

Struktur Arus dan Variasi Spasial Arlindo di Selat Makassar dari EWIN 2013

Selfrida Missmar Horhoruw^{1*}, Agus S. Atmadipoera¹, Mulia Purba¹, Adi Purwandana²

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor
Jl. Agatis, Kampus IPB Dramaga Bogor 16880 Indonesia

²Pusat penelitian oseanografi-LIPI, Jln. Pasir Putih I Ancol Timur Jakarta, 14430, Indonesia
Email: idahorhoruw@gmail.com

Abstrak

Selat Makassar (SM) salah satu pintu masuk utama Arus Lintas Indonesia (Arlindo) membawa transport Arlindo sekitar 75% dari total 15 Sv. Pengukuran mooring arus di Kanal Labani telah dilakukan sejak tahun 1996, namun pengukuran hidrografi yang mencakup seluruh kawasan SM jarang dilakukan. Kontur selat yang berupa kanal dengan keragaman batimetri sangat mempengaruhi karakteristik massa air yang bergerak di dalamnya sehingga diperlukan penelitian mencakup seluruh kawasan SM. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji variasi spasial dan struktur arus dan massa air Arlindo di kawasan SM dari hasil ekspedisi EWIN Juni 2013. Data hidrografi yang digunakan terdiri dari 29 casts CTD yang tersebar di kawasan SM dan data arus di kedalaman 0-125 m dari shipboard ADCP sepanjang lintasan survei. Hasil penelitian menunjukkan Arlindo Makassar dicirikan arus jet kuat intensif di kedalaman termoklin (75-125 m), dimana pola alirannya mengarah ke selatan sampai barat daya di pintu masuk utara SM. Arus ini berlanjut sampai mendekati lintang 2°LS, yang selanjutnya arah alirannya berubah ke tenggara menyusuri lereng dangkalan Kalimantan yang mengarah ke Kanal Labani. Arus jet berubah ke arah selatan sampai tenggara di kanal ini dan menjadi lebih kuat. Sirkulasi di sisi tepi barat laut SM terbentuk pusaran arus searah jarum jam. Stratifikasi massa air Arlindo Makassar didominasi massa air Pasifik Utara, yaitu North Pacific Subtropical Water (NPSW) di kedalaman termoklin dan North Pacific Intermediate Water (NPIW) di bawah termoklin. Terdapat variasi spasial massa air NPSW dan NPIW, dimana semakin kearah selatan nilai salinitas maksimum (minimum) NPSW (NPIW) semakin berkurang sekitar 0,03 psu. Ketebalan lapisan termoklin sisi timur selat lebih besar sehingga distribusi vertikal massa air Pasifik Utara tersebut cenderung lebih kuat di sisi timur sehingga ditemukan intensifikasi Arlindo ke arah barat Selat Makassar.

Kata kunci: Arlindo, EWIN 2013, Selat Makassar, massa air Pasifik Utara

Abstract

Current Structure and Spatial Variation of Indonesian Throughflow in Makassar Strait Under Ewin 2013

Makassar strait as the main entrance of the Indonesian Through low (ITF) known to carry the ITF transport about 75% of 15 Sv total transport. Current mooring measurement in Labani Channel has been made since 1996, however, the hydrography measurement that covering the entire Makassar Strait is still rarely done. The canal countour and bathymetry diversity of the strait affect the characteristic of mass water moving so that the research which cover the entire of the Makassar Srait is needed. The aims of this study were to investigated the current structure and spatial variation of ITF in Makassar Strait from EWIN expedition during June 2013. Hydrographic data consists of 29 CTD casts that distributed over the Makassar Strait waters and current data was from shipboard ADCP along the survey path at 0-125 m. The result showed that ITF of Makassar Strait was characterized by a strong jet current that intensive in thermocline depth (75-125 m), where the flow pattern toward the south to southwest at the entrance of ITF in the northern. The jet current continues to approach the 2°S, then the direction changed to southeast down the shallow Kalimantan slope to Labani Channel and become stronger. In the edge of Makassar Strait, circulation form cyclone eddies. ITF waters stratification was dominated by North Pacific Subtropical Water (NPSW) in the thermocline depth and North Pacific Intermediate Water (NPIW) in the below of thermocline depth. There was spatial variation of mass water NPSW and NPIW where ITF weakness toward southern with decreases 0.03 psu of maximum salinity and increaces 0.007 psu of minimum salinity. Thermocline layer in the eastern was thicker so that the vertical distribution of mass water of North Pasific was likely stronger in the east side of Makassar Strait.

Keywords: ITF, EWIN 2013, Makassar Strait, North Pacific Mass Water.

Pendahuluan

Transpor Arus Lintas Indonesia (Arlindo) terjadi dari barat ekuator Pasifik ke Samudera Hindia. Sistem arus tersebut bergerak sepanjang batas barat (*western boundary*) dan dikenal juga dengan nama *Western Boundary Current* (WBC) di selatan Samudera Pasifik kemudian melintasi ekuator menjadi Arlindo (Lee et al., 2002). Perpindahan massa air tersebut dikenal dengan nama *low latitude western boundary current* (LLWBCs) (Qiu dan Masumoto, 2011). Arus LLWBCs masuk ke Indonesia melalui Selat Makassar berasal dari Arus Mindanao di tepi timur Filipina (Hautala et al., 1996), yang membawa massa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) dan *North Pacific subtropical Water* (NPSW) (Du dan Qu, 2010).

Massa air NPSW menyebar dengan ciri salinitas maksimum pada lapisan termoklin (Wyrky, 1961). Massa air ini dibawa arus *North Equatorial Current* dari Pasifik ke arah barat, kemudian NEC mengalami percabangan, ke arah utara menjadi sumber Arus Kuroshio, dan ke arah selatan menjadi Arus jet Mindanao, dimana sebagian cabang arus ini bergerak ke arah selatan dan masuk ke Laut Sulawesi dan berlanjut ke Selat Makassar. Di Selat Makassar nilai salinitas maksimum NPSW berkisar antara 34,756 psu sampai 34,843 psu pada kedalaman 67 -117 m atau pada lapisan termoklin. Massa air NPIW dicirikan oleh salinitas minimum pada lapisan pertengahan, dan dihasilkan di bagian utara Pasifik sekitar 40°LU. Massa air ini hanya terbentuk di Barat Laut Gyre Subtropik, dimana terjadi pencampuran antara front Kuroshio dan Oyashio (Kouketsu et al., 2007). Menurut Ilahude dan Gordon (1996), NPIW yang melewati Selat Makassar mempunyai nilai salinitas minimum antara 34,442-34,448 psu ditemukan antara kedalaman 287 m sampai 355 m.

Arlindo bervariasi secara musiman yang dipengaruhi oleh adanya pergantian musim (Wyrky 1961; Ilahude dan Gordon 1996; Shinoda et al., 2012). Penguatan Arlindo terjadi pada lapisan termoklin dengan kecepatan tertinggi terjadi pada musim timur (Susanto et al., 2012). Hasil penelitian Pujiana et al. (2009) menemukan adanya variabilitas intra musiman dari aliran massa air Arlindo pada wilayah dekat Kanal Labani. Adanya variabilitas yang kuat di Selat Makassar juga ditemukan oleh Susanto et al. (2012). Mayer dan Damm (2012) juga menyatakan bahwa model arus pada wilayah Selat Makassar memiliki variabilitas ruang dan waktu yang tinggi.

Karakteristik massa air Arlindo mengalami transformasi yang cukup besar ketika memasuki perairan Indonesia (Hautala et al., 1996; Koch-

Larrouy et al., 2007, 2008). Transformasi Arlindo mengakibatkan hilangnya ciri asli massa air yang berasal dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia (Valsala dan Ikeda 2005). Misalnya semakin rendahnya salinitas maksimum pada massa air NPSW dari Selat Makassar menuju Laut Banda dan sebaliknya nilai salinitas minimum pada massa air NPIW semakin tinggi ketika memasuki Laut Banda (Ilahude dan Gordon 1996; Naulita 1998). Ketika memasuki perairan Indonesia, 40% massa air mengalami transformasi pada wilayah dekat Sangihe, 30% di Selat Makassar dan Laut Flores, 26% di daerah Halmahera, Laut Maluku dan Seram sedangkan 26% tertransformasi pada wilayah Selat Ombai dan Timor, sedangkan di Laut Jawa dan Samudera Hindia transformasi terjadi dengan arah yang berlawanan sebesar -20% (Koch-Larrouy et al., 2008).

Selat Makassar sendiri membawa 80-85% massa air yang berasal dari Pasifik Utara dan dapat dipakai untuk menghitung seluruh transpor antar Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia sehingga dapat dijadikan kunci dalam integrasi skala besar antar samudera (Gordon et al., 2003; Gordon et al., 2010). Simulasi arus masuk pada wilayah Selat Makassar bersifat seperti *western boundary* sehingga intensifikasi arus kuat cenderung ke arah barat selat (Mayer dan Damm, 2012). Hingga saat ini belum ada publikasi dengan data observasi yang menjelaskan bagaimana proses tersebut terjadi. Pengukuran hidrografi transek tunggal dalam program Arlindo (Ilahude dan Gordon, 1996) di tengah Selat Makassar telah dilakukan pada musim berbeda, namun demikian pengukuran hidrografi yang mencakup kawasan SM baru dilaksanakan pada program EWIN 2013 sehingga penelitian ini perlu dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pola sirkulasi dan struktur vertikal arus Arlindo, serta mengkaji variasi spasial massa air Arlindo di wilayah Selat Makassar.

Materi dan Metode

Pengukuran data hidrografi pada program EWIN 2013 dilakukan di Selat Makassar dengan menggunakan kapal riset Baruna Jaya VII. Ekspedisi Widya Nusantara (EWIN) merupakan kerja sama LIPI dengan *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization* dan *IOC Sub-Commission for the Western Pacific* (WESTPAC).

Data suhu, salinitas dan kedalaman diukur dengan alat CTD SBE 911 plus dilengkapi dengan sensor oksigen terlarut dan parameter opsional lainnya. Pengukuran CTD dilakukan di 29 stasiun pengukuran tersebar di Selat Makassar (Gambar 1).

Pengolahan data CTD mengikuti prosedur dari *SBE Data Processing* (User manual SBE, 2014). Prosedur pengolahan data CTD dimulai dari konversi data hingga koreksi manual dengan align CTD dilakukan pada data oksigen dengan nilai sebesar 5, koreksi temperatur dilakukan dengan amplitude 0,03 dan nilai anomali waktu sebesar 7 detik. *Low pass filter* dengan frekuensi 0,03s diterapkan pada kedalaman sedangkan pada konduktifitas digunakan frekuensi 0,15. Perata-rataan bin kedalaman adalah sebesar 0,5 m (McTaggart *et al.*, 2010). Analisis CTD dilakukan dengan piranti lunak *Ocean Data View*, untuk dikaji struktur dan stratifikasi massa air Arlindo Makassar, dan variasi spasial dari distribusi massa airnya.

Data arus laut di sepanjang perlintasan survei diukur dengan *shipboard ADCP RDI 75 kHz* dengan konfigurasi bin 10 m dan rata-rata akuisisi data setiap 3 menit. Pengolahan dan analisis data SADCP menggunakan CODAS (Firing *et al.*, 1995). Visualisasi plot vektor arus dibuat untuk 4 level kedalaman yaitu 50, 75, 100 dan 125 m.

Hasil dan Pembahasan

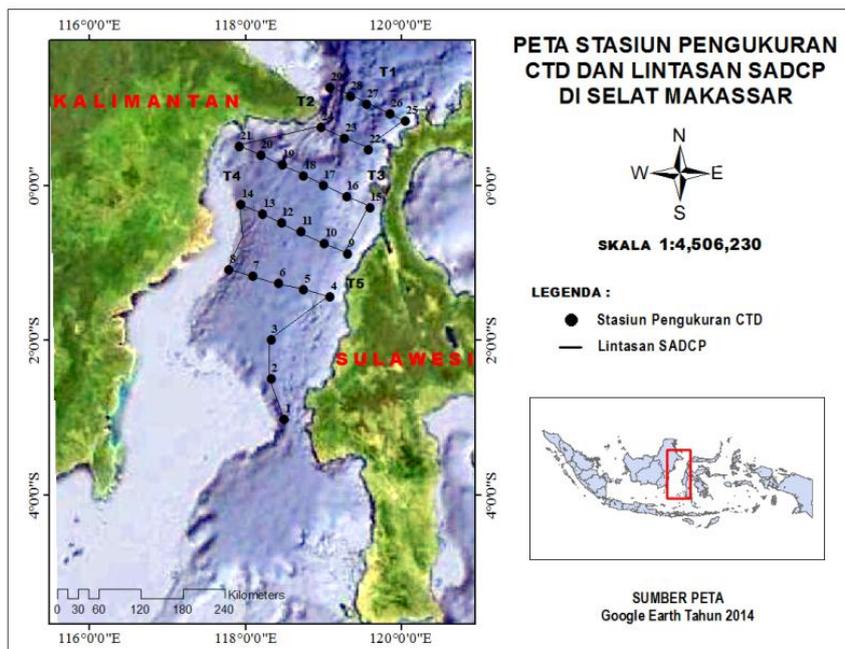
Kondisi arus

Hasil visualisasi menunjukkan arus menuju ke barat daya, intensifikasi arus pada sisi barat Selat Makassar terlihat pada Transek 4-5. Gambar 2. Meyer dan Damm (2012) menamai sistem arus

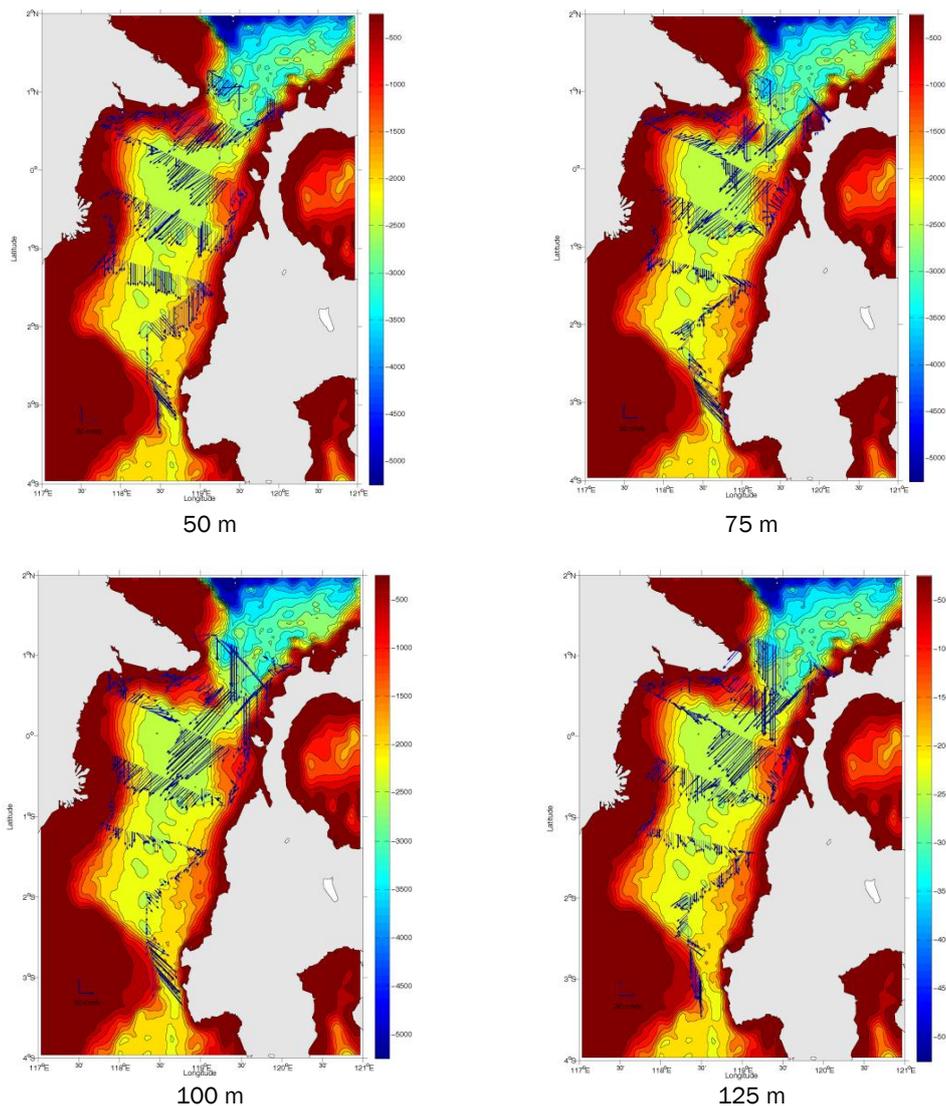
ini sebagai Arus Makassar (*Makassar Current*). Semakin ke arah selatan arah arus berubah ke arah tenggara kemudian menuju Kanal Labani, arus mengalir dengan arah menuju selatan.

Ketika memasuki Selat Makassar, terdapat suatu celah antara Tanjung Mangkaliat dan Tanjung Dondo dengan lebar sekitar 60 km. Celah tersebut menyebabkan aliran massa air (arus) pada jalur masuk Arlindo menjadi lebih kuat. Arus ini masih terlihat sampai di Transek 3. Pada Transek 1 dan 2, terlihat penguatan arus di lapisan dekat permukaan mengalir dengan intensitas arus terkuat berada pada bagian barat (Gambar 3). Kuatnya pergerakan massa air pada lapisan dekat permukaan pada sisi barat Transek 1 dan 2 diperkirakan akibat tingginya pencampuran kolom air pada lapisan tercampur di wilayah tersebut.

Pada wilayah dekat permukaan, vektor arus permukaan lebih lemah dibandingkan pada wilayah yang lebih dalam (Gambar 2a). Hal ini disebabkan adanya pergerakan arus meridional (*v*) menuju utara (Gambar 3). Pada sisi timur di lapisan permukaan mengalir massa air dari utara yang menghadang pergerakan massa air yang berasal dari wilayah selatan Selat Makassar. Beberapa penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa arus dekat permukaan di Selat Makassar menunjukkan variasi musiman yang kuat, dimana pada periode musim barat terdapat aliran massa air permukaan bersalinitas rendah (arus) yang berasal dari Laut



Gambar 1. Stasiun pengukuran CTD dan lintasan SADCP pada EWIN 2013 di Selat Makassar. Terdapat 21 stasiun CTD dari stasiun 1 di kanal Libani sampai stasiun 21 di pintu utara SM.



Gambar 2. Vektor arus di Selat Makassar pada beberapa level kedalaman. Warna latar menunjukkan batimetri perairan selat

China Selatan melewati Selat Karimata dan kemudian memasuki Laut Jawa Flores dan Laut Banda, dimana aliran massa air tersebut membangkitkan gradien tekanan barotropik pada sepanjang Selat Makassar pada arah selatan menuju utara dan melemahkan aliran di dekat permukaan (Gordon et al., 2003; Atmadipoera et al., 2009; Tozuka et al., 2009). Lebih lanjut Gordon et al. (2003) menyimpulkan bahwa terdapat korelasi tinggi antara aliran ini dengan angin zona pada Laut Jawa sebesar 0,8. Pada saat EWIN 2013 dilaksanakan selama Bulan Juni, masih ditemukan adanya aliran massa air permukaan menuju utara, diduga pada saat mulai terjadi pembalikan arah angin, aliran massa air tersebut tidak ikut langsung berbalik mengikuti arah angin, namun terdapat jeda (*time lag*) dimana massa air membutuhkan waktu untuk secara penuh berbalik mengikuti arah angin.

Pada level kedalaman termoklin (100-125 m) ditemukan arus dengan pergerakan selalu menuju selatan. Arus ini dikenal sebagai Arlindo Makassar (Gordon et al., 2010). Massa air yang masuk pada pintu masuk utara Selat Makassar berbenturan dengan topografi dasar laut di sisi timur slope SM, sehingga menghasilkan pembelokan arah arus ke arah barat dengan aliran terkuat berada pada sisi timur perairan (Gambar 2c dan 2d). Hasil ini sama dengan model yang dihasilkan Mayer dan Damm (2012) yang menemukan adanya arus jet pada lapisan di bawah lapisan permukaan yang bergerak menyerupai *western boundary current* (*Sunda Shelf edge*) pada sepanjang jalur lintas Arlindo dari Laut Sulawesi memasuki Selat Makassar hingga keluar melewati Selat Lombok.

Konfigurasi perairan Selat Makassar yang menyerupai kanal menciptakan suatu *boundary*

layer pada tepi kanal yang mengubah pola pergerakan Arlindo pada sekitar wilayah tersebut. Sehingga pada beberapa wilayah perairan di Selat Makassar terjadi pusaran arus yang berbentuk eddies. Pada sisi Barat Transek 3 ($0,106-0,509^{\circ}$ LU dan $117-118.8.9^{\circ}$ BT), aliran massa air terhalang oleh batas kanal Selat Makassar dengan kedalaman 35 m yang mengakibatkan arah aliran arus dibelokkan. Resirkulasi arus terjadi pada sisi tengah hingga barat Transek 3 pada kedalaman di bawah 65 meter. Resirkulasi massa air juga tampak di sisi timur antara Transek 3 dan 4 ($0,0263-0,884^{\circ}$ LS dan $119.2-119.5^{\circ}$ BT). Resirkulasi arus pada batas tepi ini tampak pada setiap lapisan kedalaman (0-200 m).

Pola sirkulasi menunjukkan bahwa aliran Arlindo mengalami intensifikasi pada lapisan termoklin (Gambar 2c) dengan kecepatan mencapai $-1,43 \text{ m.s}^{-1}$ pada jalur masuk Arlindo (Transek 1) dan merupakan kecepatan tertinggi yang ditemukan dengan arah aliran semakin menuju barat daya selat. Akan tetapi, pada jalur keluar Arlindo di Kanal Labani kecepatan massa air $-0,90 \text{ m.s}^{-1}$. Hasil ini hampir sama dengan penelitian Susanto *et al.* (2012) selama tahun 2004-2009 yang menemukan aliran massa air terkuat ditemukan pada kedalaman sekitar 120 m namun memiliki nilai sedikit lebih kecil yakni $-0,80 \text{ m.s}^{-1}$ selama periode musim timur.

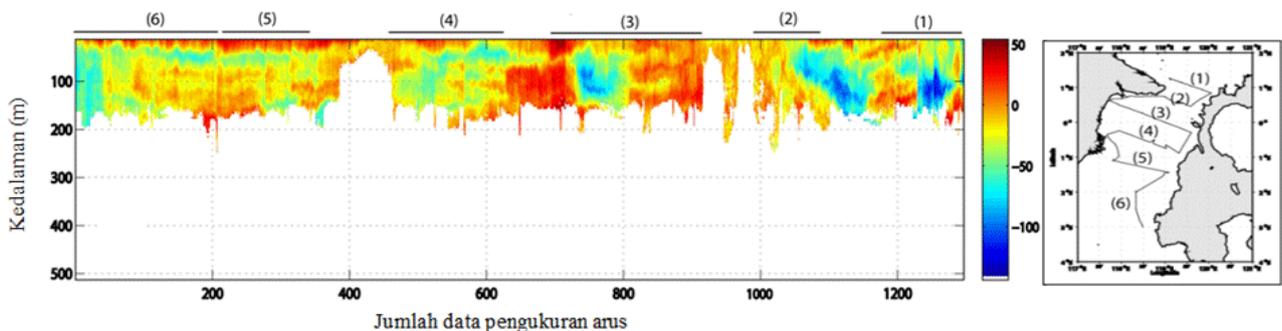
Menurut Sprintall *et al.* (2014) variasi kedalaman serta kecepatan Arlindo turut dipengaruhi oleh adanya El Nino/Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole pada periode waktu antra tahunan atau dekade. Selama tahun 2004-2009 telah terjadi El Nino dengan IOD positif pada tahun 2006/2007 dan La Nina dengan IOD netral selama kurun waktu 2007/2008 (Susanto *et al.*, 2012). El Nino menyebabkan angin pasat pasifik melemah atau berbalik sehingga transport Arlindo lemah (Sprintall *et al.*, 2014). Sedangkan pada tahun 2013 dimana ekspedisi EWIN dilakukan baik IOD maupun ENSO berada pada kondisi normal.

Memasuki Kanal Labani, arus Arlindo semakin intensif. Konfigurasi Kanal Labani yang sempit dan dalam (2000 m) merupakan faktor utama kuatnya aliran pada wilayah tersebut. Pada Kanal Labani telah mulai terjadi percabangan arus ke arah sisi barat dan timur selat. Gordon dan Fine (1996) mengemukakan percabangan aliran Arlindo terjadi ketika arus Arlindo melewati wilayah Dewakang Sill (680 m). Namun, hasil penelitian ini menunjukkan percabangan arus terjadi sebelum melewati Dewakang sill. Sebelum memasuki wilayah Kanal Labani, kedalaman kontur perairan adalah sekitar 2000 m, selanjutnya semakin ke arah selatan dimana percabangan arus ditemukan penurunan batimetri lebih dari 300 meter dengan puncak kontur adalah 1771 m. Pada bagian permukaan dan kedalaman ~ 100 m arah kekuatan arus lebih besar mendorong massa air menuju arah sisi barat dibandingkan ke arah timur.

Profil menegak temperatur, salinitas dan oksigen

Hasil profil menegak arus pada kedalaman hingga 1000 m pada Gambar 4 menunjukkan terdapat 3 lapisan perairan yakni lapisan tercampur, termoklin dan lapisan dalam. Lapisan permukaan tercampur ditemukan pada kedalaman antara 17-79 m. Pada jalur masuk Arlindo ke Selat Makassar (Transek 1 dan 2), ditemukan lapisan tercampur cenderung lebih tebal pada sisi barat selat (70.5-79 m), sedangkan pada sisi timur lapisan ini lebih tipis (17-24 m). Hal ini disebabkan oleh kuatnya aliran massa air (arus) NPSW pada sisi timur Selat Makassar sehingga mendorong lapisan termoklin sampai dekat permukaan.

Temperatur permukaan tercampur memiliki kisaran antara $29,49-29,96^{\circ}\text{C}$. Nilai ini lebih tinggi dari nilai yang dikemukakan Ilaude dan Gordon (1996) yang menyatakan temperatur permukaan Selat Makassar pada musim timur selama tahun 1993 berkisar antara $28,2-28,7^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3. Sebaran Komponen arus meridional (v) di lintasan survei sepanjang Selat Makassar pada kedalaman 0-200 m, keterangan lokasi transek arus berada sebelah kanan gambar. Warna menunjukkan skala kecepatan (cm/s)

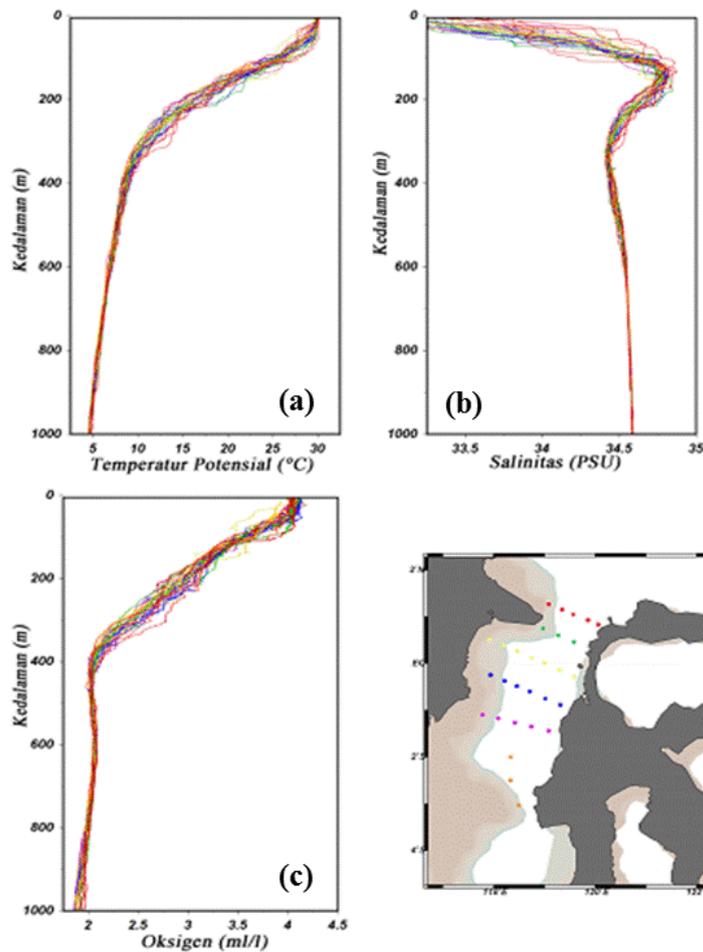
Temperatur permukaan tertinggi ditemukan pada wilayah utara Selat Makassar dengan rata-rata 29,89°C. Semakin ke selatan, nilai temperatur permukaan semakin kecil. Pada Transek 2 rata-rata temperatur adalah 29,75°C, di Transek 3 nilai temperatur adalah 29,76°C, dan pada Transek 4 dan 5 sebesar 29,68°C, dan pada Transek 6 nilai temperatur permukaan sebesar 29,66°C. Hal ini menunjukkan adanya transformasi massa air ke arah selatan. Pada bagian barat selat (Stasiun 28, 24, 20, 14 dan 8), temperatur permukaan lebih tinggi bila dibandingkan pada bagian timur (Stasiun 26, 22, 16, 9 dan 4) Selat Makassar. Perbedaan temperatur rata-rata antara bagian barat dan timur Selat Makassar relatif kecil yaitu sebesar 0,12°C.

Secara umum, lapisan permukaan tercampur di Selat Makassar berada pada anomali densitas rata-rata sekitar 20,6 kgm⁻³ dengan salinitas permukaan tercampur rata-rata adalah 33,42 psu atau lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Iahude dan Gordon (1996) yang menyatakan bahwa

selama musim timur, nilai salinitas permukaan Selat Makassar berada di atas 34.1 psu.

Perbedaan hasil pengukuran EWIN 2013 dengan hasil penelitian Gordon mungkin disebabkan oleh adanya perbedaan pada posisi transek. Transek EWIN 2013 mencakup seluruh bagian barat-timur selat, sedangkan transek penelitian Gordon and Fine (1996) berada pada pertengahan selat. Hal ini menyebabkan temperatur permukaan rata-rata hasil ekspedisi EWIN lebih tinggi dengan nilai salinitas yang lebih rendah yang dikarenakan posisi stasiun EWIN 2013 mencakup beberapa massa air pada wilayah yang lebih dangkal.

Salinitas permukaan tertinggi berada di utara Selat Makassar dengan kisaran nilai rata-rata antara 33,68-33,89 psu dan nilai rata-rata densitas berkisar antara 20,81-20,98 kg.m⁻³. Kemudian semakin memasuki perairan selat, nilai salinitas dan densitas mengalami penurunan dengan nilai salinitas dan densitas rata-rata pada setiap transek



Gambar 4. Profil menegak temperatur (a), salinitas (b), dan oksigen (c) di perairan Selat Makassar. Warna pada grafik menunjukkan posisi transek pada peta (kanan bawah). Merah = Transek 1, hijau = Transek 2, kuning = Transek 3, biru = Transek 4, ungu = Transek 5 dan oranye = Transek 6.

adalah, 33,37 psu; 20,59 kg.m⁻³ (Transek 2), 33,30 psu; 20,54 kg.m⁻³ (Transek 3), 33,44 psu; 20,67 kg.m⁻³ (Transek 4), 33,38 psu; 20,62 kg.m⁻³ (Transek 5). Oksigen pada Transek 1, 2 dan 3 seragam dengan nilai 4,04 mL.L⁻¹, semakin ke arah selatan Transek 4, 5 dan 6 konsentrasi oksigen pada lapisan permukaan tercampur menjadi 4,08 mL.L⁻¹.

Pada wilayah barat Selat Makassar, ditemukan lapisan massa air pada kedalaman ~30 m dengan salinitas kurang dari 33,25 psu. Adanya masukan dari muara Sungai Mahakam juga berkontribusi pada rendahnya salinitas. Pergerakan arus pada Gambar 3. menunjukkan adanya pergerakan arus permukaan ke arah utara. Pergerakan massa air tersebut hanya mencapai transek 2 dan menghilang di Transek 1. Diduga adanya massa air bersalinitas tinggi yang mengalir dari Laut Sulawesi menghadang aliran massa air bersalinitas rendah tersebut, atau mungkin disebabkan oleh adanya vertikal mixing di lapisan permukaan yang kuat pada Transek 1, yang menghilangkan karakteristik dari massa air bersalinitas rendah tersebut.

Lapisan termoklin di Selat Makassar ditemukan pada kedalaman antara 17,5-391 m dengan ketebalan antara 146,5-373,5 m dan rata-rata ketebalan sebesar 282,5 m. Karakteristik massa air pada lapisan termoklin ditandai dengan penurunan temperatur dari 29,92-8,44 °C, peningkatan salinitas 33,60-34,88 psu, densitas 20,76-26,78 kg.m⁻³ dan kandungan oksigen antara 2,00-4,15 mL.L⁻¹. Illahude dan Gordon (1996) mengemukakan lapisan termoklin pada Selat Makassar ditemukan pada kedalaman antara 60 dan 300 m dengan penurunan temperatur dari 27 °C menjadi 10 °C dan gradien penurunan temperatur sekitar 0,7 °C.m⁻¹.

Lapisan termoklin yang paling tebal ditemukan pada sisi timur transek 1 yaitu sebesar 339,5 m (Stasiun 25) dan 373,5 m (Stasiun 26). Setelah melewati Transek 1 dan memasuki wilayah Selat Makassar (Transek 2, 3, 4) ditemukan lapisan termoklin yang lebih tebal pada sisi barat, sedangkan pada Transek 5, lapisan ini cenderung lebih tebal pada wilayah timur. Total rata-rata ketebalan termoklin pada Transek bagian timur adalah 299,8 m, pada wilayah tengah selat 281,5 m dan pada sisi barat ditemukan termoklin dengan rata-rata ketebalan 266,2 m.

Karakteristik massa air

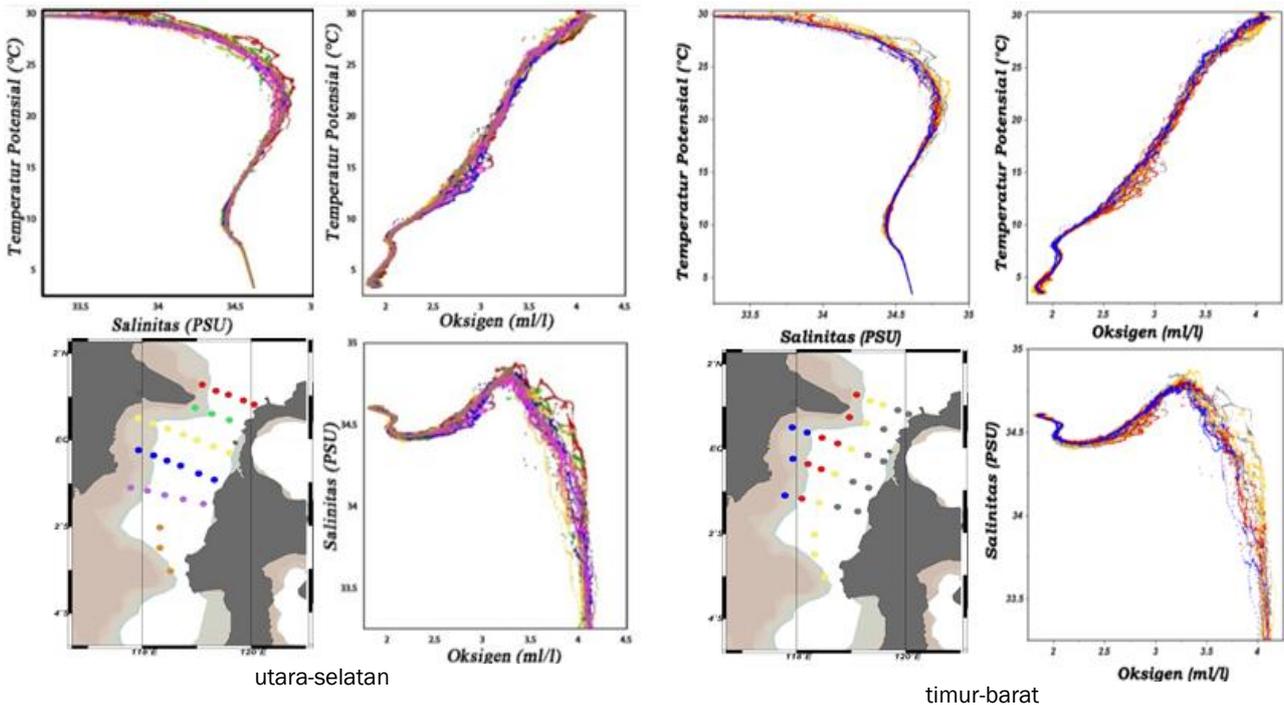
Berdasarkan diagram Temperatur-Salinitas (TS), Temperatur-Oksigen (TO), dan Salinitas-Oksigen

(SO) pada Gambar 5, teridentifikasi 2 jenis massa air utama yang melewati Selat Makassar, yaitu massa air *North Pacific Subtropic Water* (NPSW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW). Massa air NPSW dicirikan dengan salinitas maksimum yang terletak di lapisan termoklin sedangkan massa air NPIW dicirikan dengan salinitas minimum berada di bawah lapisan termoklin (Gordon dan Fine 1996).

Karakteristik massa air NPSW secara umum memiliki kisaran salinitas antara 34,60-34,88 psu, temperatur 18,16-2,9 °C dan oksigen 2,91-3,56 mL.L⁻¹ serta berada pada kedalaman antara 100-230 m dengan nilai densitas potensial antara 22,5-25,5 kg.m⁻³. Nilai salinitas maksimum berkisar antara 34,77-34,88 psu dan terdapat pada kedalaman antara 110-180 m. Nilai ini mendekati hasil observasi yang dilakukan Gordon *et al.* (2008) yakni antara 100-150 m dan sejalan dengan simulasi yang dilakukan oleh Kida dan Wijffels (2012) yang menyatakan bahwa aliran maksimum di Selat Makassar berada pada kedalaman antara 110-120 m. Massa air NPIW teridentifikasi pada anomali densitas potensial 26-27 kg.m⁻³ dengan kedalaman antara 220-596,5 m, salinitas 34,40-34,53 psu dengan temperatur 7,31-13,01 °C dan kandungan oksigen sebesar 1,98-2,88 mL.L⁻¹. Menurut Illahude dan Gordon (1996) Massa air dengan salinitas maksimum pada Selat Makassar memiliki nilai sekitar 34,6 psu dengan nilai salinitas minimum sebesar 34,45 psu. Naulita (1998) menyatakan salinitas maksimum di Selat Makassar berkisar antara 34,5-34,8 psu sedangkan salinitas minimum memiliki kisaran 34,4-34,5 psu.

Pada arah Utara-Selatan (Gambar 5a), massa air NPSW mengalami transformasi ke arah selatan. Hal ini terlihat dengan berkurangnya nilai salinitas maksimum ke arah selatan, dengan nilai salinitas maksimum pada transek 1-5 berturut-turut adalah 34,84 psu (Transek 1), 34,80 psu (Transek 2), 34,80 psu (Transek 3), 34,81 psu (Transek 4) dan 34,80 psu (Transek 5). Karakteristik massa air NPIW juga semakin melemah ke arah selatan yang ditandai meningkatnya nilai salinitas minimum. Transformasi Arlindo sebelumnya juga ditemukan oleh beberapa peneliti (Illahude dan Gordon, 1996; Naulita, 1998, Koch-Larrouy *et al.*, 2007).

Pada arah timur-barat (Gambar 5b), terlihat bahwa nilai salinitas maksimum lebih tinggi pada sisi timur Selat Makassar, mengindikasikan kuatnya massa air NPSW yang bergerak dari timur Selat Makassar seperti terlihat dari pola pergerakan arus pada gambar 2. Massa air bersalinitas minimum (NPIW) juga lebih kuat pada sisi timur ditandai



Gambar 5. Diagram TS, TO dan SO dengan perbandingan di Selat Makassar. Keterangan warna pada diagram ditampilkan pada kiri bawah.

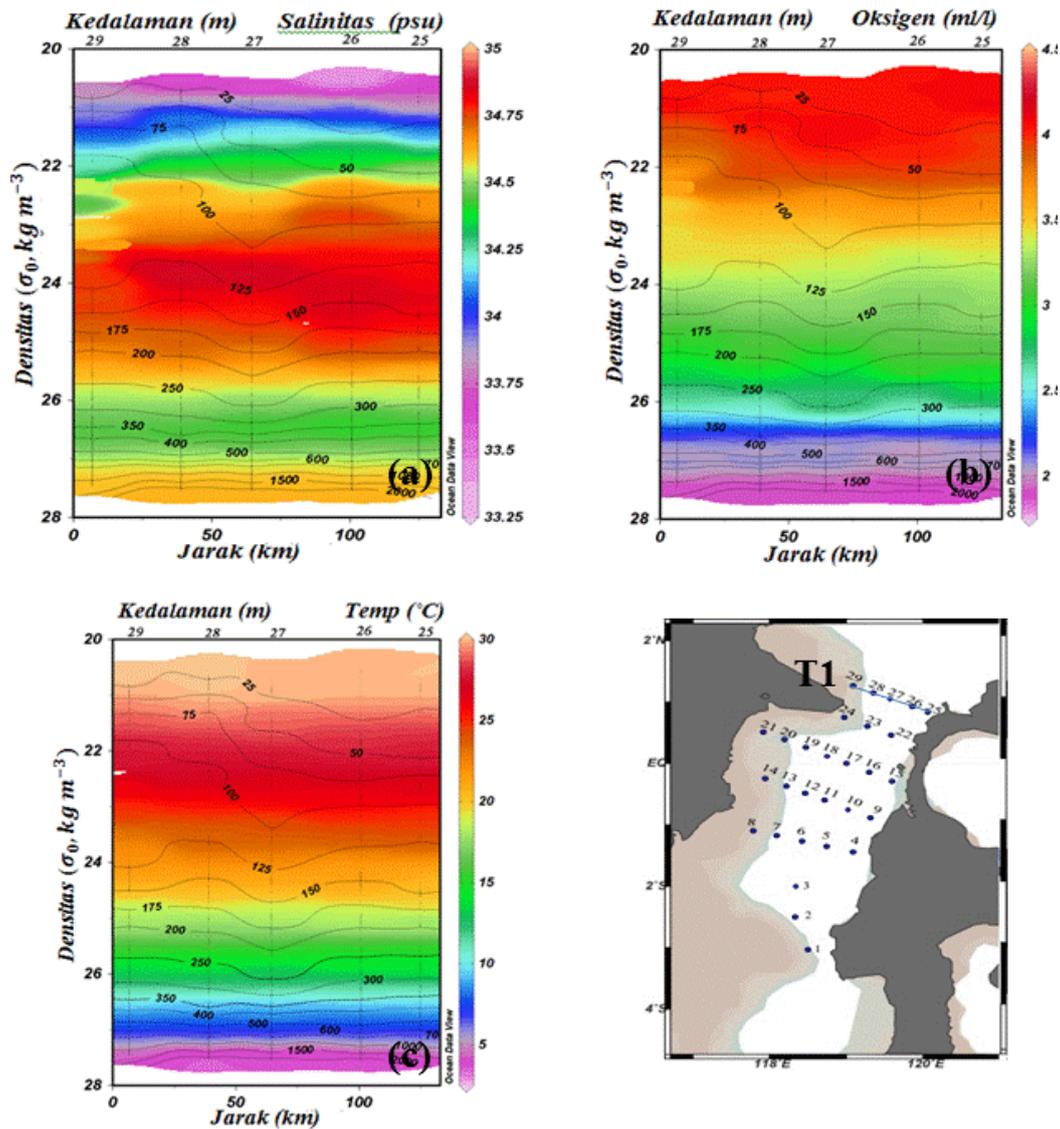
dengan lebih rendahnya salinitas minimum di sisi timur dibandingkan dengan sisi barat. Di bagian utara Selat Makassar/Transek 1 (Gambar 6), ditemukan massa air NPSW dengan anomali densitas potensial antara 22,20-25,675 kg.m⁻³ pada kedalaman antara 58,5-247 m, temperatur 14,91-27,65 °C, salinitas 34,58-34,88 psu, oksigen 2,79-3,95 ml.L⁻¹. Massa air NPSW lebih tebal terlihat pada sisi timur Transek 1. Salinitas pada kolom massa air NPSW di sisi timur adalah sebesar 34,72 psu (Stasiun 25) dengan ketebalan 179,5 m dan 34,76 PSU dengan ketebalan 172 m (Stasiun 26) sedangkan pada sisi barat nilai salinitas pada kolom massa air NPSW adalah 34,75 psu dengan ketebalan 114 m (Stasiun 28) dan 34,70 psu dengan ketebalan 132,5 m (Stasiun 29). Pada sisi barat, diduga terjadi pencampuran vertikal massa air permukaan yang kuat, mengubah struktur salinitas sehingga melemahkan lapisan massa air NPSW di bawahnya (Koch-Larrouy *et al.*, 2007; Atmadipoera *et al.*, 2009). Adanya pencampuran vertikal disebabkan kondisi topografi, selat maupun gelombang internal (Purwandana, 2014).

Pengadukan yang kuat serta desakan massa air permukaan yang hangat dan tawar di atas kedalaman 100 m di sisi barat menyebabkan nilai salinitas pada kedalaman di sekitar 100 m mengalami peningkatan tajam sehingga lapisan massa air NPSW lebih tipis pada wilayah tersebut.

Perbedaan gradien rata-rata salinitas sebelum kedalaman tersebut, yakni sekitar 0,09 psu.m⁻¹ pada stasiun 28 dan 0,003 psu.m⁻¹ pada stasiun 29, namun mendekati kedalaman 100 m, salinitas mengalami peningkatan yang sangat tajam yakni dari 34,24-34,86 psu pada kedalaman 90-123,5 m di stasiun 28 dengan gradien 0,18 psu.m⁻¹ dan peningkatan salinitas dari 34,08-34,77 psu pada kedalaman antara 90-114 m di stasiun 29 dengan gradien 0,29 psu.m⁻¹.

Lapisan massa air NPIW pada wilayah utara Selat Makassar (Transek 1) ditemukan pada inti salinitas minimum antara 34,41-34,44 psu, dengan nilai densitas potensial 26,43-26,58 kg.m⁻³, temperatur 9,57-10,4 °C, oksigen 2,23-2,35 ml.L⁻¹. Salinitas minimum massa air NPIW pada Stasiun 27 muncul pada perairan yang lebih dangkal yaitu pada 297 m sedangkan pada sisi timur dan barat salinitas minimum muncul pada kedalaman antara 330-352 m. Hal ini juga terlihat dari lebih rendahnya kontur kedalaman 250 m pada Stasiun 27. Terangkatnya massa air NPIW pada stasiun 27 ini juga menyebabkan massa air NPSW lebih tipis pada bagian tengah (Stasiun 27).

Pada wilayah pertengahan Selat Makassar (Gambar 7), massa air NPSW berada pada anomali densitas potensial antara 22,56-25,61 kg.m⁻³



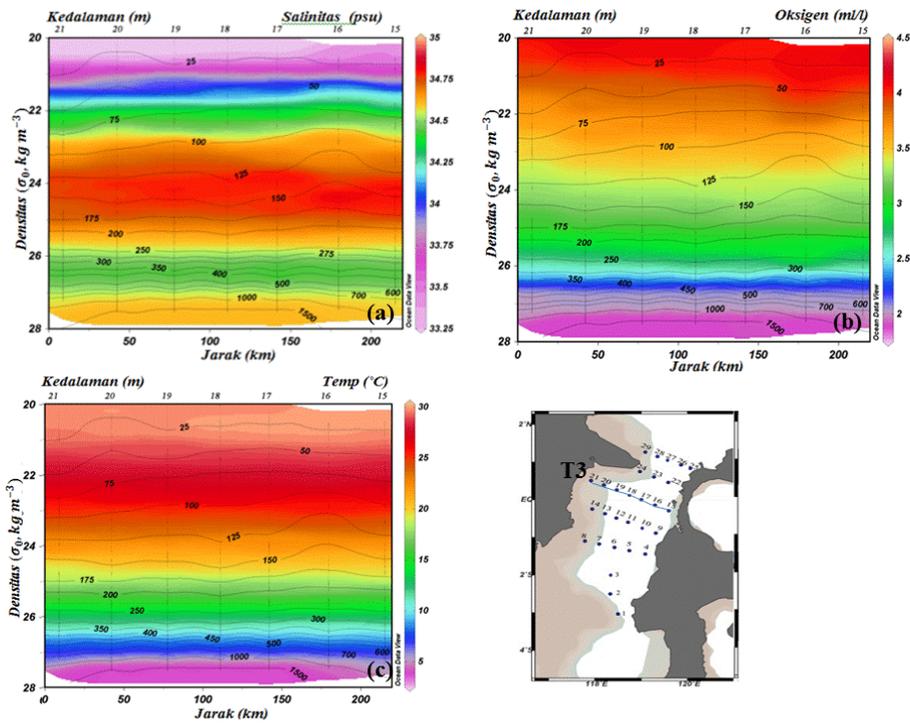
Gambar 6. Profil melintang salinitas (a), oksigen (b) dan temperatur (c) terhadap densitas potensial pada wilayah bagian utara Selat Makassar (Transek 1) dengan kontur berupa kedalaman. Keterangan lokasi berada pada kanan bawah.

dengan kedalaman antara 79-229,5 m. Massa air ini memiliki nilai salinitas antara 34,57-34,82 psu, temperatur 15,01-26,59 °C dan kandungan oksigen sebesar 2,81-2,92 ml.L⁻¹. Massa air NPSW mengalami transformasi dengan penurunan salinitas sebesar 0,04 psu, temperatur 0,08 °C dan penurunan oksigen sebesar 0,01 ml.L⁻¹ dari wilayah utara Selat Makassar (Transek 1), hanya densitas potensial mengalami peningkatan 0,15 kg.m⁻³.

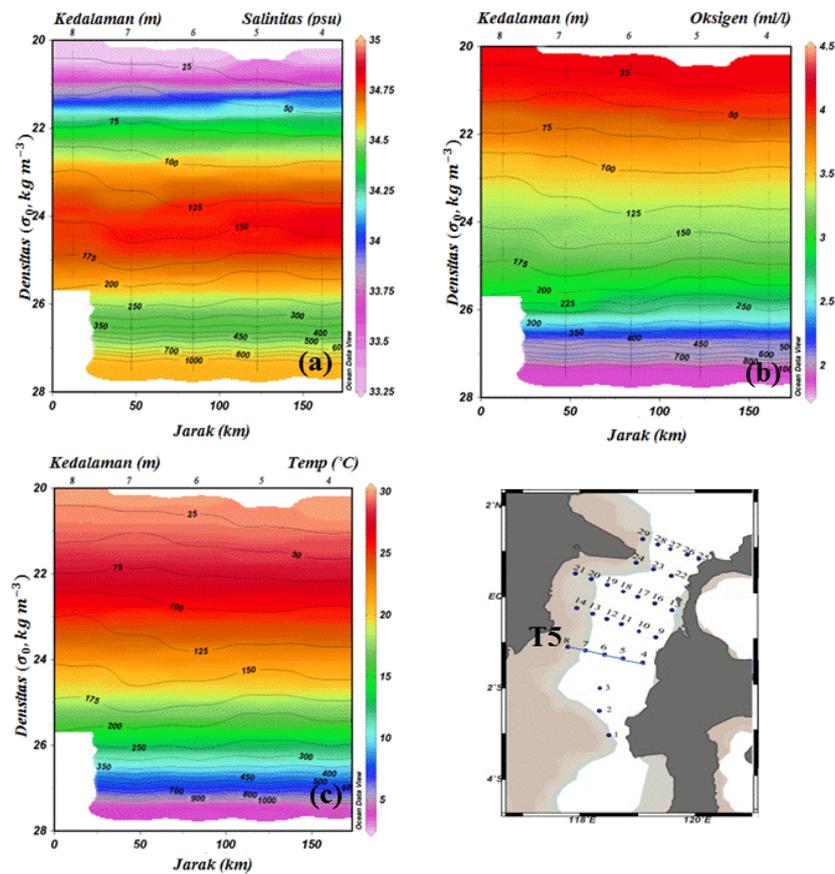
Pada lapisan NPSW di Transek 3 kontur kedalaman meningkat di Stasiun 16 terutama pada kedalaman antara 100-150 m. Hal ini menyebabkan lapisan yang lebih pekat pada massa air NPSW (salinitas >34,70 psu) lebih tipis di stasiun ini dibandingkan stasiun-stasiun lainnya. Meningkatnya

kontur kedalaman pada Stasiun 16 diduga karena adanya pencampuran vertikal massa air yang kuat pada lapisan di atasnya (kedalaman 106-139 m) yang diindikasikan dengan kecilnya gradien ciri massa air, yakni 0,0094 °C.m⁻¹ dan 0,0031 psu.m⁻¹, sehingga mendesak massa air yang lebih pekat (salinitas >34,7 psu) yang berada di bawahnya ke wilayah yang lebih dalam dengan selisih batas atas antara Stasiun 16 dengan stasiun di tepinya (St 15 dan St 17) adalah sebesar 41 m. Hal ini turut mendukung pernyataan Sprintall et al. (2014) bahwa pencampuran vertikal yang terjadi di perairan Indonesia sangat menentukan kedalaman dari temperatur, salinitas dan kecepatan massa air.

Pada Stasiun 16, ditemukan nilai salinitas maksimum tertinggi di transek ini yakni 34,82 psu,



Gambar 7. Profil melintang salinitas (a), oksigen (b) dan temperatur (c) terhadap densitas potensial pada wilayah pertengahan Selat Makassar dengan kontur berupa kedalaman. Keterangan lokasi berada pada kanan bawah.



Gambar 8. Profil melintang salinitas (a), oksigen (b) dan temperatur (c) terhadap densitas potensial pada wilayah selatan Selat Makassar dengan kontur berupa kedalaman. Keterangan lokasi berada pada kanan bawah.

namun terjadi penurunan nilai salinitas maksimum sebesar 0,2 psu dibandingkan stasiun pada bagian utaranya (Stasiun 22) dengan kedalaman yang lebih dalam. Nilai rata-rata lapisan NPSW menunjukkan lapisan NPSW dengan salinitas tertinggi berada pada sisi timur, yaitu pada Stasiun 15 (34,73 psu), dan stasiun 17 (34,72 psu). Pada bagian tengah (Stasiun 18) ditemukan lapisan massa air NPSW yang paling tipis, serta nilai temperatur dan oksigen rata-rata yang lebih kecil. Inti massa air NPIW di Transek 3 berada pada anomali densitas potensial 26,49-26,66 kg.m⁻³. Salinitas minimum massa air sebesar 34,40-34,44 psu dengan kandungan oksigen 2,13-2,29 ml.L⁻¹ dan temperatur 9,12-10,11 °C.

Semakin ke arah selatan (Gambar 8), ditemukan kontur kedalaman massa air permukaan (25-50 m) menurun ke timur sama dengan Transek 1 dengan nilai densitas, salinitas dan kandungan oksigen lebih tinggi serta temperatur yang relative hangat. Hal ini disebabkan oleh adanya intrusi massa air yang lebih tawar di lapisan permukaan pada sisi barat. Di sekitar densitas potensial 22 kgm⁻³ terdapat garis kontur kedalaman 75 m yang lebih stabil disebabkan ciri massa air di sekitar kedalaman tersebut yang relatif sama. Kontur kedalaman 100 m menurun ke arah timur. Pada kedalaman tersebut telah melintas massa air bersalinitas tinggi (NPSW). Massa air ini ditemukan pada kedalaman yang lebih dangkal di timur perairan yakni pada kedalaman dengan batas atas antara 101-102 m, sedangkan pada sisi barat batas atas lapisan NPSW adalah antara 110-126 m. Massa air NPSW ditemukan dengan rentang anomali densitas potensial yang semakin sempit bila dibandingkan dengan Transek-transek di bagian utara yakni antara 22,80-25,81 kg.m⁻³, dengan kedalaman antara 94-230,5 m, salinitas antara 34,59-34,83 psu, temperatur 14,99-25,77 °C dan oksigen 2,80-3,52 ml.L⁻¹. Nilai salinitas maksimum massa air NPSW di transek 5 sama dengan Transek 3, namun nilai suhu berkurang sebesar 0,02 °C, nilai oksigen berkurang sebesar 0,02 sedangkan densitas bertambah sebesar 0,11 kg.m⁻³. Sprintall *et al* (2014) menyatakan sebelum memasuki perairan Laut Banda, massa air Arlindo yang berasal dari Selat Makassar telah mengalami transformasi yang cukup signifikan. Lapisan massa air NPSW lebih tebal pada sisi timur dengan ketebalan 107 m (Stasiun 4) dan 128 m (Stasiun 5), sedangkan lapisan tertipis berada pada sisi barat dengan ketebalan 74,5 m (Stasiun 8) dan 90 m (Stasiun 7). Massa air NPIW memiliki salinitas minimum antara 34,42-34,43 psu atau pada densitas potensial antara 26,56-26,62 kg.m⁻³. Kedalaman ditemukan

inti massa air NPIW adalah sekitar 339-385 m dengan temperatur antara 9,03-9,70 °C dan kandungan oksigen sebesar 2,06-2,22 ml.L⁻¹

Secara umum, ditemukan bahwa massa air baik NPSW maupun NPIW memiliki karakteristik yang kuat pada wilayah timur perairan. Diagram TS (Gambar 7b) menunjukkan karakteristik massa air bersalinitas maksimum lebih kuat pada sisi timur (Stasiun 25, 22, 16, 9 dan 4), dan ditemukan pada kedalaman antara 67,5-247,5 m. Massa air ini semakin tipis ke arah selatan dengan perbedaan densitas antara bagian utara (Stasiun 25) dan selatan (Stasiun 4) adalah sebesar 0,46 kgm⁻³. Rata-rata ketebalan massa air NPSW pada wilayah timur Selat Makassar adalah 134 m, dengan rata-rata salinitas 34,72 psu, suhu 21,08 °C, oksigen 3,25 ml.L⁻¹ dan densitas 24,04.

Massa air NPIW pada sisi timur (Stasiun 25, 22, 16, 9 dan 4) memiliki sebaran densitas pada inti lapisan massa air antara 26,49-26,56 kg.m⁻³. Salinitas minimum pada sisi timur Selat Makassar berkisar antara 34,41-34,43 psu dengan kedalaman berkisar antara 326,5-351,1 pada suhu 9,84-10,18 °C dengan kandungan oksigen berkisar antara 3,22-3,31 ml.L⁻¹. Massa air NPIW mengalami peningkatan salinitas minimum ke arah selatan. Peningkatan nilai salinitas pada wilayah timur Selat Makassar ke arah selatan sebesar 0,017 psu.

Di tengah perairan Selat Makassar (Stasiun 27, 23, 17, 11, 6, 3, 2 dan 1) massa air NPSW ditemukan pada kedalaman antara 85-229 m. Massa air ini juga tebal pada utara perairan, namun lebih tipis dibandingkan dengan bagian timur Selat Makassar. Karakteristik massa air yang mengalir pada wilayah pertengahan Selat Makassar memiliki ketebalan rata-rata 115 m, dengan salinitas rata-rata sebesar 34,72 psu, temperatur 20,27 °C, kandungan oksigen sebesar 3,18 ml.L⁻¹ dan rata-rata densitas potensial sebesar 24,44 kg.m⁻³. Berdasarkan hasil yang diperoleh diketahui bahwa massa air NPSW memiliki kandungan salinitas rata-rata yang hampir sama dengan sisi timur (34,72 psu), sedangkan nilai suhu mengalami penurunan sebesar 0,81 °C, kandungan oksigen juga mengalami penurunan sebesar 0,07 ml.L⁻¹ hanya nilai densitas potensial yang mengalami peningkatan sebesar 0,42 kg.m⁻³.

Berdasarkan diagram TS, massa air pada sisi barat memiliki ciri yang lebih kecil bila dibandingkan dengan bagian tengah ataupun timur Selat Makassar. Massa air NPSW ditemukan dengan batas atas yang lebih dalam yakni antara 92-242 m,

pada atau pada anomali densitas antara 22,65-25,67, salinitas 34,58-34,70 psu, temperatur 14,99-26,29°C serta memiliki kandungan oksigen sebesar 2,79-3,64 ml.L⁻¹. Nilai salinitas maksimum lebih kecil pada stasiun di bagian utara, hal ini berbeda dengan yang ditemukan pada transek pada sisi timur dan tengah Selat Makassar dimana salinitas tertinggi selalu pada bagian utara. Massa air pada bagian barat Selat Makassar memiliki rata-rata nilai densitas yang lebih tinggi di dibandingkan kedua perairan pada sisi tengah dan timur, selain itu rata-rata salinitas dan oksigen dan temperatur juga lebih rendah. Pada sisi barat, ditemukan nilai salinitas minimum lebih tinggi di bagian utara yakni sebesar 34,44 psu. Nilai ini berbeda dengan transek lainnya, dimana nilai salinitas minimum tinggi pada bagian utara (pintu masuk).

Kesimpulan

Arus yang memasuki Selat Makassar selama musim timur memiliki variasi spasial selama perjalanannya dengan magnitudenya semakin kuat dengan bertambahnya kedalaman. Kekuatan arus terbesar berada pada kisaran kedalaman termoklin (75-125 m). Pada jalur masuk Arlindo, arus utama mengalir kuat di sisi timur Selat Makassar dengan arah pergerakan ke barat daya. Akibat adanya dorongan massa air ke arah barat daya maka semakin ke selatan kekuatan massa air tinggi ditemukan pada wilayah bagian tepi barat selat, namun magnitudenya semakin lambat yang diperkirakan dipengaruhi oleh gesekan topografi dasar laut di sepanjang slope. Pertemuan arus dengan kontur perairan yang dangkal menyebabkan pada beberapa wilayah perairan Selat Makassar terjadi resirkulasi massa air yang berbentuk pusaran arus (eddies). Pada bagian selatan, di wilayah kanal Labani magnitudenya semakin meningkat dan pola alirannya mengalami dua partisi, satu cabang menyusuri kanal barat dan cabang lainnya menyusuri kanal timur selat.

Struktur massa air pada Selat Makassar memiliki karakteristik yang bervariasi secara spasial baik arah timur-barat maupun utara-selatan. Massa air utama yang teridentifikasi pada Selat Makassar adalah massa air NPSW dan NPIW. Massa air NPSW memiliki ciri salinitas maksimum yang kuat pada sisi timur perairan dan semakin melemah ke arah barat. Massa air NPIW juga menunjukkan ciri yang lemah ke arah barat dengan nilai salinitas minimum yang semakin tinggi di barat perairan. Variasi spasial dalam arah utara-selatan selat dari massa air

Arlindo menunjukkan massa air NPSW mengalami transformasi ke arah selatan dengan nilai salinitas maksimum yang semakin berkurang, dan massa air NPIW dengan nilai salinitas minimum yang semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- Atmadipoera, A., R. Molcard, G. Madec, S. Wijffels, J. Sprintall, A. Koch-Larrouy, I. Jaya & A. Supangat. 2009. Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Res. I.* 56:1942-1954. doi: 10.1016/j.dsr.2009.06.004.
- Du Y. & T. Qu. 2010. Three inflow pathways of the Indonesian throughflow assessed from the simple ocean data assimilation. *Dynam. Atmos. Ocean.* 50:233-256. doi:10.1016/j.dynatmoce.2010.04.001
- Firing E., J. Ranada & P. Cadwell. 1995. Processing ADCP data with CODAS software system version 3.1. IMAR. University of Hawaii.
- Gordon A.L., J. Sprintall, H.M. Van Aken, D. Susanto, S. Wijffels, R. Molcard, A. Field, W. Pranowo & S. Wirasantosa. 2010. The Indonesian throughflow during 2004-2006 as observed by INSTANT program. *Dynam. Atmos. Ocean.* 50:115-128. doi:10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002
- Gordon, A.L. & R.A. Fine 1996. Pathways of water between the Pacific and Indian oceans in the Indonesian seas. *Nature.* 379: 146-149. doi: 10.1038/379146a0.
- Gordon, A.L., R.D. Susanto & K. Vranes. 2003. Cool Indonesian throughflow as a consequence of restricted surface layer flow. *Nature.* 425:824-828. doi: 10.1038/nature02038.
- Gordon, A.L., R.D. Susanto, A. Field, B.A. Huber, W. Pranowo & S. Wirasantosa. 2008. Makassar strait throughflow, 2004 to 2006. *J. Geophys. Res. Lett.* 35(L24605):1-5. doi: 10.1029/2008GL036372.
- Hautala, S.L., J.L. Reid & N. Bray. 1996. The distribution and mixing of Pacific water masses in the Indonesian Seas. *J. Geophys. Res.* 101(C5):12.375-12.389. doi: 10.1029/96JC0037
- Illahude A.G. & A.L. Gordon. 1996. Thermocline stratification within the Indonesian Seas. *J.*

- Geophys. Res.* 101(C5):12.401-12409. doi: 10.1029/95JC03798
- Kida S. & S. Wijffels. 2012. The impact of the Indonesian Throughflow and tidal mixing on the summertime sea surface temperature in the western Indonesian Seas. *J. Geophys. Res.* 117(C09007):1-14. doi: 10.1029/2012JC008162
- Koch-Larrouy A., G. Madec, P. Boureuet-Aubertot, T. Gerkema, L. Bessieres & R. Molcard. 2007. On the transformation of Pacific Water into Indonesian Throughflow Water by internal tidal mixing. *J. Geophys. Res. Lett.* 34(L04604):1-6. doi: 10.1029/2006GL028405.
- Koch-Larrouy A., G. Madec, D. Iudicone, A. Atmadipoera & R. Molcard. 2008. Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian Throughflow. *J. Ocean Dynamics.* doi: 10.1007/s10236-008-0154-5.
- Kouketsu, S., I. Yasuda & Y. Hiroe. 2007. Three-dimensional structure of frontal waves and associated salinity minimum formation along the Kuroshio Extension. *J. Phys. Oceanogr.* 37: 644–656, doi: 10.1175/JPO3026.1.
- Lee T., I. Fukumori, D. Menemenlis, Z. Xing & L. Fu. 2002. Effect of the Indonesian Throughflow on the Pacific and Indian Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 32:1404-1429. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(2002\)032<1404:EOITITO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(2002)032<1404:EOITITO>2.0.CO;2)
- Mayer B., & P.E. Damm. 2012. The Makassar Strait throughflow and its jet. *J. Geophys. Res.* 117(C07020):1-14. doi:10.1029/2011JC007809.
- McCreary J.P., T. Miyama, R. Furue, T. Jensen, H. Kang, B. Bang & T. Qu. 2007. Interactions between the Indonesian Throughflow and circulations in the Indian and Pacific Oceans. *Prog. Oceanogr.* 75(1):70-114. doi:10.1016/j.pocean.2007.05.004.
- McTaggart, K.E., G.C. Johnson, M.C. Johnson, F.M. Delahoyde & J.H. Swift. 2010. Notes on CTD/O2 data acquisition and processing using Sea-Bird hardware and software (as available). Go-Ship IOCCP Rep. 14:1-10.
- Naulita Y. 1998. Karakteristik Massa Air pada Perlintasan Arlindo. Tesis. Program Pasca Sarjana IPB. Bogor. 174 pp.
- Pujiana K., A.L. Gordon, J. Sprintall & R.D. Susanto. 2009. Intraseasonal Variability in the Makassar Strait thermocline. *J. Mar. Res.* 67(6):757-777. doi:<http://dx.doi.org/10.1357/002224009792006115>.
- Purwandana, A. 2014. Turbulent mixing in Labani Chanel, Makassar Strait. *Oceanol. Limnol. Indonesia.* 40(2):155-169.
- Qiu B. & Y. Masumoto. 2011. Oceanic processes influencing SST in regions related to the Asian-Australia Monsoon System. in: *The Global Monsoon System: Research and Forecast (2nd Edition)*. Chang C-P et al. World Scientific Publishing Co
- Shinoda T., W. Han, E.J. Mezger & H.E. Hurlburt. 2012. Seasonal Variation of Indonesian Throughflow in Makassar Strait. *J. Phys. Oceanogr.* 42(7):1099-1023. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JPO-D-11-0120.1>.
- Sprintall J., A.L. Gordon, A. Koch-Larrouy, T. Lee, J.T. Potemra, K. Pujiana & S.E. Wijffels. 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience.* 7:487-492. doi:10.1038/NGE02188.
- Susanto D.R., A. Field, A.L. Gordon & T.R. Adi. 2012. Variability of Indonesian throughflow within Makassar Strait, 2004-2009. *J. Geophys. Res.* 117(C09013):1-16. doi: 10.1029/2012JC008096.
- Tozuka T., T. Qu, Y. Masumoto & T. Yamagata. 2009. Impact of South China Sea Throughflow on seasonal and interannual variations of the Indonesian Throughflow. *Dynam. Atmos. Ocean.* 47(1-3):73-85. doi:10.1016/j.dynatmoce.2008.09.001.
- User manual sea bird electronic. 2014. Seasoft V2: SBE Data Processing. <http://seabird.com/software/software>.
- Valsala V.K. & M. Ikeda. 2005. Pathways and Effect of the Indonesian Throughflow Water in the Indian Ocean using Particle Trajectory and Tracers in an OGCM. *J. Climate.* 20:2994-3017. doi:10.1175/JCLI4167.1.

Wyrkti, K. 1961. Physical Oceanography of South East Asian Water. Naga Report. Vol. 2. Scripps

Institution of Oceanography.The University of California.La Jolla. California.