

# VARIABILITAS KLOOROFIL-a PERIODE INDIAN OCEAN DIPOLE DI SELAT BALI BERDASARKAN ANALISIS EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION

Adi Wijaya<sup>a,b,\*</sup>, Umi Zakiyah<sup>c</sup>, Abu Bakar Sambah<sup>c</sup>, Daduk Setyohadi<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Mahasiswa Program Doktor, Ilmu Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran No.1 Malang, Jawa Timur

<sup>b</sup>Peneliti, Balai Riset dan Observasi Laut, BRSDMKP-Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jalan Baru Perancang Negara Jembrana Bali

<sup>c</sup>Dosen Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran No.1 Malang, Jawa Timur

\*Koresponden penulis: [adi.wijaya@student.ub.ac.id](mailto:adi.wijaya@student.ub.ac.id) atau [adi.wijaya@kkp.go.id](mailto:adi.wijaya@kkp.go.id)

## Abstrak

Perairan Selat Bali secara tidak langsung dipengaruhi oleh fenomena di Samudera Hindia Selatan Jawa. Variabilitas konsentrasi klorofil-a permukaan (SSC) secara musiman dan antar-tahunan, berhubungan erat dengan fenomena Indian ocean dipole (IOD) dan upwelling yang terjadi di sepanjang Pantai Selatan Jawa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variabilitas musiman dan antar-tahunan secara spasial dan temporal dari parameter klorofil-a pada periode IOD. Data oseanografi diperoleh dari Satelit Aqua/Terra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) level 2 harian, selama bulan Maret 2000-Mei 2020. Analisis data menggunakan Empirical Orthogonal Function (EOF). Hasil analisis EOF menunjukkan variasi temporal yang koheren dalam pemompaan klorofil-a di Selat Bali. Mode pertama dari deret waktu menunjukkan variasi musiman yang kuat daripada variasi antar-tahunan. Variasi antar-tahunan terlihat pada mode kedua yang terlihat tinggi konsentrasi klorofil-a di sepanjang pantai Selat Bali. Berdasarkan analisis korelasi pada deret waktu dari mode EOF menunjukkan hubungan yang signifikan dengan IOD. Kondisi ini terlihat selama fase puncak periode IOD bersamaan dengan monsun tenggara terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a di sepanjang pesisir pantai Selat Bali dibandingkan pada musim sebelumnya.

**Kata kunci:** Dipole Mode Index, Empirical Orthogonal Function, Klorofil-a, Selat Bali, Suhu Permukaan Laut

## Abstract

The waters of the Bali Strait are indirectly affected by phenomena in the Indian Ocean South of Java. Variability of surface chlorophyll-a concentration (SSC) seasonally and inter-annually, is closely related to the Indian ocean dipole (IOD) and upwelling phenomena that occur along the South Coast of Java. This study aims to analyze the spatial and temporal seasonal and inter-annual variability of the chlorophyll-a parameter in the IOD period. Oceanographic data were obtained from the Aqua/Terra MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Satellite level 2 daily, during March 2000-May 2020. Data analysis used Empirical Orthogonal Function (EOF). The results of the EOF analysis show a coherent temporal variation in chlorophyll-a pumping in the Bali Strait. The first mode of the time series shows strong seasonal variation rather than inter-annual variation. Inter-annual variation is seen in the second mode, which shows high concentrations of chlorophyll-a along the coast of the Bali Strait. Based on the correlation analysis on the time series of the EOF mode shows a significant relationship with IOD. This condition is seen during the peak phase of the IOD period along with the southeast monsoon there is an increase in the concentration of chlorophyll-a along the coast of the Bali Strait compared to the previous season.

**Keywords:** Bali Strait, Chlorophyll-a, Dipole Mode Index, Empirical Orthogonal Function, Sea Surface Temperature

## PENDAHULUAN

Dinamika perairan di Samudera Hindia menjadi perhatian dari peneliti di dunia, karena terdapat interaksi laut dan atmosfer yang kuat dalam siklus biogeokimia [1;2]. Implikasi dari

dinamika tersebut dilihat dari proses pengadukan lapisan bawah yang kaya nutrisi ke lapisan permukaan perairan.

Samudera Hindia mengalami perubahan mengikuti pola angin muson [3;4;5). Angin muson Asia-Australia menyebabkan

*Article history:*

Diterima / Received 07-01-2021

Disetujui / Accepted 06-07-2021

Diterbitkan / Published 31-07-2021

©2021 at <http://jfmr.ub.ac.id>

variabilitas suhu permukaan laut dan sirkulasi permukaan di Samudera Hindia [6;7;8] serta persimpangan massa air dari Samudera Pasifik yang dimodifikasi melalui Indonesia Through flow (ITF) [9;10;11]. Melihat kompleksitas di wilayah Samudera Hindia khususnya Selatan Jawa-Bali menampilkan variabilitas biofisik dari skala waktu musiman hingga antar tahunan.

Variabilitas perairan pada skala musiman, dipengaruhi oleh angin muson yang memainkan peranan utama dalam modulasi suhu permukaan laut, konsentrasi klorofil-a serta pembalikan Arus Pantai Pesisir Jawa bagian Selatan [12;6]. Selama musim tenggara (Juli-September) wilayah Samudera Hindia Selatan Jawa-Bali, terjadi upwelling disepanjang pantai Selatan Pulau Jawa dicirikan dengan suhu permukaan laut yang dingin dan konsentrasi klorofil-a tinggi. Kondisi sebaliknya terjadinya downwelling pada musim barat (Desember-Maret), dimana terjadi pergerakan suhu permukaan laut yang hangat dengan konsentrasi klorofil-a rendah terdapat di sepanjang pantai Selatan Pulau Jawa.

Samudera Hindia bagian selatan sebagai pusat pengembangan fenomena Indian Ocean Dipole (IOD) [13;14;15], mengakibatkan peningkatan atau pelemahan dari angin ternggara disepanjang pantai, sebagai konsekuensinya konsentrasi klorofil-a meningkat atau menurun secara signifikan [16;17;18]. Perairan Selat Bali merupakan bagian dari sistem yang ada di Samudera Hindia bagian Selatan dimana pada musim timur secara in-direct mengalami proses *upwelling* dengan ditandai oleh peningkatan produktivitas primer pada lapisan permukaan [6;19]. Proses *upwelling* di sepanjang pantai akibat pertukaran massa air di lapisan bawa yang kaya nutrien dengan suhu dingin ke lapisan permukaan [20;4;21].

Pengaruh pola musim dan fenomena IOD mempengaruhi kondisi perairan Selat Bali baik secara ruang dan waktu. Penelitian mengenai hubungan lingkungan perairan baik fisika, biologi dan kimia telah banyak dilakukan. Kondisi lingkungan yang dihubungkan dengan lokasi penangkapan *Sardinella lemuru*, telah diketahui tingginya penangkapan terjadi pada

suhu permukaan laut 25-26 °C, dan klorofil-a 0,25-0,65 mg/m<sup>3</sup> [22;23;24]. Kedua parameter tersebut merupakan faktor penting dalam pendugaan daerah potensi sumberdaya ikan pelagis.

Dinamika lingkungan perairan secara tidak langsung dipengaruhi oleh fenomena IOD dan ENSO. Fenomena ini mempengaruhi keberhasilan kegiatan penangkapan sumber daya ikan. Tingginya hasil produksi penangkapan ikan diketahui di Selat Bali, terjadi pada saat El Nino kuat dan IOD positif, di tahun 2006 dan awal 2007 [25;26].

Penelitian ini melakukan analisis pada fase musiman dan antar tahunan dari variasi klorofil-a di Selat Bali. Analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) digunakan untuk melihat fase tersebut, melalui mode utama variabilitas konsentrasi klorofil-a secara spatial-temporal dan mengevaluasi pola hubungannya. Variasi dari faktor oseanografi secara musim dan antar tahun, diharapkan menjadi salah satu informasi dasar dalam pengkajian ekosistem dan habitat sumberdaya ikan yang ada di Selat Bali.

## METODE

### Lokasi studi

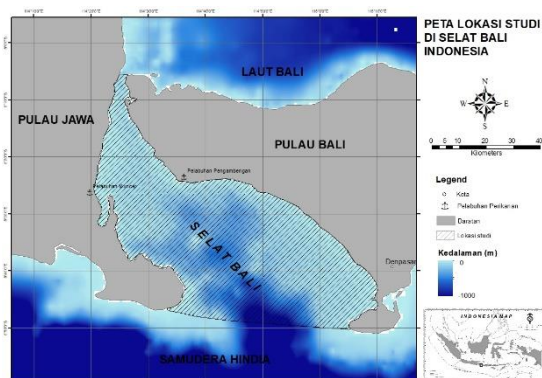
Lokasi penelitian terletak di Selat Bali yang meliputi area 114.2<sup>0</sup>-115.2<sup>0</sup> E dan -8.9<sup>0</sup> - -8.1<sup>0</sup> S (Gambar 1). Selat Bali sebagai jalur transport massa air dari Samudera Hindia menuju Laut Bali maupun sebaliknya. Bentuk dari Selat Bali seperti corong dengan luas perairan sekitar 2.500 km<sup>2</sup>, lebar bagian utara sekitar 2,5 km dan bagian selatan kurang lebih 55 km [27]. Sebagian besar wilayahnya menghadap selatan sehingga akan terpengaruh oleh massa air dari Samudra Hindia dibanding massa air dari Laut Flores [28].

### Bahan

#### Data oseanografi

Konsentrasi klorofil-a (S<sub>SC</sub>) dan suhu permukaan laut (SST) diperoleh dari data satelit Aqua/Terra MODIS (*Sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Data yang digunakan adalah Level 2 harian yang mencakup Selat Bali pada periode Maret 2000-Mei 2020 dan

diunduh dari laman NASA ocean color, <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Data MODIS level 2 memiliki resolusi spasial sekitar 1 km dan temporal harian. Data tersebut dianalisis menggunakan *SeaWiFS Data Analysis System* (SeaDAS) version 7.5.3 LINUX menggunakan *Algorithm Theoretical Basic Documents* MODIS (ATBD-MOD-19 dan ATBD-MOD-25) untuk menyajikan data sebaran SSC dan SST, serta dilakukan komposit data bulanan dari data harian.



Gambar 1. Lokasi studi di Selat Bali

#### *Indian Ocean Dipole (IOD) Indeks*

IOD indeks dihasilkan dari pengamatan interaksi laut dan atmosfer di Samudera Hindia Tropis. Kejadian IOD di perairan Indonesia dan wilayah studi diidentifikasi dari wilayah *western equatorial Indian Ocean* ( $50^{\circ}$  -  $70^{\circ}$  E dan  $10^{\circ}$  S -  $10^{\circ}$  N) dan *the south eastern equatorial Indian Ocean* ( $90^{\circ}$ - $110^{\circ}$  E dan  $10^{\circ}$  S -  $0^{\circ}$ /Equatorial) [13]. Indeks yang digunakan untuk menunjukkan periode IOD positif jika nilai anomali bernilai positif. Indeks periode IOD negatif jika nilai anomali bernilai negatif. Threshold yang digunakan untuk menggambarkan IOD positif dan negative dengan nilai  $\pm 0.4^{\circ}$  C. Indeks IOD mengacu pada hasil observasi yang dilakukan JAMSTEC Jepang dan BOM Australia yang dapat diunduh pada laman <https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/ind/dmi.php>

#### **Pengolahan data**

##### *Analisis EOF*

Analisis dari oseanografi sebagai parameter uji dalam penelitian ini adalah menggunakan pendekatan EOF. Ini digunakan untuk

mengkaji variasi spasial dan temporal dari parameter SST dan SSC. Analisis EOF mengekstaksi dataset multivarian ke dalam mode orthogonal berdasarkan matriks kovarian data [29]. Setiap mode yang dihasilkan terdiri dari fungsi eigen spasial, yang mewakili pola variabilitas spasial di setiap waktu, dan komponen dari serangkaian waktu yang menunjukkan variasi pola spasial dengan waktu. Analisis EOF yang digunakan untuk menggambarkan anomali bulanan menggunakan *Singular Value Decomposition* (SVD) di R program. Syarat analisis EOF data yang digunakan tidak boleh ada piksel kosong, sehingga untuk mengisi data yang kosong dilakukan dengan teknik interpolasi. Piksel daratan dihapus menggunakan masking daratan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Karakteristik spasial**

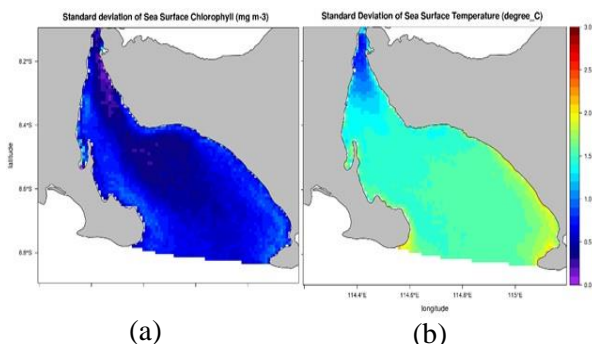
Hasil simpangan baku dari klorofil-a menunjukkan bahwa daerah Selat Bali memiliki variabilitas tinggi di sisi pantai Selat Bali bagian pantai Pulau Jawa dan Pantai Pulau Bali. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan upwelling di sepanjang pantai yang kuat di kedua pantai tersebut. Kondisi ini dapat terlihat pada Gambar 2a yang memperlihatkan variabilitas klorofil-a yang relative tinggi pada sisi barat maupun timur di Selat Bali.

Gambar 2b menunjukkan variasi suhu permukaan laut yang berkaitan dengan kejadian upwelling di Selatan Jawa, yang mempengaruhi perairan di sisi pantai timur dan barat Selat Bali [6;30]. Pola spasial dari simpangan baku klorofil-a dan suhu permukaan laut ditunjukkan pada Gambar 2.

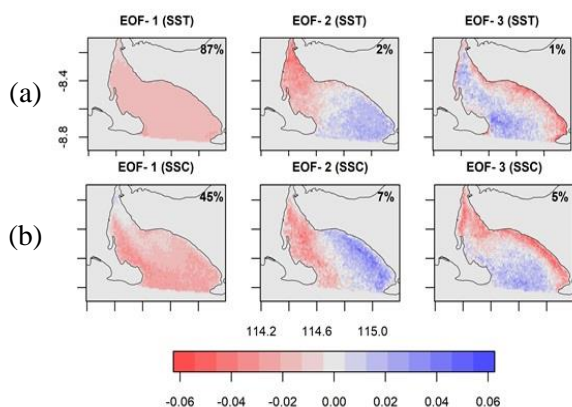
### **Variasi musiman**

Variabilitas spasial dan temporal dari mode EOF yang terbentuk mengemukakan kondisi SSC dan SST bulanan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Varian yang ada mengungkapkan adanya variabilitas dari parameter yang dianalisis (SSC dan SST). Pola variabilitas spasial SST dari mode EOF yang dihasilkan mode 1 (87%), mode 2 (2%) dan mode 3 (1%) dari total varian (Gambar 3a). Pola ini menggambarkan variabilitas SST secara

temporal lebih kuat dan pengaruhnya hampir di seluruh perairan Selat Bali.



Gambar 2. Standar deviasi (a) Klorofil-a, dan (b) Suhu permukaan laut dari data Satelit Aqua/Terra MODIS Maret 2000-Mei 2020 di Selat Bali



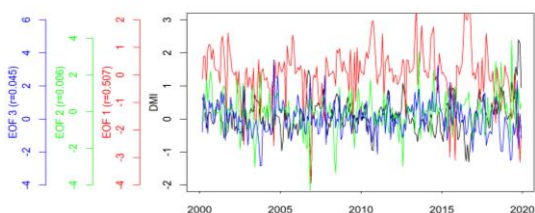
Gambar 3. Pola spasial dari mode EOF yang terbentuk (a) suhu permukaan laut, dan (b) klorofil-a

Gambar 3b menggambarkan variasi spasial dari mode SSC sebesar 45% (mode 1), 7% (mode 2) dan 5% (mode 3) dari total varian. Kondisi ini menggambarkan adanya variabilitas SSC yang relatif tinggi di Selat Bali. Kondisi demikian menunjukkan adanya dinamika di pesisir pantai Selat Bali yang mempunyai variabilitas SSC tinggi.

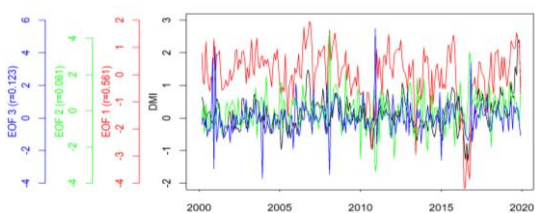
Variasi temporal dari komponen utama dianalisis dari mode EOF SSC dan SST disajikan pada Gambar 4. Gambar tersebut memperlihatkan deret waktu dari parameter SSC dan SST yang mengikuti pola perubahan musiman. Pola temporal dari mode pertama EOF dari SSC sangat berkorelasi cukup kuat

dengan SST dengan koefisien korelasi 0.6 (Tabel 1). Pola musiman dari mode EOF tergambar jelas adanya sinyal antar-tahunan. Pola musiman dari mode EOF yang terbentuk dari parameter SST dan SSC mempunyai hubungan yang kuat dengan periode antar tahunan IOD (2006 dan 2008) [31;30]. Hasil analisis menunjukkan semua deret waktu secara signifikan berkorelasi dengan periode dari IOD.

(a) PC EOF SST dan DMI



(b) PC EOF SSC dan DMI



Gambar 4. Komponen utama (garis putus-putus) untuk mode EOF dari (a) SST dan (b) SSC. Deret waktu DMI (Garis berwarna hitam) ditampilkan pada setiap panel.

Tabel 1. Koefisien korelasi DMI dan mode EOF dari SST dan SSC

	DMI			SSC		
	EOF1	EOF2	EOF3	EOF1	EOF2	EOF3
SST	,561**	,061	,123	-,619**	-,123	,011
SSC	-,507**	-,086	-,045			

\*\* . Level signifikansi korelasi 0.01.

Pola dari varian spasial mode kedua EOF dari SSC menunjukkan 7% dari total varians (Gambar 3b). Kondisi ini menggambarkan variabilitas SSC di bagian barat dan timur Selat Bali menunjukkan perbedaan yang tegas. Hal yang sama terjadi pada pola varian spasial dari mode kedua EOF SST dengan 2% dari total varians (Gambar 3a). Pola spasial menunjukkan nilai negative di Barat dan positif di bagian timur Selat Bali. Kondisi ini menunjukkan bahwa variabilitas di bagian

barat dan timur Selat Bali mempunyai kondisi yang berbeda secara signifikan. Deret waktu komponen utama untuk mode EOF kedua Gambar 4 menunjukkan variasi antar-tahunan mendominasi dilihat dari variabilitas deret waktu dengan dua sinyal berbeda pada tahun 2006 dan 2010, yang sesuai dengan peristiwa IOD positif dan negative [18].

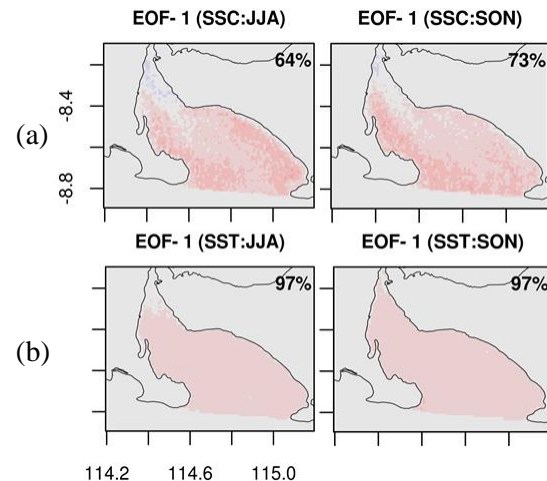
Mode ketiga dari SSC menggambarkan 5% dari total varian. Kondisi ini menunjukkan variabilitas SSC di bagian atas dan di pantai timur Selat Bali mempunyai nilai negatif dan nilai positif di bagian tengah. Hal ini menunjukkan perbedaan karakteristik dari keseluruhan perairan (Gambar 3a). Pola variasi temporal SST relative kuat dan membentuk alur mengikuti pola kedalaman perairan. Nilai positif dari varian berada di tengah Selat Bali, untuk nilai negative terdapat disisi barat dan timur Selat Bali. Mode ketiga dari SST menunjukkan 1% dari total varian, dan menggambarkan adanya perbedaan variabilitas SST di bagian tengah dan sisi pantai di Selat Bali (Gambar 3a). Deret waktu dari komponen yang dihasilkan untuk SSC dan SST di Selat Bali menunjukkan hubungan yang kuat dengan periode IOD.

### Variasi antar tahunan

Evaluasi variasi antar-tahunan SSC di Selat Bali hubungannya dengan peristiwa IOD dilakukan menggunakan analisis EOF pada rerata musiman. Analisis EOF diterapkan pada pola musim secara individu, khususnya pada musim timur pada bulan Juni hingga Agustus (JJA) dan musim peralihan pada bulan September hingga November (SON). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa periode IOD berkembang di musim timur (JJA), yang berkorelasi dengan proses upwelling di Samudera hindia Selatan Jawa-Bali, dan mencapai puncaknya pada musim peralihan (SON) [13;21;31;32;30].

Gambar 5 menunjukkan pola spasial mode EOF pertama EOF untuk musim timur (JJA) dan musim peralihan (SON). Mode EOF pertama yang dihasilkan memperlihatkan sebagian besar total varian dan pola spasial memiliki kesamaan dengan mode EOF pertama pada musim penuh (Gambar 3). Mode EOF pertama SSC mencakup 64% dari total varian. Pola

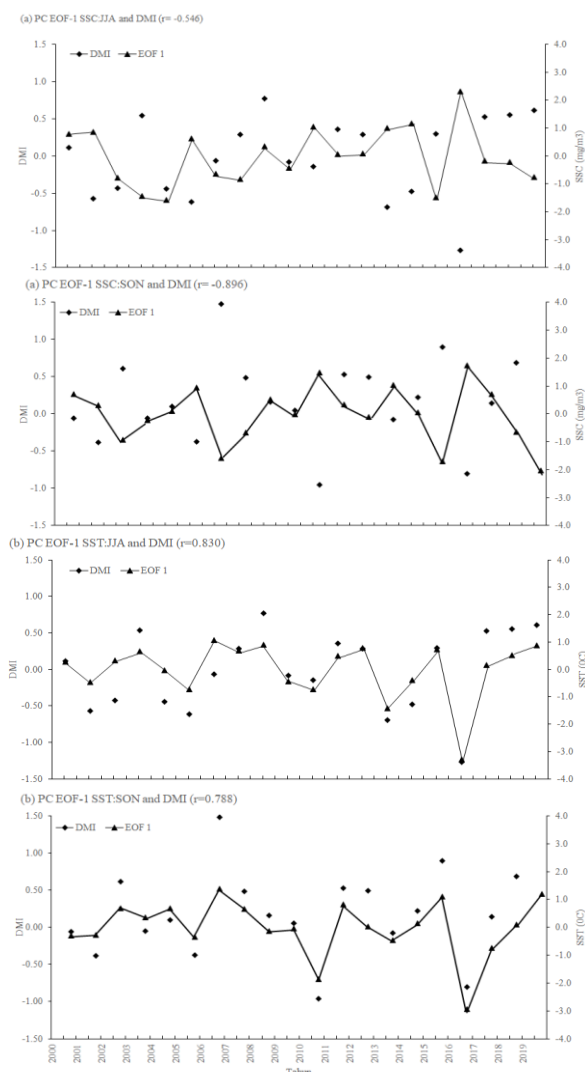
spasial tersebut ditandai oleh nilai negative yang cukup kuat di sepanjang pantai barat dan timur Selat Bali (Gambar 5a). Varian dari mode EOF pertama SST sebesar 97%. Pola spasial ini memiliki nilai negatif yang kuat di seluruh Perairan Selat Bali (Gambar 5b).



Gambar 5. Pola spasial mode EOF pada JJA dan SON (a) SSC dan (b) SST

Deret waktu komponen utama dari mode EOF pertama musim timur (JJA) memiliki pola yang berkorelasi signifikan dengan deret waktu DMI yang ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi -0,546 dan 0,830 dari masing-masing variable (Tabel 2). Pola spasial dari mode EOF pertama dari musim peralihan (SON) dan varians SSC diperoleh mode EOF menyumbang 73% dari total varians dan mengungkapkan perubahan variasi dari SSC di sepanjang pantai Banyuwangi (Gambar 5a).

Variabilitas SSC dan SST yang bernilai negatif menunjukkan pengaruh yang kuat dan merata di semua perairan Selat Bali (Gambar 5b). Variabilitas SST di musim peralihan (SON) pada mode EOF pertama menjelaskan 97% dari total varians dan pola spasial menyerupai pola mode EOF pertama musim penuh (Gambar 3a). Deret waktu dari komponen utama SSC dan SST secara signifikan berkorelasi dengan deret waktu DMI, dengan koefisien korelasi masing-masing -0.896 dan 0.788 (Gambar 6).



Gambar 6. Komponen utama mode EOF pertama musim timur (JJA) dan musim peralihan (SON); (a) SSC dan (b) SST

Deret waktu dari komponen utama SSC dan SST juga menunjukkan korelasi yang signifikan dengan koefisien korelasi -0.851 (Tabel 2). Hasil ini menunjukkan bahwa selama musim puncak IOD (SON), perkembangan SSC dan SST cukup kuat di Selat Bali ini mengindikasikan terjadinya upwelling yang kuat pada musim sebelumnya. Selat Bali yang terpengaruh oleh angin monsun Australia-Asia, menyebabkan upwelling pesisir musiman yang terjadi selama musim tenggara. Beberapa tahun ini, ada anomali upwelling pantai yang kuat karena peningkatan

angin tenggara di sepanjang Pantai Selatan Jawa [32]. Peningkatan dikaitkan dengan terjadinya peristiwa IOD di Samudera Hindia.

Evaluasi variasi antar-tahunan terdapat peningkatan SSC musiman yang berhubungan dengan kejadian-kejadian IOD, melalui analisis EOF pada serangkaian waktu multi-tahunan dari kondisi rerata musiman untuk SSC dan SST. Peneliti memilih musim Timur (JJA) dan peralihan (SON) yang mewakili pengembangan dan fase puncak periode IOD.

Tabel 2. Koefisien korelasi mode EOF dan DMI dari SSC dan SST pada musim timur (JJA) dan musim peralihan (SON)

Variabel	DMI		SSC	
	JJA	SON	JJA	SON
SSC	-,546*	-,896**		
SST	,830**	,788**	-,728**	-,851**

\*signifikansi korelasi 0.05; \*\* 0.01.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa SSC selama JJA sebagian besar terkait dengan upwelling musiman yang dihasilkan. Mode EOF selama SON menunjukkan fase pengembangan periode IOD dari JJA yang memberikan kondisi menguntungkan terhadap SSC selama fase puncak periode IOD di SON [33].

**KESIMPULAN**

Variasi Spasial dari mode EOF pertama mengungkapkan luasan, dan variasi temporal berkoheren terhadap SSC dan SST yang diamati di Selat Bali. Deret waktu dari komponen utama mode EOF pertama mengungkapkan variasi musiman yang lebih kuat dan variasi antar-tahunan yang relatif lemah. Mode EOF kedua menunjukkan variasi antar-tahunan yang berbeda terhadap SSC yang tinggi yang diamati di sepanjang pantai. Mode ketiga menunjukkan variasi mengikuti pola kedalaman perairan di Selat Bali.

EOF musiman menunjukkan pola yang menarik dengan SSC tinggi dan SST rendah. Mode pertama EOF menunjukkan selama musim peralihan (SON) terjadi puncak IOD yang menunjukkan SSC tinggi, di pesisir pantai Banyuwangi dan Bali. Derat waktu

komponen utama dari mode EOF pertama menunjukkan korelasi yang signifikan dengan periode DMI, dan dapat disimpulkan bahwa SSC selama fase puncak periode IOD menunjukkan peningkatan dan SST menjadi rendah.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Balai Riset dan Observasi Laut (BROL) yang telah menyediakan data hasil analisis satelit untuk penelitian ini. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan. Data dianalisis dan disatukan menjadi sebuah makalah oleh A.W., dengan dukungan dari A.B.S, U.Z., dan D.S. berkontribusi secara substansial pada bagian ilmiah dari penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Indonesia, hibah nomor 037/SP2H/LT/DRMP/2020.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] McCreary, J.P., Murtugudde, R., Vialard, J., Vinayachandran, P.N., Wiggert, J.D., Hood, R.R., Shankar, D., Shetye, S. 2013. Biophysical Processes in the Indian Ocean. In: Wiggert, J.D., Hood, R.R., Naqvi, W.A., Brink, K.H., Smith, S.L. (eds) Indian Ocean Biogeochemical Processes and Ecological Variability. *Geophysical Monograph Series*. Vol. 185. pp. 9 - 32, AGU, Washington, D. C.
- [2] Wiggert, J.D., Vialard, J., Behrenfeld, M.J. 2013. Basin-Wide Modification of Dynamical and Biogeochemical Processes by the Positive Phase of the Indian Ocean Dipole during the SeaWiFS Era. In: Wiggert, J.D., Hood, R.R., Naqvi, W.A., Brink, K.H., Smith, S.L. (eds) Indian Ocean Biogeochemical Processes and Ecological Variability. *Geophysical Monograph Series*. Vol. 185. pp. 9-32, AGU, Washington, D. C
- [3] Wyrtki, K. 1961. Physical oceanography of the Southeast Asian waters: Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1960. *NAGA Report 2*. Scripps Institute of Oceanography. La Jolla, CA.
- [4] Qu, T., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G., Slingo, J. 2005. Sea surface temperature and its variability in the Indonesian region. *Oceanography*. 18. (4). 50-61.
- [5] Sprintall, J., Chong, J., Syamsudin, F., Morawitz, W., Hautala, S., Bray, N.A., Wijffels, S. 1999. Dynamics of the South Java Current in the Indo-Australian basin. *Geophysical Research Letters*. 26. 2493-2496.
- [6] Susanto, R.D., Gordon, A.L., Zheng, Q. 2001. Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*. 28. (8). 1599-1602.
- [7] Feng, M., and Wijffels, S. 2002. Intraseasonal variability in the South Equatorial Current of the East Indian Ocean. *Journal of Physical Oceanography*. 32. 265-277.
- [8] Wijffels, S., Meyers, G. 2004. An intersection of oceanic waveguides: variability in the Indonesian throughflow region. *Journal of Physical Oceanography*. 34. 1232-1253.
- [9] Qu, T., Meyers, G. 2005. Seasonal characteristics of circulation in the southeastern tropical Indian Ocean. *Journal of Physical Oceanography*. 35. (2). 255-267.
- [10] Iskandar, I., Tozuka, T., Sasaki, H., Masumoto, Y., Yamagata, T. 2006. Intra-seasonal variations of surface and subsurface currents off Java as simulated in a high-resolution ocean general circulation model. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. 111. C12015. DOI: 10.1029/2006JC003486.
- [11] Yu, Z., Potemra, J. 2006. Generation mechanism for the intraseasonal variability in the Indo-Australian basin. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. 111. C02013. DOI: 10.1209/2005JC003023.
- [12] Quadfasel, D.R., Cresswell, G. 1992. A note on the seasonal variability in the South Java Current. *Journal of*

- Geophysical Research-Oceans*. 97. 3685-3688.
- [13] Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N., Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*. 410. 360-363.
- [14] Webster, P.J., Moore, A.W., Loschnigg, J.P., Leben, R.R. 1999. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. *Nature*. 401. 356-360.
- [15] Murtugudde, R., McCreary, J.P., Busalacchi, A.J. 2000. Oceanic processes associated with anomalous events in the Indian Ocean with relevance to 1997-98. *Journal of Geophysical Research*. 105. (C2), 3295 - 3306.
- [16] Susanto, R.D., Marra, J. 2005. Effect of the 1997/98 El Niño on chlorophyll-a variability along the southern coast of Java and Sumatra. *Oceanography*. 18. 124-127.
- [17] Iskandar, I., Rao, S.A., Tozuka, T. 2009. Chlorophyll-a bloom along the southern coasts of Java and Sumatra during 2006. *International Journal of Remote Sensing*. 30. 663-671
- [18] Horii, T., Ueki, I., Ando, K., Mizuno, K. 2013. Eastern Indian Ocean warming associated with the negative Indian Ocean dipole: A case study of the 2010 event. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. 118. 536-549. DOI: 10.1002/jgrc.20071.
- [19] Susanto RD, Moore TSII, Marra J. 2006. Ocean color variability in the Indonesian Seas during the seaWiFS era. *Geochem Geophys Geosyst* 7(5):1-16
- [20] Hendiarti, Nani, Herbert Siegel, and Thomas Ohde. 2004. "Investigation of Different Coastal Processes in Indonesian Waters Using SeaWiFS Data." *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 51(1-3):85-97.
- [21] Ningsih, Nining Sari, Noviani Rakhmaputeri, and Agung B. Harto. 2013. "Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters." *Ocean Science Journal* 48(1):49-57.
- [22] Susilo, Eko. 2015. "Variabilitas Faktor Lingkungan Pada Habitat Ikan Lemuru di Selat Bali Menggunakan Data Satelit Oseanografi dan Pengukuran Insitu." *Omni-Akuatika* XIV(20):13-22.
- [23] Susilo, Eko and Teja Arief Wibawa. 2016. "Pemanfaatan Data Satelit Oseanografi Untuk Memprediksi Daerah Penangkapan Ikan Lemuru Berbasis Rantai Makanan Dan Pendekatan Statistik GAM." *Jurnal Kelautan Nasional* 11(2):77-78.
- [24] Pertami, N. D., I. W. Nurjaya, A. Damar, and M. F. Rahardjo. 2019. "The Spatial Pattern Relationship between SST and Chlorophyll-a in Lemuru Bleeker, 1853 Catches in Bali Strait, Indonesia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 278:012058
- [25] Sartimbul, Aida, Hideaki Nakata, Erfan Rohadi, Beni Yusuf, and Hanggar Prasetyo Kadarisman. 2010. "Variations in Chlorophyll-a Concentration and the Impact on Sardinella Lemuru Catches in Bali Strait, Indonesia." *Progress in Oceanography* 87(1-4):168-74
- [26] Sambah, Abu B., Fusanori Miura, Hanggar P. Kadarisman, and Aida Sartimbul. 2013. "Remote Sensing Application for Sardinella Lemuru Assessment: A Case Study of the South Waters of Malang Regency, East Java, Indonesia." P. 85250M in *Remote Sensing of the Marine Environment II*, edited by N. Ebuchi, R. J. Frouin, T. Saino, and D. Pan. SPIE.
- [27] Ritterbush, S.W. 1975. An Assessment of Population Biology of the Bali Strait Lemuru Fishery. *LPPL*. 1/75-PL. 051/75. 37 p.
- [28] Burhanuddin. and Praseno, D. 1982. The Environment of Bali Strait Waters. *Proceedings of the Lemuru Fisheries Seminar Banyuwangi* January 18-21 1982 (Book II Puslitbangkan IAARD) (Ministry of Agriculture Jakarta) 27-36.
- [29] Emery, W.J., and Thomson, R.E. 2004. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.



- [30] Wijaya, A., Zakiyah, U., Sambah, A.B., Setyohadi, D., 2020. Spatio-temporal variability of temperature and chlorophyll-a concentration of sea surface in Bali Strait, Indonesia. *Biodiversitas* 21; 5283-5290. DOI: 10.13057/biodiv/d211132.
- [31] Iskandar, I., Irfan, M., Syamsuddin, F. 2013. Why was the 2008 Indian Ocean Dipole a short-lived event? *Ocean Science Journal*. 48(2), 1-12.
- [32] Iskandar I, Sari QW, Setiabudidaya D, Yustian I, Monger B. 2017. The distribution and variability of chlorophyll-a bloom in the southeastern tropical Indian Ocean using Empirical Orthogonal Function analysis. *Biodiversitas* 18: 1546-1555. DOI: 10.13057/biodiv/d180433
- [33] Ueyama, R., Monger, B. 2005. Wind-induced modulation of seasonal phytoplankton blooms in the North Atlantic derived from satellite observations. *Limnology and Oceanography*. 50. (6). 1820-1829.