

# Nilai Indeks Trophic Selat Sunda Berdasarkan Global Model Biogeokimia PISCES

Heru Nur Krisno<sup>1</sup>, Lilik Maslukah<sup>2</sup>, Sri Yuliana Wulandari<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Ilmu Kelautan, Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia  
Email: yulina.wuland@gmail.com

## Abstrak

Eutrofikasi perairan dapat memicu peningkatan proses biologis dan pertumbuhan alga yang meningkatkan potensi alga-blooming maupun HBAs pada suatu perairan. Faktor pemicunya antara lain nutrisi, arus, dan intensitas penyinaran matahari pada suatu perairan. Nutrien di perairan dapat diklasifikasikan berdasarkan Trophic Index (TRIX). Penggunaan data Global Model Ocean PISCES Biogeochemistry dapat menjadi solusi efektif, cepat, dan luas dalam memonitoring nutrisi perairan. Selat Sunda dipilih sebagai area penelitian karena pada penelitian sebelumnya telah mengkonfirmasi area-area yang kaya akan nutrisi. Multi korelasi Pearson digunakan pada penelitian ini untuk menentukan parameter yang paling signifikan dan berpengaruh satu sama lain. Verifikasi data nilai klorofil-a menunjukkan nilai yang cukup valid dengan rata-rata RMSE (0,31) dan BIAS (-0,09). Nilai tertinggi TRIX secara klimatologi pada wilayah mulut selat merupakan wilayah eutrofik dengan nilai 6, wilayah badan selat dan dekat selatan Pulau Jawa merupakan mesotrofik dengan nilai 4,5 serta area dekat Samudra Hindia merupakan oligotrofik dengan nilai kisaran antara 0,6-2,5. Nilai TRIX area mulut Selat Sunda secara signifikan dibatasi oleh nutrisi fosfat dengan korelasi Pearson (0,69) dibandingkan unsur N (-0,55). Sedangkan, pada wilayah badan selat dan selatan selat berkorelasi kuat terhadap seluruh komponen TRIX dan cenderung mengikuti pola monsun. Penelitian ini dapat sebagai pertimbangan dalam pemanfaatan model biogeokimia PISCES untuk pemetaan nilai TRIX seluruh perairan, termasuk perairan Indonesia.

**Kata kunci :** eutrofikasi, TRIX, Global Model PISCES, Selat Sunda

## Abstract

### *TRIX Assessment Along Sunda Strait based on Global Biogeochemistry Model PISCES*

*Eutrophication can trigger increased biological processes and increase the potential for algal blooms and HBAs in the water column. Triggering factors include nutrients, currents, and sunlight intensity in a column of water. Nutrients in column water can be classified according to the Trophic Index (TRIX). The use of Global Model Ocean PISCES Biogeochemistry model data can be an effective, fast, and effective solution in monitoring nutrients. The Sunda Strait was chosen as the research area because previous studies have confirmed nutrient-rich areas. Pearson's multi-correlation was used in this study to determine the most significant parameters that influence each other. Verification of chlorophyll-a values showed validity with an average RMSE (0.31) and BIAS (-0.09). The highest climatological TRIX value in the mouth of the strait is eutrophic with a value of 6, the area of the strait and near the south of Java Island is mesotrophic with a value of 4.5 and the nearby Hindia Ocean area is oligotrophic with a value range between 0.6-2.5. The TRIX value of the mouth of the Sunda Strait is significantly limited by the nutrient phosphate with a Pearson correlation (0.69) compared to the element N (-0.55). Meanwhile, in the region of the strait channel and south of the strait, all TRIX components are strongly correlated and tend to follow the monsoon pattern. This research can be considered in the use of the PISCES biogeochemical model for mapping TRIX values throughout Indonesian waters.*

**Keywords :** eutrophication, TRIX, Global Model PISCES, Sunda Strait

## PENDAHULUAN

Eutrofikasi perairan dapat memicu peningkatan proses biologis dan pertumbuhan alga sehingga terjadi *alga-blooming* maupun HBAs pada suatu perairan karena tingginya kadar nutrisi dan dukungan dari faktor hidro-oseanografi seperti arus, serta intensitas penyinaran matahari yang masuk ke perairan (Prayitno, 2017). Potensi terjadinya eutrofikasi semakin meningkat pada kondisi dengan intensitas penyinaran matahari yang tinggi, terutama pada cakupan radiasi aktif fotosintesis atau *Photosynthetically Available Radiation* (PAR), arus yang lemah, perairan laut tertutup atau semi tertutup, tingginya klorofil-a dan nutrisi pada wilayah tersebut (Feirreia *et al.*, 2011).

Kesuburan suatu perairan dapat diukur dan diklasifikasikan dengan menggunakan *Trophic Index* (TRIX) (Dewi *et al.*, 2020). Nilai TRIX diklasifikasikan berdasarkan pada nilai klorofil-a, persentase konsentrasi oksigen ( $D\%O_2$ ), nitrogen anorganik terlarut, dan fosfor anorganik total perairan. Berdasarkan nilai TRIX akan dapat diketahui potensi terjadinya eutrofikasi, sehingga mitigasi dan evaluasi dapat dilakukan (Vollenweider *et al.*, 1998; Fiori *et al.*, 2016; Dewi *et al.*, 2020). Monitoring indeks trophic secara rutin dan berkelanjutan dapat menjadi solusi dalam mengantisipasi terjadinya eutrofikasi. Monitoring dapat dilakukan secara konvensional melalui analisis laboratorium seperti pada penelitian sebelumnya (Nugrahadi *et al.*, 2013; Damar *et al.*, 2020; Dewi *et al.*, 2020; Wahyuni *et al.*, 2021). Namun, monitoring secara konvensional memerlukan biaya tinggi, waktu yang lama. Penggunaan data Global Model Ocean PISCES Biogeochemistry dapat menjadi solusi efektif, cepat, dan luas dalam memonitoring nilai trophic perairan. Penggunaan data model PISCES telah digunakan pada penelitian sebelumnya (Fiori *et al.*, 2016; Triana *et al.*, 2021; Triana dan Wahyudi, 2021; Wang *et al.*, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan variabilitas kondisi nilai trophic (TRIX) berdasarkan data Model Global Ocean PISCES Biogeochemistry dengan cakupan daerah penelitian di Selat Sunda. Diharapkan dengan penelitian ini dapat memperjelas kejadian meningkatnya klorofil-a di Selat Sunda oleh Wirasatriya *et al.* (2018). Potensi eutrofikasi yang didapatkan nantinya dapat dijadikan sebagai bahan mitigasi eutrofikasi pada wilayah tersebut dan menjadi dasar penelitian selanjutnya untuk

diterapkan pada wilayah perairan lainnya. Hal ini akan mendukung terwujudnya *Blue Economy* dalam monitoring *Zero Emmission* terutama pada industri akuakultur budidaya IMTA (*Integrated Multi Trophic Aquaculture*) yang efisien dan berkelanjutan.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada cakupan area Selat Sunda dengan 8 titik fokus penelitian dan kondisi batimetri seperti tersaji pada Gambar 1. Data yang digunakan merupakan data 10 tahun dari Desember 2008 hingga November 2019. Data 10 tahun berupa data komposit 1 bulan setiap tahunnya. Pengolahan data 10 tahun dilakukan secara komposit klimatologis 12 bulan untuk semua variabel data. Komposit bulanan dilakukan dengan menggunakan persamaan 1:

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

Dimana, ( $\bar{X}(x, y)$ ) komposit data, ( $n$ ) banyaknya data, ( $x_i(x, y, t)$ ) data rentang waktu ( $t$ ), ( $x, y$ ) dimensi spasial data (*longitude, latitude*) (Wirasatriya *et al.*, 2017).

## Pengambilan Data Penelitian

Data penelitian digunakan data Global Model PISCES untuk variabel klorofil-a, nitrat, fosfat, oksigen terlarut yang merupakan bagian dari model NEMOv3.6. Data tersebut didapatkan dari Marine Copernicus (<https://data.marine.copernicus.eu/>) pada data *Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast*. Radiasi aktif fotosintesis (PAR) dan klorofil-a Aqua-MODIS oleh Ocean Color NASA (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Data hidro-oseanografi digunakan variabel *Sea Surface Height* (SSH) dan arus permukaan, dari Marine Copernicus pada data *Global Ocean Physics Reanalysis*. Data radiasi total permukaan dan angin permukaan 10 meter dari data satelit ERA 5, Climate Copernicus (<https://climate.copernicus.eu/>).

## Klasifikasi TRIX

Penilaian TRIX berasal dari hasil perhitungan dari persamaan yang melibatkan nilai indikator antara lain: klorofil-a, saturasi oksigen terlarut ( $D\%O_2$ ), nitrogen anorganik terlarut (DIN), dan total fosfat (TP). Klasifikasi kondisi nilai trophic didasarkan pada nilai TRIX yang

didapatkan seperti pada Tabel 3. Perhitungan indeks TRIX dilakukan menggunakan persamaan 2:

$$TRIX = \frac{1}{1.2} [\log(M_{chl}M_{D\%O_2}M_{DIN}M_{TP}) + 1.5] \quad (2)$$

Dimana, ( $M_{chl}$ ) konsentrasi klorofil-a dalam  $mg/m^3$ , ( $M_{D\%O_2}$ ) % penyimpangan konsentrasi oksigen dari kondisi saturasi ( $D\%O_2$ ), ( $M_{DIN}$ ) konsentrasi nitrogen anorganik (DIN) terlarut dalam  $mg/m^3$ , ( $M_{TP}$ ) konsentrasi total fosfor (TP) dalam  $mg/m^3$ . Nilai % penyimpangan konsentrasi oksigen dari kondisi saturasi ( $D\%O_2$ ), nilai tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan  $D\%O_2 = |100 - SatO_2|$  (Vollenweider *et al.*, 1998; Fiori *et al.*, 2016).

Perhitungan TRIX dilakukan dengan menggunakan pendekatan data dari model PISCES. Penyesuaian data nitrogen anorganik terlarut (DIN) menggunakan data nitrat ( $NO_3^-$ ) dalam satuan milligram per meter kubik dan

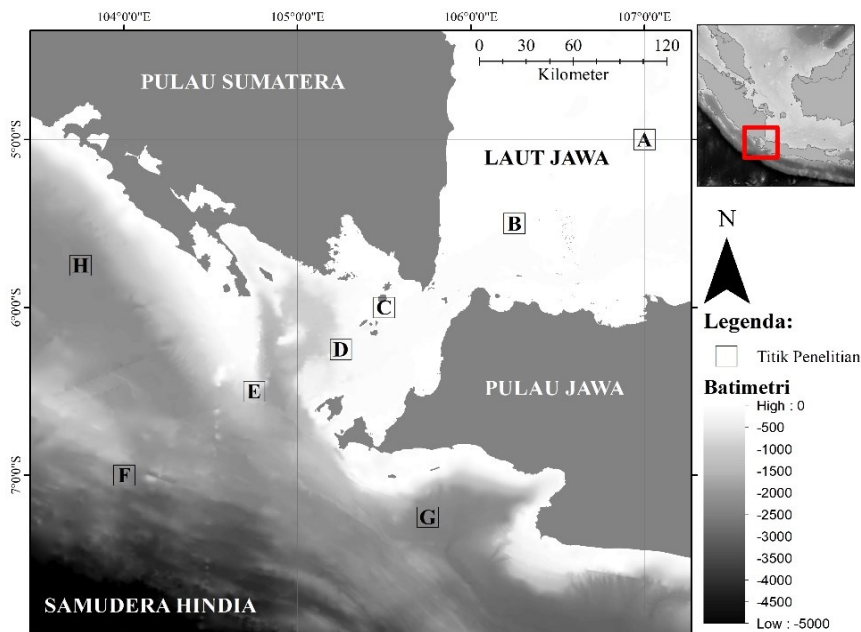
penyesuaian data total fosfor (TP) menggunakan data fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) dalam satuan milligram per meter kubik. Pendekatan data juga dilakukan pada nilai % penyimpangan konsentrasi oksigen dari kondisi saturasi ( $D\%O_2$ ), nilai tersebut diperoleh berdasarkan perhitungan  $D\%O_2 = |100 - SatO_2|$  (Fiori *et al.*, 2016). Nilai % penyimpangan konsentrasi oksigen dari kondisi saturasi ( $D\%O_2$ ) dapat merepersentasikan nilai rata-rata konsumsi dan produksi primer pada permukaan air yang seharusnya memiliki nilai saturasi oksigen  $\pm 100\%$  pada kondisi normal dengan tingkat DO 8,26 mg/L pada suhu 25°C (Mortimer, 1981; Dresti *et al.*, 2023).

**Multi-Korelasi Pearson**

Multi korelasi Pearson digunakan untuk digunakan pada penelitian menentukan parameter yang paling signifikan berpengaruh antar satu sama lain (Cohen, 1977). Metode ini juga telah digunakan pada penelitian menentukan parameter yang berpengaruh terhadap penurunan kadar oksigen

**Tabel 1.** Klasifikasi perairan berdasarkan nilai indeks TRIX (Fiori *et al.*, 2016)

Nilai TRIX	Kategori tingkat trophic	Potensi eutrofikasi
0 < TRIX < 4	Oligotrofi	Rendah
4 < TRIX < 5	Mesotrofi	Sedang
5 < TRIX < 6	Eutrofi	Tinggi
6 < TRIX < 10	Hiperotrofi	Sangat Tinggi



**Gambar 1.** Cakupan Area Fokus Penelitian

terlarut di Perairan Indonesia Timur (Triana *et al.*, 2021; Triana dan Wahyudi, 2021). Koefisien korelasi Pearson menggunakan persamaan 3:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (3)$$

Dimana ( $r_{xy}$ ) koefisien korelasi, ( $n$ ) banyaknya sampel, dan ( $x_i, y_i$ ) nilai parameter. Koefisien korelasi Pearson simetris:  $\text{corr}(X,Y) = \text{corr}(Y,X)$ . Koefisien korelasi berkisar dari  $-1$  hingga  $1$ . Nilai absolut tepat  $1$  menyiratkan bahwa persamaan linier menggambarkan hubungan antara  $X$  dan  $Y$  dengan sempurna, dengan semua titik data terletak pada satu garis (Sugiyono 2012).

### Verifikasifikasi Data Klorofil-a Model

Data klorofil-a Global Model PISCES dilakukan verifikasi terhadap data klorofil-a satelit Aqua MODIS. Metode yang digunakan dalam tahap verifikasi dan validasi ini adalah RMSE (Root Mean Square Error) dan BIAS. Nilai kesalahan dapat dihitung menggunakan persamaan 4 dan 5:

$$RMSE = \left( \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$BIAS = Y_i - \hat{Y}_i \quad (5)$$

Dimana ( $Y_i$ ) nilai dari model, ( $\hat{Y}_i$ ) nilai dari satelit, ( $n$ ) banyaknya data, dan ( $i$ ) urutan data (Triatmodjo, 1996; Maslukah *et al.*, 2022).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Wilayah selat yang merupakan laut sempit antara pulau cenderung memiliki arus yang kuat terutama Selat Sunda yang menghubungkan Laut Jawa dan Samudra Hindia (Setiawan *et al.*, 2015). Berbeda dengan kondisi ideal terjadinya eutrofikasi pada wilayah perairan tertutup atau semi tertutup. Kondisi ideal tersebut didukung intensitas penyinaran matahari tinggi, rendahnya proses hidro-oseanografi yang bekerja, tingginya klorofil-a dan nutrient pada wilayah tersebut (Feirreia *et al.*, 2011). Namun, ditemukan terjadinya *blooming* klorofil-a di Selat Sunda pada penelitian sebelumnya (Wirasatriya *et al.*, 2018). Sehingga, dimungkinkan terjadinya kenaikan nilai TRIX pada waktu *blooming* klorofil-a tersebut.

### Fluktuasi Nilai Klorofil-a di Selat Sunda

Fluktuasi klorofil-a diwakili dengan menggunakan 8 titik sesuai dengan Gambar 1.

Klorofi-a menggunakan data model PISCES pada Gambar 2a untuk semua nilai dan 2b untuk nilai klimatologis bulanan. Gambar 2a menunjukkan fluktuasi klorofil-a dalam 10 tahun (2009-2019) menunjukkan pola pada titik A dan B cenderung berulang pada setiap tahunnya. Sedangkan, pada titik lain menunjukkan perbedaan nilai klorofil-a setiap tahunnya dengan pola tahunan yang sama pada musim timur. Titik C, D, E, F, G, H memiliki nilai tertinggi pada musim timur tahun 2011 dan nilai terendah pada musim peralihan 2 tahun 2010 terhadap pola tertinggi secara klimatologisnya.

Secara klimatologi bulanan yang disajikan pada Gambar 2b menunjukkan perbedaan pola klimatologi nilai klorofil-a, khususnya pada titik A dan B dengan titik lainnya. Titik A menunjukkan kestabilan nilai klorofil-a pada konsentrasi 0,2-0,4  $\text{mg}/\text{m}^3$ , titik B memiliki nilai klorofil-a yang cenderung lebih besar dibandingkan titik lainnya dengan puncaknya pada bulan ke 4 di musim peralihan 1 dengan nilai 1,4  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Sedangkan, pada titik lain (C, D, E, F, G, H) menunjukkan pola yang hampir sama dimana mengalami peningkatan nilai klorofil-a pada musim timur dengan puncak pada bulan Agustus. Peningkatan ini berlangsung cukup stabil hingga bulan Oktober, dan turun secara signifikan pada bulan November.

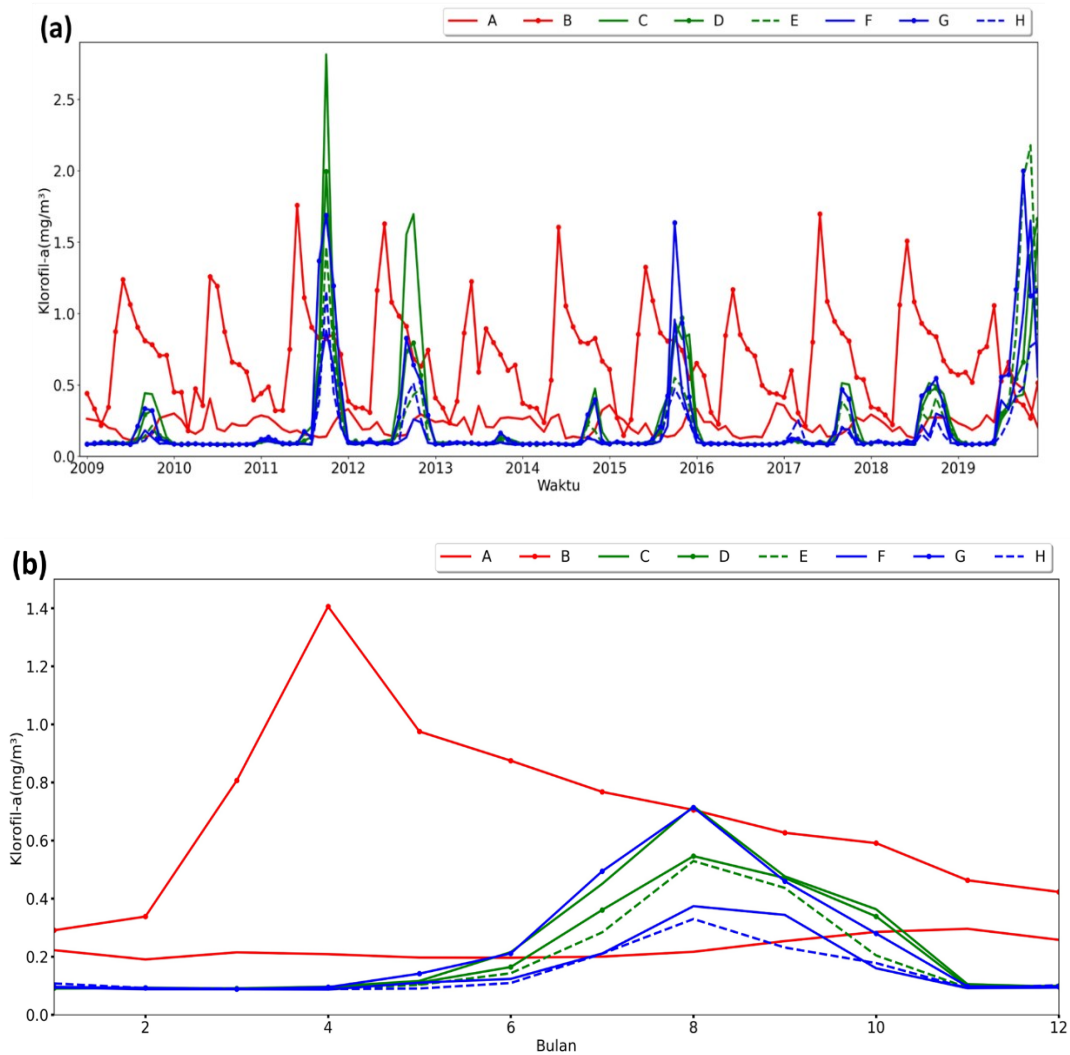
### Verifikasi Nilai Klorofil-a

Metode *Root Mean Square* (RMSE) dan Bias digunakan untuk melakukan verifikasi data terhadap nilai Global Model PISCES Biogeokimia. Data yang digunakan untuk melakukan verifikasi berupa data klorofil-a dari Aqua MODIS (Tabel 2).

Pada titik B nilai RMSE menunjukkan nilai 0,6562, menunjukkan bahwa nilai model kurang dapat secara akurat merepresentasikan nilai asli. Sedangkan, nilai RMSE selain pada titik B menunjukkan nilai RMSE kurang dari 0,5, sehingga data model secara relatif dengan akurat terhadap data lapangan (Yuemei *et al.*, 2008). Sedangkan, pada titik A, C, D, E, F, G, dan H cukup akurat dengan nilai RMSE kurang dari 0,5 dengan bias tertinggi pada titik A  $-0,1034$ . Berdasarkan hasil verifikasi data tersebut maka, data model PISCES telah terverifikasi nilai klorofil-a Aqua MODIS dan dapat merepresentasikan data lapangan.

### Fluktuasi Nilai N:P di Selat Sunda

Pola pertumbuhan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh nilai nutrien lain yang mendukung seperti nilai N-anorganik dan P-anorganik. Kebutuhan nilai N dan P untuk pertumbuhan fitoplankton secara ideal (*Redfield*



**Gambar 2.** Fluktuasi nilai klorofil-a, (a) nilai tahunan, (b) nilai klimatologis bulanan

**Tabel 2.** Verifikasi Data Klorofil-a Model pada Area Penelitian terhadap Data Aqua MODIS

Titik Penelitian	Nilai Klo-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) ( $\text{mean} \pm \text{stdev}$ )		RMSE	BIAS
	PISCES	MODIS		
A	$0,23 \pm 0,08$	$0,12 \pm 0,04$	0,1347	-0,1034
B	$0,69 \pm 0,33$	$0,13 \pm 0,04$	0,6562	-0,5541
C	$0,24 \pm 0,37$	$0,16 \pm 0,06$	0,3707	-0,0861
D	$0,21 \pm 0,29$	$0,16 \pm 0,06$	0,2925	-0,0509
E	$0,19 \pm 0,30$	$0,17 \pm 0,07$	0,2941	-0,0169
F	$0,16 \pm 0,21$	$0,19 \pm 0,08$	0,2218	0,0367
G	$0,24 \pm 0,34$	$0,23 \pm 0,09$	0,3338	-0,0041
H	$0,14 \pm 0,15$	$0,19 \pm 0,08$	0,1739	0,0494

ratio) memiliki perbandingan nilai N:P 16:1, dimana nilai N cenderung lebih berperan sebagai faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton.

Namun, apabila nilai N:P memiliki nilai yang melebihi 16:1 dimana N terdapat lebih banyak daripada P, maka pertumbuhan fitoplankton akan

cenderung menggunakan P dibandingkan N (Liu, Li, dan Jia, 2011). Rasio nilai N:P pada setiap titik secara klimatologi bulanan (Gambar 3).

Secara klimatologi nilai N:P pada semua titik memiliki kecenderungan pola yang sama. Terjadi peningkatan N:P secara signifikan pada musim timur dan turun secara signifikan pada bulan Mei. Penurunan rasio dikarenakan peningkatan nilai P dan secara stabil pada wilayah tengah dan selatan Selat Sunda (C, D, E, F, G, H). Indikasi terjadinya peningkatan P didukung dengan meningkatnya klorofil-a secara signifikan selama musim timur hingga awal peralihan 2 pada Gambar 2b. Tengah Selat Sunda (C dan D) memiliki rasio lebih tinggi dibandingkan selatan Selat Sunda (F dan G) pada November. Hal ini diduga sebagai dampak terjadinya *tidal mixing* atas respon penyempitan pada area mulut selat dan *vertical mixing*. Hal ini dikarenakan terjadinya perbedaan kedalaman secara signifikan. Sehingga, ada indikasi adanya aliran salinitas rendah dari laut Jawa menyebabkan *pseudo-pycnocline* pada kedalaman 50 m. Arus tersebut diindikasikan membawa nutrisi untuk pertumbuhan fitoplankton pada wilayah ini menjadi berlimpah (Purwandana, 2022). Sehingga, berdasarkan Gambar 2b nilai klorofil-a titik C dan D lebih tinggi dibandingkan F dan G.

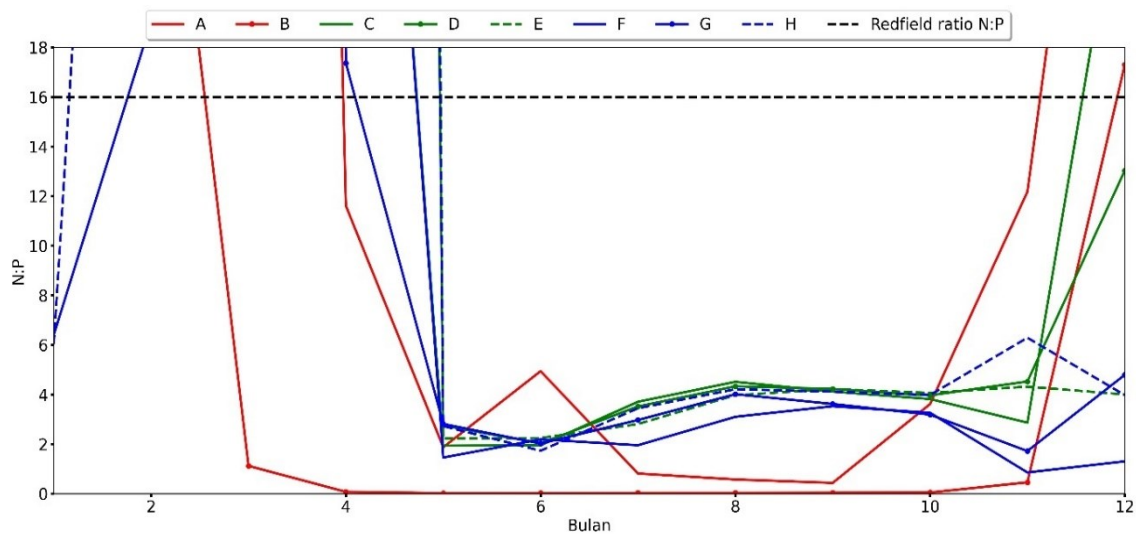
Sedangkan, pada titik B nilai turun lebih dahulu pada bulan Maret dan nilainya mendekati nilai 0 pada bulan April hingga Oktober. Pada fase ini menunjukkan kecenderungan N dimanfaatkan untuk pertumbuhan fitoplankton. Sehingga, nilai klorofil-a bergantung seberapa besar nilai N (Liu, Li, dan Jia, 2011).

### TRIX Sepanjang Selat Sunda

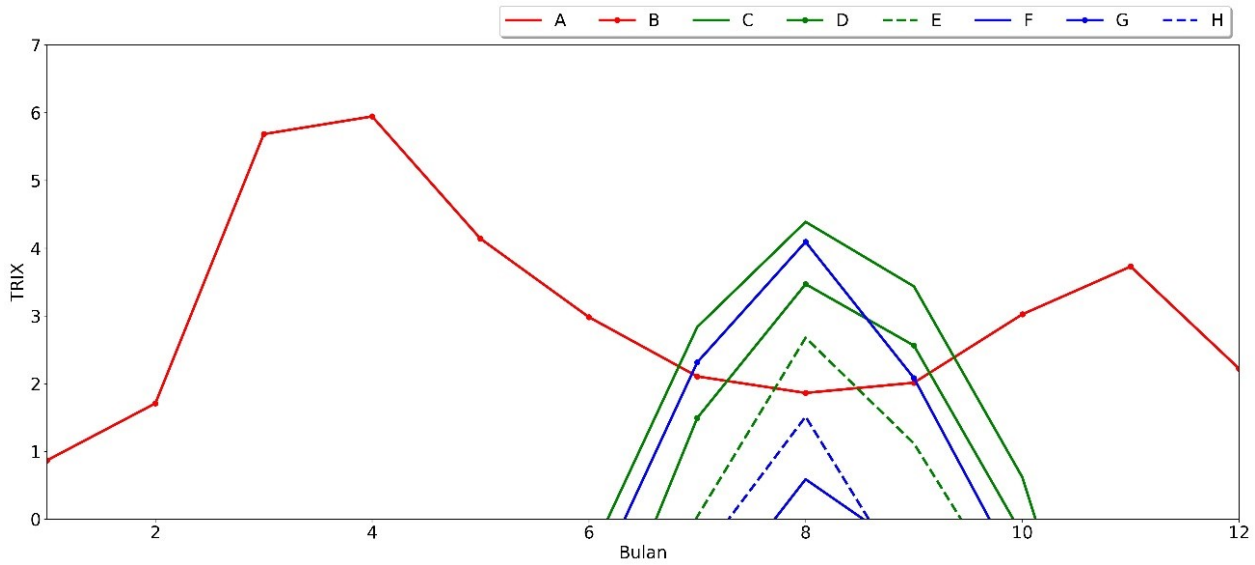
Nilai TRIX disajikan pada Gambar 4. Pada wilayah A nilai TRIX memiliki nilai kurang dari 0 hal ini dikarenakan rendahnya nilai nutrisi pada wilayah tersebut. Sehingga, nilai negatif pada TRIX bukan berarti perairan tersebut tidak ada nutrisi melainkan trofik atau ketersediaan nutrisi pada area tersebut sangat kecil pada beberapa parameter atau sangat kecil secara keseluruhan untuk dapat diklasifikasikan dengan TRIX.

Titik B memberikan pola yang sangat berbeda dibandingkan dengan titik lain, dengan klasifikasi tertinggi TRIX merupakan wilayah Eutrofi pada musim peralihan 1. Pada titik B menunjukkan pola yang berkorelasi signifikan dengan nilai klorofil-a. Hal ini juga didukung dengan hasil korelasi Pearson (0,65) yang ditunjukkan pada Gambar 5. Korelasi Pearson pada titik B juga menunjukkan adanya kecenderungan korelasi negatif terhadap nilai N dan DO, serta korelasi positif terhadap nilai P. Fluktuasi rasio nilai N:P pada titik ini sangat tinggi pada Gambar 3, dimana N cenderung berlimpah dan konsisten pada titik B sehingga nilai P menjadi faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton. Hal ini menyebabkan nilai klorofil-a memiliki korelasi positif terhadap P, sedangkan negatif pada N karena cenderung stabil pada setiap bulan. Selain itu, korelasi positif klorofil-a dengan nilai standar deviasi SSH diduga terjadinya *tidal mixing* sebagai suplai utama nutrisi terutama P.

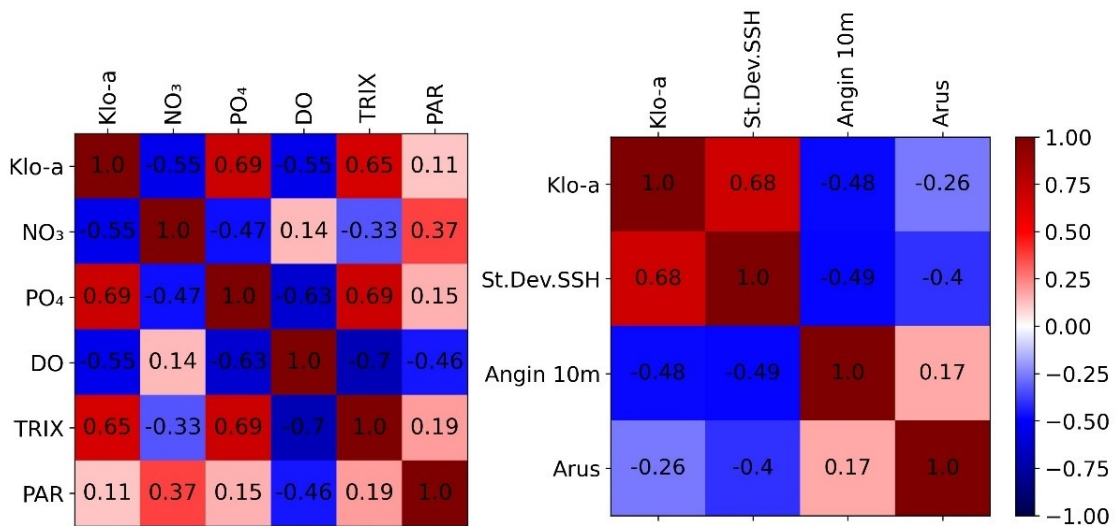
Berbeda dengan titik B pada titik C, D, E, F, G, dan H memiliki nilai TRIX tertinggi pada



Gambar 3. Fluktuasi klimatologi bulanan N:P



Gambar 4. TRIX di Selat Sunda Secara Klimatologi Bulanan



Gambar 5. Korelasi Pearson pada Titik B

musim timur hingga awal peralihan 2. Perbedaan dari ke enam titik ini adalah besarnya nilai TRIX yang diberikan. Pada titik C dan G memiliki klasifikasi tertinggi pada mesotrofik sedangkan di titik lain oligotrofik.

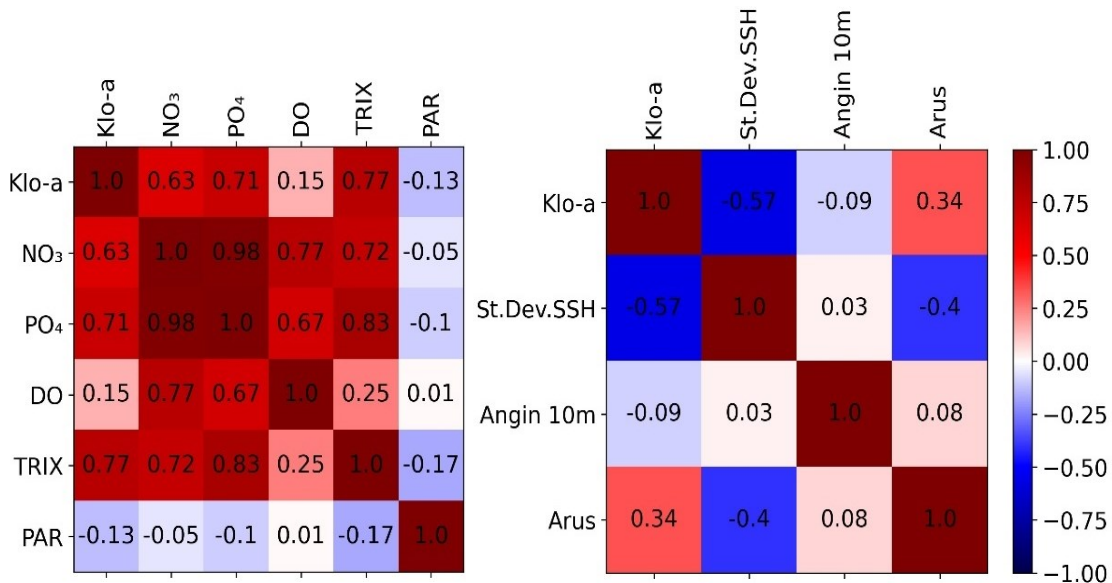
Berbeda dengan titik B, titik C menunjukkan korelasi tinggi positif terhadap nilai N dan P (Gambar 6). Hal ini mengindikasikan N dan P *blomming* pada waktu yang bersamaan yaitu pada musim timur hingga awal peralihan 2 dan didukung dengan meningkatnya nilai klorofil-a dan stabilnya rasio N:P pada waktu tersebut. Pada wilayah ini pertumbuhan fitoplankton berkorelasi

rendah dengan nilai PAR dan berkorelasi negatif terhadap nilai fluktuasi massa air. Sehingga, dapat diasumsikan bahwa pada wilayah ini berkorelasi positif terhadap wilayah ideal terjadinya eutrofikasi. Selain itu, Titik C memiliki TRIX tertinggi juga diduga sebagai dampak terjadinya *tidal mixing* dan *vertical mixing* seperti titik B (Purwandana, 2022). Karena titik B dan C merupakan wilayah mulut pada penyempitan selat dimana pada wilayah ini juga terjadi perubahan batimetri.

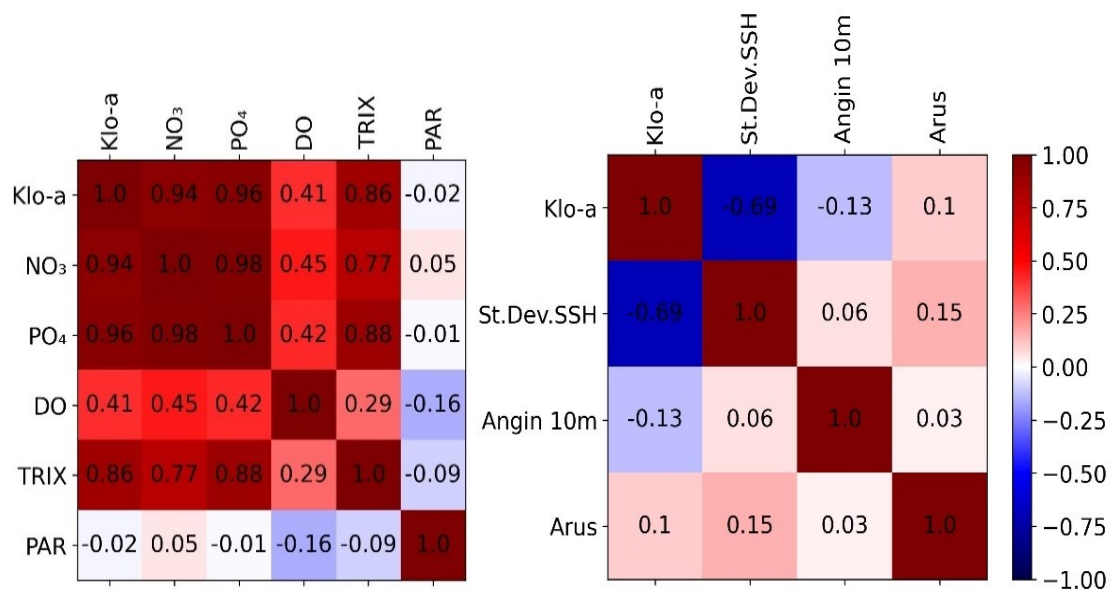
Titik G cenderung mirip terhadap titik C, dimana semua komponen TRIX berorelasi positif

satu sama lainnya (Gambar 7). Perbedaan dari keduanya adalah pada titik G memiliki korelasi klorofil-a lebih tinggi dibandingkan dengan titik C. Hal ini diduga karena perbedaan wilayah. Titik C pada tengah selat mendapatkan pasokan nutreirin lebih stabil dibandingkan dengan titik G yang berada pada bagian Selatan Pulau Jawa. Sehingga, titik G hanya akan mengalami *blomming* klorofil-a

bersamaan dengan tersedianya nutrien secara besar pada wilayah tersebut. Berdasarkan nilai klorofil-a dan TRIX yang tinggi pada musim timur, diindikasikan terjadinya penyuburan pada perairan tersebut oleh *upwelling* di Selatan Pulau Jawa. Penelitian sebelumnya menunjukkan adanya fenomena *upwelling* pada wilayah ini secara luas (Purba & Khan, 2019).



Gambar 6. Korelasi Pearson Titik C



Gambar 7. Korelasi Pearson Titik G



## KESIMPULAN

Profil sebaran fluktuasi klorofil-a menunjukkan kestabilan nilai klorofil-a pada Laut Jawa (A), mulut selat (B) memiliki nilai klorofil-a yang cenderung lebih besar dibandingkan titik lainnya dengan puncaknya pada bulan ke 4 di musim peralihan 1. Sedangkan, pada wilayah selat (C, D, E) dan luar Selat (F, G, H) menunjukkan pola yang hampir sama dimana mengalami peningkatan nilai klorofil-a pada musim timur dengan puncak pada bulan Agustus. Hal ini berkaitan dengan nilai rasio N:P yang meningkat secara signifikan pada musim timur dan mengalami penurunan signifikan pada bulan Mei. Ada fenomena yang lebih spesifik pada wilayah mulut Selat (B) yang mengalami penurunan terlebih dahulu pada bulan Maret dan nilainya mendekati 0 pada bulan April hingga Oktober. Hasil perhitungan TRIX dari 8 wilayah (A, B, C, D, E, F, G dan H) menunjukkan bahwa wilayah mulut selat (B) masuk dalam klasifikasi eutrofik, wilayah C dan G dalam kondisi mesotrofik, serta wilayah D, E, F, G dan H adalah oligotrofik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian RPI, No.609-60 /UN7.D2 /PP/VIII/2023

## DAFTAR PUSTAKA

- Cohen, J. 1977. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Elsevier.
- Damar, A., Colijn, F., Hesse, K.J., Adrianto, L., Yonvitner, Fahrudin, A. & Kurniawan, F. 2020. Phytoplankton Biomass Dynamics in Tropical Coastal Waters of Jakarta Bay, Indonesia in the Period between 2001 and 2019. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9):1–17.
- Dewi, O.R., Harisam, T., Hidayat, R.R., Endrawati, H., Rahayu, N.L. & Seprianto, A. 2020. Penilaian Status Trofik Laguna Segara Anakan Pada Musim Timur Dengan Aplikasi Indeks Trix. *Jurnal Harpodon Borneo*, 13(1):1-9.
- Dresti, C., Rogora, M. & Fenocchi, A. 2023. “Hypolimnetic Oxygen Depletion in a Deep Oligomictic Lake under Climate Change.” *Aquatic Sciences*, 85(1): 1–20.
- Fiori, E., Zavatarelli, M., Pinardi, N., Mazziotti, C. & Ferrari, C.R. 2016. Observed and Simulated Trophic Index (TRIX) Values for the Adriatic Sea Basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(9):2043–54.
- Liu, Y., Li L., & Ruibao J. 2011. The Optimum Resource Ratio (N:P) for the Growth of *Microcystis Aeruginosa* with Abundant Nutrients. *Procedia Environmental Sciences*, 10:2134 – 2140
- Maslukah, L., Ismunarti, D.H., Widada, S., Sandi, N.F. & Prayitno, H. B. 2022. The Interaction of Chlorophyll-a and Total Suspended Matter along the Western Semarang Bay, Indonesia, Based on Measurement and Retrieval of Sentinel 3. *Journal of Ecological Engineering*, 23(10):191–201.
- Mortimer, C.H. 1981. The Oxygen Content of Air-Saturated Fresh Waters over Ranges of Temperature and Atmospheric Pressure of Limnological Interest. *Mitteilungen Der IVL*, 22–23.
- Nugrahadi, M.S., Duwe, K., Schroeder, F. & Goldmann, D. 2013. Seasonal Variability of the Water Residence Time in the Madura Strait, East Java, Indonesia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 10:117-128
- Prayitno, H.B. 2017. Asesmen Eutrofikasi Perairan Pesisir Menggunakan Metode Indeks Trofik (TRIX). *Oseana*, 42(2):23–33.
- Purba, N.P., & Khan, A.M.A. 2019. Upwelling Session in Indonesia Waters. *World News of Natural Sciences*, 25: 72–83.
- Purwandana, A. 2022. Vertical Mixing in the Deep Region of the Sunda Strait, Indonesia. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 7(1): 43–51.
- Setiawan, R.Y., Mohtadi, M., Southon, J., Groeneveld, J., Steinke, S. & Hebbeln, D. 2015. The Consequences of Opening the Sunda Strait on the Hydrography of the Eastern Tropical Indian Ocean. *Paleoceanography*, 30: 1358–72.
- Sugiyono. 2012. The Role of Theory in Qualitative Quantitative Research Methods. *Journal of Research Methods*, 2(1): 61–72.
- Triana, K., Dwiana, K. & Supramono, D.S. 2021. Deoxygenation of the Eastern Indonesian Waters and Its Variability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 944(1):p. 012043 doi: 10.1088/1755-1315/944/1/012043
- Triana, K., & Wahyudi, A.J. 2021. Dissolved Oxygen Variability of Indonesian Seas over Decades as Detected by Satellite Remote Sensing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925(1): p. 012003 doi: 10.1088/1755-1315/925/1/012003

- Triatmodjo, B. 1996. *Metode Numerik*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G. & Rinaldi, A. 1998. Characterization of the Trophic Conditions of the Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9: 329–357.
- Wahyuni, W.I., Amin, B. & Siregar, S.H.. 2021. Analysis of Nitrate, Phosphate, and Silicate Content and Their Effects on Planktonic Abundance in the Estuary Waters of Batang Arau or Padang City West Sumatra Province. *Asian Journal of Aquatic Sciences*, 4(1):1–12.
- Wang, T., Chen, F., Zhang, S., Pan, J., Devlin, A.T., Ning, H. & Zeng, W. 2022. Physical and Biochemical Responses to Sequential Tropical Cyclones in the Arabian Sea. *Remote Sensing*, 14(3):529. doi: 10.3390/rs14030529
- Wirasatriya, A., Kunarso, K., Maslukah, L., Satriadi, A. & Armanto, R.D. 2018. Different Responses of Chlorophyll-a Concentration and Sea Surface Temperature (SST) on Southeasterly Wind Blowing in the Sunda Strait. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 139(1): p. 012028 doi: 10.1088/1755-1315/139/1/012028
- Wirasatriya, A., Setiawan, R.Y. & Subardjo, P. 2017. The Effect of ENSO on the Variability of Chlorophyll-a and Sea Surface Temperature in the Maluku Sea. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12): 5513–5518.
- Yuemei, H., Xiaoqin, Z., Jianguo, S. & Jina, N. 2008. Conduction between Left Superior Pulmonary Vein and Left Atria and Atria Fibrillation under Cervical Vagal Trunk Stimulation. *Colombia Medica*, 39(3):227–34.