinya juga berbeda tiap wilayah seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Pada kasus yang terlihat nyata perbedaannya yaitu sebaran suhu permukaan laut, angin dan klorofil-a bulan Agustus di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Pada bulan Agustus arah angin berasal dari tenggara melewati perairan selatan pulau Bali-Sumbawa kemudian dibelokkan

menuju barat laut dengan kecepatan tinggi. Dapat dilihat pada **Gambar 5** saat bulan Agustus di wilayah A (perairan selatan pulau Bali) nilai kecepatan anginnya 5,4 m/s, suhu permukaan lautnya mencapai 25,6°C dan konsentrasi klorofil-a yaitu 1,12 mg/m³. Wilayah B (perairan selatan pulau Lombok) memiliki nilai kecepatan angin 6,9 m/s, suhu permukaan lautnya 26,2°C dan konsentrasi klorofil-a yaitu 0,46 mg/m³. Sedangkan, wilayah C (perairan selatan pulau Sumbawa) mempunyai nilai kecepatan angin 5,1 m/s, suhu permukaan lautnya 26°C dan konsentrasi klorofil-a yaitu 0,71 mg/m³. Perbedaan kecepatan angin dan suhu permukaan laut di ketiga wilayah tersebut tergolong kecil jika dibanding dengan perbedaan konsentrasi klorofil-a yang besar antar wilayah. Hal ini memungkinkan adanya pengaruh dari parameter lain seperti *EPV* dan *EPV* yang berbeda pengaruhnya di tiga wilayah (A, B, dan C) tersebut terhadap suhu permukaan laut dan klorofil-a di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa pada tahun 2010-2019 selain angin permukaan laut.

Pengaruh *EPV* dan *EPV* terhadap SPL dan Klorofil-a di Perairan Selatan Pulau Bali – Sumbawa

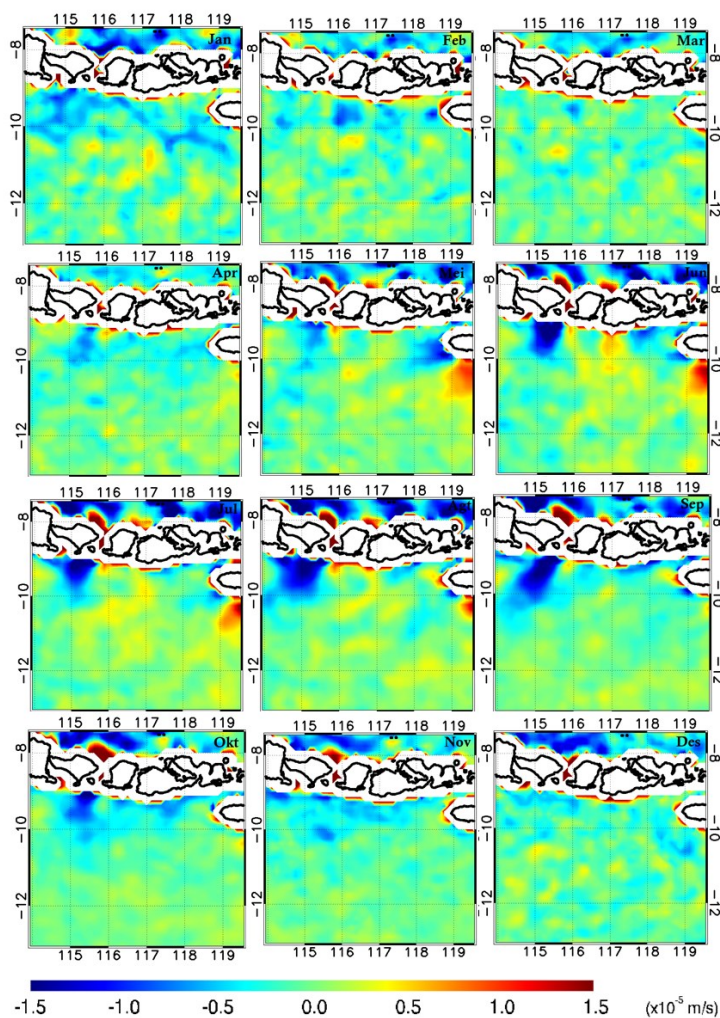
Hasil penelitian pengaruh *EMT* dan *EPV Velocity* terhadap SPL dan klorofil-a untuk mengetahui *upwelling* di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa ini dan akan menyempurnakan penelitian dari Hafizhurrahman *et al.* (2015), dimana pada penelitian tersebut dikaji sebaran SPL dan klorofil-a saat musim *upwelling* akibat pengaruh dari *Indian Ocean Dipole* (IOD) di Perairan Badung, Bali (sebelah selatan Pulau Bali). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Wirasatriya *et al.* (2020) yang dilakukan di Perairan Selatan Jawa, dimana dinamika ekman khususnya *EPV* mempengaruhi rendahnya SPL yang terjadi di Perairan Selatan Jawa, dan ternyata juga terjadi di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, sebaran suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan selatan pulau Bali-Sumbawa tidak hanya dipengaruhi oleh angin saja, tetapi juga dipengaruhi oleh *EPV* dan *EPV* seperti pada grafik di Gambar 6., 7., 8. Hal ini diperkuat dengan hasil korelasi pada Tabel 2., dimana dinamika *EMT* dan *EPV* yang terjadi di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa ini memberikan pengaruh SPL di perairan tersebut.



Gambar 6. Peta sebaran EMT klimatologi bulanan (2010-2019) di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 8, wilayah A menunjukkan nilai SPL pada bulan Agustus mencapai nilai terendah ($25,66^{\circ}\text{C}$) dengan nilai *EMT* di wilayah A pada bulan Agustus sebesar $2,5\text{ m/s}$ dan *EPV* mencapai $-10 \times 10^{-5}\text{ m/s}$. Hal ini menunjukkan jika suhu permukaan laut terendah pada bulan Agustus tersebut terjadi akibat adanya pengaruh kuat dari nilai *EPV* yang mencapai nilai $-10 \times 10^{-5}\text{ m/s}$ seperti pada Gambar 7. Hal ini menyebabkan pendinginan di perairan wilayah A. Sedangkan untuk wilayah B pengaruh *EMT* lebih kuat dibanding dengan *EPV*, dengan nilai *EMT* mencapai $3,6\text{ m/s}$ (Gambar 6), Hal ini menyebabkan nilai SPL mencapai $26,2^{\circ}\text{C}$. Wilayah C sendiri pengaruh *EMT* dan *EPV* ini cenderung sama kuatnya sehingga nilai suhu permukaan lautnya berada dipertengahan antara wilayah A dan B yaitu 26°C . Dari hasil suhu permukaan laut ketiga wilayah ini dapat dilihat jika peran *EPV* di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa ini lebih kuat dalam mempengaruhi pendinginan SPL, sedangkan jika hanya yang mempengaruhi *EMT* saja, nilai suhu permukaan lautnya tidak menurun drastis dan jika keduanya sama kuat, maka nilai suhu permukaan laut akan cenderung stabil. Hal ini menunjukkan jika *EPV* berperan kuat dalam mempengaruhi pendinginan suhu permukaan laut di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

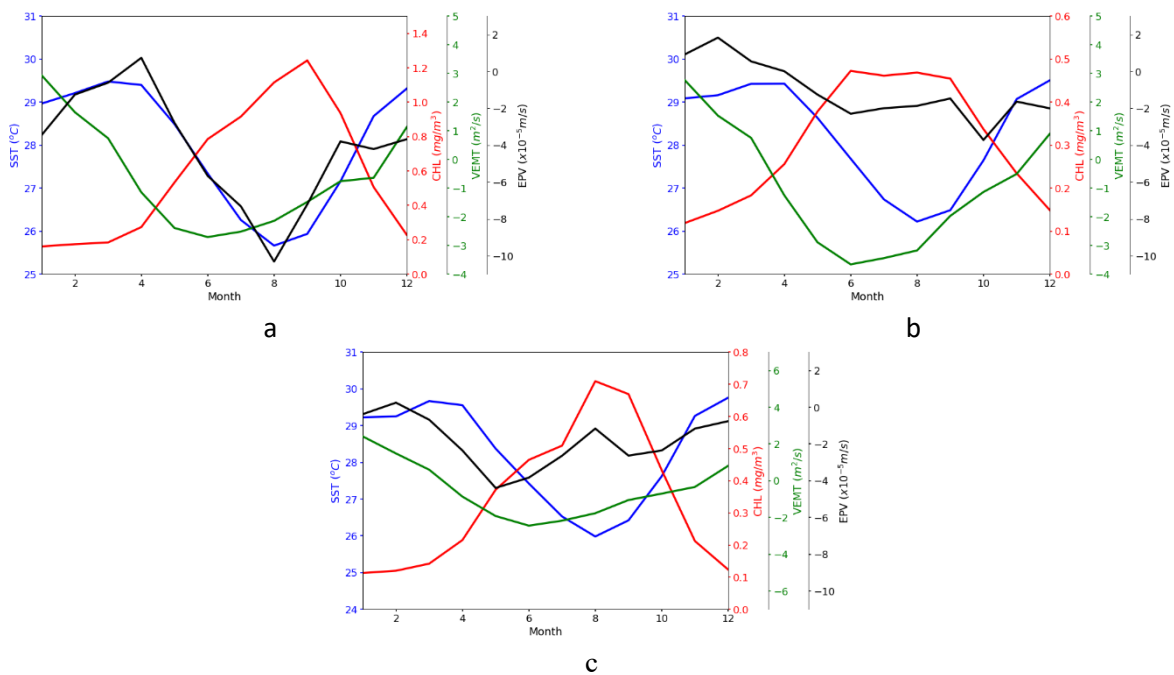
Selain berpengaruh terhadap suhu permukaan laut, di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa *EPV* dan *EMT* juga berpengaruh terhadap sebaran konsentrasi klorofil-a. Sebaran konsentrasi klorofil-a dapat dilihat pada Gambar 3. Pada wilayah A dapat dilihat pada Gambar 8, dengan nilai *EPV* pada bulan Agustus $2,5\text{ m/s}$ dan *EMT* mencapai $-10 \times 10^{-5}\text{ m/s}$ nilai konsentrasi klorofil-a pada bulan Agustus mencapai $1,1\text{ mg/m}^3$. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi ini juga sejalan suhu permukaan laut yang rendah di wilayah A. Hal ini menunjukkan pengaruh *EPV upwelling* yang mempengaruhi suhu permukaan laut juga menyebabkan peningkatan



Gambar 7. Peta sebaran EPV klimatologi bulanan (2010-2019) di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa.

konsentrasi klorofil-a di wilayah A. Konsentrasi klorofil-a di wilayah B lebih kuat dipengaruhi oleh *EPV* seperti halnya suhu permukaan lautnya, dengan nilai *EPV* ini mencapai 3,6 m/s, konsentrasi klorofil-a di wilayah B yaitu 0,46 mg/m³. Nilai konsentrasi klorofil-a ini tidak tergolong tinggi jika dibanding wilayah A dan C. Hal ini disebabkan oleh pengaruh *EPV* positif yang berada di daerah dekat Pantai Selatan Lombok dan nilai *EPV* negatif, sehingga menyebabkan nilai suhu permukaan lautnya yang lebih tinggi dibanding dengan kedua wilayah lain yang berakibat pada sebaran konsentrasi klorofil-a yang cenderung rendah dibanding wilayah A dan C. Pada wilayah C pengaruh *EPV* dan *EPV* ini cenderung sama kuat sehingga menyebabkan nilai suhu permukaan laut berada dipertengahan antara wilayah A dan B, yang menyebabkan konsentrasi klorofil-a berada dikisaran 0,71 mg/m³. Konsentrasi klorofil-a yang ada di wilayah A, B dan C ini menunjukkan pengaruh yang kuat dari *EPV* terhadap konsentrasi klorofil-a yang ada di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Akibat pendinginan yang terjadi oleh pengaruh *EPV* menyebabkan tingginya konsentrasi klorofil-a.

Kondisi ini menunjukkan bahwa pada Musim Panas terjadi *upwelling* kuat di wilayah A, sedangkan di wilayah B dan C *upwelling* cenderung lebih lemah. Proses *Upwelling* di wilayah A ditandai dengan pengangkatan massa air akibat pergerakan *EPV* yang menuju ke atas (negatif), sehingga menyebabkan adanya fenomena *upwelling* yang lebih kuat daripada di wilayah B dan C. Hasil ini menunjukkan bahwa *EPV* yang lemah dan *EPV* negatif (*upwelling*) di wilayah A menghasilkan *upwelling* yang lebih kuat daripada *EPV* yang kuat dan *EPV* positif (*downwelling*) di wilayah B dan C. Hal ini disebabkan oleh pengaruh *EPV* *upwelling* lebih kuat terhadap pendinginan suhu permukaan laut di wilayah A daripada di B dan C. Akibatnya pada suhu permukaan laut di wilayah A lebih rendah daripada yang ada di B dan C, sehingga menyebabkan konsentrasi klorofil-a di wilayah A lebih tinggi daripada di wilayah B dan C.



Gambar 8. Grafik hubungan *EPV*, *EPV* suhu permukaan laut dan klorofil-a (2010-2019) (a) di wilayah A, (b) di wilayah B, (c) di wilayah C.

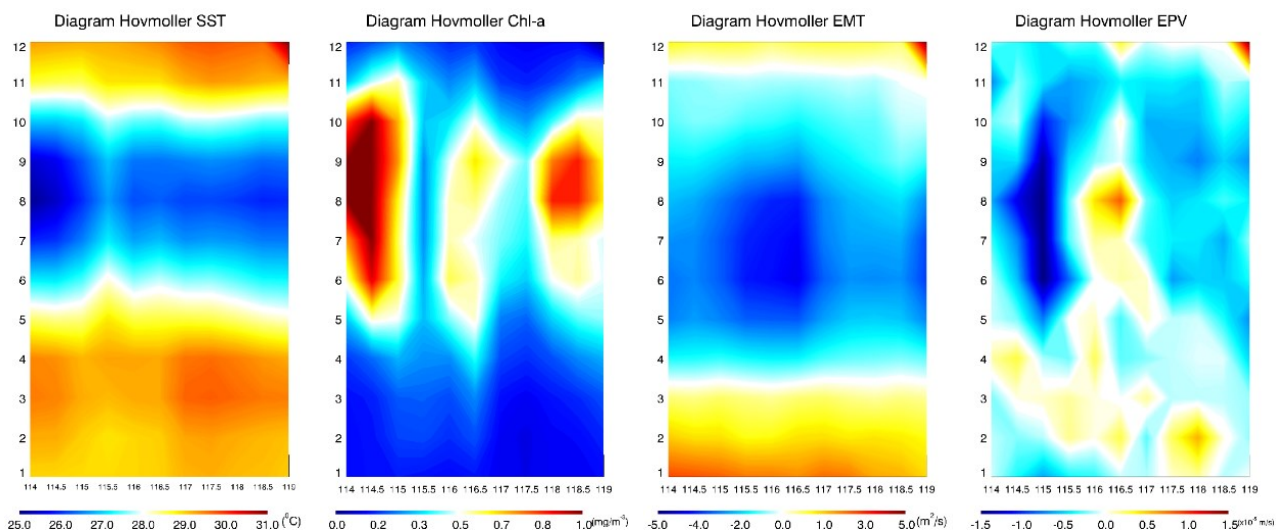
Tabel 2. Korelasi suhu permukaan laut, klorofil-a dan angin di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa

Wilayah A		Wilayah B		Wilayah C	
V EMT - SST	0,652758	V EMT - SST	0,712634	V EMT - SST	0,691625
EPV - SST	0,596383	EPV - SST	0,453653	EPV - SST	0,445958
V EMT - CHL-a	-0,72633	V EMT - CHL-a	-0,9495	V EMT - CHL-a	-0,76704
EPV - CHL-a	-0,69539	EPV - CHL-a	-0,70024	EPV - CHL-a	-0,53169

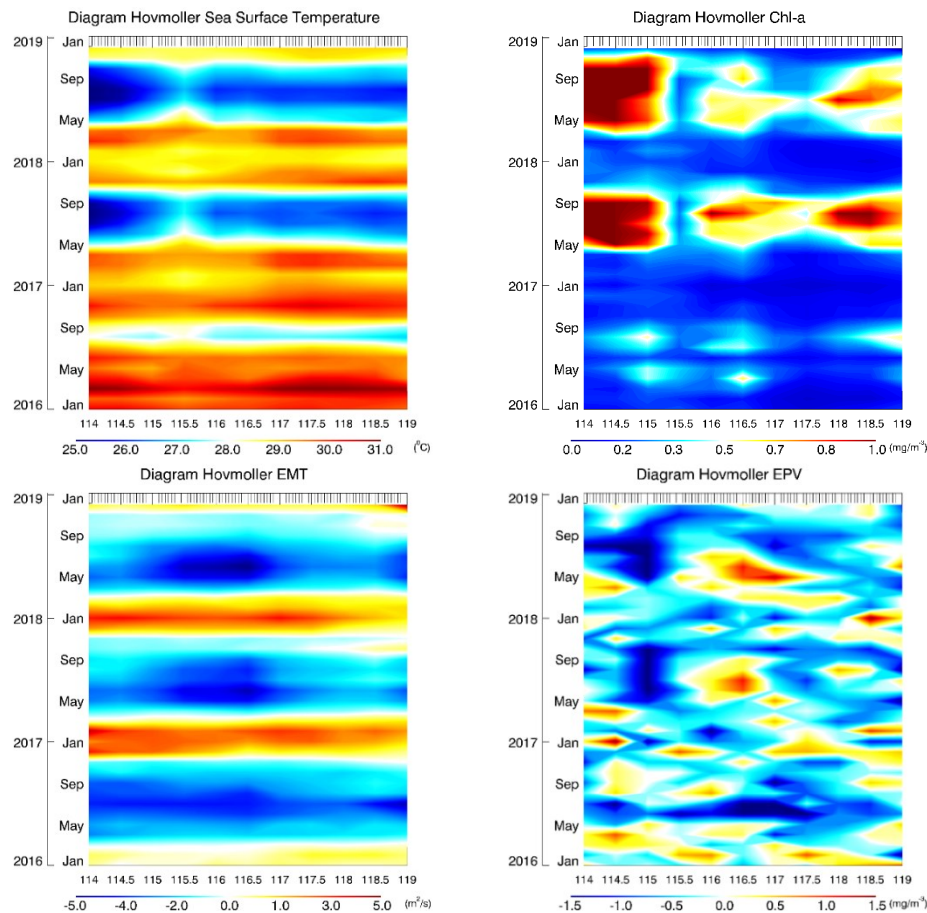
Kejadian ini diperkuat dengan hasil diagram hovmoller untuk melihat proses *upwelling* dan *downwelling* yang terjadi di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Diagram hovmoller dapat dilihat pada Gambar 9. dan Gambar 10. Pada Gambar 9. menunjukkan bahwa *EPV* terlihat lebih kuat pada Musim Timur (Juni, Juli, Agustus) dan terjadi juga *EPV downwelling* (positif) dan *EPV upwelling* (negatif). Bulan Agustus *EPV* lebih kuat di wilayah B dan C daripada di wilayah A. Di wilayah B dan C *EPV* bernilai lebih dari $5 \text{ m}^2/\text{s}$, sedangkan di wilayah A nilainya sekitar $2 \text{ m}^2/\text{s}$. Tetapi, di wilayah B ini didominasi oleh *EPV downwelling* (positif), sedangkan *EPV upwelling* (negatif) berada di wilayah A dan wilayah C. Pada wilayah A nilai *EPV upwelling* (negatif) mencapai lebih dari $0,5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Hasil ini berakibat pada sebaran suhu permukaan laut di wilayah A dan C lebih rendah dibanding dengan wilayah B. Selain itu, konsentrasi klorofil-a juga terdampak, dimana konsentrasinya lebih tinggi di wilayah A dan C daripada di wilayah B. Hal ini disebabkan oleh peran *EPV* dan *EPV* di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa ini, dimana pada saat angin muson tenggara kuat menyebabkan *EPV* menghasilkan *upwelling*, tetapi *curl* angin menghasilkan *EPV* positif (*downwelling*) di wilayah B sehingga proses *upwelling* terhalangi. Sedangkan di wilayah A dan C dimana saat angin muson tenggara lebih lemah justru *curl* angin menghasilkan *EPV* negatif (*upwelling*) yang membantu *EPV* lemah menghasilkan *upwelling* yang kuat. Sehingga membuat *upwelling* di wilayah A dan C lebih kuat daripada di wilayah B yang berakibat pada suhu permukaan laut yang lebih rendah di wilayah A dan C daripada di wilayah B dan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi di wilayah A dan C daripada di wilayah B.

Pada Gambar 10 menunjukkan diagram hovmoller bulanan pada tahun 2016-2018, dimana dapat dilihat bahwa *EPV* memiliki pola yang bergantian pada tiap Musim Timur dan Musim Barat. Sedangkan untuk *EPV* memiliki pola yang cenderung bervariasi diantara Musim Timur dan Musim Barat. Tiap musim *EPV upwelling* dan *downwelling* berbeda tergantung pada wilayahnya di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa. Pada tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 12 konsentrasi klorofil-a memiliki nilai sebaran yang tinggi pada koordinat $114^\circ - 115^\circ$ (wilayah A) dan juga suhu permukaan laut yang rendah pada bulan Mei-September. Sedangkan, di koordinat $116^\circ - 119^\circ$ (wilayah B dan C) nilai klorofil-a nya cenderung lebih rendah dengan suhu permukaan laut yang lebih tinggi di wilayah B dan lebih rendah di wilayah C.

Kejadian ini menunjukkan adanya fenomena *upwelling* di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa pada bulan Mei-September tahun 2017. Perbedaan konsentrasi klorofil-a dan suhu permukaan laut disebabkan oleh adanya dinamika antara *Ekman Mass Transport* dan *Ekman Pumping Velocity*. Pada bulan Mei-September 2017 *Ekman Mass Transport* cenderung lebih kuat di koordinat $116^\circ - 117^\circ$ dan lebih lemah di koordinat $114^\circ - 115^\circ$ dan $118^\circ - 119^\circ$. Sedangkan, *EPV upwelling* terlihat justru di koordinat $114^\circ - 115^\circ$ dan $118^\circ - 119^\circ$ walaupun pada koordinat $118^\circ - 119^\circ$ terjadi *EPV downwelling* pada bulan Agustus, tetapi *EPV downwelling*



Gambar 9. Grafik hovmoller klimatologi bulanan suhu permukaan laut, klorofil-a, *EPV* dan *Ekman Pumping Velocity*



Gambar 10. Grafik hovmoller bulanan tahun 2016-2018 suhu permukaan laut, klorofil-a, *EMT* dan *EPV*

lebih kuat terjadi di koordinat 116° - 117° pada bulan Mei-September. Hasil ini menunjukkan adanya *upwelling* kuat pada bulan Mei-September 2017 di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa pada koordinat 114° - 115° (wilayah A), *upwelling* sedang di koordinat 118° - 119° (wilayah C) dan *upwelling* lemah di koordinat 116° - 117° (wilayah B). Hal ini berarti, adanya fenomena *upwelling* yang menyebabkan suhu permukaan laut menjadi dingin dan klorofil-a meningkat di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa ini terjadi akibat pengaruh dinamika *EMT* dan *EPV*.

KESIMPULAN

Suhu permukaan laut yang rendah dan klorofil-a yang tinggi pada bulan Juni, Juli, Agustus disebabkan pengaruh adanya variasi nilai *EMT* (*Ekman Mass Transport*) dan *EPV* (*Ekman Pumping Velocity*) di wilayah A, B dan C. Pada wilayah A *EPV* lebih kuat mempengaruhi dibanding *EMT* dan menyebabkan suhu permukaan lautnya mencapai $25,6^{\circ}\text{C}$ dan konsentrasi klorofil-a yaitu $1,12 \text{ mg/m}^3$. Wilayah B lebih kuat dipengaruhi oleh *EMT* sehingga membuat suhu permukaan lautnya lebih tinggi dibanding wilayah A dan klorofil-a lebih rendah dari A. Sedangkan untuk wilayah C pengaruh *EMT* dan *EPV* sama kuat sehingga membuat suhu permukaan laut dan klorofil-a nya memiliki nilai diantara wilayah A dan B. Dinamika ekman baik *EMT* dan *EPV* yang terjadi di Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa memiliki perannya masing-masing. *Ekman Mass Transport* akan menggerakkan massa air menjauhi pantai dan *EPV upwelling* memperkuat proses pendinginan suhu permukaan laut. Akibat dinamika ekman yang bervariasi di tiap wilayah (A, B, dan C) pada musim panas ini menyebabkan suhu permukaan laut rendah dan konsentrasi klorofil-a yang tinggi yang berbeda tiap wilayah. Kondisi ini menyebabkan *upwelling* disepanjang Perairan Selatan Pulau Bali-Sumbawa dengan intensitas yang berbeda juga. Perairan Selatan Pulau Bali memiliki intensitas *upwelling* kuat, Perairan Selatan Pulau Lombok memiliki intensitas *upwelling* rendah, dan Perairan Selatan Pulau Sumbawa memiliki intensitas *upwelling* sedang.

DAFTAR PUSTAKA

- Candra dan Abdul Sakban. 2016. Analisis Korelasi Kepemimpinan Kepala Sekolah dan Kinerja Guru Terhadap Motivasi Belajar Siswa di SMAN 1 Labuapi Kabupaten Lombok Barat. *JIME*, 2(2): 53-60.
- Dewi, Yuvnita W., Anindya Wirasatriya., Denny Nugroho S., M. Helmi., Jarot Marwoto., L Maslukah. 2018. Effect of ENSO and IOD on the Variability of Sea Surface Temperature (SST) in Java Sea. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*, 530.
- Hafizhurrahman, Irfan., Kunarso., Agus Anugroho D. W. 2015. Pengaruh Iod (Indian Ocean Dipole) Terhadap Variabilitas Nilai Serta Distribusi Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Pada Periode Upwelling di Perairan Sekitar Bukit Badung Bali. *Jurnal Oseanografi*, 4(2): 423-433.
- Hamuna, Baigo., Yunus P. Paulangan., Lisiard Dimara. 2016. Kajian suhu permukaan laut menggunakan data satelit Aqua-MODIS di perairan Jayapura, Papua. *Depik*, 4(3): 160-167.
- Harshada, D., Mini Raman., K.S. Jayappa. 2021. Evaluation of The Operational Chlorophyll-a Product From Global Ocean Colour Sensors in The Coastal Waters, South-Eastern Arabian Sea. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 24: 769-786.
- Hestningsih., Yudo P., Bandi S., Anindya W. 2017. Identifikasi Kawasan Upwelling Berdasarkan Variabilitas Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut Dari Data Citra Aqua MODIS Tahun 2003-2015 dan Arus. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1):189-190.
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N. S., & Baskoro, M. S. 2011. Variabilitas Suhu dan Klorofil-a di Daerah Upwelling pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa sampai Timor. *Ilmu Kelautan*, 16(3), 171–180.
- Martin M., P Dash., A Ignatov., V Banzon., H Beggs., B Brasnett., J F Cayula., J Cummings., C Donlon., C Gentemann., R Grumbine., S Ishizaki., E Maturi., R W Reynolds., J Roberts-Jones. 2012. Group for High Resolution Sea Surface Temperature (GHRSSST) Analysis Fields Inter-Comparisons. Part 1: A GHRSSST Multi-Product Ensemble (GMPE) Deep. Res. Part II Top. Stud. *Oceanogr.* 77(80) 21–30.
- Rintaka, W. E., Susilo, S., & Hastuti, A. W. 2015. Pengaruh In-Direct Upwelling Terhadap Jumlah Tangkapan Lemuru Di Perairan Selat Bali. *Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan V*, 312–319.
- Setiawati, Martiwi Diah., et al. 2015. Characterization f Bigeye Tuna Habitat in The Southern Waters off Java–Bali Using Remote Sensing Data. *Advances in Space Research*, 55: 732-746. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2014.10.007>.
- Stoffelen, A., J. Verspeek, J. Vogelzang and A. Verhoef. 2017. *The CMOD7 Geophysical Model Function for ASCAT and ERS Wind Retrievals*. IEEE. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* vol 10(5): 2123-2134.
- Sunaengsih, Cucun. 2016. Pengaruh Media Pembelajaran Terhadap Mutu Pembelajaran Pada Sekolah Dasar Terakreditasi A. *Mimbar Sekolah Dasar*, 3(2): 183-190.
- Wirasatriya, A., R.Y. Setiawan dan P.Subardjo. 2017. The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEE Journal of Selcted Topics in Applied Earth Obsesrvation and Remote Sensing*. 10(2): 5513-5518. doi: 10.1109/JSTARS.2017.2745207.
- Wirasatriya, Anindya., J. D. Setiawan., Denny N. S., Insan A. R., Haryadi H., Gathot W., Riza Y., Setiawan., R. Dwi Susanto. 2020. Ekman Dynamics Variability Along The Southern Coast of Java Revealed by Satellite Data. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21): 8475–849. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1797215>.