

VARIABILITAS LAPISAN TERMOKLIN TERHADAP KENAIKAN *MIXED LAYER DEPTH* (MLD) DI SELAT MAKASSAR

Maria F Hutabarat, Noir P. Purba, Sri Astuty, Mega Laksmi Syamsuddin,
dan Anastasia R.T.D. Kuswardani
Universitas Padjadjaran

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kondisi suhu, MLD, variabilitas ENSO, dan arus yang mempengaruhi lapisan termoklin di Selat Makassar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis temporal dan spasial serta deskriptif komparatif sehingga menghasilkan *output* berupa profil suhu vertikal. Suhu rata-rata pada kedalaman 0-500 m mencapai 25,8°C dengan kisaran suhu 6,64°C-33,81°C. Pada tahun 2015 lapisan termoklin terbentuk pada kedalaman 50-400 m dengan kisaran suhu 9-28°C. Pada tahun 2016 lapisan termoklin mulai terbentuk pada kedalaman 50-300 m dengan kisaran suhu 9-27°C. Kedalaman MLD pada daerah tenggara Selat Makassar lebih tinggi. Kekuatan arus terkuat terjadi selama musim Barat dengan kecepatan rata-rata 0,06 m/s kearah selatan dan barat. *El Nino* terjadi pada November 2014 sampai Mei 2016 dengan *El Nino* terkuat pada 2015 menyebabkan nilai MLD kecil yaitu sebesar 50,30 m. Pada Agustus sampai Desember 2016 terjadi *La Nina* yang menyebabkan nilai MLD meningkat.

Kata Kunci : Arus, ENSO, makassar, MLD, Selat, Suhu, Termoklin.

PENDAHULUAN

Perairan Indonesia memiliki keadaan alam yang unik, yakni merupakan penghubung dua sistem samudera yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, maka sifat dan kondisinya dipengaruhi oleh kedua samudera tersebut, khususnya Samudera Pasifik. Pengaruh ini terlihat antara lain pada sebaran massa air, arus, pasang surut dan kesuburan perairan. Selain pengaruh kedua samudera tersebut, keadaan musim juga mempengaruhi sifat dan kondisi perairan di Indonesia, seperti misalnya perairan Selat Makasar, Laut Banda, Laut Flores, dan Laut Sulawesi (Wyrcki, 1961).

Selat Makassar merupakan selat yang berada di antara dua pulau besar yaitu Sulawesi dan Kalimantan. Keberadaan Selat Makassar sangat strategis karena merupakan penghubung Laut Sulawesi di bagian utara dengan Laut Jawa yang ada di bagian selatan, menjadi lintasan arus laut dari Samudra Pasifik Barat (utara) ke Samudra Hindia (selatan) dan merupakan bagian dari sirkulasi arus global yang membawa sumber daya alam yang melimpah di dalamnya diantaranya jenis ikan pelagis (tongkol dan tuna).

Pergantian angin muson yang berubah secara beraturan ditandai dengan bertiupnya

angin muson secara bergantian menimbulkan dampak langsung terhadap perubahan-perubahan sifat-sifat fisika air laut. Secara umum angin muson tidak hanya berpengaruh terhadap wilayah perairan Indonesia, melainkan juga di Asia Tenggara. Angin yang bertiup di atas Asia Tenggara ternyata mempunyai pengaruh yang besar terhadap pergerakan massa air di perairan Indonesia, khususnya di Selat Makasar bagian selatan. Karena angin muson berbalik arah dua kali dalam satu tahun, maka demikian juga keadaannya bagi edaran air laut di Indonesia, sedikitnya di lapisan bagian atas termoklin (Wyrcki 1961).

Menurut Tedjakusuma, Dewanti & Kustiyo (1998) Lapisan termoklin merupakan lapisan perairan laut yang dicirikan terjadinya denegenerasi temperatur yang cepat terhadap kedalaman laut. Struktur lapisan termoklin tersebut dapat dijumpai pada Selat Makassar sebagai salah satu wilayah perairan yang merupakan aliran utama massa air Indonesia, dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia.

Variasi lapisan termoklin dengan ketebalan *Mixed Layer Depth* (MLD) atau lapisan homogen saling memiliki keterkaitan

di lautan. Wilayah kedalaman yang hampir seragam secara vertikal dikarenakan proses turbulensi oleh energi diluar melalui perpindahan energi kinetik ataupun energi potensial. Semakin besar energi kinetik maka semakin dalam ketebalan lapisan MLD (Harsono, 2012). *Mixed Layer Depth* (MLD) umumnya banyak mengandung oksigen terlarut karena oksigen dari udara di dekatnya dapat secara langsung larut. Menurunnya kadar oksigen terlarut dapat mengurangi efisiensi pengambilan oksigen oleh biota laut, sehingga dapat menurunkan kemampuan untuk hidup normal dalam lingkungan hidupnya (Purba & Pranowo, 2015).

Kedalaman termoklin merupakan parameter fisis lautan yang letaknya bisa berubah-ubah secara vertikal. Tomzack (2000), menjelaskan bahwa beberapa faktor bisa mempengaruhi perubahan kedalaman lapisan termoklin, salah satunya yaitu variabilitas iklim global (*El Nino* dan *La Nina*). Menurut Susanto *et al* (2001;2007) saat *El Nino* kedalaman termoklin lebih dangkal daripada saat *La Nina*. Saji *et al* (1999) menjelaskan bahwa pada saat *La Nina* terjadi penumpukan masa air di Pasifik Barat, dampak dari penumpukan massa air ini menyebabkan batas atas termoklin tertekan ke bawah lebih dalam, dampak dari penumpukan massa air dan penekanan batas atas termoklin ke bawah tersebut sampai ke Samudera Hindia bagian timur. Maka dari itu, dilakukannya penelitian yang berlokasi di Selat Makassar, dimana Selat Makassar menjadi lintasan arus laut dari Samudra Pasifik Barat (utara) ke Samudra Hindia (selatan) dan merupakan bagian dari sirkulasi arus global serta dipengaruhi oleh angin muson yang secara umum mempunyai pengaruh yang besar terhadap pergerakan massa air sehingga memiliki pengaruh lapisan termoklin terhadap *Mixed Layer Depth* (MLD) dan dapat memperoleh sebaran ikan pelagis besar di Selat Makassar yang umumnya hidup di daerah neritik (0-200 m) dan membentuk *schooling* yang memiliki fungsi sebagai kebutuhan yang diburu oleh manusia sehingga perlu upaya pelestarian.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dimulai pada bulan Maret 2017. Wilayah kajian penelitian ini yaitu di perairan Selat Makassar pada koordinat 1°LS – 7°LS dan 114°BT – 120°BT. Pembuatan peta wilayah kajian penelitian dan

penulisan skripsi dilakukan di Laboratorium Komputer Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran dan Pengolahan data dilakukan di Kantor Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir (P3SDLP), Badan Litbang Kementerian Kelautan dan Perikanan - BALITBANG KP, Jakarta Utara.

Tahap Persiapan

Tahap awal dari penelitian ini adalah persiapan dengan membuat peta dasar wilayah kajian penelitian dengan menggunakan *software* ArcGis 10.1. Pengumpulan informasi dilakukan dengan melakukan studi kepustakaan mengenai kajian penelitian, kemudian melakukan pengumpulan data penelitian, baik dari *website* yang dapat diakses secara bebas maupun dari instansi terkait yang menyediakan data-data yang dibutuhkan. Adapun data yang dipilih yaitu data analisis hasil model laut dari *Indeso* dengan *output* variabel yang digunakan adalah suhu, oksigen, salinitas selama Januari 2014 sampai dengan Desember 2016. Diunduh dalam format NetCDF.

Tahap Pengolahan Data

a. Pengolahan Data Suhu

Data suhu diunduh dari hasil model laut *Indeso*. Hasil model Pengolahan data suhu dimulai dengan mengunduh data di *indeso.web.id*. Langkah dalam pengolahan suhu pada *software* Ferret adalah melakukan plot data menggunakan beberapa perintah (*command*) pada *software* Ferret. Plot data diolah secara bulanan berdasarkan pada kedalaman 0-500 m. Setelah proses plot maka data suhu di Selat Makassar dapat dianalisis secara temporal dan vertical.

b. Pengolahan Data *Mixed Layer Depth*

Data oksigen diunduh dari hasil model laut *Indeso*. Hasil model Pengolahan data *Mixed Layer Depth* (MLD) dimulai dengan mengunduh data di *indeso.web.id*. Pada *software* Ferret dilakukan plotting data dan diolah secara bulanan berdasarkan pada kedalaman 0-500 m. Setelah itu data *Mixed Layer Depth* (MLD) di Selat Makassar dianalisis secara spasial dan temporal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Nino

El Nino dapat ditandai dengan nilai positif anomali SPL sebesar 0,5-1 °C untuk *El Nino* lemah, 1-1,5 °C untuk *El Nino* sedang dan lebih dari 1,5 °C untuk *El Nino* kuat yang berlangsung selama tiga bulan berturut-turut dan *La Nina* ditunjukkan dengan nilai negatif anomali SPL sebesar 0,5-1 °C untuk *La Nina* lemah, 1-1,5 °C untuk *La Nina* sedang dan lebih dari 1,5 °C untuk *La Nina* kuat yang berlangsung selama tiga bulan berturut-turut. Variabilitas ENSO dapat diketahui dengan melihat nilai indeks Nino 3.4. Menurut National Weather Service (2006) ENSO terjadi setiap 2-7 tahun dan berakhir pada 9-12 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa ENSO tidak memiliki pola karena terjadi pada bulan dan tahun yang tidak menentu. Selain itu, lama terjadinya ENSO dan kekuatannya tidak menentu pada setiap periodenya.

Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Syamsuddin *et al* (2013) telah terjadi *El Nino* pada tahun 2015 dengan rentang waktu 6 tahun dari tahun sebelumnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ahmad *et al* (2016) menyatakan bahwa pada rentang waktu tahun 2009-2015 telah terjadi dua kali periode *El Nino* dengan anomali tertinggi pada bulan November tahun 2015.

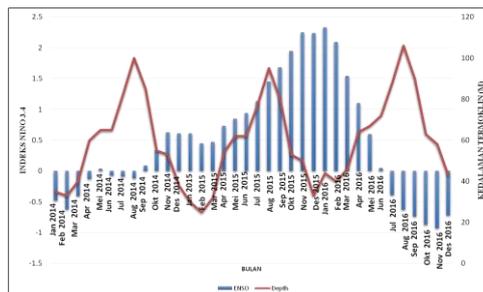
Grafik Indeks Nino pada rentang waktu 2014 hingga 2016 telah terjadi *El Nino* dengan fase kuat pada tahun 2015-2016 (Gambar 1). Sementara pada tahun 2014 merupakan fase normal. Hal ini ditunjukkan pada bulan Maret hingga Oktober tahun 2014 dengan nilai indeks nino 3.4 ($\leq 0,5$ dan $\leq -0,5$). *El Nino* kuat terjadi pada tahun 2015 dan 2016, terjadi selama 4 bulan pada bulan September-Desember, dan 3 bulan pada bulan Januari-Maret dengan *El Nino* terkuat pada bulan Januari dengan nilai indeks nino 3.4 (2,33). Pada tahun 2016 merupakan tahun *La*

Nina dimana pada tahun ini terjadi *La Nina* lemah secara 5 (lima) bulan berturut-turut pada bulan Agustus-Desember. Pada saat terjadi *El Nino* kuat pada tahun 2015 lapisan termoklin naik dibandingkan saat tahun 2014 dari kedalaman 60 m naik sampai kedalaman 100 m. Namun, pada tahun 2016 lapisan termoklin semakin ke dalam perairan dan paling dalam jika dibandingkan pada tahun sebelumnya. Hal ini dikarenakan pada tahun 2016 terjadi *La Nina* sehingga lapisan termoklin semakin ke dalam perairan..

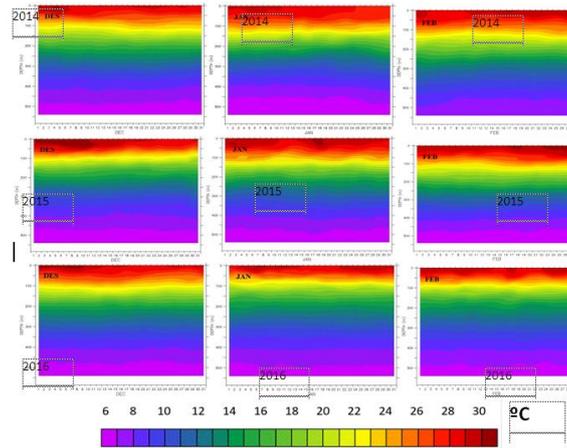
Sebaran Suhu Vertikal

Profil suhu secara vertikal memberikan gambaran mengenai perubahan suhu terhadap kedalaman, mulai dari kedalaman 0 m sampai dengan kedalaman 500 m. Suhu di permukaan relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai suhu yang ada di bawah lapisan permukaan yaitu berkisar antara 28-30 °C. Hal ini dapat terjadi karena letak perairan Selat Makassar berada pada daerah tropis yang dekat dengan garis ekuator sehingga memungkinkan adanya pengaruh atau bagian dari kolam air hangat topikal (*Warm Pool of Tropical*) Samudera Pasifik. Menurut Ilhaude dan Gordon (1996) kolam air hangat tropikal ditandai dengan temperatur permukaan yang lebih besar dari 28 °C.

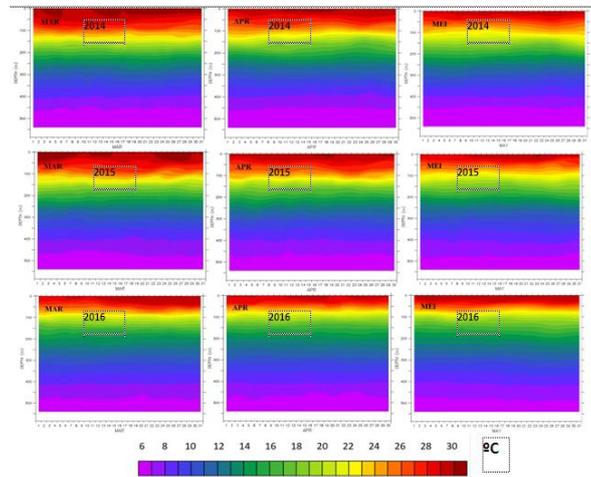
Data statistik nilai rata-rata, maksimum, dan minimum suhu Selat Makassar dapat dilihat pada Lampiran 3. Suhu vertikal rata-rata harian di Selat Makassar yaitu 25,7 °C. Dari hasil sebaran suhu vertikal dapat diketahui adanya perubahan temperatur terhadap kedalaman sehingga membentuk pola lapisan massa air yang terdiri dari 3 bagian yaitu lapisan homogen, lapisan termoklin, dan lapisan dalam. Hal ini disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan semakin berkurang karena bertambahnya kedalaman Selat Makassar.



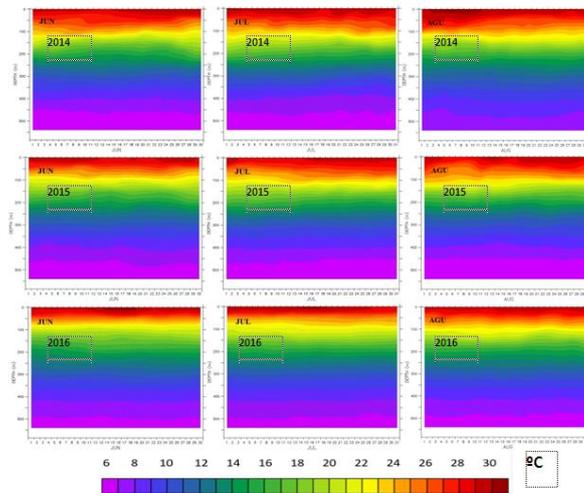
Gambar 1. Variabilitas ENSO terhadap Kedalaman Termoklin



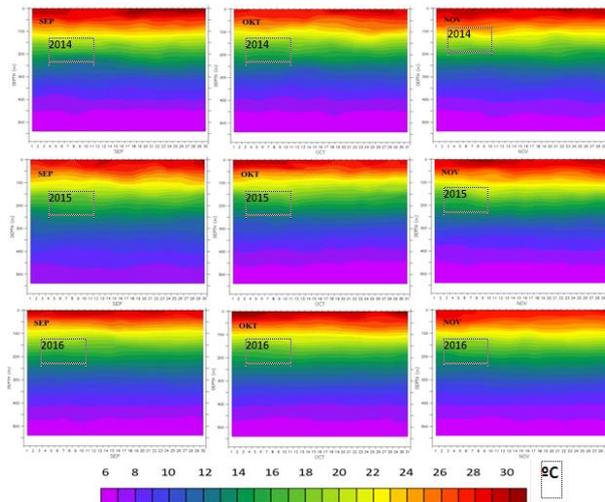
Gambar 2. Sebaran Vertikal Suhu pada Musim Barat tahun 2014-2016 di Selat Makassar



Gambar 3. Sebaran vertikal suhu pada Musim Peralihan 1 Tahun 2014-2016 di Selat Makassar



Gambar 4. Sebaran Vertikal Suhu pada Musim Timur Tahun 2014-2016 di Selat Makassar



Gambar 5. Sebaran Vertikal Suhu pada Musim Peralihan 2 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar

Gambar sebaran suhu vertikal di atas (Gambar 2-5) menunjukkan Pada Musim barat batas atas termoklin 2014-2016 berkisar antara 25-44 m, batas bawah berkisar antara 165-207 m. pada Musim Peralihan I batas atas termoklin 2014-2016 berkisar antara 32-67 m, batas bawah berkisar antara 184-221 m. pada Musim Timur batas atas termoklin 2014-2016 berkisar antara 62-106 m, batas bawah berkisar antara 184-227 m. Pada Musim Peralihan II batas atas termoklin 2014-2016 berkisar antara 53-90 m, batas bawah berkisar antara 181-214 m.

Berdasarkan gambar sebaran suhu vertikal dari Musim Barat hingga Musim Peralihan II dimana terlihat suhu batas atas dan batas bawah termoklin terlihat bahwa suhu batas atas dan bawah termoklin pada Musim Timur secara umum nilainya lebih kecil daripada saat Musim Barat. Hal ini terjadi karena umumnya batas atas dan bawah termoklin pada Musim Timur lebih dalam daripada musim barat. Faktor yang menyebabkan termoklin pada Musim Timur lebih dalam adalah karena hembusan angin monsun pada Musim Timur lebih kuat daripada hembusan angin pada Musim Barat. Angin yang lebih kuat ini akan membangkitkan arus dan gelombang yang lebih kuat yang akan mengaduk massa air dalam kolom perairan laut, sehingga lapisan tercampur (*mixed layer*) menjadi lebih dalam dan lapisan termoklin pun ikut turun. Semakin tinggi kecepatan angin yang bertiup di atas perairan maka umumnya akan menyebabkan semakin dalamnya lapisan termoklin. Pernyataan tersebut sesuai dengan yang disampaikan oleh Tomzack, (2000) yang

menyatakan semakin kuat laju arus dan gelombang yang disebabkan semakin kuatnya angin maka kedalaman termoklin akan terdesak semakin ke dalam.

Berdasarkan uraian hasil pengolahan data, tampak adanya fenomena ketebalan lapisan termoklin pada saat *El Nino* lebih tebal daripada saat *La Nina* (Lampiran 7). Hasil menunjukkan saat *El Nino* (November 2014-Mei 2016) ketebalan lapisan termoklin berkisar antara 113-166 m, sedangkan saat *La Nina* ketebalan lapisan termoklin tertinggi hanya mencapai 143 cm. Hal ini sesuai dengan penelitian Kurnaso (2012) yang menyebutkan bahwa lapisan termoklin saat El Niño menjadi tebal karena adanya beberapa faktor lingkungan yang menjadikan batas atas termoklin naik dan batas bawah termoklin turun. Naiknya batas atas termoklin karena adanya proses *upwelling* yang terjadi secara intensif pada musim timur. Sedangkan turunnya lapisan batas bawah termoklin diduga kuat karena banyaknya intensitas cahaya matahari yang bisa masuk menembus kolom air laut. Hal ini bisa terjadi karena secara umum pada saat El Niño tutupan awan di atas atmosfer Indonesia khususnya selatan Ekuator minimum. Indikator tutupan awan bisa diketahui secara tidak langsung dari tingginya curah hujan. Semakin banyak curah hujan maka tutupan awan semakin tinggi. Ada indikasi *tred* jelas kaitan antara curah hujan dan fluktuasi kedalaman termoklin bulanan.

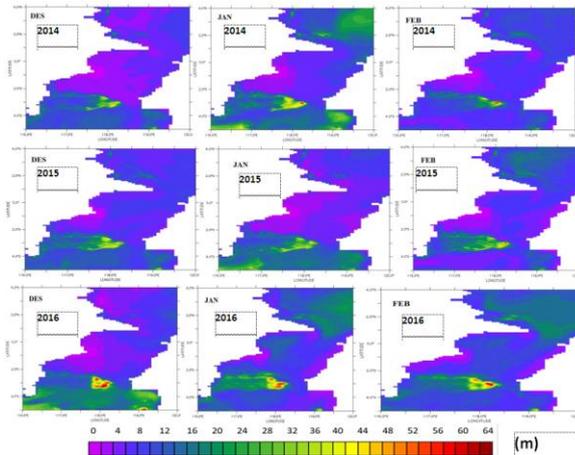
Mixed Layer Depth

Lapisan air permukaan pada umumnya menyebar hingga kedalaman tertentu sebelum

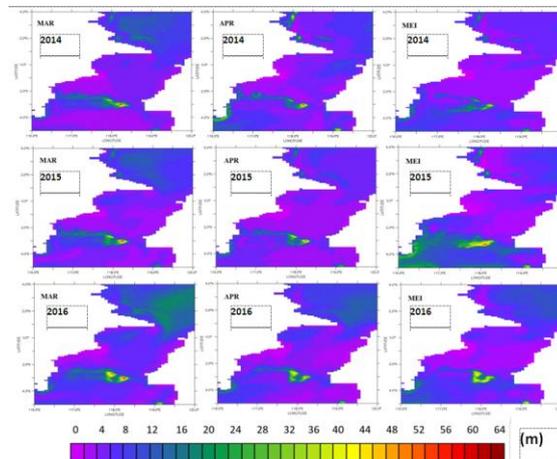
mencapai kedalaman yang lebih dingin di bawahnya. Pada permukaan air terjadi pencampuran massa air yang diakibatkan oleh adanya angin, arus dan pasut sehingga merupakan lapisan homogen (Wyrki, 1961). Lapisan ini masih dapat di jangkau oleh matahari.

dengan tahun-tahun sebelumnya karena terjadi *La Nina* pada Agustus 2016-Desember 2016. Maka dari itu, *Mixed Layer Depth* meningkat karena presipitasi curah hujan yang meningkat. Hal ini juga menyebabkan semakin menurunnya lapisan termoklin ke perairan yang lebih dalam.

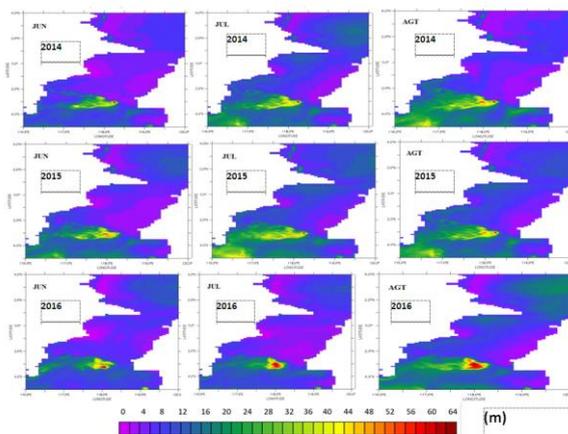
Penyebaran *Mixed Layer Depth* (MLD) pada tahun 2016 lebih tinggi jika dibandingkan



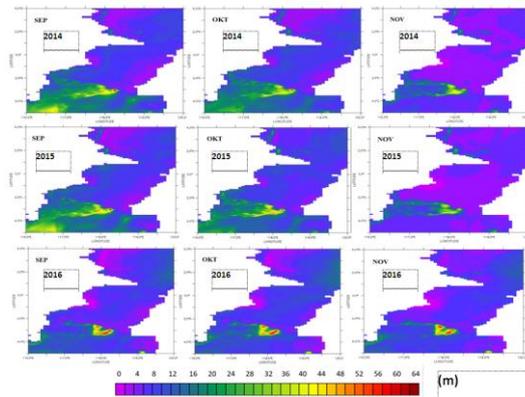
Gambar 6. Sebaran MLD pada Musim Barat Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 7. Sebaran MLD pada Musim Peralihan 1 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 8. Sebaran MLD pada Musim Timur Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 9. Sebaran MLD pada Musim Peralihan 2 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar

Gambar sebaran MLD (Gambar 6-9) menunjukkan nilai minimum MLD rata-rata tiap bulan dari 2014-2016 terjadi pada kedalaman 1,01 m. Pada Musim Barat nilai MLD maksimum pada Feb 2016 64 m. Pada Musim Peralihan I nilai MLD maksimum pada Mar 2015 sebesar 52 m. Pada Musim nilai MLD maksimum pada Agu 2016 sebesar 56 m. Pada Musim Peralihan II nilai MLD maksimum pada Sep 2015 sebesar 56 m. Pola arus Arlindo dapat membawa transfer massa air panas dari Samudera Pasifik dan massa air dingin dari Samudera Hindia. Kandungan MLD pada daerah sisi tenggara Selat Makassar lebih tinggi dibandingkan di daerah lain karena memiliki kedalaman lebih rendah daripada daerah lain. Hal ini dikarenakan penguatan arus yang terjadi, dan terstratifikasi dengan kuat dimana lapisan termoklin dimulai hanya beberapa meter dari permukaan (Naulita, 2016).

ENSO memiliki peran penting karena pergerakan kolom air panas yang diamati melalui anomali SPL (Suhu Permukaan Laut) di Samudra Pasifik menjadikan adanya fluktuasi suplai massa air hangat dari Samudra Pasifik menuju Indonesia melalui Selat Makassar. Pada saat *El Nino* kolom air panas berada di Samudra Pasifik bagian tengah yang mengakibatkan MLD di Samudra Pasifik bagian barat dangkal. Efek dari rendahnya MLD di bagian barat Samudra Pasifik ini mengakibatkan MLD di Selat Makassar dangkal karena transpor massa air yang masuk ke Indonesia melemah, sehingga massa air Laut Jawa ikut melemah oleh karena itu, Selat Makassar kekurangan massa air yang *less buoyant* sehingga MLD-nya dangkal (Geofary, 2016). Pada saat *La Nina* kolom air panas berada di Samudra Pasifik bagian barat yang mengakibatkan MLD di Samudra Pasifik bagian barat dalam karena transpor massa air menguat, sehingga massa air

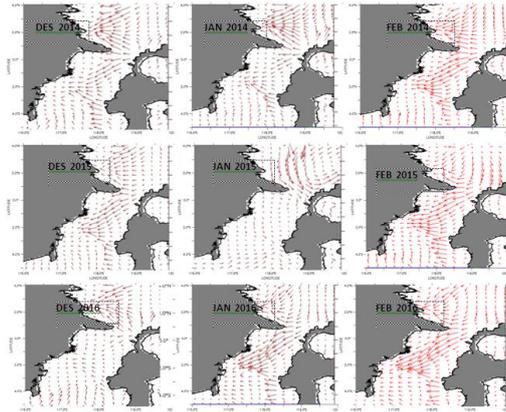
Laut Jawa ikut menguat maka, Selat Makassar mendapatkan lebih banyak suplai massa air yang *less buoyant* sehingga lapisan MLD dalam (Geofary, 2016).

Pola Arus

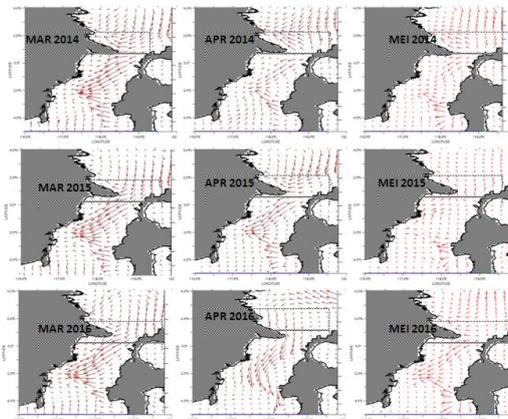
Angin yang berembus secara terus menerus di permukaan mengakibatkan adanya gerakan air laut atau disebut arus. Menguatnya angin akan memicu menguatnya dinamika perairan khususnya arus dan gelombang. Menguatnya arus dan gelombang akan menyebabkan proses pencampuran (*mixing*) menjadi lebih dalam, yang berakibat semakin dalamnya lapisan yang tercampur (*mixed layer*) dan semakin turunnya lapisan batas atas termoklin.

Pada Gambar 10-13 terlihat pola sirkulasi arus yang berbeda pada setiap musimnya. Kekuatan arus terkuat terjadi selama Musim Barat tahun 2014 khususnya pada bulan Januari dan Desember dengan kecepatan rata-rata 0,06 m/s dan kecepatan terkuat 1,08 m/s serta kekuatan arus terlemah 0,96 m/s. Hal ini disebabkan oleh topografi yang menyempit sehingga aliran arus menjadi kencang dengan arah arus dominan berasal dari utara menuju ke arah selatan (Annisa, 2013).

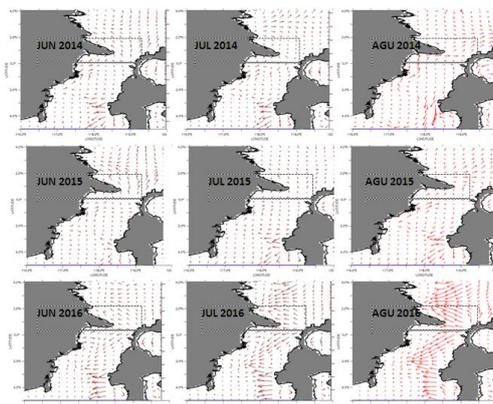
Fenomena ENSO mempengaruhi volume dan debit arus, dimana pada saat *El Nino* volume debit arus menjadi melemah. ENSO juga diketahui dapat mempengaruhi transport Arlindo. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ahmad (2016), volume transpor Arlindo berbeda pada saat terjadi ENSO baik *El Nino* maupun *La Nina*. Transpor pada saat *La Nina* rata-rata lebih tinggi (-0.18 Sv) daripada saat periode *El Nino* (-0.13 Sv). Kuat lemahnya volume debit arus juga mempengaruhi pola arus pusaran atau *eddy current*.



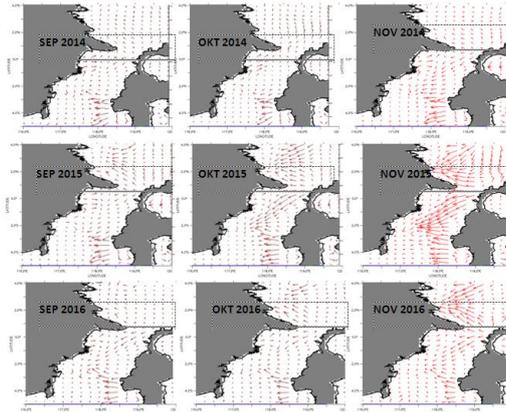
Gambar 10. Pola Sirkulasi Arus Musim Barat Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 11. Pola Sirkulasi Arus pada Musim Peralihan 1 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 12. Pola Sirkulasi Arus pada Musim Timur Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 13. Pola Sirkulasi Arus pada Musim Peralihan 2 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar

Eddy di Selat Makassar terbentuk karena topografi dan garis pantai yang kompleks. Perairan ini memiliki kedalaman lebih dari 2000 m dan berada diantara dua pulau yang mengapit (Kartadikaria *et al* 2011 dalam Nuzula *et al* 2016). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ratnasari (2017), *eddy* yang terbentuk di Selatan Selat Makassar disebabkan oleh arus yang bertabrakan dengan daratan Pulau Sulawesi sehingga berbelok dan membentuk arus pusaran.

Distribusi Lapisan Termoklin secara Spasial

Struktur lapisan suhu berdasarkan kedalaman yang mengindikasikan adanya lapisan termoklin dan *Mixed Layer Depth* (MLD) terdapat pada Gambar 6 – 8 dan hampir seragam. Secara vertikal di perairan Selat Makassar ini disebabkan oleh proses turbulensi oleh energi kinetik yang dibangkitkan dari luar melalui angin. Semakin besar energi kinetiknya maka proses *mixing*-nya juga semakin merambah ke lapisan yang lebih dalam atau dengan kata lain ketebalan *mixed layer* menjadi lebih besar dan lapisan termoklin semakin terdorong kedalam perairan. Hal ini dapat mempengaruhi kedalaman lapisan termoklin perairan yang berada dibawahnya.

Lapisan termoklin yang ditemukan di perairan Selat Makassar memiliki batas atas pada kedalaman 55 m dan batas bawah di kedalaman 300 m. Gradien suhu pada Selat Makassar menunjukkan adanya variasi secara bulanan, dimana pada Musim Timur hingga Musim Peralihan 2 yaitu Juni – September memiliki rentang nilai yang lebih rendah (Gambar 3 – 5). Hal ini dikarenakan transport Arlindo yang menguat dan menurunnya

intensitas curah hujan sehingga gradien suhu tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Pada umumnya, nilai gradien suhu yang dimiliki oleh Selat Makassar relatif kecil. Hal ini dikarenakan perairan Selat Makassar merupakan jalur utama tempat terjadinya pertukaran panas antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia sehingga memiliki kolom air yang hangat dan perbedaan suhu yang tidak terlalu besar pada setiap kedalaman. Menurut Gordon *et al* (2005) antara variabilitas lapisan termoklin dan variabilitas transport volume ke selatan, yaitu dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia memiliki tingkat keeratan yang tinggi dimana saat transport volume besar akan menyebabkan lapisan termoklin terdesak ke lapisan yang lebih dalam. Hal ini sesuai dengan penelitian, dimana pada saat Musim Timur kecepatan arus menguat (Gambar 9 – 11) dan lapisan termoklin semakin mengalami penurunan.

Semakin menipisnya lapisan termoklin disebabkan oleh adanya gelombang Kelvin di perairan Selat Makassar sehingga batas atas lapisan termoklin semakin menurun (Gambar 3 – 5). Hal ini telah dijelaskan oleh Sprintall *et al* (2000) bahwa pada akhir Mei – awal Juni pada bagian sisi timur Selat Makassar terdapat arus yang mengarah ke utara, dan berhubungan dengan tibanya gelombang Kelvin di Selat Makassar yang merambat dari Selat Lombok.

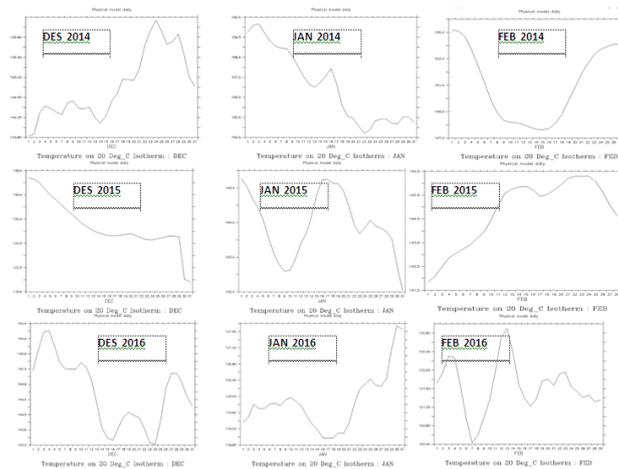
Hal ini berlawanan saat terjadinya Musim Barat, dimana transport Arlindo melemah sehingga lapisan termoklin semakin menebal dan mengalami penurunan batas bawah. Namun, pada saat Musim Peralihan II

ketebalan lapisan termoklin semakin menebal pada bulan Mei – Juni. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya tingkat *presipitasi* curah hujan sehingga menekan lapisan termoklin lebih dalam.

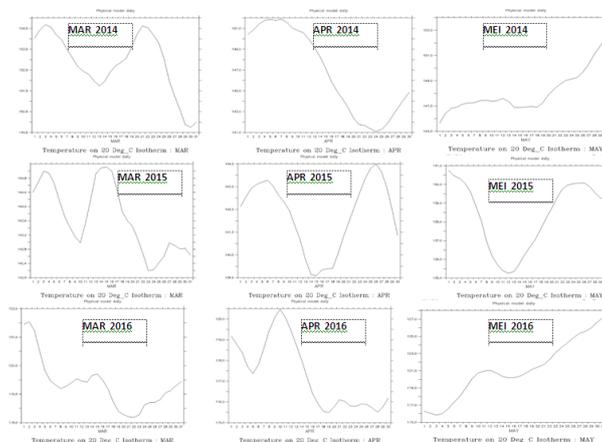
Mixed layer depth (MLD) atau lapisan tercampur dengan lapisan termoklin di perairan Selat Makassar memiliki turbulensi vertikal yang intensif pada sisi utara bila dibandingkan dengan bagian selatannya. Pada bagian Barat-Timur lebih intensif terjadi di bagian Timur (Prihatini, 2016). Hal ini disebabkan oleh tekanan angin di selatan dan tengah Selat Makassar.

Distribusi Lapisan Termoklin secara Temporal

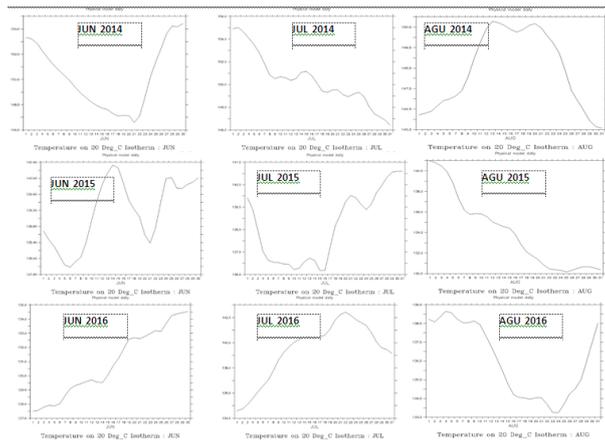
Lapisan termoklin memiliki kaitan erat terhadap lapisan homogen atau yang biasa disebut lapisan tercampur (*mixed layer*). Wyrki (1961) menjelaskan bahwa akibat adanya pergerakan massa air dan pergantian angin musim, maka lapisan homogen dapat bervariasi kedalamannya antara 0-100 m pada Musim Barat dan 0-50 m pada Musim Timur. Pada Musim Barat, lapisan termoklin lebih terdorong ke dalam perairan jika dibandingkan pada Musim Timur. Hal ini dikarenakan pada Musim Barat terjadi banyak presipitasi curah hujan sehingga lapisan homogenya menebal dan mendorong lapisan termoklin lebih dalam. Perubahan suhu hingga 20 °C dapat mengindikasikan terbentuknya lapisan termoklin.



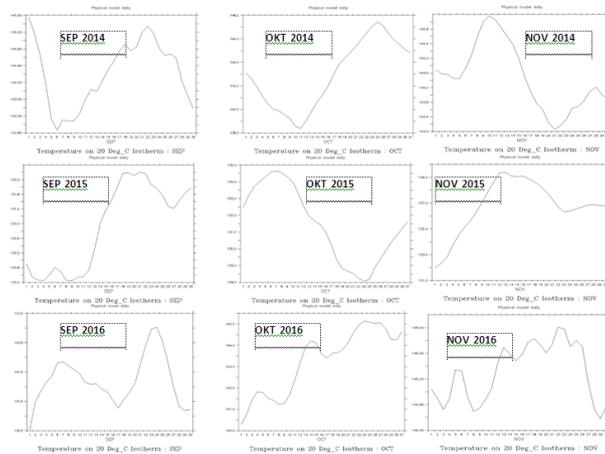
Gambar 14. Sebaran Suhu 20°C Secara Temporal pada Musim Barat Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 15. Sebaran Suhu 20°C Secara Temporal pada Musim Peralihan 1 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 16. Sebaran Suhu 20°C Secara Temporal pada Musim Timur Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar



Gambar 17. Sebaran Suhu 20°C Secara Temporal pada Musim Peralihan 2 Tahun 2014-2016 Di Selat Makassar

Pada Musim Barat, lapisan termoklin lebih terdorong ke dalam perairan jika dibandingkan pada Musim Timur. Hal ini dikarenakan pada Musim Barat terjadi banyak *presipitasi* curah hujan sehingga lapisan homogen menebal dan semakin dalam. Lapisan termoklin pada suhu 20 °C di tahun 2014 mengalami perubahan letak kedalaman pada setiap harinya sehingga membentuk pola bulanan yang berfluktuatif (Gambar 12). Perubahan suhu hingga 20 °C dapat mengindikasikan terbentuknya lapisan termoklin. Hal ini dipengaruhi oleh pergerakan arus pada setiap musim dan fenomena ENSO yang memasuki fase *El Nino* kuat sehingga lapisan termoklin lebih naik ke permukaan. Pada musim peralihan I terlihat bahwa lapisan termoklin tidak konsisten dan mengalami naik turun setiap minggunya. Hal ini dikarenakan pada musim peralihan arah angin tidak menentu

sehingga arus vertikal yang membawa lapisan termoklin tidak menentu juga. Hal ini telah dijelaskan oleh Sprintall *et al* (2000) bahwa pada akhir Mei – awal Juni pada bagian sisi timur Selat Makassar terdapat arus yang mengarah ke utara, dan berhubungan dengan tibanya gelombang Kelvin di Selat Makassar yang merambat dari Selat Lombok pada kedalaman sekitar 350 m (Umangsaji, 2006). Pada Musim Timur lapisan termoklin mengalami kenaikan di bulan agustus karena saat musim timur terjadi musim kemarau sehingga lapisan air dalam terangkat beserta dengan lapisan termoklin. Namun, pada bulan juni – juli lapisan termoklin mengalami grafik yang berfluktuatif naik turun. Pada Musim Peralihan 2 di bulan Oktober lapisan termoklin mengalami peningkatan kedalaman, namun mengalami naik turun pada bulan September dan November. Arah angin yang tidak menentu

pada musim peralihan timur-barat disebabkan oleh peralihan musim yang berlawanan dengan musim sebelumnya sebagai bentuk penyesuaian.

Lapisan termoklin pada Musim Barat tahun 2015 semakin turun kebawah jika dilihat pada bulan Januari (Gambar 14). Turunnya lapisan termoklin disebabkan oleh meningkatnya curah hujan sehingga perairan banyak mengalami presipitasi oleh curah hujan dan menekan lapisan termoklin menjadi lebih dalam daripada Musim Timur. Selain itu, banyaknya kejadian *downwelling* yang disebabkan oleh gaya Coriolis di Selat Makassar. Pada musim peralihan I Pada bulan Maret lapisan termoklin mengalami peningkatan kedalaman, namun turun pada bulan April, setelah itu lapisan termoklin naik lagi ke permukaan pada bulan Mei. Pada Musim Timur, lapisan termoklin mengalami penurunan karena kecepatan arus menguat dan lapisan termoklin semakin kedalam. Menurut Gordon *et al* (2000) antara variabilitas lapisan termoklin dan variabilitas transport volume ke selatan, yaitu dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia memiliki tingkat keeratan yang tinggi dimana saat transport volume besar akan menyebabkan lapisan termoklin terdesak ke lapisan yang lebih dalam. Pada musim peralihan 2 di tahun 2015 lapisan termoklin tidak konsisten dan mengalami naik turun pada setiap bulannya. Pada bulan September lapisan termoklin mengalami peningkatan kedalaman, namun turun pada bulan Oktober, setelah itu naik lagi pada bulan November.

Lapisan termoklin pada suhu 20 °C di tahun 2016 mengalami perubahan letak kedalaman pada setiap harinya sehingga membentuk pola bulanan yang berfluktuatif (Gambar 15). Hal ini dipengaruhi oleh pergerakan arus pada setiap musim dan fenomena ENSO yang memasuki fase *El Nino* kuat selama tiga bulan pada Januari – Maret sehingga lapisan termoklin lebih naik ke lapisan permukaan. Setelah itu, diikuti oleh *La Nina* pada bulan Agustus – Desember sehingga lapisan termoklin lebih turun ke lapisan yang lebih dalam. Sebaran suhu pada 20°C pada tahun 2016 menunjukkan bahwa pada awal Musim Peralihan 1 mengalami penurunan kedalaman. Namun, sebaliknya pada bulan Mei di penghujung Musim Peralihan 1 peningkatan kedalaman. Pada pertengahan Musim Peralihan 1 yaitu April tidak konsisten dan mengalami naik turun dan cenderung naik ke permukaan. Pada tahun 2016 suhu mengalami peningkatan

daripada sebelumnya. Hal ini dikarenakan terjadinya *El Nino* kuat dan *La Nina* secara bersamaan tahun 2016 dengan *El Nino* kuat selama Januari – Maret dan *La Nina* pada bulan Agustus – Desember. Pada tahun 2016 mengalami kenaikan SPL sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Lapisan termoklin dan isotherm semakin meningkat ke permukaan pada tahun 2016. Hal ini dikarenakan arus yang melemah dan menyebabkan terjadinya kenaikan air laut atau *upwelling* oleh fase *El nino* dan *La nina* pada tahun 2016. Pada tahun 2014 kondisi oseanografi Perairan Selat Makassar sedang mengalami fase tahun normal, sedangkan pada tahun 2015 sedang mengalami fase *El Nino* kuat.

Angin berperan nyata dalam penurunan lapisan batas atas termoklin. Kecepatan angin dapat memicu peningkatan pergerakan arus permukaan yang membawa massa air sehingga terjadi pencampuran massa air (Kunarsa dkk., 2012). Menguatnya arus Arlindo juga diduga menekan lapisan batas atas termoklin sehingga menjadi lebih dalam. Perubahan letak lapisan atas termoklin yang menjadi lebih dalam ataupun dangkal dipengaruhi oleh gelombang internal yang terjadi di perairan Selat Makassar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, kesimpulan yang didapatkan yaitu, secara spasial, lapisan termoklin yang ditemukan di Selat Makassar memiliki batas atas pada kedalaman 25-106 m dan batas bawah di kedalaman 165-227 m. Secara temporal, lapisan homogen pada Musim Barat terdapat pada kedalaman 0-100 m dan 0-50 m pada Musim Timur. Pada Musim Barat, lapisan termoklin lebih terdorong ke dalam perairan jika dibandingkan pada Musim Timur. Pada November 2014-May 2016 telah terjadi *El Nino* dan *La Nina* terjadi pada Agustus-Desember 2016. Kondisi *El Nino* menjadikan nilai termoklin meningkat dibanding sebelumnya, sedangkan pada saat *La Nina* nilai MLD yang meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

Gordon, A. L., Susanto. 2005. *Oceanography of the Indonesian seas and their throughflow*. Oceanography, vol 18(4). Hal: 14– 27.

- Harsono, G. 2012. Fenomena “Barrier Layer”
01 Perairan Ekuatorial Pasifik Barat.
Hlm. 1-3. Sensing, ISSN: 0143-1161 (Print)
1366-5901.
- Ilahude, A., & Gordon, A. (1970).
Thermocline Stratification within the
Indonesian Seas. *J. Geophys Res* 101,
12.401-12.409. Tomczak, M., & Godfrey, J. (2005). *Regional
Oceanography: An Introduction*.
London: Buttler & Tanner Ltd.
- Ilahude, A. (1978). *On The Factors Affecting
the Productivity of the Southern
Makassar Strait*. Maar. Res. Tomzack, M. (2000). *Physical Oceanography
of the Waters South Java, Report from
Harbour Master at Sunda Kelapa Port,
North Jakarta re rescue position of
SIEVX*.
- Ilahude, A., & Gordon, A. (1970). Thermocline
Stratification within the Indonesia Seas.
J. Geophys Res 101, 12.401-12.409. Wyrтки, K. (1961). *Physical Oceanography of
the Southeast Asian Water*. California:
The University of California.
- Ilahude, A., & Nontji, A. (1999). *Pengantar
Oseanologi Fisika*. Jakarta: P2O-LIPI.
- Nuzula. F. 2016. *Variabilitas Temporal Eddy di
Perairan Makassar – Laut Flores*.
Skripsi. Jatinangor: Fakultas Perikanan
dan Ilmu Kelautan, Universitas
Padjadjaran.
- Prihatini D., Purba M., Naulita Y., Purwandana
A. 2016, *Vertical Turbulent at
Thermocline Layer in Makassar Strait*,
International Journal of Marine Science,
6(51): 1-10 (doi: 10. 5376 /ijms. 2016.
06.0051).
- Purba, N. P., & Pranowo, W. S. (2015).
Dinamika Oseanografi. Bandung:
Unpad Press.
- Sprintall J, AL Gordon, R Murtugudde, RD
Susanto. 2000. *A semiannual Indian
Ocean forced Kelvin wave observed in
the Indonesian seas in May 1997*.
Journal of Geophysical Research:
Oceans 105 (C7), 17217-17230.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, & Q. Zheng. 2001.
*Upwelling along the Coast of Java and
Sumatra and Its relation to ENSO*. *J.*
Geophysical Research Letters. 28(8):
1599-1602.
- Syamsuddin, M., Saitoh, S.-i., Hirawake , T.,
Syamsudin, F., & Zainuddin , M. 2016.
*Interannual Variation of Bigeye Tuna
(Thunnus Obesus) Hotspots in the
Eastern Indian Ocean of Java*.
International Journal of Remote