

ANALISIS KARAKTERISTIK *NET PRIMARY PRODUCTIVITY* DAN KLOROFIL-A DI LAUT BANDA DAN SEKITARNYA

ANALYSIS OF NET PRIMARY PRODUCTIVITY AND CHLOROPHYLL-A CHARACTERISTICS IN THE BANDA SEA AND ITS SURROUNDINGS

**Sartono Marpaung*, Teguh Prayogo, Emi Yati, Anang Dwi Purwanto,
M. Rizki Nandika, Dede Dirgahayu Domiri, & Dony Kushardono**

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN, Jakarta, 13710, Indonesia

*E-mail: sartonjam@gmail.com

ABSTRACT

Net primary productivity (NPP) and chlorophyll-a (Chl-a) are indicators of water productivity. This research aims to analyze the characteristics of NPP and Chl-a and their relationship to pelagic fish seasons in the Banda Sea. The methods used to analyze the data are Hovmöller diagram and Pearson's correlation. The NPP data used comes from Vertically Generalized Production Model (VGPM) and Chl-a from Aqua MODIS satellite. The results of data analysis from January 2003-December 2020, NPP and Chl-a reached highest concentration in dry season and lowest in wet season. The highest monthly concentration occurred in August and the lowest in April and December. The Banda Sea include mesotrophic waters with monthly average of NPP 429 mg C/m²/day and Chl-a 0.24 mg/m³. Spatially (longitude and latitude) and temporally (seasonal and monthly), the high concentrations of NPP and Chl-a are found in northern and eastern parts of study area. During La Niña and El Niño, there was a change (decrease/increase) the concentration of NPP and Chl-a in dry season and transition period II. NPP and Chl-a have a high correlation and a strong linear relationship. The change of NPP concentrations temporally corresponded to change of Chl-a concentrations. Seasonal factors, La Niña and El Niño have a strong influence in influencing the variability of NPP and Chl-a concentrations. Skipjack and tuna seasons occur in transition period II, wet season and La Niña. High productivity have an effect on the flying fish season which occurs in the dry season and El Niño.

Keywords: *Chl-a, Hovmöller diagram, NPP, Pearson's correlation*

ABSTRAK

Net primary productivity (NPP) dan klorofil-a (Chl-a) merupakan indikator kesuburan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik NPP dan Chl-a serta hubungannya dengan musim ikan pelagis di Laut Banda. Metode yang digunakan untuk menganalisis data adalah diagram Hovmöller dan korelasi Pearson. Data NPP yang digunakan adalah dari Vertically Generalized Production Model (VGPM) dan Chl-a dari satelit Aqua MODIS. Hasil analisis data dari Januari 2003-Desember 2020, NPP dan Chl-a mencapai konsentrasi tertinggi pada musim kering dan terendah saat musim basah. Konsentrasi bulanan tertinggi terjadi bulan Agustus, terendah bulan April dan Desember. Perairan Laut Banda termasuk perairan mesotrofik dengan rerata bulanan NPP 429 mg C/m²/hari dan Chl-a 0,24 mg/m³. Secara spasial (bujur dan lintang) dan temporal (musiman dan bulanan), konsentrasi NPP dan Chl-a yang tinggi terdapat di bagian utara dan timur wilayah kajian. Saat La Niña dan El Niño, terjadi penurunan dan peningkatan konsentrasi NPP dan Chl-a pada musim kering dan MP II. NPP dan Chl-a memiliki korelasi yang tinggi dan hubungan linier yang kuat. Peningkatan dan penurunan konsentrasi NPP bersesuaian secara temporal dengan peningkatan dan penurunan konsentrasi Chl-a. Faktor musim, La Niña dan El Niño mempunyai pengaruh yang kuat dalam memengaruhi variabilitas konsentrasi NPP dan Chl-a. Musim ikan cakalang dan tuna di Laut Banda terjadi pada MP II, musim basah dan La Niña. Kesuburan yang tinggi berpengaruh terhadap musim ikan layang yang terjadi pada musim kering dan El Niño.

Kata kunci: *Chl-a, diagram Hovmöller, korelasi Pearson, NPP*

I. PENDAHULUAN

Net primary productivity (NPP) atau produktivitas primer bersih merupakan parameter oseanografi yang digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat kesuburan suatu ekosistem perairan. Produktivitas primer bersih menggambarkan jumlah pembentukan bahan organik baru persatuan waktu melalui proses fotosintesis oleh fitoplankton dan tanaman air. Satuan ukuran dari produktivitas primer dinyatakan dalam mg C/m²/hari untuk satuan luas kolom air (Aryanti *et al.*, 2019). Klasifikasi kesuburan perairan berdasarkan kandungan produktivitas primer bersih terdiri dari tiga bagian. Perairan laut dengan kandungan NPP dari 0-200 mg C/m²/hari diklasifikasikan sebagai oligotrofik, 200-750 mg C/m²/hari sebagai mesotrofik dan kandungan NPP lebih dari 750 mg C/m²/hari sebagai eutrofik. Produktivitas primer bersih dalam bentuk plankton merupakan unsur penting pada mata rantai perairan. Plankton-plankton tersebut sangat berguna dalam menunjang sumberdaya ikan, terutama golongan konsumen primer. Densitas fitoplankton dalam perairan sangat dipengaruhi oleh tingkat kesuburan lingkungan perairan. Produktivitas primer bersih dapat diestimasi menggunakan model skala global *Vertically Generalized Production Model* (VGPM) dengan input data citra satelit penginderaan jauh (Behrenfeld & Falkowski, 1997).

Chl-a merupakan parameter oseanografi yang digunakan sebagai indikator kelimpahan fitoplankton di perairan dan mempunyai peranan penting dalam proses fotosintesis (Garini *et al.*, 2021). Fitoplankton berkontribusi besar untuk mengetahui produktivitas primer di perairan. Produksi unsur karbon organik selama proses fotosintesis didefinisikan sebagai produktivitas primer bersih (Lee *et al.*, 2014). Umumnya sebaran Chl-a memiliki konsentrasi yang lebih tinggi di wilayah perairan pesisir pantai dibandingkan dengan laut lepas karena tingginya suplai nutrisi

yang bersumber dari daratan (Winarso & Marini, 2014; Nuzapril *et al.*, 2017). Sebaran dan variabilitas Chl-a berkaitan langsung dengan kondisi dinamis lautan dalam menentukan daerah penangkapan ikan pada suatu perairan (Nababan & Simamora, 2012; Harahap *et al.*, 2019). Prayoga *et al.* (2017) dan Paillin *et al.* (2020) menyatakan bahwa konsentrasi Chl-a pada suatu perairan tidak secara langsung memengaruhi peningkatan gerombolan ikan pada wilayah perairan tersebut, akan tetapi terdapat jeda waktu (*time lag*).

Konsentrasi Chl-a di perairan Laut Banda dipengaruhi oleh musim yang terjadi di Indonesia dan fenomena iklim global yaitu El Niño dan La Niña (Marpaung *et al.*, 2020). Hasil penelitian dari Waileruny *et al.* (2014) mengatakan bahwa konsentrasi Chl-a di Laut Banda dan sekitarnya tertinggi pada musim kering dan terendah pada musim peralihan I yaitu bulan Maret-April-Mei. Menurut Aryanti *et al.* (2019), konsentrasi produktivitas primer bersih tertinggi di Laut Banda terjadi pada musim kering dan terdapat di bagian timur perairan Laut Banda. Perairan Laut Banda menarik untuk dijadikan sebagai lokasi kajian dalam penelitian karena merupakan kawasan konservasi tuna di wilayah Indonesia. Pemerintah membuat peraturan tentang larangan penangkapan ikan, khususnya tuna sirip kuning (*Tunnus albacores*) di wilayah pengelolaan perikanan Republik Indonesia 714, dari bulan Oktober-Desember (Menteri Kelautan dan Perikanan, 2015). Laut Banda merupakan salah satu wilayah penangkapan potensial tuna sirip kuning dan termasuk dalam wilayah *coral triangle tuna* sebagai habitat utama *breeding* dan *spawning grounds* (Bailey *et al.*, 2012; Menteri Kelautan dan Perikanan, 2015).

Net primary productivity dan Chl-a mempunyai peranan penting dalam menentukan tingkat kesuburan suatu ekosistem perairan laut dan mempunyai kaitan yang erat dengan sektor perikanan tangkap yaitu pendugaan zona yang potensial sebagai daerah penangkapan ikan.

Pengukuran NPP dan Chl-a secara konvensional sangat terbatas secara spasial maupun temporal dan membutuhkan waktu yang lama serta biaya besar. Chl-a adalah salah satu parameter yang sangat memengaruhi sebaran dan variasi produktivitas primer bersih atau NPP di perairan laut (Sihombing *et al.*, 2013; Gunawan *et al.*, 2019). Data Chl-a diekstraksi dari citra satelit Aqua MODIS menggunakan algoritma O'Reilly (O'Reilly *et al.*, 1998). Data NPP diestimasi menggunakan model VGPM dengan input data Chl-a (Behrenfeld & Falkowski, 1997). Penggunaan data citra satelit penginderaan jauh dan hasil estimasi berbasis model global diperlukan sebagai data utama dalam melakukan penelitian ini. Konsentrasi NPP dan Chl-a pada umumnya mengalami perubahan atau variabilitas secara temporal dan spasial. Variabilitas yang terjadi akan mengakibatkan pengaruh terhadap biota laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik NPP dan Chl-a dan kaitannya dengan musim ikan pelagis di Laut Banda dan sekitarnya.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Wilayah kajian pada penelitian ini adalah perairan Laut Banda dan sekitarnya di

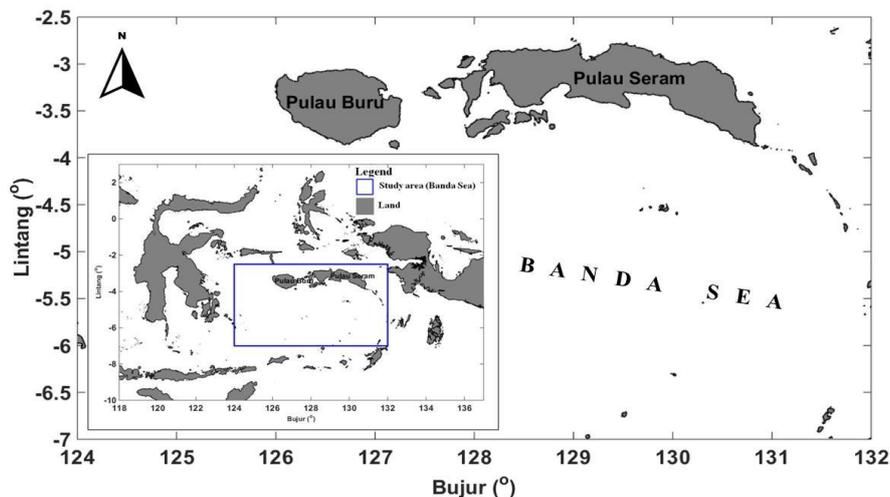
Provinsi Maluku dengan batas geografis 124° sampai 132° BT dan 7° LS sampai 2,5° LU (Gambar 1).

2.2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan analisis adalah data bulanan NPP dan Chl-a, periode data dari Januari 2003-Desember 2020. Data NPP diperoleh dari *Vertically Generalized Production Model* (VGPM), resolusi spasial 9 km dan data level 4. Sumber data NPP adalah <http://orca.science.oregonstate.edu/>. Data Chl-a bersumber dari satelit penginderaan jauh Aqua MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), resolusi spasial 4 km dan data level 3. Sumber data <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

2.3. Analisis Data

Konsentrasi Chl-a di permukaan laut dengan satuan mg/m^3 dapat dihitung dengan menggunakan algoritma hubungan empiris yang berasal dari data pengukuran *in situ* Chl-a dengan nilai reflektansi atau *remote sensing reflectances* (R_{rs}) pada panjang gelombang 440-670 nm. Algoritma ini dapat diterapkan untuk semua sensor satelit yang mendeteksi warna air laut atau *ocean color*. Implementasi saat ini untuk mengekstraksi Chl-a standar menggunakan algoritma berdasarkan perbandingan kanal yaitu



Gambar 1. Wilayah kajian penelitian di Laut Banda dan sekitarnya.

algoritma *OC3/OC4* disebut algoritma *OCx* (O'Reilly *et al.*, 1998) yang digabungkan dengan *color index (CI)* yang dikembangkan oleh Hu *et al.* (2012). Algoritma ini telah diterapkan pada citra MODIS dengan data masukan nilai reflektansi R_{rs} pada panjang gelombang antara 440-670 nm dan keluaran yang diperoleh nilai konsentrasi Chl-a dalam satuan mg/m^3 . Algoritma *CI* didasarkan pada perbedaan reflektansi tiga kanal yang menggunakan perbedaan antara R_{rs} di kanal hijau dan referensi yang dibentuk secara linier antara R_{rs} di kanal biru dan merah. Rumus untuk perhitungan *CI* dinyatakan dalam persamaan (1).

$$CI = \frac{R_{rs}(\lambda_{hijau}) - [R_{rs}(\lambda_{blue}) + (\lambda_{green} - \lambda_{blue}) / (\lambda_{red} - \lambda_{blue}) * (R_{rs}(\lambda_{red}) - R_{rs}(\lambda_{blue}))]}{\dots\dots\dots} \quad (1)$$

λ_{blue} , λ_{green} dan λ_{red} adalah panjang gelombang spesifik instrumen yang masing-masing paling dekat dengan 443, 555 dan 670 nm. Algoritma *OCx* adalah hubungan polinomial orde empat antara rasio R_{rs} dan Chl-a ditampilkan pada persamaan (2).

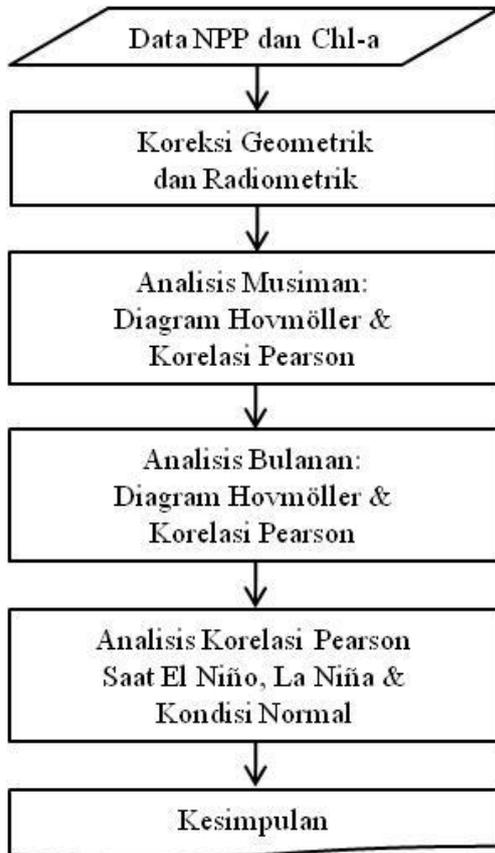
$$\log_{10}(Chl - a) = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i \left(\log_{10} \left(\frac{R_{rs}(\lambda_{blue})}{R_{rs}(\lambda_{green})} \right) \right)^i \dots\dots\dots \quad (2)$$

Analisis data dilakukan berdasarkan waktu musiman dan bulanan. Menurut hasil penelitian Eko (2013), secara temporal musim di Indonesia terdiri dari musim basah pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF), masa peralihan I (MP I) bulan Maret-April-Mei (MAM), musim kering bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dan masa peralihan II (MP II) bulan September-Oktober-November (SON). Metode analisis data yang digunakan adalah perata-rataan data musiman dan bulanan secara statistik, metode diagram *Hovmöller* dan analisis korelasi *Pearson*. Metode diagram *Hovmöller* berfungsi untuk memplot data temporal (harian, bulanan, musiman atau tahunan) dalam bentuk bidang

kartesian xy (Persson, 2017). Tujuan penerapan diagram *Hovmöller* untuk menganalisis variabilitas suatu parameter dalam rangka memperoleh karakteristik dari parameter tersebut secara temporal. Umumnya bentuk susunan data dalam diagram *Hovmöller* ada dua bentuk. Bentuk pertama, susunan bujur (x) terhadap waktu (y). Pada susunan ini dilakukan perata-rataan nilai parameter berdasarkan lintang untuk menganalisis variabilitas yang terjadi pada bujur secara temporal. Bentuk kedua, susunan waktu (x) terhadap lintang (y). Pada susunan ini dilakukan perata-rataan nilai parameter berdasarkan bujur untuk menganalisis variabilitas yang terjadi pada lintang secara temporal. Analisis korelasi antara NPP dan Chl-a dilakukan menggunakan metode korelasi *Pearson*. Koefisien korelasi (r) digunakan untuk menentukan kuat tidaknya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Nilai (r) memiliki interval dari -1 sampai 1 ($-1 \leq r \leq 1$). Variabel-variabel memiliki hubungan yang kuat jika nilai koefisien korelasinya lebih besar dari 0,5 atau lebih kecil dari -0,5. Koefisien korelasi yang positif bermakna peningkatan atau penurunan nilai variabel bebas diikuti oleh peningkatan atau penurunan nilai variabel terikat. Sedangkan koefisien korelasi yang negative, berarti peningkatan nilai variabel bebas diikuti oleh penurunan nilai variabel terikat dan penurunan nilai variabel bebas diikuti peningkatan variabel terikat. Rumus untuk menentukan korelasi (r) antara variabel bebas x (Chl-a) terhadap variabel terikat y (NPP) ditampilkan pada persamaan (3) dengan n banyaknya data yang digunakan (Budiwati *et al.*, 2010). Rumus ini disebut juga koefisien korelasi *Pearson* (*Pearson's product moment coefficient of correlation*).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots \quad (3)$$

Diagram alir yang digunakan dalam melaksanakan penelitian agar diperoleh hasil riset yang optimal seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian untuk menganalisis karakteristik NPP dan Chl-a.

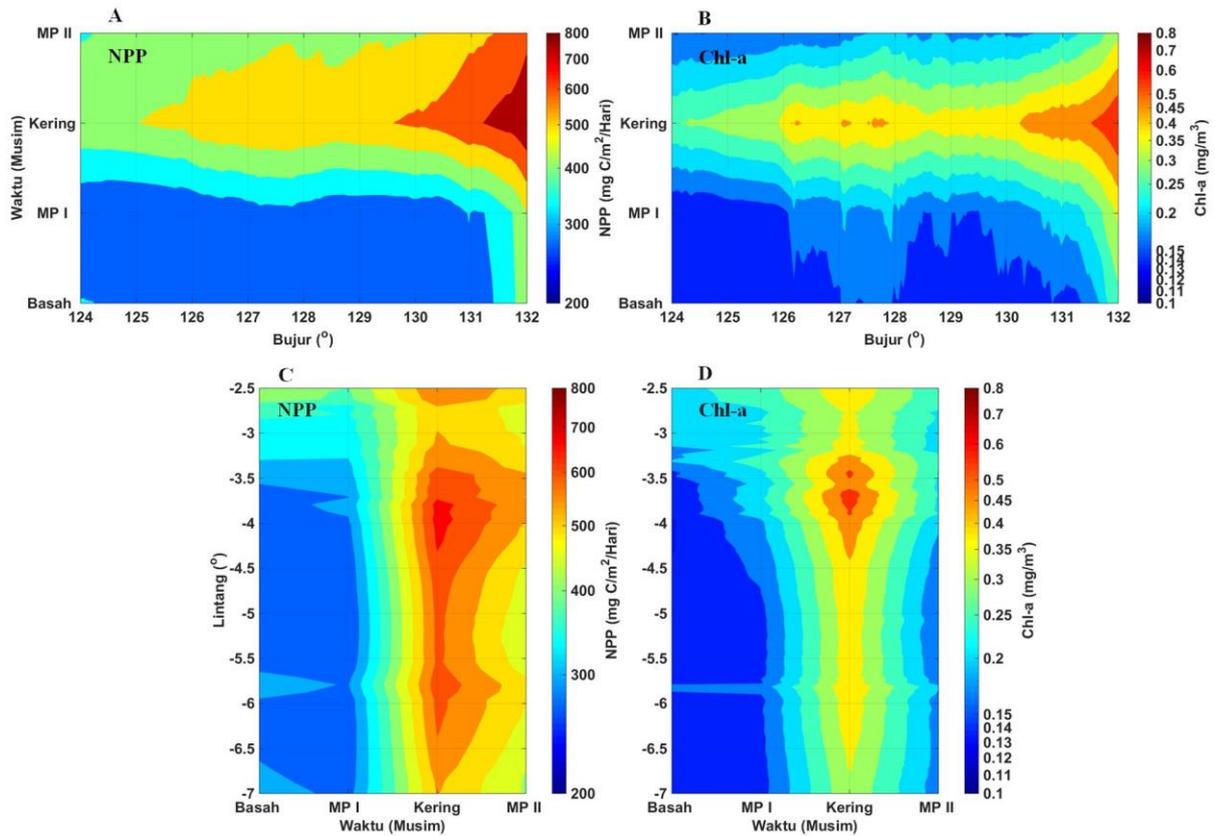
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis NPP dan Chl-a Musiman

Telah dilakukan pengolahan data NPP dan Chl-a menggunakan diagram Hovmöller, diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 3. Nilai konsentrasi NPP berkisar antara 250-700 mg C/m²/hari dan konsentrasi Chl-a berada dalam rentang 0,1-0,5 mg/m³. Sebaran NPP dan Chl-a membentuk pola yang hampir sama, berdasarkan tampilan bujur terhadap waktu (Gambar 3, A & B). Konsentrasi yang rendah terjadi pada saat musim basah dan MP I. Konsentrasi yang tinggi terjadi saat musim kering dengan

konsentrasi tertinggi terdapat pada bagian timur lokasi kajian. Sebaran NPP dan Chl-a berdasarkan lintang terhadap waktu (Gambar 3, C & D), pola sebaran secara temporal hampir sama dengan pola sebaran pada bujur terhadap waktu. Konsentrasi NPP dan Chl-a yang rendah terjadi pada musim basah dan MP I. Konsentrasi yang tinggi terjadi pada musim kering dengan konsentrasi tertinggi terdapat di bagian utara lokasi kajian. Hasil secara keseluruhan menggambarkan bahwa musim di Indonesia mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap variabilitas konsentrasi NPP dan Chl-a. Musim kering menyebabkan konsentrasi NPP dan Chl-a meningkat secara signifikan. Musim basah dan MP I menyebabkan penurunan konsentrasi NPP dan Chl-a. Pada MP II terdapat perbedaan karakteristik NPP dibandingkan Chl-a berdasarkan sebaran pada bujur maupun lintang. Konsentrasi NPP masih tinggi atau lebih lambat mengalami penurunan dibandingkan penurunan pada Chl-a yang sudah tampak pada akhir MP II. Kajian secara detail terkait lambatnya penurunan konsentrasi NPP dibandingkan Chl-a, selanjutnya dilakukan analisis profil data NPP dan Chl-a berdasarkan variasi bujur dan lintang (Gambar 4).

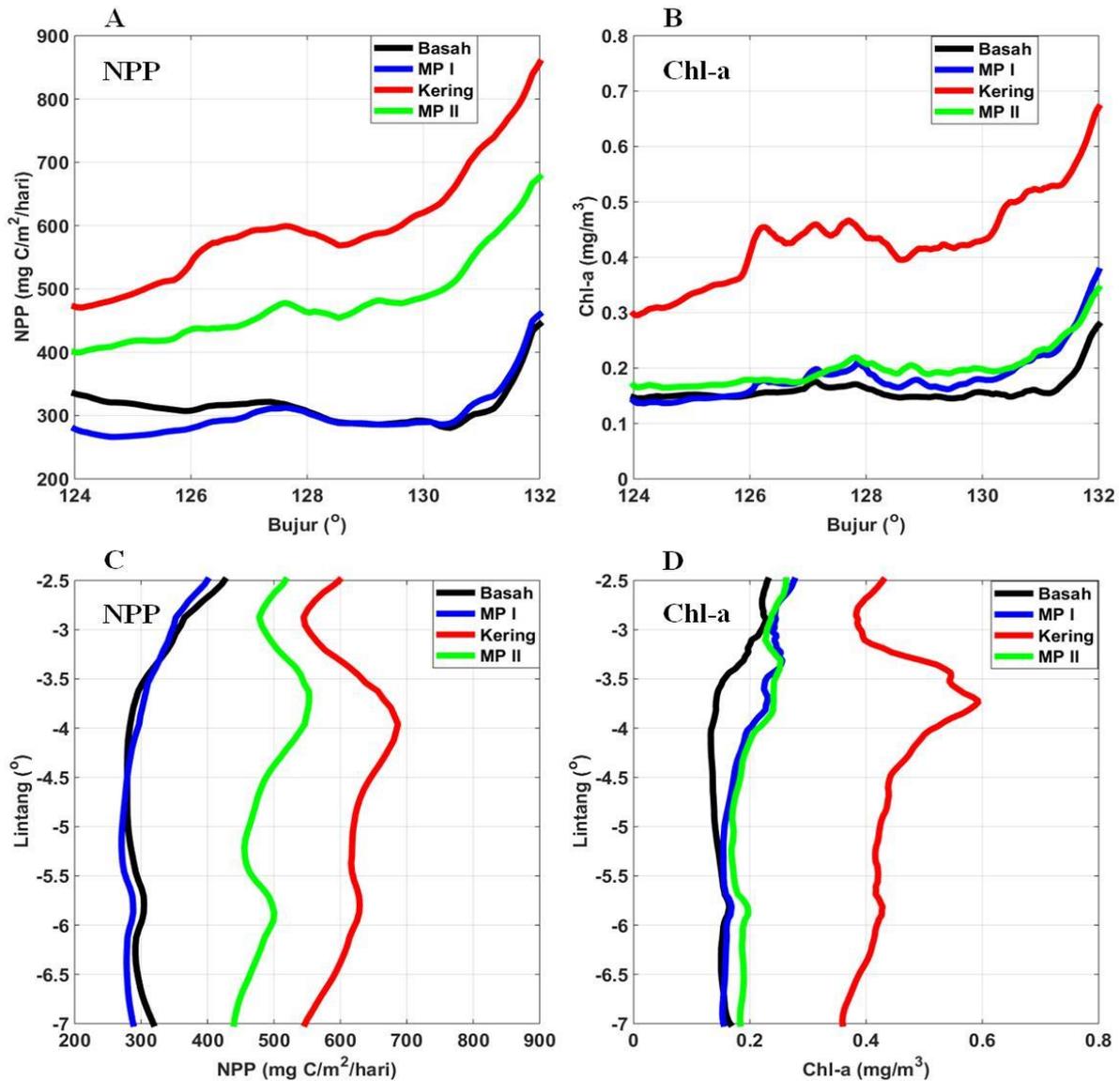
Profil konsentrasi NPP dan Chl-a musiman berdasarkan lintang dan bujur (Gambar 4), hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa Chl-a mempunyai konsentrasi yang hampir sama saat MP II, MP I dan musim basah (garis warna hijau, biru, hitam) (Gambar 4, B & D). Nilai konsentrasi Chl-a berkisar antara 0,15 sampai 0,3 mg/m³; sedangkan konsentrasi NPP pada MP II jauh lebih tinggi dibandingkan saat musim basah dan MP I (garis warna hijau) (Gambar 4, A & C). Konsentrasinya mencapai 400 sampai 700 mg C/m²/hari, sedangkan pada musim basah dan MP I konsentrasi NPP berkisar antara 300 sampai 400 mg C/m²/hari. Profil musiman menunjukkan setelah konsentrasi NPP dan Chl-a mencapai puncaknya pada musim kering, NPP lebih lambat mengalami



Gambar 3. Sebaran rerata musiman dari NPP dan Chl-a berdasarkan tampilan bujur terhadap waktu (A) NPP (B) Chl-a dan tampilan waktu terhadap lintang (C) NPP (D) Chl-a.

penurunan dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada Chl-a. Hal ini menggambarkan bahwa penurunan konsentrasi NPP diduga tidak hanya dipengaruhi oleh penurunan konsentrasi Chl-a, tetapi kemungkinan besar ada faktor-faktor lain yang berpengaruh dalam memperlambat penurunan konsentrasi NPP. Secara temporal karakteristik NPP dan Chl-a, pada musim basah dan MP I konsentrasinya rendah dan saat musim kering konsentrasinya tinggi. Saat MP II, NPP dan Chl-a mengalami penurunan konsentrasi tetapi NPP lebih lambat penurunannya. Musim basah mempunyai pengaruh yang kuat dalam menurunkan konsentrasi NPP dan Chl-a dan musim kering berpengaruh kuat dalam meningkatkan konsentrasi kedua parameter tersebut. Umumnya saat musim kering, suhu permukaan laut bagian atas lebih rendah dibandingkan lapisan di bawahnya sehingga

memicu terjadinya fenomena *upwelling*. Fenomena tersebut mengakibatkan meningkatnya konsentrasi NPP dan Chl-a pada permukaan laut. Sedangkan pada musim basah, suhu permukaan laut di bagian atas lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Kondisi ini mengakibatkan fenomena *upwelling* intensitasnya berkurang dan curah hujan yang terjadi mengakibatkan konsentrasi NPP dan Chl-a mengalami penurunan. Menurut Tapilatu (2016), terjadi kelimpahan fitoplankton sebanyak tiga kali lipat di bagian timur Laut Banda pada bulan Agustus (bagian musim kering) dibandingkan pada bulan Februari (bagian musim basah). Bulan Agustus terjadi *upwelling* secara dominan dan bulan Februari didominasi oleh kejadian *downwelling*. Sebaran NPP dan Chl-a berdasarkan bujur, konsentrasi yang tinggi terdapat pada posisi 130°-132° bujur timur atau bagian timur

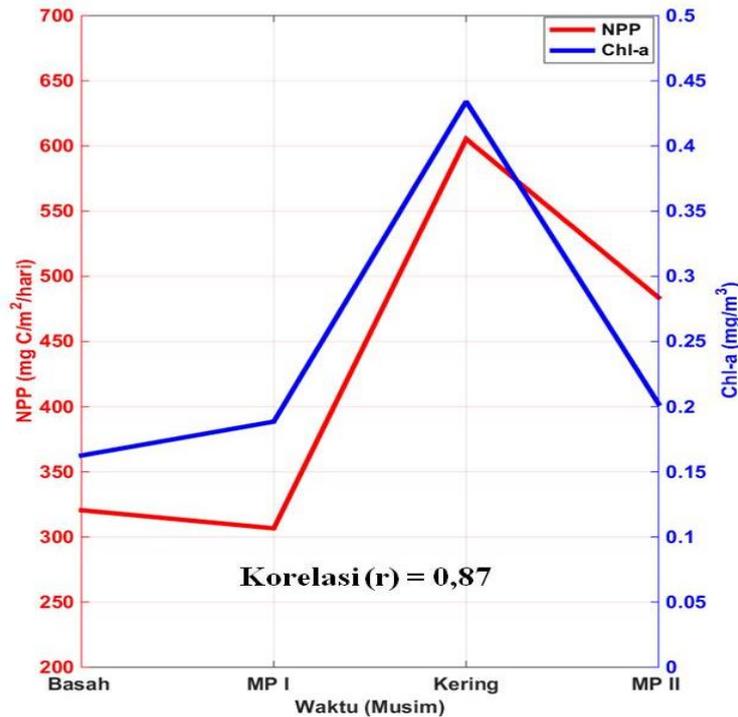


Gambar 4. Profil NPP dan Chl-a musiman berdasarkan tampilan bujur (A) NPP (B) Chl-a dan tampilan lintang (C) NPP (D) Chl-a.

lokasi kajian. Sebaran berdasarkan lintang, konsentrasi NPP dan Chl-a yang tinggi di bagian utara lokasi kajian. Sebaran NPP dan Chl-a pada dasarnya terkonsentrasi pada pesisir pulau-pulau Kepulauan Maluku.

Hasil pengolahan data diperoleh deret waktu konsentrasi NPP dan Chl-a serta koefisien korelasi *Pearson* (Gambar 5). Dari deret waktu tampak bahwa pola atau kecenderungan NPP dan Chl-a secara temporal hampir sama. Dari musim basah ke MP I, NPP mengalami sedikit penurunan dan

Chl-a mengalami peningkatan. Dari MP I menuju musim kering, konsentrasi NPP dan Chl-a mengalami peningkatan secara signifikan dan mencapai puncaknya pada musim kering. Peningkatan konsentrasi NPP di Laut Banda disebabkan oleh proses *upwelling* yang dipicu oleh kondisi angin maksimum pada musim kering tersebut (Kemili & Putri, 2012). Puncak kejadian *upwelling* di Laut Banda terjadi pada bulan Agustus, mengakibatkan konsentrasi Chl-a meningkat dan suhu permukaan laut menurun



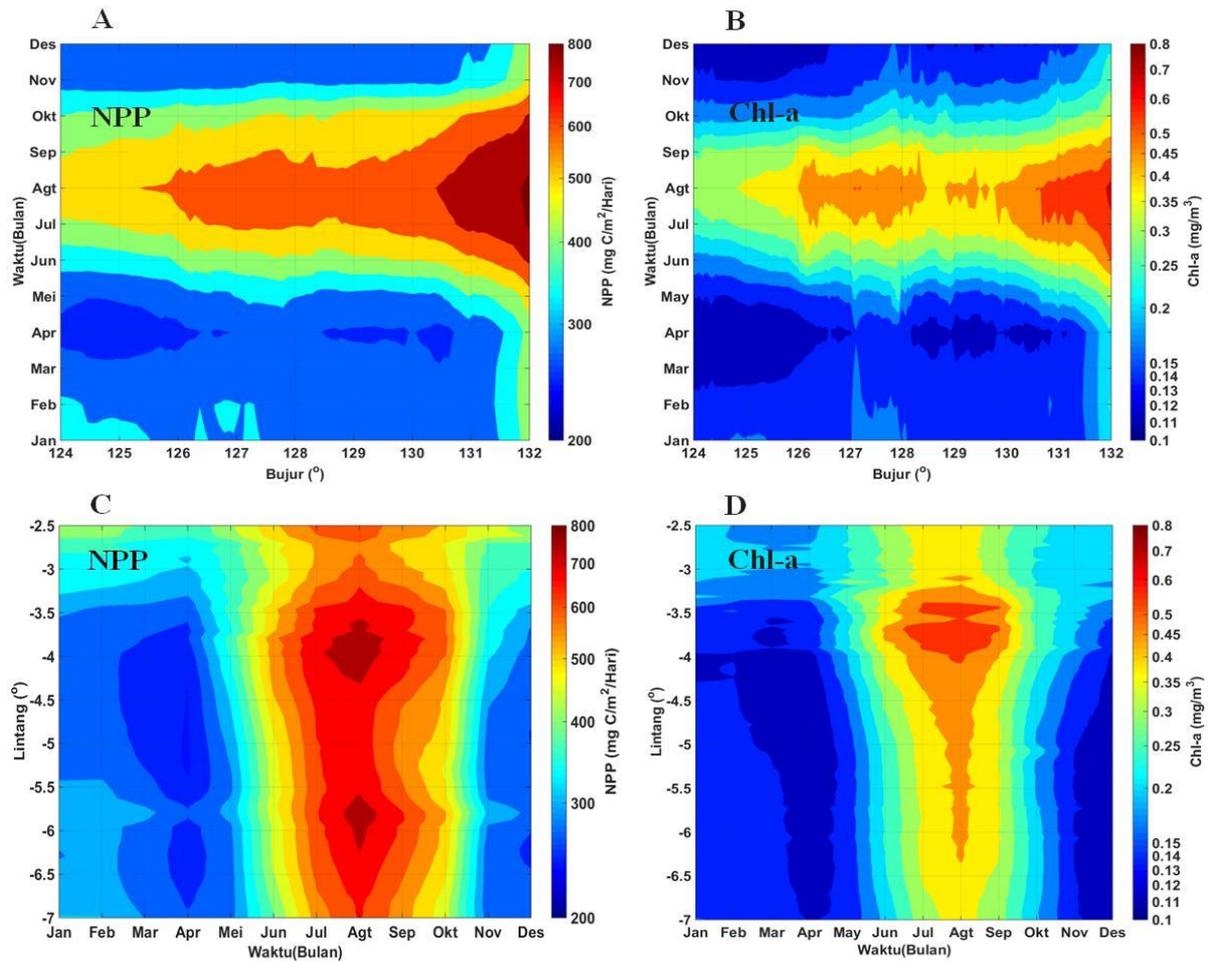
Gambar 5. Deret waktu NPP and Chl-a musiman dan korelasinya.

(Trisianto *et al.*, 2021). Dari musim kering menuju MP II, konsentrasi NPP dan Chl-a menurun secara signifikan. Pola yang terdapat pada deret waktu NPP dan Chl-a memperlihatkan bahwa musim di Indonesia mempunyai pengaruh yang kuat terhadap perubahan atau variabilitas konsentrasi NPP dan Chl-a di perairan Laut Banda dan sekitarnya.

3.2. Analisis NPP dan Chl-a Bulanan

Metode diagram *Hovmöller* digunakan untuk menganalisis karakteristik NPP dan Chl-a (Nieto & Mélin, 2016). Gambar 6 menunjukkan bahwa konsentrasi NPP berkisar antara 250-700 mg C/m²/hari dengan nilai rata-rata 429 mg C/m²/hari. Chl-a mempunyai konsentrasi dari 0,1-0,5 mg/m³ dengan rata-rata 0,24 mg/m³. Sebaran NPP dan Chl-a berdasarkan bujur terhadap waktu dan waktu terhadap lintang, konsentrasi terendah terjadi pada bulan April dan Desember dan konsentrasi tertinggi pada bulan Agustus. Gambar 6 (A & B) menunjukkan bahwa konsentrasi NPP dan Chl-a lebih tinggi di bagian timur wilayah

kajian. Gambar 6 (C & D) memperlihatkan bahwa konsentrasi NPP dan Chl-a lebih tinggi di bagian pesisir dibandingkan laut lepas yaitu posisi 4° lintang selatan (pesisir selatan Pulau Buru dan Pulau Seram). Hal ini disebabkan oleh pengaruh tingginya suplai nutrien yang bersumber dari daratan. NPP dan Chl-a memiliki kecenderungan yang hampir sama yaitu mengalami peningkatan atau penurunan yang saling bersesuaian secara temporal dan mencapai konsentrasi yang tinggi pada bulan Juni, Juli dan Agustus. Sedangkan bulan Januari-April dan November-Desember, konsentrasinya lebih rendah. Peningkatan nilai konsentrasi NPP dan Chl-a yang terjadi pada bulan Juni-Agustus kemungkinan pengaruh dari musim kering yang terjadi pada bulan-bulan tersebut. Musim kering mempunyai potensi yang kuat dalam meningkatkan kejadian *upwelling* sehingga unsur-unsur hara naik ke permukaan laut menyebabkan tingkat kesuburan perairan meningkat. Maret-April yang merupakan bagian dari MP I dengan konsentrasi masih relatif rendah akibat dampak dari musim basah sebelumnya,

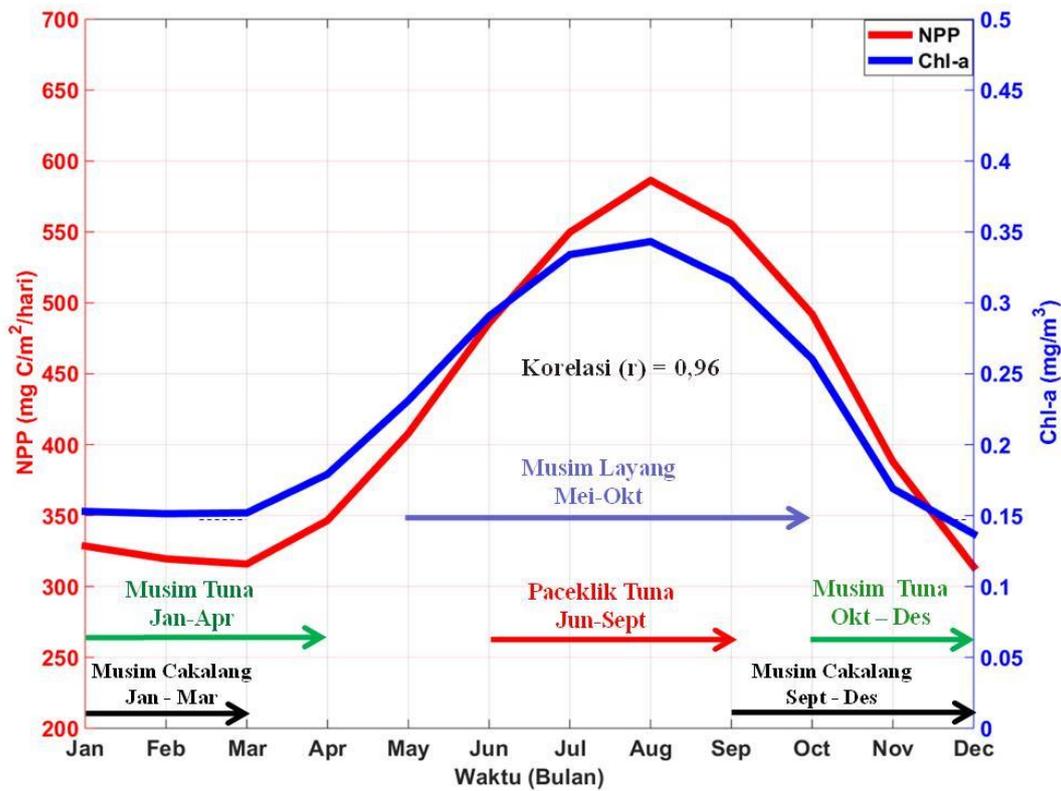


Gambar 6. Sebaran rerata bulanan dari NPP dan Chl-a berdasarkan tampilan bujur terhadap waktu (A) NPP (B) Chl-a dan tampilan waktu terhadap lintang (C) NPP (D) Chl-a.

sedangkan bulan Mei sudah mengalami peningkatan karena akan memasuki musim kering. Pada MP II, bulan September konsentrasi masih tinggi akibat dampak dari musim kering sebelumnya dan Oktober-November menurun karena akan memasuki musim basah.

Tumpang susun deret waktu sebaran NPP dan Chl-a dengan musim ikan cakalang, tuna dan layang di perairan Laut Banda dan sekitarnya disajikan pada (Gambar 7). Nilai konsentrasi NPP sekitar 300-600 mg C/m²/hari dan Chl-a antara 0,1-0,35 mg/m³. Berdasarkan hasil tersebut perairan Laut Banda merupakan area mesotrofik. Perairan mesotrofik memiliki parameter oseanografi yang dominan dalam memengaruhi keberadaan gerombolan ikan (Suhadha &

Asriningrum, 2020). Secara temporal dari Januari-Maret konsentrasi NPP dan Chl-a relatif stabil. Bulan April-Juli terjadi peningkatan konsentrasi dan mencapai puncaknya bulan Agustus. Bulan September-Desember terjadi penurunan konsentrasi secara signifikan. Konsentrasi terendah terjadi pada bulan Desember. Pada umumnya konsentrasi yang rendah terjadi pada waktu atau bulan yang merupakan bagian dari musim basah dan konsentrasi yang tinggi terjadi pada bulan bagian dari musim kering. Masa peningkatan konsentrasi terjadi pada bulan bagian dari MP I dan masa penurunan bagian dari MP II. Peningkatan dan penurunan konsentrasi NPP dan Chl-a terjadi secara periodik di perairan Laut Banda. Variabilitas konsentrasi tersebut diduga terjadi akibat pengaruh dari perbedaan musim. Analisis korelasi antara NPP dan Chl-a mempunyai



Gambar 7. Deret waktu NPP dan Chl-a bulanan tumpang susun dengan musim ikan pelagis (cakalang, tuna dan layang) di Laut Banda.

koefisien korelasi yang sangat tinggi yaitu +0,96. Hasil tersebut menunjukkan bahwa NPP dan Chl-a memiliki hubungan yang sangat kuat. NPP dan Chl-a memiliki pola atau kecenderungan yang hampir sama dari awal sampai akhir tahun. Peningkatan atau penurunan konsentrasi NPP bersesuaian dengan peningkatan atau penurunan Chl-a secara temporal. Selanjutnya dilakukan analisis deret waktu NPP dan Chl-a dikaitkan dengan musim ikan pelagis di Laut Banda yang bersumber dari tiga hasil penelitian yang pernah dilakukan (Waileruny *et al.*, 2014; Hamka & Rais, 2016; Haruna *et al.*, 2019). Ikan pelagis yang diteliti yaitu cakalang dan tuna sebagai representasi pelagis besar dan ikan layang sebagai representasi pelagis kecil. Menurut hasil penelitian Waileruny *et al.* (2014) bahwa perairan Laut Banda dan sekitarnya merupakan daerah penangkapan ikan cakalang di Provinsi Maluku. Musim ikan

cakalang berlangsung selama tujuh bulan dari bulan September-Maret. Berdasarkan hasil tangkapan nelayan, musim ikan tuna berlangsung dari bulan Oktober-April dan paceklik tuna terjadi bulan Juni-September (Haruna *et al.*, 2019). Musim ikan layang di Laut Banda terjadi selama enam bulan mulai dari bulan Mei-Oktober (Hamka & Rais, 2016). Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa musim ikan cakalang dan tuna terjadi pada musim basah dan MP II. Masa paceklik tuna terjadi pada musim kering. Musim ikan layang dominan terjadi pada musim kering. Musim ikan cakalang dan tuna terjadi pada saat konsentrasi NPP dan Chl-a rendah atau sedang mengalami penurunan. Ikan cakalang dan tuna sebagai pelagis besar merupakan ikan karnivora, sumber makanannya adalah ikan pelagis kecil (Restiangsih & Amri, 2018). Musim ikan layang terjadi saat konsentrasi NPP dan Chl-a tinggi, Kesuburan perairan yang tinggi berdasarkan parameter

NPP dan Chl-a bersesuaian secara temporal dengan musim ikan layang. Setelah kesuburan perairan mencapai puncaknya, selanjutnya berlangsung musim ikan cakalang dan tuna di perairan Laut Banda dan sekitarnya.

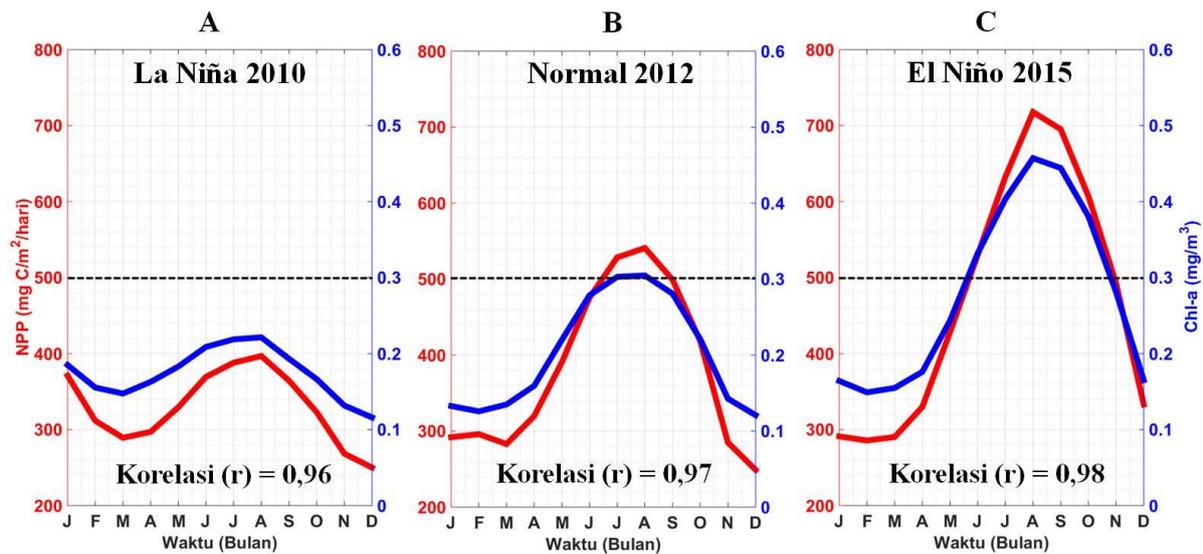
3.3. Analisis Korelasi NPP dan Chl-a Musiman dan Bulanan

Hasil analisis korelasi diperoleh nilai koefisien korelasi antara parameter NPP dan Chl-a koefisiennya sebesar +0,87 untuk musiman (Gambar 5), sedangkan nilai koefisien korelasi bulanan antara NPP dan Chl-a sebesar +0,96 (Gambar 7). Nilai koefisien korelasi musiman dan bulanan semuanya bernilai positif. Hal tersebut menggambarkan bahwa parameter NPP dan Chl-a memiliki tren atau kecenderungan dengan arah yang sama (positif). Peningkatan konsentrasi NPP berbanding lurus dengan peningkatan konsentrasi Chl-a dan penurunan konsentrasi NPP berbanding lurus dengan penurunan konsentrasi Chl-a. Pola perubahan konsentrasi NPP berbanding lurus dengan pola perubahan konsentrasi Chl-a. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa koefisien korelasi antara NPP dan Chl-a nilainya sangat tinggi, kedua parameter memiliki hubungan yang sangat kuat. NPP dan Chl-a memiliki pola atau kecenderungan yang hampir sama dari awal sampai akhir tahun. Peningkatan atau penurunan konsentrasi NPP bersesuaian secara temporal dengan peningkatan atau penurunan konsentrasi Chl-a. Hasil yang diperoleh hampir sama dengan hasil penelitian dari Merina & Zakaria (2016), bahwa semakin tinggi konsentrasi Chl-a maka konsentrasi NPP akan semakin meningkat dan sebaliknya.

3.4. Analisis NPP dan Chl-a Saat Terjadi Fenomena La Niña dan El Niño

Menurut Atmadipoera *et al.* (2020), 2010 adalah tahun kejadian La Niña dan 2015 adalah tahun kejadian El Niño,

sedangkan 2012 adalah tahun normal tanpa kejadian La Niña dan El Niño. Analisis deret waktu NPP dan Chl-a saat terjadi fenomena iklim global La Niña 2010 dan El Niño 2015 digunakan sebagai pembandingan konsentrasi NPP dan Chl-a pada kondisi normal 2012 (Gambar 8). Saat La Niña 2010, konsentrasi NPP antara 300-400 mg C/m²/hari, kondisi normal 2012 sekitar 300-530 mg C/m²/hari dan saat El Niño 2015 konsentrasinya 300-720 mg C/m²/hari. Konsentrasi Chl-a pada La Niña 2010 berkisar 0,1-0,2 mg/m³, kondisi normal 2012 antara 0,1-0,3 mg/m³ dan pada kejadian El Niño 2015 dari 0,1-0,45 mg/m³. Hasil yang diuraikan menunjukkan konsentrasi NPP dan Chl-a mengalami penurunan yang signifikan saat La Niña 2010 terjadi pada bulan Juni-September atau dominan terjadi pada musim kering. Saat El Niño 2015 terjadi peningkatan konsentrasi NPP dan Chl-a pada bulan Juni-November atau saat musim kering dan MP II. Fenomena La Niña dan El Niño mempunyai peranan yang kuat dalam memengaruhi variabilitas konsentrasi NPP dan Chl-a. Fenomena El Niño mengakibatkan kejadian *upwelling* meningkat signifikan (Yoga *et al.*, 2014). Peningkatan tersebut potensial meningkatkan konsentrasi NPP dan Chl-a di permukaan laut. Saat fenomena La Niña kejadian *upwelling* menurun secara kuantitas dan magnitudo sehingga konsentrasi NPP dan Chl-a menurun secara signifikan. Hasil analisis korelasi menunjukkan parameter NPP dan Chl-a mempunyai nilai korelasi yang tinggi saat La Niña ($r = 0,96$), kondisi normal ($r = 0,97$) dan El Niño ($r = 0,98$). Nilai korelasi yang tinggi adalah indikator statistik bahwa NPP dan Chl-a mempunyai pola atau kecenderungan yang sama atau hampir sama secara temporal. Kedua parameter memiliki hubungan yang kuat secara linier. Penurunan atau peningkatan konsentrasi NPP bersesuaian waktunya dengan perubahan atau variabilitas yang terjadi dalam konsentrasi Chl-a. Menurut Hamka & Rais (2016) yang menggunakan data hasil tangkapan ikan layang dari tahun



Gambar 8. Deret waktu NPP and Chl-a bulanan saat (A) La Niña 2010 (B) Normal 2012 (C) El Niño 2015.

2008-2015 dalam penelitiannya mengatakan bahwa saat El Niño tahun 2015 hasil tangkapan ikan layang meningkat signifikan dibandingkan tahun 2010 saat terjadi La Niña dan tahun 2012 sebagai tahun normal. Berdasarkan data VMS (*Vessel Monitoring System*), jumlah kapal yang melakukan operasi penangkapan ikan tuna pada tahun 2015 (saat El Niño) menurun signifikan dibandingkan tahun normal 2016 (Syah *et al.*, 2020). Fenomena El Niño umumnya akan meningkatkan intensitas dan kekuatan *upwelling* yang mengakibatkan melimpahnya ikan pelagis kecil di perairan Indonesia, sedangkan La Niña mengakibatkan melimpahnya ikan tuna/pelagis besar akibat kolam air panas yang menjadi habitat ikan tuna bergeser memasuki wilayah perairan Indonesia.

IV. KESIMPULAN

Konsentrasi NPP dan Chl-a memiliki variabilitas secara temporal dan spasial. Faktor musim di Indonesia memengaruhi variabilitas NPP dan Chl-a. Saat musim kering, konsentrasi NPP dan Chl-a meningkat dan mencapai puncaknya. Saat musim basah, konsentrasinya menurun dan mencapai nilai

terendah. Umumnya konsentrasi NPP dan Chl-a yang tinggi terjadi di bagian utara dan timur lokasi kajian. Selain faktor musim, fenomena iklim global, yakni La Niña dan El Niño mempunyai pengaruh terhadap variabilitas NPP dan Chl-a di Laut Banda. NPP dan Chl-a memiliki hubungan linier yang kuat (korelasi tinggi) dan kecenderungan yang sama (positif). Peningkatan dan penurunan konsentrasi NPP dan Chl-a bersesuaian secara temporal. Konsentrasi NPP dan Chl-a yang tinggi berkaitan dengan musim ikan layang (pelagis kecil). Musim ikan cakalang dan tuna (pelagis besar) terjadi saat konsentrasi NPP dan Chl-a rendah atau mengalami penurunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. M. Rokhis Khomarudin dan Parwati Sofan, Ph.D., atas dukungan moril, materil dan saran-saran dalam melakukan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para reviewer dan semua pihak yang berkontribusi memberikan saran dan masukan dalam perbaikan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanti, N.L.N., I.G. Hendrawan, & Y. Suteja. 2019. Studi variabilitas produktivitas primer bersih serta hubungannya dengan El-Niño Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) di Laut Banda berdasarkan data satelit Aqua MODIS. *J. of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1): 64-76. <https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i01.p08>
- Atmadipoera, A.S., A.S. Jasmine, M. Purba, & A.R.T.D. Kuswardani. 2020. Upwelling characteristics in the southern Java Waters during strong La Niña 2010 and super El Niño 2015. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1): 257-276. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.28977>
- Bailey, M.J., J. Flores, S. Pokajam, & U.R. Sumaila. 2012. Towards better management of coral triangle tuna. *Ocean & Coastal Management*, 63: 30-42. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.010>
- Behrenfeld, M.J. & P.G. Falkowski. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*, 42(1): 1-20. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.1.001>
- Budiwati, T., A. Budiyo, W. Setyawati, & A. Indrawati. 2010. Analisis korelasi Pearson untuk unsur-unsur kimia air hujan di Bandung. *J. Sains Dirgantara*, 7(2): 100-112. http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_sains/article/view/1118/1006
- Eko, D.N. 2013. Karakteristik curah hujan abad 20 di Jakarta berdasarkan kejadian iklim global. *J. Meteorologi dan Geofisika*, 14(3): 139-147. <https://doi.org/10.31172/jmg.v14i3.165>
- Garini, B.N., J. Suprijanto, & I. Pratikto. 2021. Kandungan chl-a dan kelimpahan di perairan Kendal, Jawa Tengah. *J. of Marine Research*, 10(1): 102-108. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28655>
- Gunawan, E.A., A. Agussalim, & H. Surbakti. 2019. Pemetaan sebaran klorofil-a menggunakan citra satelit Landsat multi temporal di Teluk Lampung Provinsi Lampung. *J. Maspari*, 11(2): 49-58. <https://doi.org/10.36706/maspari.v11i2.9467>
- Hamka, E. & M. Rais. 2016. Penentuan musim penangkapan ikan layang (*Decapterus sp.*) di perairan timur Sulawesi Tenggara. *J. IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan*, 3(6): 510-517. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/ipteksp/article/view/3060>
- Harahap, M.A., V.P. Siregar, & S.B. Agus. 2019. Spatial and temporal pattern of pelagic fishing ground used oceanography data in West-Sumatera waters. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 11(2): 297-310. <http://doi.org/10.29244/jitkt.v11i2.22590>
- Haruna, J.B. Paillin, R.H.S. Tawari, A. Tupamahu, S.R. Siahainenia, & F.D. Silooy. 2019. Dinamika daerah penangkapan tuna madidihang (*Thunnus albacores*) di perairan Laut Banda. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XVI ISOI 2019. Ambon, 7-8 November 2019, 89-100 pp. <https://www.researchgate.net/publication/342437612>
- Hu, C., Z. Lee, & B. Franz. 2012. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band

- reflectance difference. *J. of Geophysical Research*, 117(C1): C01011.
<https://doi.org/10.1029/2011jc007395>
- Kemili, P. & M.R. Putri. 2012. Pengaruh durasi dan intensitas *upwelling* berdasarkan anomali suhu permukaan laut terhadap variabilitas produktivitas primer di perairan Indonesia. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(1): 66-79.
<https://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt/article/view/7807>
- Lee, Z., J. Marra, M.J. Perry, & M. Kahru. 2014. Estimating oceanic primary productivity from ocean color remote sensing: A strategic assesment. *J. of Marine Systems*, 149: 50-59.
<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.11.015>
- Marpaung, S., R. Faristyawan, A.D. Purwanto, W. Asriningrum, A.G. Suhadha, T. Prayogo, & J. Sitorus. 2020. Analysis of water productivity in the Banda Sea based on remote sensing satellite data. *International J. of Remote Sensing and Earth Sciences*, 17(1): 25-34.
<https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3280>
- Menteri Kelautan dan Perikanan. 2015. Larangan penangkapan ikan di wilayah pengelolaan perikanan Republik Indonesia 714. Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 4 Tahun 2015. Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). Jakarta. 4 p.
<http://jdih.kkp.go.id/peraturan/4-permen-kp-2015-ttg.pdf>
- Merina, G. & I.J. Zakaria. 2016. Produktivitas primer fitoplankton dan analisis fisika kimia di perairan laut pesisir barat Sumatera Barat. *Metamorfosa J. of Biological Sciences*, 3(2): 112-119.
<https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2016.v03.i02.p08>
- Nababan, B. & K. Simamora. 2012. Variabilitas konsentrasi chl-a dan suhu permukaan laut di Perairan Natuna. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(1): 121-134.
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v4i1.7815>
- Nieto, K. & F. Mélin. 2016. Variability of chlorophyll-a concentration in the Gulf of Guinea and its relation to physical oceanographic variables. *Progress in Oceanography*, 151: 97-115.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.11.009>
- Nuzapril, M., S.B. Susilo, & J.P. Panjaitan. 2017. Relationship between chlorophyll-a concentration with primary productivity rate using Landsat 8 imagery. *J. Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 8(1): 105-114.
<https://doi.org/10.24319/jtpk.8.105-114>
- O'Reilly, J.E., S. Maritorena, B.G. Mitchell, D.A. Siegel, K.L. Carder, S.A. Garver, M. Kahru, & C.R. McClain. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, *J. of Geophysical Research*, 103: 24937-24953.
<https://doi.org/10.1029/98JC02160>
- Pailin, J.B., D.D.P. Matruty, S.R. Siahainenia, R.H.S. Tawari, Haruna, & P. Talahatu. 2020. Daerah penangkapan potensial tuna madidihang *Thunnus albacares*, Bonnaterre, 1788 (Teleostei: Scombridae) di Laut Seram. *J. Kelautan Tropis*, 23(2): 207-216.
<https://doi.org/10.14710/jkt.v23i2.7073>
- Persson, A. 2017. The story of Hovmöller diagram. *American Meteorological Society*, 98(5): 949-957.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00234.1>

- Prayoga, I.M.S., I.D.N.N. Putra, & I.G.N.P. Dirgayusa. 2017. Pengaruh sebaran konsentrasi chl-a berdasarkan citra satelit terhadap hasil tangkapan ikan tongkol (*Euthynnus* sp.) di Perairan Selat Bali. *J. of Maritime and Aquatic Science*, 3(1): 30-46. <https://doi.org/10.24843/jmas.2017.v3.i01.30-46>
- Restiangsih, Y.H. & K. Amri. 2018. Aspek biologi dan kebiasaan makanan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Laut Flores dan sekitarnya. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap*, 10(3): 187-196. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/bawal/article/view/6347>
- Sihombing, R.F, R. Aryawati, & Hartoni. 2013. Kandungan klorofil-a fitoplanton di sekitar perairan Desa Sungsang Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *J. Maspari*, 5(1): 33-39. <https://doi.org/10.36706/maspari.v5i1.1295>
- Suhadha, A.G. & W. Asriningrum. 2020. Potential fishing zones estimation based on approach of area matching between thermal front and mesotrophic area. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2): 565-581. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28305>
- Syah, A.F., J.L. Gaol, M. Zainuddin, N.R. Apriliya, D. Berlianty, & D. Mahabrur. 2020. Detection of potential fishing zones of bigeye tuna (*Tunnus obesus*) at profundity of 155 m in the eastern Indian Ocean. *Indonesian J. of Geography*, 52(1): 29-35. <https://doi.org/10.22146/ijg.43708>
- Tapilatu, Y.H. 2016. Profil oseanografi biologi Laut Banda: Sebuah tinjauan kritis. *J. Omni Akuatika*, 12(2): 58-66. <http://ojs.omniakuatika.net/index.php/joa/article/download/100/51>
- Trisianto, G., S.Y. Wulandari, A.A.D. Suryoputro, G. Handoyo, & M. Zainuri. 2021. Studi variabilitas upwelling di Laut Banda. *Indonesian J. of Oceanography*, 3(1): 25-35. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9764>
- Waileruny, W., E.S. Wiyono, S.H. Wisudo, A. Purbayanto, & T.W. Nurani. 2014. Musim dan daerah penangkapan ikan cakalang di Laut Banda dan sekitarnya Provinsi Maluku. *J. Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 5(1): 41-54. <https://doi.org/10.24319/jtpk.5.41-54>
- Winarso, G. & Y. Marini. 2014. MODIS standard (OC3) chlorophyll-a algorithm evaluation in Indonesian Seas. *International J. of Remote Sensing and Earth Sciences*, 11(1): 11-20. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2014.v11.a2597>
- Yoga, R.B.B., H. Setyono, & G. Harsono. 2014. Dinamika upwelling dan downwelling berdasarkan variabilitas suhu permukaan laut dan klorofil-a di perairan selatan Jawa. *J. of Oceanography*, 3(1): 57-66. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/4704>

Submitted : 29 July 2021
 Reviewed : 29 November 2021
 Accepted : 28 March 2022

FIGURE AND TABLE TITLES

- Figure 1. The study area of research in the Banda Sea and its surroundings.
 Figure 2. Flowchart of research to analysis NPP and Chl-a characteristics.

- Figure 3. Distribution of seasonally average of NPP and Chl-a based on longitude versus time (A) NPP (B) Chl-a and time versus latitude (C) NPP (D) Chl-a.*
- Figure 4. The profile of seasonal NPP and Chl-a based on longitude (A) NPP (B) Chl-a and based on latitude (C) NPP (D) Chl-a.*
- Figure 5. Seasonal NPP and Chl-a time series and its correlation.*
- Figure 6. Distribution of monthly average of NPP and Chl-a based on longitude versus time (A) NPP (B) Chl-a and time versus latitude (C) NPP (D) Chl-a.*
- Figure 7. Time series of monthly NPP and Chl-a overlay with pelagic fish seasons (skipjack, tuna and flying) in the Banda Sea.*
- Figure 8. Time series of monthly NPP and Chl-a during (A) La Niña 2010 (B) Normal 2012 (C) El Niño 2015.*