



## Variabilitas Nutrien Organik dan Fotopigmen Klorofil-A Saat Indikasi Pemutihan Karang di Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang, Spermonde Selat Makassar

*(The Organic Nutrient and Chlorophyll-A Photopigment Variabilities During Coral Bleaching Indication in the Kapoposang Water Park (KWP) Spermonde Makassar Strait)*

Moh. Muhaemin<sup>1,\*</sup>, Vebby Versadhasa<sup>1</sup>, Taslim Arifin<sup>2</sup>, Hafidzuddin Fihrin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Lampung Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng Bandar Lampung 35141.

<sup>2</sup>Pusat Riset Kelautan BRSDM KKP Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, DKI Jakarta 14430.

<sup>3</sup>Program Studi Klimatologi Terapan, Sekolah Pascasarjana IPB, Dramaga-Bogor.

### INFO ARTIKEL

#### Histori Artikel

Received: 20 Oktober 2022

Accepted: 16 Desember 2022

#### Kata Kunci:

Kapoposang, autokton, klorofil, nutrien, pemutihan karang

#### Keywords:

Kapoposang, autoctonomous, chlorophyll, nutrients, coral bleaching

#### Korespondensi Penulis

Moh. Muhaemin, Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Lampung Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng Bandar Lampung 35141  
Email: mmuhaemin@gmail.com

### ABSTRAK

Terumbu karang yang berada di kawasan Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang Kepulauan Spermonde, Selat Makassar memiliki fungsi ekologi dan ekonomi yang signifikan namun sangat rentan terhadap kerusakan bahkan kematian. Kerentanan tersebut dapat muncul sebagai dampak aktivitas domestik ataupun peristiwa alam. Penelitian bertujuan untuk mengetahui sebaran parameter biologi (klorofil) dan kimia (nutrien berupa nitrat dan fosfat) di permukaan laut serta menganalisis hubungan parameter biologi dan kimia terhadap pemutihan karang (*coral bleaching*) di TWP Kapoposang Spermonde Selat Makassar. Pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan pada kurun 2000-2020 dan analisis data dilakukan pada bulan Februari hingga April 2021. Penelitian menggunakan data time series musim timur dan musim barat selama 18 tahun terakhir dan dikombinasikan dengan data citra satelit Landsat untuk pemetaan karang tahun 2000, 2005, 2015 dan 2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa nutrien cenderung bersifat autokton dan sebaran horizontal nutrien (fosfat dan nitrat) serta klorofil cenderung berbeda berdasarkan musim. Nutrien dan klorofil terindikasi berkorelasi dengan fenomena pemutihan karang di TWP Kapoposang, Spermonde Selat Makassar.

### ABSTRACT

*Coral reefs at the Kapoposang's Water Tourism Park (TWP) Spermonde Island have significant ecological and economical functions but prone to damage and even death. The proneness may occur by the effect of domestic activities or natural disaster. This study aimed to determine the distribution of biological (chlorophyll), chemical (nutrients included nitrate and phosphate) factors in ocean surface water, and to analyze the relationship of biological and chemical factors within coral bleaching event at TWP Kapoposang of Makassar Strait Spermonde. Primary and secondary data carried out during 2000-2020, and data analysis conducted on February to April 2021. The study used time-series data of the Indonesian monsoonal seasons for the last 18-years and Landsat satellite imagery data for coral mapping in 2000, 2005, 2015, and 2020. The results showed that the nutrients distribution tend to horizontally autoctonomous and chlorophyll was varying within monsoonal seasons. Finally, nutrient and chlorophyll may be correlated with coral bleaching event at TWP Kapoposang of Spermonde Makassar Strait, respectively.*

### PENDAHULUAN

Gugus Kepulauan Spermonde memiliki komunitas karang dengan wilayah sebaran yang cukup luas dan memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang signifikan. Penetapan kawasan

tersebut sebagai Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang berpeluang meningkatkan kerentanan, kerusakan bahkan kematian bagi ekosistem terumbu (Rauf dan Yusuf, 2004). Walaupun fenomena pemutihan karang dapat terjadi secara

global, namun dampak umum aktivitas domestik lokal di kawasan terumbu dapat terlihat dari adanya fenomena pemutihan karang. Pemutihan karang merupakan indikator inspesifik sejumlah besar stress lingkungan termasuk diantaranya suhu, sedimentasi, intensitas cahaya, turbiditas, ataupun gangguan mikroba patogen. Kemampuan karang untuk dapat pulih dari pemutihan cenderung bervariasi tergantung pada tingkat keparahan dan durasi stress lingkungan tersebut. Secara global, fenomena pemutihan karang tercatat pernah terjadi di Samudera Hindia (1998), Samudera Pasifik (2002), Karibia (2005), dan bahkan di seluruh perairan laut dunia (1998 dan 2010) (Eakin et al., 2019).

Kovac *et al.* (2020) menyatakan bahwa nutrisi (nitrat dan fosfat) anorganik berperan penting dalam melestarikan berbagai sumber kehidupan laut karena dapat dimanfaatkan sebagai sumber makanan oleh fitoplankton. Sumber utama nitrat dan fosfat di perairan berasal dari beberapa proses yaitu pelapukan, penguraian, sisa-sisa organisme mati, dekomposisi tumbuhan, buangan limbah daratan (industri, domestik, peternakan, pertanian, dan sisa pakan) yang selanjutnya akan terurai oleh bakteri menjadi zat hara. Chen *et al.* (2022) menyatakan bahwa perubahan komposisi nutrisi anorganik pada ekosistem perairan dapat memicu suksesi jenis fitoplankton dan zooplankton pada skala yang lebih luas. Dijelaskan lebih lanjut bahwa penggunaan model stokastik dapat digunakan untuk menjelaskan konektivitas siklus nutrisi dan penggunaannya oleh fitoplankton

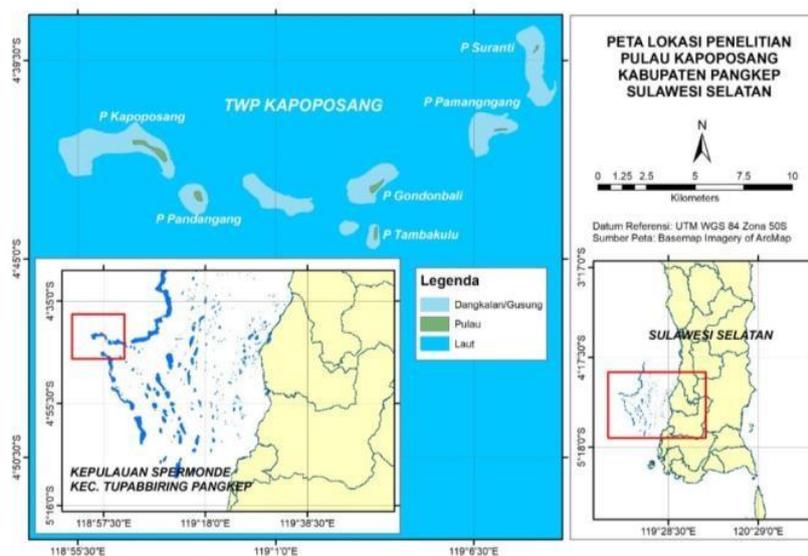
Peningkatan aktivitas domestik termasuk wisata dapat berdampak pada peningkatan nutrisi anorganik berupa nitrat dan fosfat di perairan laut. Hal tersebut dapat diindikasikan dengan tingginya klorofil-a di perairan tersebut. Rasyid (2011)

menyatakan bahwa kandungan klorofil-a di perairan Spermonde pada musim Timur cukup tinggi yaitu 0,15-1,15 mg/m<sup>3</sup>. Walaupun klorofil-a merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui tingkat kesuburan perairan dan indikator untuk monitor perairan (Boyer et al., 2009), namun konsentrasi klorofil-a tertinggi terdapat di daerah perairan pantai dapat berupa dampak masuknya nutrisi anorganik dari daratan melalui sungai ataupun *run off*. Disisi lain, peningkatan konsentrasi nutrisi anorganik mampu meningkatkan peluang terjadinya rekrutmen macroalga yang bisa berujung okupasi habitat terumbu karang (Duran *et al.*, 2016) Berdasarkan fenomena tersebut, dampak lanjut konsentrasi nutrisi anorganik perlu dijelaskan lebih lanjut terhadap komunitas karang di kawasan TWP tersebut. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kajian mengenai fenomena pemutihan karang kaitannya dengan parameter biologi-kimia guna mengurangi derajat kerusakan ataupun kematian karang yang dapat terjadi dimasa mendatang.

## METODE

### Waktu dan Lokasi

Pengambilan data primer dan data sekunder dilaksanakan pada tahun 2000-2020. Analisis data dilaksanakan pada bulan Februari-April 2021, bertempat di Laboratorium Oseanografi Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung dan Pusat Riset Kelautan BRSDM KKP. Lokasi penelitian bertempat di TWP Kapoposang, Spermonde Selat Makassar (Gambar 1) terdiri dari Pulau Kapoposang, P. Papandangan, P. Tambakulu, P. Gondonbali, P. Pamanggang, dan P. Surani.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Pulau Kapoposang (Arifin, 2019).

### Metode Penelitian

Sebaran nutrisi dan klorofil-a menggunakan data *time series* tahun 2000 – 2020. Data citra Landsat 7 ETM + C1 Level-1 tahun 2000 dan 2005 serta citra Landsat 8 C1 Level-1 tahun 2015 dan 2020 diperoleh dari situs resmi Landsat melalui website milik *United States Geological Survey* (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif berjenjang yang bersifat deskriptif. Pengolahan data nitrat, fosfat dan klorofil dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Surfer 16*, dilanjutkan dengan pembuatan analisis regresi linier sederhanadengan menggunakan aplikasi Minitab 18.

Pengolahan peta klasifikasi tutupan karang dilakukan dengan metode Algoritma Lyzenga menggunakan Landsat 7 ETM + C1 Level-1 dan citra Landsat 8 C1 Level-1 yang diolah pada aplikasi Er Mapper 7.0, Envi 5.3 dan ArcGis 10.7 dengan tahap pengolahan meliputi koreksi atmosfer (radiometrik) (Purwadh, 2009), komposit citra, algoritma lyzenga (Azka et al., 2019) (koreksi kolom air), klasifikasi citra, digitasi peta dan *layouting* peta (Gambar 2).

$$Y = \ln (TM1) + ki/kj \ln (TM2)$$

Keterangan:

- Y = citra hasil ekstrasi dasar perairan
- TM1 = nilai digital kanal 1 (Landsat TM)
- TM2 = nilai digital kanal 2 Landsat
- TM ki/kj = nilai koefisien atenuasi

nilai ki/kj (koefisien atenuasi) dihitung dengan persamaan:

$$\frac{ki}{kj} a + \sqrt{a^2 + 1}$$

nilai a di dapat dari persamaan:

$$a = \frac{var TM1 - var TM2}{2 \times covar TM1 TM2} + covar TM1 TM2$$

Keterangan:

- Var = nilai ragam dari nilai digital
- Covar = nilai koefisien keragaman dari nilai digital

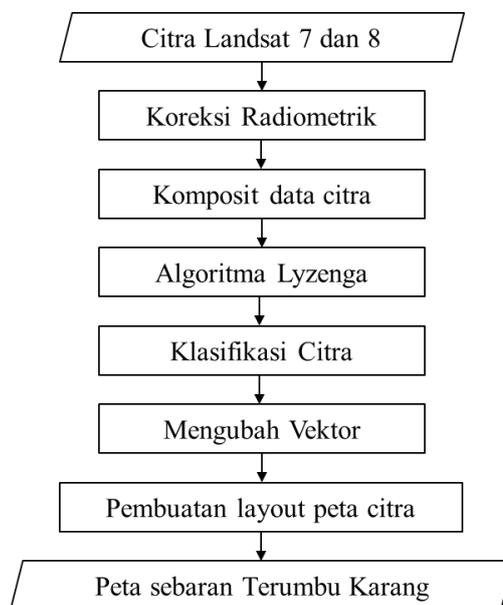
Penilaian kondisi terumbu karang dikelompokkan ke dalam 4 (empat) kategori yang mengacu pada Gomez dan Yap (1998) dan Giyanto et al. (2017).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pola Sebaran Parameter Biologi dan Kimia

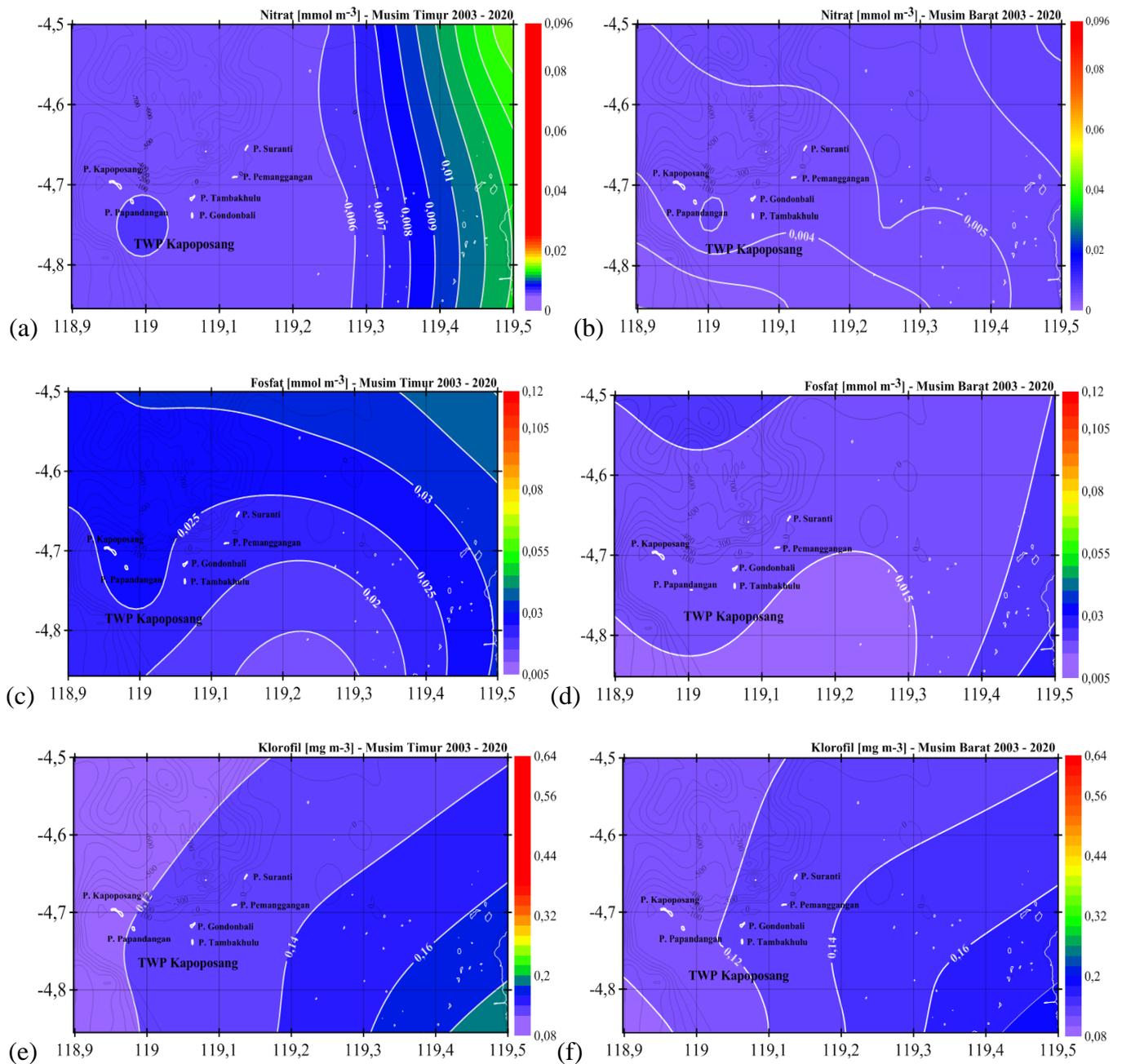
Konsentrasi rata-rata tahunan sebaran nitrat

berkisar antara 0,0038-0,17399 mmol/m<sup>3</sup> untuk kedua musim (Gambar 3a dan 3b). Sebaran nitrat pada musim Timur memiliki rata-rata sebesar 0,010677±0,007598 mmol/m<sup>3</sup> dan sebaran nitrat pada musim Barat memiliki rata-rata sebesar 0,008933±0,009878 mmol/m<sup>3</sup>. Pada musim timur, sebaran konsentrasi nitrat di sisi timur TWP kapoposang cenderung berasal dari kawasan perairan yang berada dekat dengan sisi barat daratan (Sulawesi Selatan). Konsentrasi nitrat yang tinggi di sisi timur TWP Kapoposang tersebut cenderung menurun dengan semakin pendeknya jarak ke TWP Kapoposang. Sedangkan konsentrasi nitrat yang sedikit lebih tinggi di TWP Kapoposang dibandingkan perairan di sekitarnya cenderung disebabkan oleh masuknya nitrat dari aktivitas domestik masyarakat di TWP Kapoposang. Pada musim barat, sebaran konsentrasi nitrat di TWP Kapoposang cenderung lebih homogen dibandingkan dengan sebarannya di musim timur.



**Gambar 2.** Tahap pengolahan tutupan karang

Konsentrasi rata-rata tahunan sebaran fosfat berkisar antara 0,00016-0,13249 mmol/m<sup>3</sup> (Gambar 3c dan 3d). Sebaran fosfat pada musim timur memiliki rata-rata sebesar 0,028332±0,026672 mmol/m<sup>3</sup> dan sebaran fosfat pada musim barat memiliki rata-rata sebesar 0,068852±0,028775 mmol/m<sup>3</sup>. Pada musim timur, konsentrasi fosfat yang lebih tinggi di sisi timur TWP Kapoposang diduga bersumber dari kawasan perairan yang berada dekat dengan sisi barat daratan (Sulawesi Selatan). Pada musim barat, sebaran konsentrasi fosfat di TWP Kapoposang cenderung lebih homogen dibandingkan dengan sebarannya di musim timur dan tidak dijumpainya kecenderungan peningkatan konsentrasi fosfat oleh aktivitas domestik di TWP Kapoposang.



**Gambar 3.** Sebaran nitrat (a) musim timur, (b) musim barat; sebaran fosfat (c) musim timur, (d) musim barat; sebaran klorofil (e) musim timur, (f) musim barat; di perairan TWP Kapoposang periode 2003-2020

Konsentrasi rata-rata sebaran klorofil berkisar antara  $0,09845 - 0,61003 \text{ mg/m}^3$  (Gambar 3e dan 3f). Sebaran klorofil-a pada musim Timur memiliki rata-rata sebesar  $0,133285 \pm 0,001613 \text{ mg/m}^3$  dan sebaran klorofil-a pada musim Barat memiliki rata-rata sebesar  $0,154345 \pm 0,02026 \text{ mg/m}^3$ . Konsentrasi klorofil-a pada musim timur dan musim barat menunjukkan pola yang hampir sama dengan adanya kecenderungan lebih tingginya konsentrasi klorofil-a di sisi timur TWP Kapoposang.

**Nitrat dan Fosfat Terhadap Klorofil Tiap Musim**

Analisis data hubungan antar klorofil terhadap parameter nitrat dan fosfat dilakukan menggunakan regresi linear sederhana dengan tujuan untuk mengetahui nilai hubungan keeratan

antar variabel yang akan diamati (Gambar 4). Berdasarkan hasil analisis regresi linier sederhana tersebut, tampak bahwa nilai koefisien deterministik ( $R^2$ ) pada semua persamaan yang menguji keterkaitan antara nitrat, fosfat, dan klorofil pada semua musim (barat dan timur) cenderung menunjukkan angka yang mendekati 1,0. Kondisi tersebut menggambarkan bahwa secara umum peningkatan konsentrasi nitrat dan fosfat di semua musim tidak memberikan pengaruh signifikan pada peningkatan konsentrasi klorofil di perairan laut kawasan TWP Kapoposang pada musim barat maupun musim timur. Walaupun demikian peningkatan konsentrasi nitrat cenderung memberikan dampak yang lebih besar terhadap peningkatan konsentrasi klorofil di musim Barat,

yang diindikasikan dengan kecenderungan profil garis yang dibentuk dari persamaan regresi linier lebih menegak dibanding persamaan lainnya (Gambar 4c).

**Hubungan Antara Nitrat, Fosfat Terhadap Klorofil Tiap Musim**

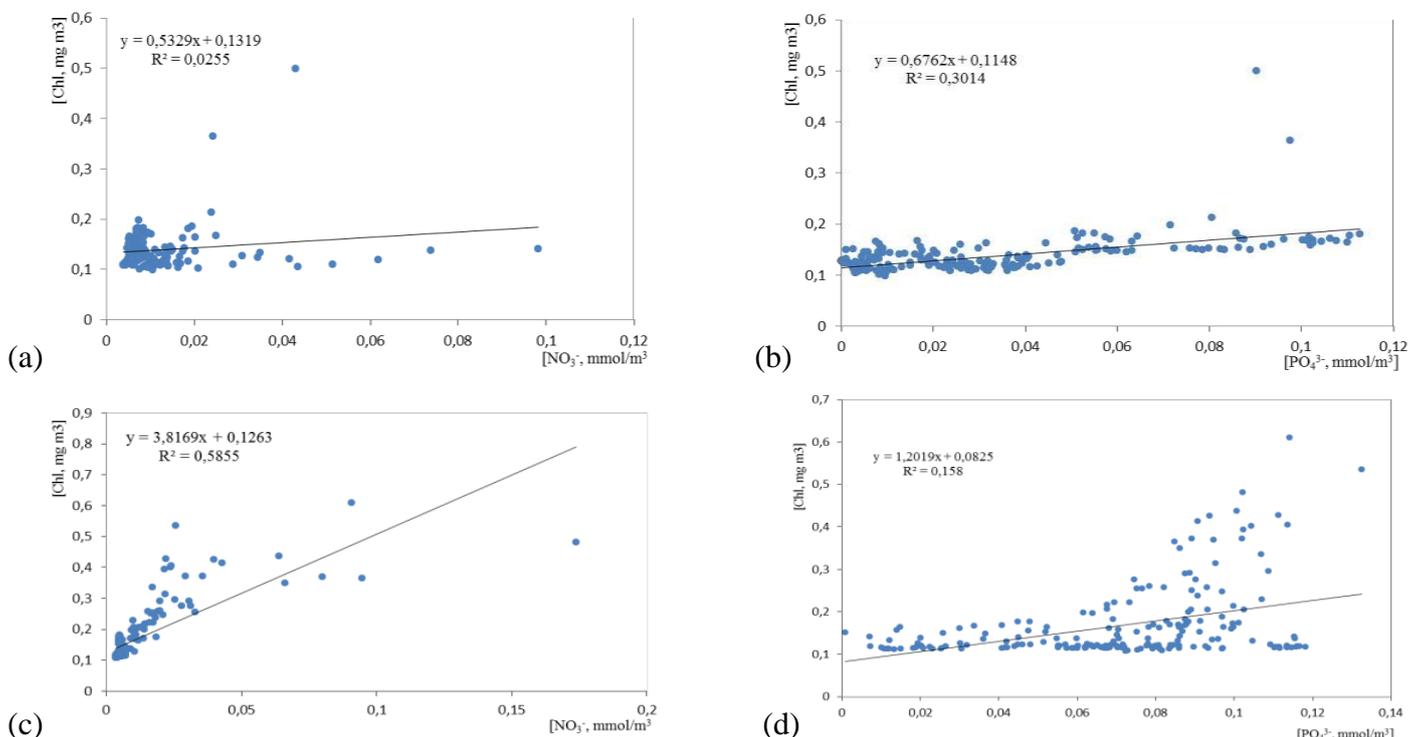
Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan terhadap kandungan nitrat, fosfat, dan klorofil antar variabel memiliki hubungan yang erat dan tidak erat. Hasil analisis statistik yang diperoleh didapatkan nilai signifikansi (Sig.) antara nitrat terhadap klorofil pada musim Timur sebesar 0,0371989 dan pada musim Barat sebesar 0,0566800 sedangkan nilai signifikansi (Sig.) antara fosfat terhadap klorofil pada musim Timur sebesar 0,0314952 dan pada musim Barat 0,0807862. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil analisis statistik antara klorofil terhadap nitrat dan fosfat dari tahun 2003 hingga tahun 2020 untuk musim Timur dan musim Barat pada kawasan TWP Kapoposang. Dasar pengambilan keputusan dalam analisis regresi dilihat dari nilai Sig. yang apabila

nilainya lebih kecil dari probabilitas 0,05 maka terdapat pengaruh yang erat pada variabel yang diujikan (In dan Asyik, 2019). Hasil uji statistik dapat dilihat pada Gambar 4.

**Peta Sebaran Terumbu Karang di Perairan TWP Kapoposang, Spermonde Selat Makassar**

Hasil klasifikasi peta sebaran terumbu karang pada kawasan TWP Kapoposang menunjukkan beberapa kelas berupa daratan, pasir, lamun, laut, pecahan karang, terumbu karang hidup dan terumbu karang mati. Peta sebaran terumbu karang menunjukkan perubahan luasan karang yang terjadi selama 20 tahun dengan selang waktu 5 tahun, disajikan pada Gambar 5 (a, b, c dan d).

Hasil klasifikasi peta sebaran terumbu karang pada kawasan TWP Kapoposang menunjukkan perubahan luasan karang dari tahun 2000 hingga 2020. Berdasarkan luasan tersebut dilakukan perhitungan kondisi terumbu karang terhadap karang hidup dan karang mati sesuai dengan kategori *life form*, disajikan pada Tabel 2.



**Gambar 4.** Analisis regresi linier. (a) Nitrat-klorofil, (b) Fosfat-klorofil, (Musim Timur) (c), Nitrat-klorofil, (d), Fosfat-klorofil (Musim Barat)

**Tabel 2.** Luasan tutupan karang di kawasan TWP Kapoposang 2000-2020

Parameter	Tahun			
	2000	2005	2015	2020
Karang Hidup (m <sup>2</sup> )	3.940.334	6.242.953	20.045.437	15.619.478
Karang Mati (m <sup>2</sup> )	11.045.215	1.702.128	7.505.094	10.158.910
Total (m <sup>2</sup> )	14.985.549	7.945.081	27.550.531	25.778.388
%KH/KT	26,3 %	78,6%	72,7 %	60,6 %
%KM/KT	73,7 %	21,4 %	77,9 %	27,3 %

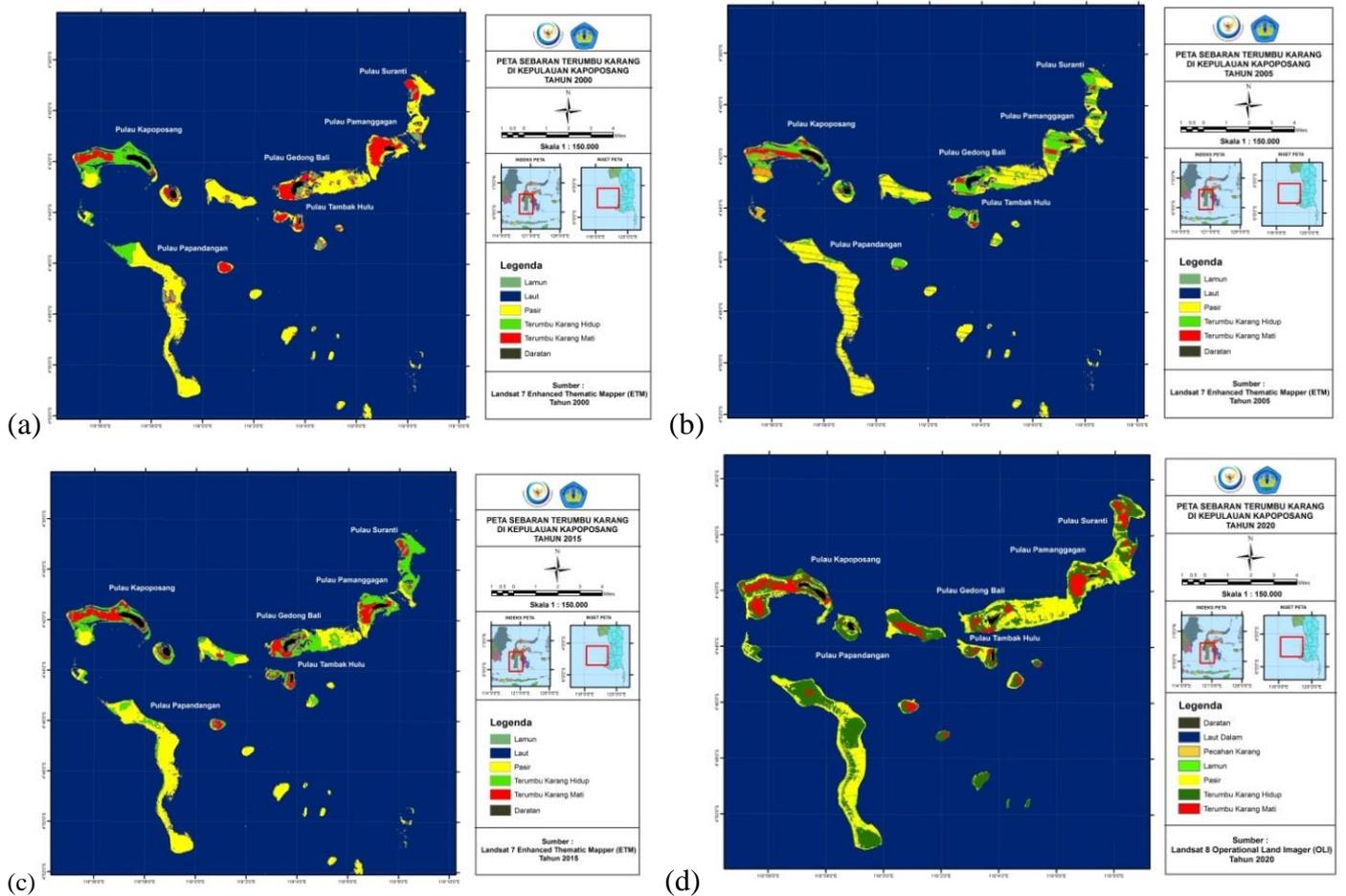
Keterangan : KH = Karang Hidup, KM = Karang Mati, KT = Jumlah Karang Total. Rata-rata luasan tutupan karang 2000-2020, tahun 2010 tidak dicantumkan karena sumber data citra tidak bagus.

Gambar 5 tidak mencantumkan Peta sebaran terumbu karang di perairan TWP Kapoposang tahun 2010 karena terdapat masalah pada hasil klasifikasi peta. Sensor ETM+ pada Satelit landsat 7 mengalami masalah pada *Scan Line Corrector* (SLC) sehingga mengakibatkan adanya garis-garis hitam pada citra (datanya rusak).

Berdasarkan nilai perhitungan luasan karang yang tersaji pada Tabel 2, diketahui terdapat perubahan luasan yang terjadi pada tutupan karang hidup selama 20 tahun. Persentase luasan karang hidup di kawasan penelitian tergolong dalam kategori yang baik pada tahun 2005 sebesar 78,6%, pada tahun 2015 sebesar 72,7 % serta pada tahun 2020 sebesar 60,6%, namun persentase luasan karang hidup mengalami penurunan. Hal tersebut juga diiringi dengan meningkatnya luasan karang mati pada tahun 2005 – 2020.

Hasil perolehan data konsentrasi nitrat, fosfat dan klorofil yang diperoleh menunjukkan terdapat hasil konsentrasi yang tidak sesuai dengan kadar di perairan laut maupun kadar perairan baik untuk karang (Tabel 3).

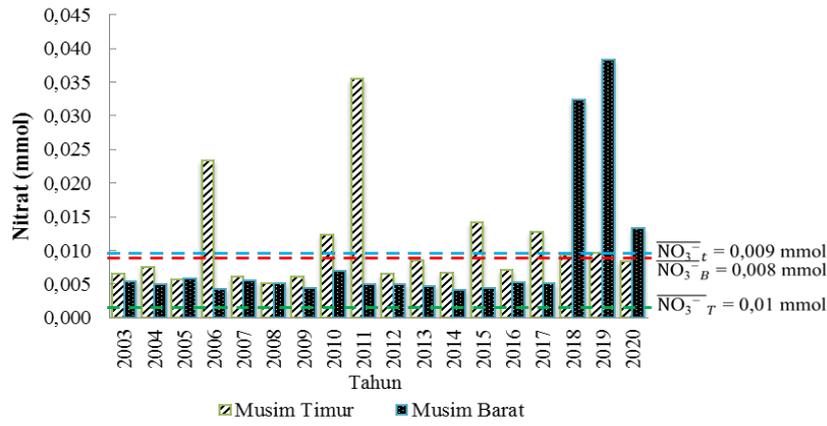
Peningkatan nitrat secara ekstrem terjadi pada tahun 2006 dari  $\overline{NO_3^-T}$ , pada tahun 2018, 2019 dari  $\overline{NO_3^-B}$  (Gambar 6). Peningkatan fosfat secara ekstrem hanya terjadi pada 3 tahun terakhir musim Timur yaitu pada tahun 2018, 2019, dan 2020 dari  $\overline{PO_4^{3-}T}$  (Gambar 7). Kemudian peningkatan konsentrasi klorofil secara ekstrem terjadi pada 3 tahun terakhir musim Barat yaitu pada tahun 2018 sebesar 2,3 kali lipat dari  $\overline{ChlB}$ , pada tahun 2019 sebesar 2 kali lipat dari  $\overline{ChlB}$ , dan pada tahun 2020 (Gambar 8).



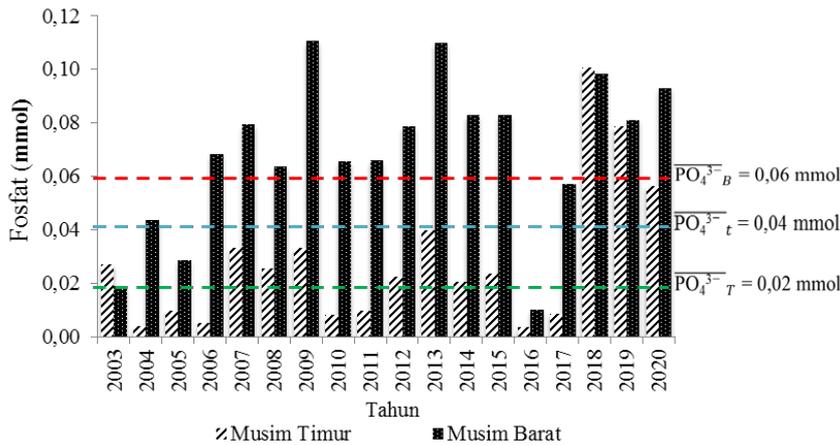
**Gambar 5.** Sebaran terumbu karang di perairan TWP Kapoposang, (a) 2000, (b) 2005, (c) 2015 dan (d) 2020

**Tabel 3.** Konsentrasi rata-rata nutrisi dan klorofil

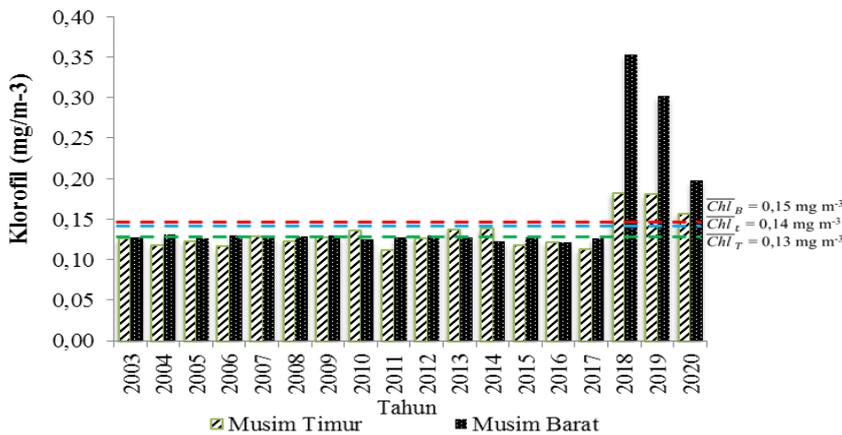
Parameter	Konsentrasi Rata-rata (2000-2020)		Standar Konsentrasi (Kep MEN No. 51/2004)	
	Musim timur	Musim barat	Perairan normal	Terumbu karang
$NO_3^-$ (mg/l)	0,000460	0,000368	0,001-0,007	0,001-0,027
$PO_4^{3-}$ (mg/l)	0,001303	0,003167	0,00031-0,124	0,275-5,51
Klorofil ( $mg/m^3$ )	0,133285	0,154345	0,21; 0,19; dan 0,16	-



**Gambar 6.** Rata-rata konsentrasi nitrat ( $NO_3^-$ , mmol/m<sup>3</sup>) di perairan TWP Kapoposang 2003-2020



**Gambar 7.** Rata-rata konsentrasi fosfat ( $PO_4^{3-}$ , mmol/m<sup>3</sup>) di perairan TWP Kapoposang 2003-2020



**Gambar 8.** Rata-rata konsentrasi klorofil (Chl, mg/m<sup>3</sup>) di perairan TWP Kapoposang 2003-2020

### Pembahasan

Nitrat merupakan salah satu jenis parameter nitrogen anorganik utama dalam air yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan kehidupan organisme di perairan (Sumantra et al., 2020). Berdasarkan (Gambar 3a dan 3b) fenomena yang terjadi mengindikasikan bahwa nitrat pada musim Timur dan musim Barat memiliki rata-rata konsentrasi yang rendah. Hal tersebut sesuai dengan peta sebaran nitrat musim Timur dan musim Barat yang menunjukkan gradasi

persebaran nitrat yang sama untuk kedua musim dan bersifat homogen. Secara umum, kadar nitrat yang normal di perairan laut berkisar antara 0,001-0,007 mg/l (Kep MEN No. 51 tahun 2004).

Fosfat merupakan salah satu indikator penentu tingkat kesuburan di perairan (Fachrul et al., 2005). Sumber utama fosfat di perairan berasal dari proses dekomposisi atau penguraian tumbuhan dan sisa-sisa organisme yang telah mati serta melalui senyawa organik dari berbagai limbah industri daratan (Simanjuntak, 2012 dalam Patty et al.

2015). Berdasarkan Gambar 3c dan 3d fenomena yang terjadi mengindikasikan bahwa fosfat pada musim Timur dan musim Barat memiliki rata-rata konsentrasi yang tidak merata. Konsentrasi fosfat di perairan laut yang normal berkisar antara 0,00031-0,124 mg/l serta baku mutu konsentrasi fosfat yang layak untuk kehidupan biota laut adalah 0,015 mg/l (Kep MEN No. 51 tahun 2004).

Klorofil adalah salah satu penentu produktivitas primer yang sangat penting dalam proses fotosintesis dilaut. Tinggi rendahnya konsentrasi klorofil menentukan kondisi oseanografis dan tingkat kesuburan di perairan (Rasyid, 2009). Berdasarkan Gambar 3e dan 3f fenomena yang terjadi mengindikasikan bahwa rata-rata konsentrasi klorofil sedikit lebih tinggi di musim Barat dibandingkan pada musim Timur. Rata-rata konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia pada musim Barat berkisar 0,19 mg/m<sup>3</sup> dan 0,16 mg/m<sup>3</sup>, serta pada Musim Timur berkisar 0,21 mg/m<sup>3</sup> (Nababan et al., 2009).

Peningkatan konsentrasi nutrien yang terjadi secara signifikan di laut berkaitan dengan adanya run-off daratan seperti pengikisan, erosi serta masukan bahan limbah domestik ke perairan melalui pemupukan yang sebelumnya terjebak dalam tanah dan akan masuk ke sungai lalu bermuara ke laut (Putri et al., 2019). Limbah domestik dari daratan mengandung bahan organik yang kemudian masuk ke perairan dalam bentuk sedimen sehingga dapat menyebabkan melimpahnya ketersediaan unsur nutrien di laut (Radiarta, 2013). Terdapat faktor yang mempengaruhi intensitas bahan organik yang tersuplai keperairan yaitu besarnya debit sungai, curah hujan, luas daerah tangkapan hujan, dan intensitas penggunaan bahan organik. Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah kondisi musim, sejumlah besar suplai nutrien terjadi saat musim penghujan dan jumlah suplai nutrien dengan intensitas yang kecil terjadi saat musim kemarau (Faizal et al., 2012).

***Indikasi Hubungan Parameter Biologi-Kimiawi Terhadap Pemutihan Karang (Coral Bleaching) di TWP Kapoposang, Spermonde Selat Makassar***

Sebaran nitrat, fosfat dan klorofil di kawasan TWP Kapoposang menunjukkan rata-rata konsentrasi yang termasuk dalam kategori rendah. Pada tahun 2010 dan 2020 terjadi penurunan persentase karang hidup yang cukup drastis dibandingkan data tahun 2000. Penurunan persentase tutupan karang secara drastis terjadi dari tahun 2005 hingga 2015 sebanyak 5,9 % sedangkan pada tahun 2015 hingga 2020 terjadi penurunan sebanyak 12 %. Konsentrasi nitrat,

fosfat dan klorofil selama 20 tahun mengalami fluktuasi sebaran konsentrasi yang tidak merata pada musim Timur dan musim Barat.

Fenomena nitrat, fosfat dan klorofil yang terjadi secara ekstrem seiring dengan menurunnya persentase karang hidup di kawasan TWP Kapoposang, berdasarkan pernyataan Boyet (2006) yang menyatakan bahwa jumlah nutrien (nitrat dan fosfat) yang meningkat secara berlebihan dapat menyebabkan kondisi buruk bagi pertumbuhan karang bahkan berakibat akan kematian karang. Apabila suatu konsentrasi zat hara di perairan mengalami peningkatan yang berlebihan bahkan melebihi ambang batas maka hal tersebut akan memicu terjadinya *eutofikasi* (pengayaan zah hara), dan peningkatan zat hara akan memicu pertumbuhan fitoplankton (*blooming algae*). Meningkatnya fitoplankton di perairan akan menyebabkan terjadi kompetisi antara karang dan fitoplankton dalam proses fotosintesis yang berakibat pada penurunan kondisi karang dan berbagai jenis biota laut (Smith, 2006). Hal tersebut mengindikasikan adanya hubungan yang sangat berpengaruh antara parameter biologi dan kimiawi pada penurunan karang di kawasan TWP Kapoposang.

Terumbu karang yang berada di jalur Arus Lintas Indonesia lebih rentan mengalami pemutihan karang karena terdapat massa air hangat yang berasal dari Samudera Pasifik mengalir melewati Selat Makassar. Penurunan persentase karang hidup yang terjadi pada tahun 2015 dan 2020 pada kawasan TWP Kapoposang mengacu pada peristiwa pemutihan massal terumbu karang di Indonesia, terjadi peristiwa *La Nina* yang intens sepanjang tahun 2010 (Yusuf dan Jompa, 2012). Peristiwa *La Nina* menjadi salah satu faktor terjadinya *coral bleaching* akibat kenaikan suhu permukaan laut. Fenomena *La Nina* juga mengakibatkan terjadinya kondisi curah hujan dengan intensitas tinggi dan tidak normal, hal tersebut mengakibatkan terjadinya banjir dan tanah longsor di daratan (Avia dan Hidayati, 2001). Tekanan lingkungan yang terjadi terus menerus sepanjang tahun 2010 tersebut diduga berpotensi terancamnya penurunan kualitas perairan biologi dan kimiawi di kawasan TWP Kapoposang. Hal tersebut berbanding lurus pada peta hasil sebaran nitrat (Gambar 3a dan 3b), fosfat (Gambar 3c dan 3d) dan klorofil (Gambar 3e dan 3f) musim Timur maupun Barat yang secara keseluruhan mengalami gradasi rendah pada kawasan TWP Kapoposang.

Penurunan tutupan karang hidup yang terjadi pada tahun-tahun tersebut mengindikasikan

terjadinya *coral bleaching* pada kawasan TWP Kapoposang. Luasan karang hidup yang menurun dapat menyebabkan meningkatnya luasan karang mati (Muhaemin et al., 2022; Nurdin et al., 2015). Pemutihan karang yang terjadi adalah respon alami dari tekanan yang didapat karang akibat adanya perubahan kondisi lingkungan secara ekstrem atau dari aktivitas manusia yang berimbas pada stres karang (Setiawan et al., 2017). Pemutihan karang menyebabkan hilangnya populasi *Symbiodinium* (alga *zooxanthellae*) atau tempat bergantungnya polip karang untuk mendapatkan makanan (Westmacott et al., 2000; Muhaemin et al., 2018), jumlah alga *zooxanthellae* akan berubah-ubah sesuai dengan musim dan penyesuaian karang terhadap lingkungannya.

Rendahnya konsentrasi nitrat dan fosfat di kawasan perairan TWP Kapoposang mendukung kondisi optimal bagi pertumbuhan karang dengan menekan potensi pertumbuhan makroalga yang berpotensi mengokupasi habitat (Duran et al., 2016; Szmant, 2002). Selain hal tersebut, tingginya nutrisi yang terkandung dalam perairan juga dapat berpotensi memberikan pengaruh buruk untuk perkembangan ekosistem karang, apabila terjadi peningkatan nutrisi secara berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya proses *blooming algae* yang mempengaruhi tingkat kekeruhan (Zainal, et al., 2014).

Ekosistem karang sangat sensitif akan perubahan kualitas perairan, kandungan nutrisi dan klorofil yang terdapat di perairan sangat mempengaruhi kondisi tingkat kesuburan di perairan laut. Oleh karena itu, apabila terjadi penurunan kualitas perairan yang disebabkan oleh nutrisi dan klorofil, maka akan menyebabkan ekosistem karang mengalami penurunan ekosistem berupa kerusakan bahkan kematian karang. Penurunan tutupan karang hidup yang terjadi pada tahun 2005 - 2020 menunjukkan adanya indikasi terjadinya *coral bleaching* pada kawasan TWP Kapoposang dengan kombinasi faktor yang mempengaruhi yaitu faktor biologi berupa nutrisi (nitrat dan fosfat) dan biologi (klorofil).

Pemutihan karang yang terjadi juga dapat dikaitkan dengan adanya gangguan spesifik seperti terjadinya kontaminasi atau toksik yang menimbulkan berbagai jenis penyakit bagi karang, perubahan temperatur air yang terjadi secara ekstrem tinggi atau rendah, adanya radiasi matahari, sedimentasi serta masukan air tawar (Setiawan et al., 2017). Rusaknya habitat karang yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia disebabkan banyaknya aktivitas manusia yang

berdampak buruk bagi habitat karang seperti adanya penangkapan ikan dengan bahan peledak (bom) dan ditemukannya puing-puing lepas hasil dari kegiatan destruktif seperti penangkapan ikan (Nurdin et al., 2015).

## KESIMPULAN

Fluktuasi nutrisi dan klorofil cenderung bersumber dari aktivitas internal (autoktonus) di kawasan TWP Kapoposang. Rata-rata konsentrasi tahunan nutrisi dan klorofil (2003-2020) musim Barat lebih tinggi dibandingkan musim Timur. Indikasi peristiwa pemutihan karang yang terjadi di TWP Kapoposang cenderung tidak mempengaruhi kondisi nutrisi anorganik dan klorofil-a di kawasan tersebut. Namun rendahnya nutrisi anorganik (nitrat dan fosfat) di perairan TWP Kapoposang berpotensi menjadi faktor pendukung pemulihan karang di kawasan tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian menggunakan DIPA Pusat Riset Kelautan BRSDM Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2019 - 2020. Ucapan terimakasih kepada Kepala Pusat Riset Kelautan BRSDM KKP atas izin dalam akses data dan penugasan peneliti dalam program kerjasama pembimbingan mahasiswa pada Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Lampung; dan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah memberikan akses data geospasial untuk mendukung penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin T. 2019. *Fisiografi dan keragaman jenis karang di pulau-pulau kecil Makassar, Kepulauan Spermonde. Konservasi Pesisir dan Laut Ekosistem, Molekuler Ekologi, Marxan, dan Indraja*. IPB Press. Bogor. Hlm : 13–26.
- Arifin T, Rahmania R, Yulius, Gunawan D, Setyawidati NA, Gusmawati N, Ramdhan M. 2019. *Perubahan kondisi terumbu karang pada zona inti di TWP Kapoposang, Spermonde- Selat Makassar Konservasi Pesisir dan Laut Ekosistem, Molekuler Ekologi, Marxan, dan Indraja*. IPB Press. Bogor. Hlm:53–65.
- Avia LQ, Hidayati R. 2001. Dampak peristiwa ENSO terhadap anomali curah hujan di Wilayah Indonesia Selama Periode 1890-1989. *Majalah Lapan*. 3(2):62-68.
- Azka LM, Mustafa LD, Mas'udia PE. 2019. Analisa luasan terumbu karang berdasarkan

- pengolahan data citra satelit landsat 8 menggunakan algoritma lyzenga. *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*. 8(1):13-17.
- Boyer JN, Kelbe CR, Ortner PB, Rudnick DT. 2009. Phytoplankton bloom status: chlorophyll-a biomass as an indicator of water quality condition in the Southern Estuaries of Florida, USA. *Ecological indicators*. 9(6):56-67.
- Boyett HV. 2006. *The Ecology and Microbiology of Black Band Disease and Brown Band Syndrome on The Great Barrier Reef* [Thesis]. James Cook University. Townsville.
- Duran A, Ligia CV, Deron EB. 2016. Seasonal regulation of herbivory and nutrient effects on macroalgal recruitment and succession in a Florida Coral reef. *PeerJ*. 1-22. DOI 10.7717/peerj.2643
- Eakin CM, Hugh PAS, Russel EB. 2019. The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*. 38:539-545.
- Fachrul FM, Haeruman H, Sitepu LC 2005. *Komunitas fitoplankton sebagai bio-indikator kualitas perairan Teluk Jakarta*. Seminar Nasional MIPA 2005. FMIPA-Universitas Indonesia. Jakarta.
- Faizal A, Jompa J, Nessa N, Rani C. 2011. *Dinamika spasio-temporal tingkat kesuburan perairan di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan*. Universitas Hasanudin. Makasar.
- In AWK, Asyik NF. 2019. Pengaruh kompetensi dan independensi terhadap kualitas audit dengan etika auditor sebagai variabel pemoderasi. *Jurnal Ilmu dan Riset Akuntansi (JIRA)*. 8(8):12-17.
- Kovac Z, Trevor P, Shuba S. 2020. Stability and resilience in nutrient-phytoplankton marine ecosystem model. *ICES Journal of Marine Science*. 77(4):1556-1572.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor: 51 tahun 2004 tentang baku mutu air laut. Jakarta.
- Muhaemin Moh, Dedi S, Hawis HM, Neviaty PZ. 2018. The effect of light and nitrogen on the lipid and carotenoid production in *Symbiodinium*. *AES Bioflux*. 10(2): 87-96.
- Muhaemin Moh, Taslim A, Nafisa M, Hafidzuddin F. 2022. Pengaruh parameter oseanografi fisik terhadap indikasi pemutihan karang (*coral bleaching*) di Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang Spermonde Selat Makassar. *Journal of Marine Research*. 11(4):587-597.
- Nababan B, Zulkarnaen D, Gaol JL. 2009. Variabilitas konsentrasi klorofil-a di Perairan Utara Sunbawa berdasarkan data satelit seaWiFS. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 1(2):72-83.
- Nurdin N, Amri K, Djalil AR, Jaya I. 2015. Dinamika utapan perairan dangkal pulau-pulau kecil, kepulauan Spermonde. *MAJALAH ILMIAH GLOBE*. 17(2): 105-112.
- Patty SI, Arfah H, Abdul MS. 2015. Zat hara (fosfat, nitrat), oksigen terlarut dan pH kaitannya dengan kesuburan di Perairan Jikumerasa, Pulau Buru. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 3(1)43-50.
- Putri WAE, Purwiyanto AIS, Agustriani, Suteja Y. 2019. Kondisi nitrat, nitrit, amonia, fosfat dan BOD di muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 11(1): 65-74.
- Radiarta IN. 2013. The relationship between the distribution of phytoplankton and water quality in the Alas Strait, Sumbawa Regency, West Nusa Tenggara. *Bumi Lestari*. 13(2): 234-243.
- Rauf A, Yusuf M. 2004. Studi distribusi dan kondisi terumbu karang dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh di Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*. 9(2):74-81.
- Setiawan F, Muttaqin A, Tarigan SA, Muhidin M, Hotmariyah M, Sabi A, Pingkan J. 2017. Pemutihan karang akibat pemanasan global tahun 2016 terhadap ekosistem terumbu karang: studi kasus Di TWP Gili Matra (Gili Air, Gili Meno dan Gili Trawangan) Provinsi NTB. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 1(2):39-54.
- Simanjuntak M. 2012. Kualitas air laut ditinjau dari aspek zat hara, oksigen terlarut dan pH di perairan Banggai, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 4(2):290-303.
- Szmant AM. 2002. Nutrient enrichment on coral reefs: is it a major cause of coral reef decline? *Estuaries*. 25:743-766.
- Smith JE. 2006. Indirect Effects of Algae on Coral: Algae-Mediated, Microbe Induce Coral Mortality. *Ecology Letters*. 9:835-845.
- Sumantra IGE, Suteja Y, Putra ING. 2020. Fluktuasi nitrat dan fosfat selama satu periode pasang dan surut di Selat Lombok. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 6(2) 231-237.
- Suryanti S, Ain C, Latifah N, Febrianto S. 2017. *Pemetaan Kandungan Nitrat Dan Fosfat*

- Pada Polip Karang Di Kepulauan Karimunjawa*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. UNDIP. Semarang.
- Westmacott S. 2000. *Management of bleached and severely damaged coral reefs*. IUCN.
- Yusuf S, Jompa J. 2012. First quantitative assessment of coral bleaching on Indonesian reefs. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*. hlm:9-13.
- Zainal JK, Subardjo P, Munasik M. 2014. Pemetaan kondisi terumbu karang yang terkait dengan sebaran fosfat dan nitrat di Perairan Pantai Desa Karimunjawa dengan menggunakan metode sistem informasi geografis. *Journal of Marine Research*. 3(3):155-164.