

**KEDALAMAN KONSENTRASI KLOOROFIL MAKSIMUM
PERAIRAN SELATAN MALUKU BARAT DAYA DAN SEKITARNYA**
**DEPTH CHLOROPHYLL MAXIMUM IN THE SOUTHERN WATERS OF
SOUTHWEST MALUKU AND SURROUNDING AREAS**

Simon Tubalawony^{1*}, Matheos D. Sahuleka¹, Juliana W Tuahatu¹, Degen E. Kalay¹

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura
Jln. Mr. Chr. Soplanit, Kampus Poka, Kota Ambon, Telp. (0911) 3825060
e-mail: simontubalawony003@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kedalaman klorofil maksimum pada perairan selatan Maluku Barat Daya dan Sekitarnya. Penelitian dilakukan dengan menganalisa data hasil Ekspedisi ATSEA pada bulan Mei 2010. Data suhu, salinitas, oksigen dan klorofil perairan diamati dengan menggunakan CTD tipe SBE911+ pada lima stasiun pengamatan untuk setiap kedalaman hingga 500 m. Data dianalisis untuk mengkaji Pola sebaran vertikal dan melintang suhu, salinitas, oksigen dan klorofil, stratifikasi massa air, kedalaman klorofil maksimum dengan menggunakan perangkat lunak ODV versi 4 dan Microsoft Office Excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batas atas lapisan termoklin perairan berada pada kedalaman 44-60 m dan batas bawah lapisan termoklin pada kedalaman 325-409 m dengan ketebalan lapisan termoklin berkisar antara 267-352 m. Klorofil maksimum berada pada kedalaman 50-68 m yang berkisar antara 0,47-0,81 mg/m³ dengan rerata 0,59±0,13 mg/m³. Kedalaman klorofil maksimum dicirikan dengan suhu perairan 27,10-28,50 °C, salinitas 23,09-34,27 psu, dan konsentrasi oksigen 3,68-5,68 mg/l. Dengan demikian kedalaman klorofil maksimum berada pada bagian atas lapisan termoklin yakni beberapa meter di bawah batas atas lapisan termoklin.

Kata Kunci: kedalaman klorofil maksimum, lapisan tercampur, oksigen, gradien suhu. termoklin

ABSTRACT

This research was conducted to assess the depth chlorophyll maximum in the southern waters of Southwest Maluku and surrounding areas based on the data of ATSEA Expedition in May 2010. Data on temperature, salinity, oxygen and chlorophyll waters were observed using CTD type SBE911+ at five observation stations for each depth of up to 500 m. Data were analyzed to examine the vertical distribution patterns of temperature, salinity, oxygen and chlorophyll, water mass stratification, depth chlorophyll maximum using ODV version 4 and Microsoft Office Excel 2010 software. The results showed that the upper boundary of the thermocline layer was at a depth of 44-60 m and the lower limit of the thermocline layer at a depth of 325-409 m with a thickness of the thermocline layer ranging from 267-352 m. The maximum chlorophyll was at a depth of 50-68 m which ranges from 0.47 to 0.81 mg/m³ with an average of 0.59±0.13 mg/m³. The depth chlorophyll maximum was characterized by water temperatures of 27.10-28.50 °C, salinity of 23.09-34.27 psu, and oxygen concentration of 3.68-5.68 mg/l. Thus the depth chlorophyll maximum was at the top of the thermocline layer, a few meters below the upper limit of the thermocline layer.

Keywords: depth chlorophyll maximum, mixed layer, oxygen, temperature gradient. thermocline

PENDAHULUAN

Kedalaman klorofil maksimum adalah suatu kedalaman di dimana konsentrasi klorofil dalam kondisi maksimum. Letak kedalaman klorofil maksimum tergantung pada ketersediaan cahaya matahari dan nutrien. Ketersediaan cahaya matahari di dalam kolom perairan menentukan kedalaman maksimum distribusi organisme. Organisme sangat tergantung kepada cahaya matahari. Migrasi dan periode perkembangbiakan sangat ditentukan oleh perubahan periode cahaya. Laju pertumbuhan maksimum fitoplankton akan mengalami penurunan bila perairan berada pada kondisi ketersediaan cahaya yang rendah (Heyman dan Lundgren, 1988). Ketersediaan cahaya hingga kedalaman tertentu dalam perairan tergantung

pada material-material terlarut serta penghamburan oleh partikel-partikel tersuspensi (Lalli dan Parsons, 1997).

Kedalaman konsentrasi klorofil maksimum juga berkaitan dengan lapisan nutriklin. Lapisan nutriklin adalah lapisan dimana gradien nutrisi meningkat secara tajam dengan bertambahnya kedalaman. Kedalaman konsentrasi klorofil maksimum umumnya berada pada kedalaman yang sama dengan lapisan nutriklin (Estrada *et al* 1993). Keberadaan lapisan nutriklin juga sangat tergantung dari stratifikasi suhu perairan. Sebaran vertikal suhu yakni lapisan termoklin memperlihatkan keadaan yang bersesuaian dengan lapisan termoklin (Purwardana *et al.* 2014).

Perubahan kedalaman dan ketebalan lapisan termoklin sangat tergantung pada dinamika di lapisan permukaan perairan. Bila stratifikasi suhu sangat kuat maka lapisan termoklin akan lebih dalam dan lebih tebal namun sebaliknya bila terjadi pencampuran massa air. Selain itu pergerakan massa air permukaan juga mengakibatkan terjadi pengangkatan dan menenggelaman massa air. Hal ini akan mempengaruhi keberadaan lapisan termoklin dan lapisan nutriklin dan akhirnya berdampak terhadap kedalaman konsentrasi klorofil maksimum. Kedalaman nutriklin tergantung pada stratifikasi kolom perairan dan besarnya transfer energi akibat tekanan angin. Ketika terjadi peningkatan pencampuran massa air dan mencapai nutriklin, maka nutriklin akan menyuplai nutrisi ke zona eufotik dan terjadi pengkayaan nutrisi pada lapisan permukaan perairan. Sebaliknya jika stratifikasi suhu perairan kuat maka kolom lapisan permukaan tercampur akan kekurangan nutrisi (Cermenon, *et al.* 2008).

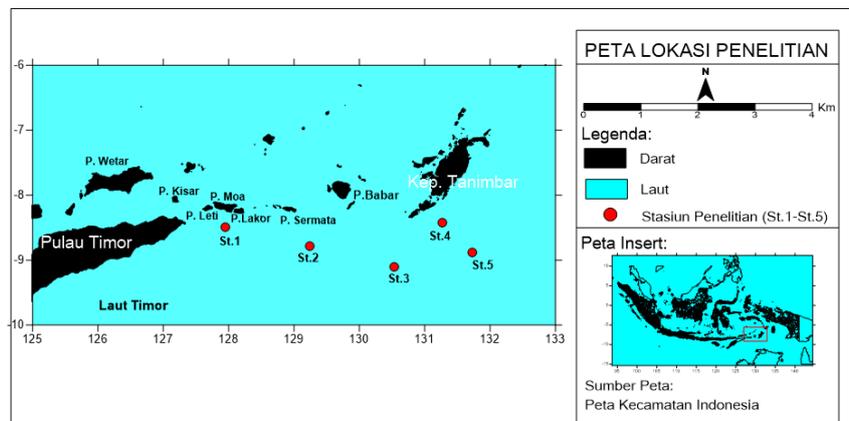
Tingginya konsentrasi klorofil sangat berkorelasi dengan konsentrasi oksigen terlarut. Konsentrasi oksigen terlarut dalam suatu kolom perairan merupakan hasil dari proses biologi yakni fotosintesis dan respirasi (Stramma *et al.* 2008 dan Keeling *et al.* 2010). Sebaran konsentrasi oksigen dalam suatu kolom perairan dapat memberikan gambaran tentang sebaran nutrisi dan produktivitas suatu kolom perairan yang dihasilkan melalui proses metabolisme organisme autotrof (Brown *et al.* 2005). Dengan demikian konsentrasi klorofil dan oksigen terlarut dapat digunakan sebagai indikasi kesuburan suatu perairan.

Perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya merupakan bagian dari Perairan Indonesia Timur. Perairan tersebut merupakan daerah lintasan Arlindo (Ilahude dan Gordon, 1996; Molcard *et al.*, 1996; Fieux *et al.*, 1996, Safitri, *et al.* 2012). Dinamika lapisan permukaan perairan sangat dipengaruhi oleh tiupan angin muson (Qu *et al.*, 2005; Gordon, 2005). Perubahan dinamika lapisan permukaan perairan berpengaruh terhadap perubahan kedalaman dan ketebalan lapisan termoklin dan akhirnya berdampak terhadap distribusi vertikal klorofil. Sebaran vertikal, klorofil-a biasanya rendah pada lapisan permukaan perairan dan meningkat hingga mencapai konsentrasi maksimum pada bagian bawah bagian dasar lapisan permukaan tercampur atau pada bagian atas lapisan permukaan tercampur (Matsuura, *et al.*, 1997). Berdasarkan karakteristik lapisan perairan, maka kedalaman konsentrasi maksimum klorofil-a bervariasi secara spasial dan temporal. Berdasarkan hasil tersebut maka perlu dilakukan pengkajian tentang kedalaman konsentrasi maksimum klorofil-a perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya dan kaitannya dengan sebaran suhu, salinitas dan konsentrasi oksigen. Estimasi konsentrasi klorofil-a dengan menggunakan klorofil fluorescence telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Chekalyuk *et al.* (2008), Chekalyuk *et al.* (2011) dan Triyulianti, *et al.* (2017).

Tujuan penelitian ini untuk mengkaji kedalaman konsentrasi maksimum klorofil di perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya serta kaitannya dengan stratifikasi massa air, sebaran suhu, salinitas dan konsentrasi oksigen terlarut.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data hasil Ekspedisi ATSEA pada bulan Mei 2010 di perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya. Pengamatan dilakukan terhadap 5 stasiun pengamatan yang tersebar dari perairan selatan Pulau Leti-Moa dan Lakor hingga perairan selatan Kepulauan Tanimbar Provinsi Maluku (Gambar 1). Stasiun 1 terletak di selatan Pulau Moa, Stasiun 2 di Selatan Pulau Sermatang, Stasiun 3-5 di selatan Kepulauan Tanimbar. Data suhu, salinitas, oksigen dan klorofil fluorescence pada setiap stasiun pengamatan diukur dengan menggunakan *Conductivity Temperature Depth* (CTD) tipe SBE 911+. CTD diturunkan sampai kedalaman yang tertentu dan merekam data-data yang diinginkan. CTD yang digunakan adalah CTD yang telah dilengkapi dengan sensor klorofil fluorescence dan oksigen terlarut.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian
Figure 1 Map of study area

Data suhu, salinitas, oksigen dan klorofil fluorescence hasil perekaman selanjutnya ditransfer, dianalisis dan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk profil sebaran vertikal dan melintang dengan bantuan perangkat lunak Ocean Data View (ODV) versi 4 dan Microsoft Office Excel. Data yang dianalisis adalah data hingga kedalaman 500 m. Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk mengkaji sebaran hidro-oseanografi, variasi stratifikasi perairan, pergerakan dan fenomena-fenomena massa air.

Analisis stratifikasi massa air untuk menentukan lapisan permukaan tercampur, lapisan termoklin dan lapisan dalam dilakukan berdasarkan gradien suhu dengan bertambahnya kedalaman. Kedalaman lapisan termoklin mengacu pada *Bureau of technical supervision of P. R. Of China (1992)* yaitu suatu kedalaman dimana gradien suhu lebih besar atau sama dengan $0,05\text{ }^{\circ}\text{C/m}$. Untuk menentukan batas atas dan batas bawah lapisan termoklin menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Song *et al.* (2007), yaitu:

$$G_j = \frac{T_{j+1} - T_j}{D_{j+1} - D_j}$$

Keterangan:

G_j = gradien suhu vertikal antara kedalaman standar D_j dan D_{j-1}

T_j = suhu perairan pada kedalaman standar D_j

D_j = kedalaman perairan ke- j

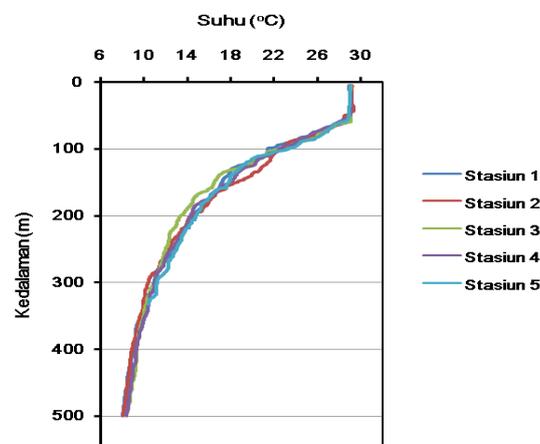
Analisis kedalaman konsentrasi klorofil maksimum dilakukan dengan mengkaji keberadaan kedalaman dimana klorofil maksimum dijumpai. Kedalaman konsentrasi klorofil maksimum tersebut kemudian dikaitkan dengan sebaran lapisan termoklin, sebaran suhu, salinitas dan konsentrasi oksigen terlarut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratifikasi Perairan

Stratifikasi perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berdasarkan sebaran suhu menunjukkan adanya 3 pelapisan massa air yaitu lapisan permukaan tercampur, lapisan termoklin dan lapisan dalam (Gambar 2). Ketebalan lapisan permukaan tercampur bervariasi dari 43-59 m dengan rerata $53,4 \pm 6,3$ m. Lapisan permukaan tercampur sedikit lebih tipis dijumpai pada Stasiun 2. Hampir seragam ketebalan lapisan permukaan tercampur disebabkan karena stasiun-stasiun berada pada perairan lepas dan pada lintang yang relatif sama sehingga pengaruh angin Muson Tenggara yang mulai berkembang di bagian selatan perairan Maluku (Tubalawony, dkk 2016) juga akan memberikan dampak relatif hampir sama terhadap proses pencampuran massa air.

Pada lapisan permukaan tercampur suhu berkisar antara $28,75$ °C hingga $29,32$ °C dengan rerata $29,05 \pm 0,10$ °C. Secara umum terlihat adanya perbedaan suhu antar lokasi penelitian namun perbedaannya sangat kecil. Suhu pada Stasiun 5 relatif sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan stasiun lainnya (Gambar 2). Pada lapisan permukaan tercampur rerata gradien suhu dengan bertambah kedalaman adalah $0,001$ °C/m. Berdasarkan nilai tersebut maka dapat dikatakan bahwa proses pencampuran massa air pada perairan selatan Maluku Barat Daya terjadi dengan baik.



Gambar 2 Sebaran vertikal suhu perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya
Figure 2 The vertical distribution of temperature in the south of Southwest Maluku and surrounding waters

Lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan variasi secara spasial. Ketebalan lapisan termoklin bervariasi antara 267-453 m dengan rerata $298,6 \pm 35,73$ m. Stasiun dengan lapisan termoklin yang lebih tebal terdapat pada Stasiun 1 yang terletak di perairan selatan Pulau Moa, sedangkan lebih tipis pada Stasiun 5 yang terletak di perairan selatan Kepulauan Tanimbar. Batas atas lapisan termoklin ditemukan pada kedalaman 44-60 m dengan rerata $54,4 \pm 6,35$ m sedangkan batas bawah lapisan berada pada kedalaman 325-409 m dengan rerata $353,0 \pm 36,52$ m (Gambar 2).

Dari ke-5 stasiun pengamatan, Stasiun 1 dicirikan oleh kedalaman batas atas dan batas bawah lapisan termoklin lebih dalam sedangkan Stasiun 2 memiliki ciri dimana kedalaman batas atas dan batas bawah lapisan termoklin lebih dangkal (Gambar 2).

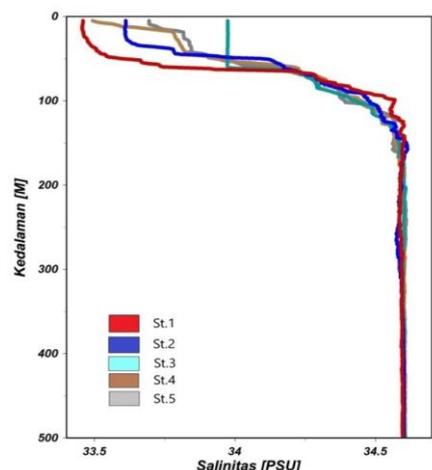
Suhu pada lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya berkisar antara 8,94-29,21 °C dengan rerata 15,92±5,39 °C. Rerata suhu lapisan termoklin lebih rendah pada Stasiun 1 dan lebih tinggi pada Stasiun 2. Suhu lapisan termoklin pada Stasiun 1 berkisar antara 8,94-28,84 °C dengan rerata 14,75±5,26 °C dan pada Stasiun 2 berkisar antara 9,97-29,21 °C dengan rerata 17,14±5,83 °C. Secara keseluruhan, lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya lebih dalam dan tebal dengan suhu lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan utara Laut Sawu. Tubalawony, dkk (2012) mendapatkan sebaran suhu pada lapisan termoklin perairan bagian utara Laut Sawu berkisar antara 11,00-26,75°C. Kedalaman termoklin perairan utara Laut Sawu ditemukan berada pada kedalaman 12-250 m.

Gradien suhu pada lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya berkisar antara 0,06-0,7 °C/m. Besarnya gradien suhu lapisan termoklin tidak terlalu berbeda dengan hasil yang diperoleh Ilahude dan Gordon (1996) sebesar 0,07 °C/m di Selat Makassar dan Sidarbutar, dkk (2014) di Perairan Utara Jayapura yakni 0,078 °C/m.

Lapisan dalam perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya ditemukan pada kedalaman 326-410 m dengan rerata 354±36,52 m. Suhu perairan pada batas atas lapisan dalam berkisar antara 8,91 °C hingga 10,54 °C dengan rerata 9,84±0,61 °C. Sebaran suhu terlihat homogen dan secara umum berada di bawah 10 °C.

Sebaran Salinitas

Secara vertikal, sebaran suhu pada lapisan permukaan tercampur perairan selatan Maluku barat Daya dan sekitarnya menunjukkan perbedaan secara spasial. Pola sebaran salinitas secara vertikal dari permukaan hingga kedalaman 12 m menunjukkan lebih rendahnya salinitas pada Stasiun 1 dan 4 dari pada stasiun lainnya dan pada kedalaman 13-45 m salinitas cenderung lebih rendah pada Stasiun 1 dan 2 bila dibandingkan dengan Stasiun 3, 4, dan Stasiun 5. Secara umum, sebaran salinitas pada lapisan permukaan tercampur perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya pada bulan Mei berkisar antara 33,46-34,02 psu dengan rerata 33,75±0,18 psu. Pada lapisan ini rerata salinitas terendah pada Stasiun 1 dengan kisaran 33,46-33,69 psu dengan rerata 33,51±0,07 psu dan salinitas tertinggi berada pada Stasiun 3 dengan kisaran antara 33,97-33,98 psu (Gambar 3).



Gambar 3 Sebaran vertikal salinitas (psu) perairan Maluku Barat Daya dan sekitarnya
Figure 3 The vertical distribution of salinity in the south of Southwest Maluku and surrounding waters

Sebaran salinitas mulai dari kedalaman 65 m memperlihatkan pola yang hampir sama antar stasiun pengamatan. Pada kedalaman ini salinitas berkisar antara 34,19-34,23 psu dengan rerata $34,21 \pm 0,02$ psu. Kedalaman ini termasuk lapisan termoklin dan gradien salinitas cukup besar.

Pada lapisan termoklin, salinitas perairan berkisar antara 33,73-34,64 psu dengan rerata $34,54 \pm 0,13$ psu. Sebaran salinitas lapisan termoklin relatif sama di setiap stasiun pengamatan. Gradien salinitas lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berkisar antara 0,002-0,003 psu/m. Dengan demikian massa air lapisan termoklin pada kelima stasiun pengamatan diduga merupakan massa air yang sama. Safitri, dkk (2012), rerata salinitas secara musiman di Laut Timor pada kedalaman 100 m adalah 34,35 psu (Musim Timur) dan 34,22 psu (Musim Barat). Dari hasil tersebut maka dapat dikatakan bahwa massa air lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya adalah massa air yang sama yang memiliki salinitas yang tinggi. Massa air tersebut adalah massa air arlindo yang melewati perairan tersebut dan selanjutnya ke perairan Samudera Hindia melalui Laut Timor.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan perbedaan karakteristik dengan massa air lapisan termoklin perairan utara Laut Sawu. Tubalawony, dkk (2012) mengatakan bahwa salinitas lapisan termoklin perairan utara Laut Sawu pada Musim Timur berkisar antara 33,86-34,56 PSU. Berdasarkan hal tersebut maka terlihat bahwa massa air lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya lebih asin bila dibandingkan dengan perairan utara Laut Sawu. Lapisan dalam perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya ditemukan pada kedalaman 326-410 m dengan rerata $354 \pm 36,52$ m. Salinitas perairan pada batas atas lapisan dalam berkisar antara 34,59-34,60 psu dengan rerata 34,60 psu. Pada kedalaman ini salinitas secara spasial terlihat homogen dengan gradien per kedalaman yang sangat kecil.

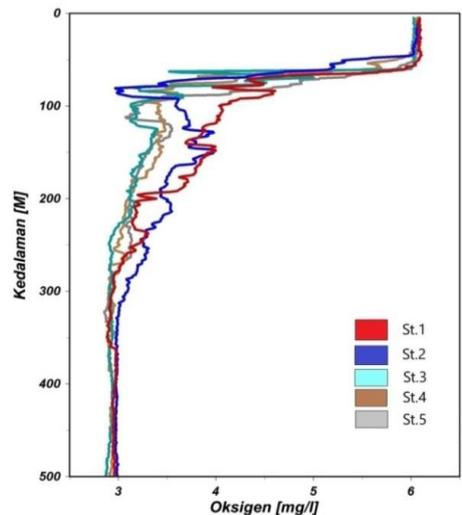
Sebaran Oksigen

Sebaran konsentrasi oksigen perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya menunjukkan bahwa pada lapisan permukaan tercampur konsentrasi oksigen berkisar antara 5,73-6,11 mg/l dengan rerata $6,05 \pm 0,05$ mg/l (Gambar 4). Sebaran konsentrasi tertinggi dijumpai pada Stasiun 1 yakni berkisar antara 6,04-6,11 mg/l dengan rerata $6,08 \pm 0,01$ mg/l dan terendah terdapat pada Stasiun 4 dengan kisaran konsentrasi antara 5,73-6,07 mg/l dengan rerata $6,01 \pm 0,07$ mg/l. Pola sebaran secara keseluruhan memperlihatkan nilai konsentrasi oksigen di lapisan permukaan tercampur sekitar 6 mg/l kecuali pada bagian bawah lapisan pada Stasiun 4 dan 5 dengan konsentrasi sedikit lebih kecil dari 6 mg/l. Gradien oksigen menunjukkan bahwa pada Stasiun 1-3 berkisar antara 0,000-0,001 mg/l/m dan pada Stasiun 4 dan 5 berkisar antara 0,004-0,006 mg/l/m. Dengan demikian Stasiun 1-3 percampuran massa air lebih sempurna bila dibandingkan dengan Stasiun 4 dan Stasiun 5.

Lapisan permukaan tercampur merupakan lapisan perairan yang memiliki konsentrasi oksigen tertinggi bila dibandingkan dengan lapisan lainnya. Tingginya konsentrasi oksigen terlarut disebabkan karena lapisan permukaan merupakan zona eufotik dimana terjadi proses fotosintesis juga pada zona ini terjadi difusi oksigen dari udara. Millero (2013) mengatakan bahwa lapisan permukaan perairan mendapatkan kontribusi oksigen langsung dari atmosfer melalui peristiwa difusi dari udara ke permukaan air dan juga merupakan zona fotosintesis.

Sebaran konsentrasi oksigen pada lapisan termoklin menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi secara dratis dengan bertambahnya kedalaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gradien konsentrasi oksigen pada lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berkisar antara 0,009-0,011 mg/l/m dengan rerata $0,010 \pm 0,001$ mg/l/m. Pada lapisan termoklin konsentrasi oksigen berkisar antara 2,86-6,03 mg/l dengan rerata $3,38 \pm 0,59$ mg/l. Stasiun 1 dan Stasiun 2 memiliki rerata konsentrasi

oksigen lebih tinggi dari pada Stasiun 3-5. Pada Stasiun 1 konsentrasi oksigen berkisar antara 2,89-6,02 mg/l, Stasiun 2 konsentrasi oksigen antara 2,97-6,03 mg/l, Stasiun 3 berkisar antara 2,91-6,00 mg/l, Stasiun 4 berkisar antara 2,88-5,69 mg/l dan Stasiun 5 berkisar antara 2,86-5,89 mg/l.



Gambar 4 Sebaran vertikal konsentrasi oksigen (mg/l) pada perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya

Figure 4 The vertical distribution of oxygen concentration in the south of Maluku Barat Daya and surrounding waters

Berdasarkan sebaran konsentrasi oksigen pada lapisan termoklin perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya maka dapat dikatakan bahwa konsentrasi oksigen lebih bervariasi bila dibandingkan dengan konsentrasi oksigen lapisan termoklin Laut Sulawesi dan Laut Maluku yang berkisar antara 3-5,7 mg/l (Triyulianti *et al.* 2017). Perbedaan tersebut menunjukkan terjadi perbedaan proses biologi dan fisika antara perairan tersebut. Hasil yang hampir sama juga ditemukan di perairan Selatan Jawa Samudera Hindia oleh Flora *et al.*(2015) yang mendapatkan konsentrasi oksigen pada lapisan termoklin yakni pada kedalaman 100-200 m berkisar antara 3,5-5,5 mg/l.

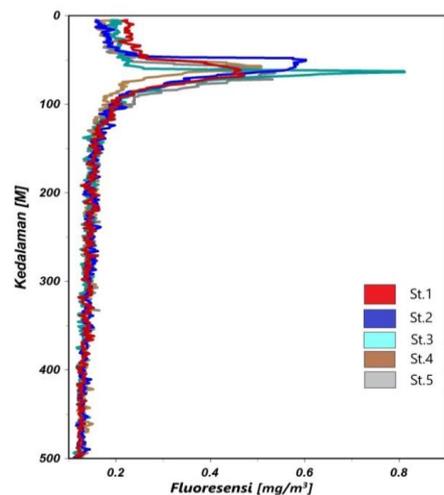
Berkurangnya oksigen pada lapisan termoklin dan mencapai konsentrasi yang hampir konstan pada bagian bawah lapisan termoklin disebabkan karena peristiwa difusi dari udara ke permukaan air tidak mencapai bagian perairan tersebut. Selain itu, terjadi proses keseimbangan oksigen sebagai dampak dari aktifitas biologi oleh organisme yakni proses respirasi dan fotosintesa. Triyulianti *et al.* (2017) melalui hasil penelitian di Laut Maluku dan Sulawesi mengatakan bahwa konsentrasi oksigen akan menurun setelah kedalaman 50 m hingga kedalaman 200-400 m. Kondisi ini relatif tidak jauh berbeda dengan perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya, dimana konsentrasi oksigen pada batas atas lapisan termoklin berkisar antara 5,61-6,03 mg/l dengan rerata $5,91 \pm 0,17$ mg/l dan mengalami penurunan dengan bertambahnya kedalaman dan mencapai konsentrasi konstan kedalaman 226 m hingga 311 m dengan konsentrasi oksigen berkisar antara 2,9-3,0 mg/l. Dengan demikian proses fotosintesa tidak efektif terjadi pada kedalaman tersebut. Hal ini kemungkinan karena keterbatasan cahaya matahari.

Pada batas atas lapisan dalam yakni pada kedalaman lebih dari 325 m, konsentrasi oksigen perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berkisar antara 2,87-3,00 mg/l dengan rerata $2,93 \pm 0,05$ mg/l. Pada lapisan ini konsentrasi oksigen relatif homogen. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktifitas biologi organisme telah berkurang karena zona tersebut

bukan merupakan zona eufotik dimana tidak tersedia cukup cahaya matahari untuk proses fotosintesa. Rendahnya oksigen pada lapisan dalam juga disebabkan oleh aktifitas mikroba yang memanfaatkan oksigen untuk melakukan proses penguraian. Sigman *et al.* (2010) mengatakan bahwa pada bagian perairan di bawah lapisan tercampur laju pemanfaatan oksigen melalui proses respirasi lebih tinggi dari pada laju produksi (fotosintesa) dan juga adanya proses regenerasi bahan organik oleh bakteri yang memanfaatkan oksigen.

Konsentrasi klorofil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi klorofil menunjukkan pola yang hampir sama di setiap stasiun pengamatan. Di lapisan permukaan konsentrasi klorofil rendah dan mengalami peningkatan dengan bertambahnya kedalaman hingga mencapai konsentrasi maksimum pada bagian atas lapisan termoklin dan selanjutnya menurun hingga mencapai kondisi yang homogen pada bagian bawah lapisan termoklin (Gambar 5). Secara vertikal, konsentrasi klorofil pada permukaan perairan yakni pada kedalaman 5 m berkisar antara 0,16-0,22 mg/m³ dengan rerata 0,19±0,02 mg/m³ dan pada batas bawah lapisan permukaan tercampur berkisar antara 0,24 mg/m³ hingga 0,51 mg/m³. Secara keseluruhan pada lapisan permukaan tercampur perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya konsentrasi klorofil berkisar antara 0,16-0,51 mg/m³ dengan rerata 0,21±0,05 mg/m³. Pada lapisan permukaan tercampur, sebaran konsentrasi klorofil menunjukkan nilai yang hampir sama antara stasiun pengamatan kecuali Stasiun 2 dengan rata-rata konsentrasi sedikit lebih tinggi dan berada pada kisaran lebih besar dari 0,20 mg/m³. Dengan demikian secara umum pada lapisan permukaan tercampur memiliki konsentrasi klorofil relatif rendah. Menurut Sigman and Hain (2012), pada zona eufotik termasuk lapisan permukaan, konsentrasi nutrisi sedikit dan pasokannya lambat. Rendahnya konsentrasi nutrisi karena nutrisi yang ada telah dimanfaatkan oleh fitoplankton untuk pertumbuhannya.



Gambar 5 Sebaran vertikal konsentrasi klorofil (mg/m³) pada perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya

Figure 5 The vertical distribution of chlorophyll in the south of Southwest Maluku and surrounding waters

Pada lapisan termoklin, konsentrasi klorofil berkisar antara 0,12 mg/m³ hingga 0,81 mg/m³ dengan rerata 0,18±0,09 mg/m³. Variasi konsentrasi klorofil pada lapisan ini cukup tinggi terutama pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 dan lebih rendah pada Stasiun 1. Pada Stasiun 2 konsentrasi klorofil berkisar antara 0,13-0,60 mg/m³, Stasiun 3 berkisar dari 0,12 mg/m³

hingga $0,81 \text{ mg/m}^3$, dan pada Stasiun 1 berkisar antara $0,12\text{-}0,47 \text{ mg/m}^3$. Lebih bervariasi konsentrasi klorofil disebabkan karena pada lapisan termoklin dijumpai konsentrasi klorofil maksimum pada bagian atas lapisan termoklin dan konsentrasi yang sangat rendah pada bagian bawah lapisan termoklin. Pada bagian atas lapisan termoklin yakni pada batas atas lapisan termoklin, konsentrasi klorofil berkisar antara $0,22\text{-}0,50 \text{ mg/m}^3$ dengan rerata $0,37 \pm 0,12 \text{ mg/m}^3$ sedangkan pada bagian bawah lapisan termoklin konsentrasi klorofil berada pada kisaran $0,13\text{-}0,14 \text{ mg/m}^3$.

Pada lapisan dalam yakni pada kedalaman di bawah lapisan termoklin, sebaran klorofil di perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya berada pada konsentrasi $\leq 0,14 \text{ mg/m}^3$. Rendahnya konsentrasi klorofil pada lapisan ini disebabkan karena jumlah cahaya yang diterima sangat sedikit bahkan tidak ada sama sekali sehingga proses fotosintesa juga tidak berjalan dengan baik. Triyulianti *et al.* (2017) melalui hasil penelitian mengatakan bahwa di Laut Sulawesi dan Laut Maluku komunitas fitoplankton dan kedalaman produktivitas primer hanya sampai kedalaman kurang dari 200 m. Dengan demikian pada lapisan dalam dengan kedalaman lebih dari 325 m, karena kurangnya intensitas cahaya maka proses fotosintesa tidak berjalan dengan baik.

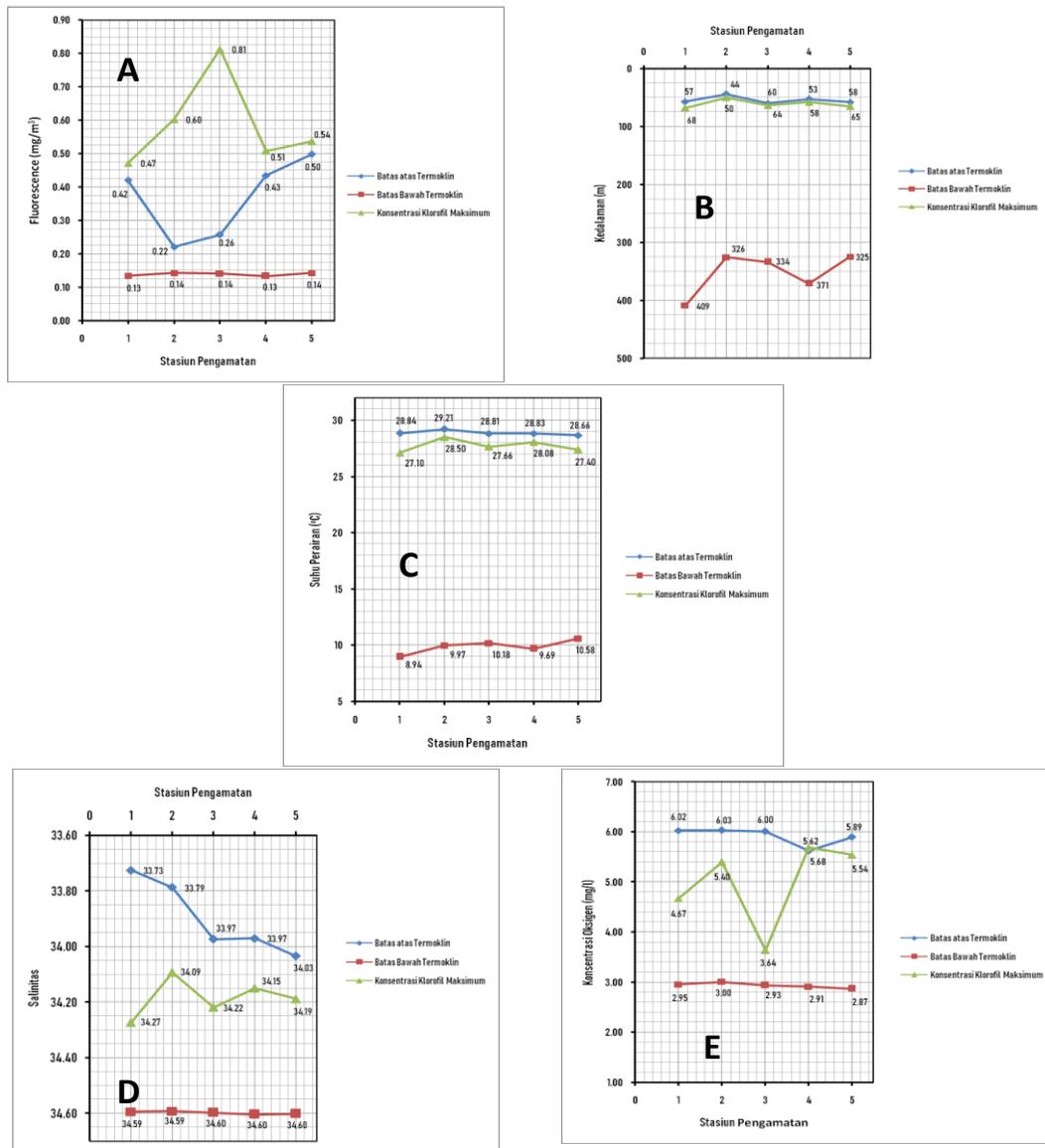
Sebaran vertikal konsentrasi klorofil pada perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya juga memperlihatkan adanya variasi kedalaman dan ketebalan lapisan konsentrasi klorofil lebih tinggi yakni $\geq 0,35 \text{ mg/m}^3$ antara stasiun pengamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan dimana konsentrasi klorofil cenderung lebih tinggi ($\geq 0,35 \text{ mg/m}^3$) berkisar antara 13-25 m dengan rerata ketebalan 20,6 m. Lapisan tersebut berada pada kedalaman 52-81 m (Gambar 6). Ketebalan lapisan dimana konsentrasi klorofil tinggi terlihat lebih tipis pada Stasiun 4 dan 3 masing-masing 13 m dan 15 m. Stasiun 2 konsentrasi klorofil lebih tinggi yakni berkisar antara $0,38\text{-}0,51 \text{ mg/m}^3$ berada pada kedalaman 52-65 m, sedangkan pada Stasiun 3, ketebalan lapisan dengan klorofil lebih tinggi berada pada kedalaman 61-76 m dengan konsentrasi $0,35\text{-}0,81 \text{ mg/m}^3$ dan reratanya $0,53 \text{ mg/m}^3$. Stasiun 1, Stasiun 2 dan Stasiun 5 memiliki ketebalan lapisan dengan konsentrasi klorofil lebih tinggi adalah 25 m, namun demikian rerata konsentrasi klorofil lebih tinggi terdapat pada Stasiun 2 yakni $0,51 \text{ mg/m}^3$ dan terdapat pada kedalaman 48-73 m. Secara keseluruhan di perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya, rerata ketebalan lapisan dengan konsentrasi klorofil lebih tinggi ($\geq 0,35 \text{ mg/m}^3$) adalah 20,6 m dengan rerata konsentrasi klorofil pada $0,47 \text{ mg/m}^3$.

Intensitas cahaya matahari yang diterima permukaan laut akan diserap, dipantulkan dan dihamburkan saat masuk ke dalam kolom air. Jumlah intensitas cahaya yang menembus lapisan yang lebih dalam sangat tergantung pada jumlah intensitas cahaya yang diterima dan ekstingsi perairan yakni diantaranya material tersuspensi. Sigman dan Hain (2012) mengatakan bahwa intensitas cahaya yang menembus hingga kedalaman dibawah 80 m jumlahnya sangat sedikit. Dengan demikian, cahaya merupakan faktor pembatas bagi fotosintesa pada kolom perairan. Terdapatnya konsentrasi klorofil cukup tinggi pada suatu kedalaman jika tersedia cahaya dan nutrisi yang cukup untuk proses fotosintesa. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan konsentrasi klorofil relatif sedikit lebih tinggi terdapat pada kedalaman 52-81 m.

Kedalaman Klorofil Maksimum

Sebaran konsentrasi klorofil di perairan selatan Maluku Barat Daya dan sekitarnya selama penelitian menunjukkan bahwa kedalaman klorofil maksimum berada pada bagian atas lapisan termoklin atau pada 6-11 m dari kedalaman batas atas lapisan termoklin. Kedalaman klorofil maksimum berada pada kedalaman 50-68 m dengan rerata kedalaman $61,0 \pm 7,1 \text{ m}$ dengan konsentrasi berkisar $0,47\text{-}0,81 \text{ mg/m}^3$ (Gambar 6). Konsentrasi klorofil

maksimum antar stasiun menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi terdapat pada Stasiun 3 di kedalaman 64 m sedangkan terendah pada Stasiun 1 di kedalaman 68 m. Rerata konsentrasi klorofil pada kedalaman klorofil maksimum adalah $0,59 \pm 0,13 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 6. Kedalaman konsentrasi klorofil maksimum dan batas atas dan bawah lapisan termoklin di perairan selatan Maluku Barat Daya serta karakteristiknya. A = sebaran klorofil fluorescence; B = Sebaran kedalaman konsentrasi klorofil maksimum; C = Sebaran suhu perairan; D = Sebaran salinitas perairan; dan E = Sebaran konsentrasi oksigen perairan.

Figure 6 The maximum chlorophyll depth, upper and lower thermocline layers in the south of Maluku Barat Daya and surrounding waters. A= chlorophyll distribution, B = distribution of maximum chlorophyll depth, C = waters temperature distribution, D = waters salinity distribution, E = Oxygen concentration distribution.

Berdasarkan sebaran konsentrasi klorofil maksimum yang berada pada kedalaman maksimum 68 m dan memperhatikan ketersediaan cahaya matahari pada lapisan termoklin yakni pada batas atas lapisan termoklin hingga kedalaman sekitar 100 m (Sigman and Hain, 2012) maka dapat dikatakan bahwa maksimumnya konsentrasi klorofil pada kedalaman tersebut disebabkan karena masih cukup tersedia cahaya matahari dan nutrisi untuk proses fotosintesa. Menurut Fairbanks dan Wiebe (1980), kedalaman klorofil maksimum berkembang ketika termoklin berada di atas atau dekat kedalaman kompensasi cahaya dan menyebabkan peningkatan produksi klorofil di bagian bawah zona eufotik. Lapisan klorofil maksimum bersifat musiman, tergantung pada nutrisi baru yang terangkat naik akibat fenomena upwelling maupun melalui proses pencampuran massa air (Hayward, 1987).

Kedalaman klorofil maksimum pada ke 5 stasiun pengamatan memperlihatkan adanya perbedaan karakteristik massa air yakni suhu, salinitas dan oksigen. Karakteristik massa air tersebut juga berbeda dengan batas atas dan batas bawah lapisan termoklin.

Pada kedalaman konsentrasi klorofil maksimum, suhu perairan berkisaran antara 27,10-28,50 °C dengan rerata 27,75±0,55 °C, salinitas perairan berkisar antara 34,09-34,27 psu dengan rerata 34,18±0,07 psu dan konsentrasi oksigen berkisar antara 3,64-5,68 mg/l dengan rerata 4,98±0,85 mg/l. Suhu dan konsentrasi oksigen pada kedalaman ini lebih rendah bila dibandingkan suhu dan konsentrasi oksigen pada batas atas lapisan termoklin. Salinitas pada konsentrasi klorofil maksimum umumnya ≥ 34 psu sedangkan pada batas atas lapisan termoklin masih ditemukan salinitas ≤ 34 psu.

Pada Stasiun 3 yang memiliki konsentrasi maksimum tertinggi yakni 0,81 mg/m³, karakteristik perairan menunjukkan lebih rendahnya konsentrasi oksigen (0,36 mg/l) bila dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal ini kemungkinan karena pada kedalaman tersebut, jumlah organisme lebih banyak dan sangat produktif sehingga organisme membutuhkan lebih banyak oksigen untuk proses-proses biologi.

Tingginya konsentrasi klorofil pada bagian atas lapisan termoklin menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari cukup tersedia bagi proses fotosintesa oleh fitoplankton. Selain itu, juga cukup tersedia nutrisi untuk digunakan dalam proses fotosintesa. Triyulianti dkk (2017) mendapatkan bahwa lapisan klorofil-a fluoresen maksimum di perairan Sulawesi dan Laut Maluku berada pada kedalaman 50-150 m dengan suhu 25 - 28°C dengan salinitas 34 - 34,8 psu. Hasil yang berbeda diperoleh oleh Hermawan dkk (2017), bahwa konsentrasi klorofil-a maksimum di Laut Maluku pada kedalaman 17-61 m dan batas atas lapisan termoklin berkisar antara 33-83 m. Dengan demikian kedalaman konsentrasi klorofil-a berada pada kedalaman di atas termoklin atau di bagian bawah lapisan permukaan tercampur.

KESIMPULAN

Stratifikasi massa air perairan selatan Maluku Barat daya dan sekitarnya dicirikan dengan batas atas lapisan termoklin pada kedalaman 44-60 m dan batas bawah lapisan termoklin pada kedalaman 325-409 m dengan gradien suhu 0,06-0,7 °C/m, gradien salinitas antara 0,002-0,003 psu/m dan rerata gradien oksigen 0,010±0,001 mg/l/m

Sebaran konsentrasi klorofil rendah pada permukaan perairan dan mengalami peningkatan dengan bertambahnya kedalaman hingga mencapai konsentrasi maksimum pada bagian atas lapisan termoklin Lapisan dimana konsentrasi klorofil cenderung lebih tinggi ($\geq 0,35$ mg/m³) berada pada kedalaman 52-81 m dengan ketebalan antara 13-25 m. Kedalaman klorofil maksimum antara 50-68 m dengan sebaran konsentrasi antara 0,47-0,81 mg/m³. Kedalaman klorofil maksimum dicirikan dengan suhu perairan 27,10-28,50 °C, salinitas 23,09-34,27 psu, dan konsentrasi oksigen 3,68-5,68 mg/l. Kedalaman klorofil

maksimum berada pada bagian atas lapisan termoklin yakni beberapa meter di bawah batas atas lapisan termoklin.

DAFTAR PUSTAKA

- Bureau of technical supervision of the P.R of China. 1992. The Specification for Oceanographic Survey, Oceanographic Survey Data Processing (GB/T 12763.7—91). Standards press of China. P. 68-70
- Brown E., Colling A., James R., Park D., Philips J., Rothery D., Wright J.. 2005. *Marine Biogeochemistry Cycles* (2nd edition). The Open University, Milton Keynes, England
- Cermen, P., Dutkiewicz S., Harrisc R. P., Followsb M., Schofielda O., Falkowskia P. G.. 2008. The Role Of Nutricline Depth In Regulating The Ocean Carbon Cycle. *PNAS*, 105(51) : 20344-20349
- Chekalyuk A., Hafez M.A. 2008. *Advanced Laser Fluorometry Of Natural Aquatic Environments. Limnol. Oceanogr. Methods* 6, 59
- Chekalyuk A., Hafes M. A. 2011. Photo-physiological Variability In Phytoplankton Chlorophyll Fluorescence And Assessment Of Chlorophyll Concentration. *Opt. Exp.* 19, 22643-22658
- Estrada M., Marrasé C., Latasa M., Berdalet E., Delgado M., Riera T.. 1993. Variability of deep chlorophyll maximum characteristics in the Northwestern Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series.* 92:289–300.
- Fairbanks GR., Wiebe PH.. 1980. Foraminifera And Chlorophyll Maximum: Vertical Distribution, Seasonal Succession, And Paleoceanographic Significance. *Science* 209, 1524– 1525.
- Fieux M., Andrie C., Charriaud E., Ilahude AG., Metzl N., Molcard R., Swallow JC. 1996. Hydrological and Chlorofluoromethane Measurements of the Indonesian Throughflow Entering the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 101 (5): 12433 – 12454.
- Flora SM., Setiyono H., Tisiana AR. 2015. Pengaruh Lapisan Termoklin Terhadap Kandungan Oksigen Terlarut Di Samudera Hindia Bagian Timur. *J. Oseanografi*, 4(1):185-194.
- Gordon AL., 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. *Oceanogr.*, 18 (4): 14-27
- Hayward TL., 1987. The Nutrient Distribution And Primary Production In The Central North Pacific. *Deep-Sea Research* 34 : 1593–1627
- Hermawan, I., Setiawan A., Pusparini N. 2017. Pola Distribusi Konsentrasi Klorofil-a Di Laut Maluku Berdasarkan Pengamatan *In Situ Indeso Joint Expedition* Program 2016 Dan Data Penginderaan Jauh. *J. Segara*, 13(3): 149-157
- Heyman U, Lundgren A. 1988. Phytoplankton Biomass and Production In Relation to Phosphorus. *Hydrobiol.*, 170: 211-227
- Ilahude AG., Gordon AL. 1996. Thermocline Stratification within the Indonesian Seas. *J. Geophys. Res.*, 101 (C5): 12401 – 12420
- Keeling RF., Kortzinger A., Gruber N.. 2010. *Ocean deoxygenation in a warming world.* *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 199–229
- Lalli CM., Parsons TR. 1997. *Biological Oceanography An Introduction.* 2 nd. Ed. The Open University
- Matsuura H., Sugimoto T., Nakai M., Tsuji S. 1997. Oceanographic Conditions near the Spawning Ground of Southern Bluefin Tuna; Northeastern Indian Ocean. *J. Oceanogr.*, 53: 421-433

- Millero FJ. 2013. *Chemical Oceanography* 4th ed. CRC. Press by Taylor and Francis Group. Boca Raton, FL. 571pp
- Molcard R., Fioux M., Ilahude AG. 1996. The Indo – Pacific Throughflow in the Timor Passage. *J. Geophys. Res.*, 101 (C5): 12411 – 12420
- Purwandana A., Purba M., Atmadipoera AS.. 2014. Distribusi Percampuran Turbulen di Perairan Selat Alor. *J. Ilmu Kelautan*. 19(1):43-54
- Qu T., Du Y., Strachan J., Meyers G., Slingo J.. 2005. Sea surface Temperature and Its variability In the Indonesian Region. *Oceanogr*. 18 (4): 50-61
- Safitri M., Cahyarini SY., Putri MR.. 2012. Variasi Arus Arlindo Dan Parameter Oseanografi Di Laut Timor Sebagai Indikasi Kejadian ENSO. *J. Ilmu Kelautan dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(2):369-377
- Sidabutar H. C., Rifai A., Indrayanti E. 2014. Kajian Lapisan Termoklin Di Perairan Utara Jayapura. *J. Oseanografi*, 3(2): 135-141
- Sigman D.M., et al., 2010. The Polar Ocean And Glacial Cycles In Atmospheric CO₂ Concentration. *Nature* 466, 47–55.
- Sigman DM., Hain MP. 2012. The Biological Productivity of the Ocean. *Nature Education*, 3 (6) : 1-16
- Song LM., Zhang Y., Zhou Y. 2007. The Relationship Between The Thermocline And The Catch Rate of *Thunnus obesus* In The Tropical Areas Of The Indian Ocean. In: Anonymous (Ed.). IOTC Proceeding-WPTT-14-rev1. 13 pp.
- Stramma L., Johnson GC., Sprintall J., Mohrholz V. 2008. Expanding Oxygen Minimum Zones In The Tropical Oceans, *Science*, 320, 655–658, doi:10.1126/science.1153847.
- Triyulianti, I, Hermawan I, Yunanto A, Pradisty NA., Raymza A. C., Islamy F, Magdalena NC. 2017 Profil Vertikal Kandungan Oksigen Terlarut dan Fluorescence In Vivo Sebagai Indikator Keberlangsungan Kehidupan Di Perairan Laut Maluku dan Laut Sulawesi. *J. Kelautan Nasional*, 12(2):59-71
- Tubalawony S., Kusmanto E., Muhadjirin. 2012. Suhu dan Salinitas Permukaan Merupakan Indikator Upwelling Sebagai Respon Terhadap Angin Muson Tenggara di Perairan Bagian Utara Laut Sawu. *J. Ilmu Kelautan*. 17(4): 226-239.
- Tubalawony, S., Purnama R., Ferdinandus J. 2016. Penentuan Daerah Potensial Upwelling dan Kaitannya dengan Pengelolaan Laut Banda. Dalam Pembangunan Kelautan dan Perikanan Berbasis Laut Banda Bogor (ID): IPB Press.