

Analisis Karakteristik Massa Air pada Lapisan Termoklin di Selatan Dewakang Sill Selat Makassar

Kaharuddin¹

¹Laboratorium Oseanografi Umum, Program Studi Ilmu Kelautan,
Stiper Kutai Timur
iklkahar@gmail.com

ABSTRACT

The vertical structure of the ocean water masses is generally believed that some may be divided into three layers based on key parameters of salinity and temperature depth. The reference of both parameters can be used as a standard in determining horizontal distributions of water masses and type or source of water masses characteristic vertically. Water masses characteristic to pass through each layer divided into three main layers, having source and type of different water masses. Study of characteristics water masses in the water masses of layer in thermocline ocean waters Dewakang Sill, the Makassar Strait, because of the region has strong turbulence with topography contours in the east canal of the Makassar Strait is part of the primary route north section of Indonesia Traffic Flow (ITF) or Arlindo. The characteristic type water masses of variation is thermocline layer parameters are analyzed based on temperature, salinity, and density depth (s,t,p). Analysis of each depth 1 m², the profile indicates range of water masses as marker type along observation stations in South Dewakang Sill. Based on transverse temperature values profile was found in three layers of depth. Showing the thermocline layer had layer-thickness vary on station range of values are 112-204 meters is water masses of North Pacific Subtropical Water (NPSW) with temperature of 23.83-15.79 °C. showing water masses type of North Pacific Subtropical Water (NPSW) on Arlindo of dominant water masses characteristic of thermocline Dewakang Sill in the South Makassar Strait. In the character profiles upraised apparent mass of water that fills the water column vertically at each observation station, indicate the type of water masses North Pacific Subtropical Water (NPSW) on Arlindo as the dominance of water masses characteristics in the thermocline in the south Makassar Strait Dewakang Sill.

Keyword: Water Mass, Thermocline, Dewakang Sill

ABSTRAK

Massa air laut secara vertikal pada umumnya terusun oleh beberapa lapisan utama berdasarkan parameter kunci yaitu salinitas dan suhu terhadap kedalaman. Mengacu pada kedua parameter tersebut dapat dijadikan patokan dalam menentukan distribusi massa air secara horizontal dan jenis atau sumber karakteristik massa air secara vertikal. Karakter massa air yang melewati pada tiap lapisan yang dibagi kedalam tiga lapisan utama, memiliki sumber dan jenis massa air yang berbeda. Penelaan karakteristik massa air pada lapisan massa air di lapisan termoklin pada perairan laut Dewakang Sill, Selatan Makassar, dikarenakan wilayah tersebut memiliki aktifitas turbulen yang kuat dengan kontur topografi berada pada kanal timur dari Selat Makassar yang merupakan bagian dari jalur utama dibagian utara Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Variasi jenis massa air yang menandai karakteristik massa air pada lapisan termoklin dianalisis berdasarkan parameter suhu, salinitas, dan densitas perkedalaman (s,t,p). Analisis parameter suhu, salinitas, dan densitas perkedalaman yang telah difilter pada setiap kedalaman 1 m², menunjukkan profil dengan kisaran yang menjadi penanda jenis massa air disepanjang stasiun pengamatan di Selatan Dewakang

Sill. Berdasarkan profil melintang nilai suhu yang ditemukan pada tiga lapisan kedalaman, menunjukkan lapisan termoklin memiliki variatif ketebalan lapisan sepanjang stasiun dengan kisaran nilai antara 112 - 204 meter merupakan massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dengan suhu 23.83 – 15.79 °C. Pada profil menegak terlihat jelas karakter massa air yang mengisi kolom perairan secara vertikal pada tiap stasiun pengamatan, menunjukkan jenis massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) pada Arlindo sebagai dominansi karakteristik massa air pada lapisan termoklin di Selatan Dewakang *Sill* Selat Makassar.

Kata kunci: Massa Air, Termoklin, Dewakang *Sill*

1 Pendahuluan

1.1 Arlindo dan Selatan Dewakang *Sill*

Pengetahuan tentang karakteristik massa air laut sangat penting dalam menentukan jenis massa air yang menyusun dan melewati perairan laut suatu perairan yang dilalui baik secara horizontal dan vertikal. Secara umum massa air yang dibawa oleh Arlindo berasal dari Samudra Pasifik bagian utara dan selatan bergerak menuju Samudra Hindia. Perairan Selat Makassar dan Laut Flores dipengaruhi oleh massa air laut Pasifik Utara sedangkan Laut Seram dan Halmahera lebih banyak dipengaruhi oleh massa air dari Pasifik Selatan. Massa air yang mengalir melewati perairan Indonesia oleh (Gordon *et al.*, 1994) melalui dua jalur utama, yaitu:

1. Jalur barat, massa air mengalir melalui Laut Sulawesi dan lapisan dalam Makassar. Sebagian massa air akan mengalir melalui Selat Lombok dan berakhir di Samudra Hindia sedangkan sebagian lagi dibelokkan ke arah timur terus ke Laut Flores hingga Laut Banda dan kemudian keluar ke Samudra Hindia melalui Laut Timor.
2. Jalur timur dimana massa air masuk melalui Laut Halmahera dan Laut Maluku terus ke Laut Banda. Massa air dari Laut Banda akan mengalir mengikuti dua rute. Rute utara Pulau Timor melalui Selat Ombai, antara Pulau Alor dan Pulau Timor, masuk ke Laut Sawu dan Selat Rote, sedangkan rute selatan Pulau Timor melalui *Basin* Timor dan Selat Timor, antara Pulau Rote dan paparan benua Australia.

1.2 Jenis dan Karakteristik Massa Air

Termoklin merupakan an lapisan dalam perairan laut dimana pada lapisan tersebut terjadi penurunan temperatur yang cepat terhadap kedalaman (Nontji, 1993). Nilai absolut gradien penurunan temperatur vertikal pada lapisan termoklin standar (untuk daerah Samudera Hindia) adalah sebesar 0,05°C/m (Bureau of technical supervision of the P.R of China, 1992).

Lapisan permukaan atau lapisan homogen yang terbentuk karena pengadukan massa air oleh angin, arus, pasang surut. Pada laut tropis yang dipengaruhi oleh musim dan letak geografis, pengadukan dapat mencapai kedalaman 50-100 m dengan suhu 26-30 °C dan gradien tidak lebih dari 0.03 °C/m. Menurut Illahude (1999) bahwa pada lapisan Lapisan Termoklin dengan suhu turun cepat sekali dari 28°C pada kejulukan 100 m

menjadi sekitar 4°C pada kejelukan 600 m. Selanjutnya secara terperinci dikatakan bahwa pada lapisan termoklin dibagi kedalam dua lapisan, yaitu lapisan termokline atas (*upper thermocline*), suhu menurun dengan cepat dari suhu sekitar 27°C pada kedalaman 100 m menjadi 8°C dan termoklin bawah (*lower thermocline*), ditandai dengan suhu yang mengalami penurunan secara drastis.

Stewart (2008) mengatakan bahwa penyebaran suhu pada permukaan laut membentuk zona berdasarkan letak lintang. Semakin mendekati garis Khatulistiwa (lintang rendah) suhu akan meningkat, sebaliknya suhu akan semakin menurun saat mendekati kutub (lintang tinggi). Secara vertikal suhu di lautan di bagi menjadi tiga zona (Richard & Davis, 1991) yaitu :

1. Lapisan permukaan (*homogeneous layer*) yang merefleksikan suhu rata-rata tiap lintang
2. Lapisan termoklin (*thermocline layer*)
3. Lapisan dalam (*deep layer*) yang merefleksikan ciri khas asal massa air tiap lintang

Lapisan termoklin yang terbentuk di perairan tropis menurut Gross (1990) dapat mencapai ketebalan antara 100 - 250 m dengan gradien suhu mencapai 0.1 °C/m. Pada lapisan dalam di daerah tropis suhu mencapai 2-4 °C. Lapisan dalam (*deep layer*) dapat mencapai kedalaman 2500 m dengan penurunan suhu yang lambat, dengan gradien suhu 0.05 °C/100 m (Illahude, 1999).

Beberapa faktor yang mempengaruhi sebaran salinitas permukaan lautan, yaitu evaporasi, presipitasi, suplai air tawar (*run off*), dan perubahan arus akibat pergantian musim. Pada perairan Indonesia menurut Illahude (1999) pada musim barat isohaline bergerak lebih ke timur dan pada musim timur isohaline bergerak lebih ke barat. Sebaran salinitas pada lapisan dalam lautan juga bervariasi seperti halnya dengan salinitas di permukaan. Variasi salinitas lapisan dalam lebih dipengaruhi oleh proses pencampuran (*mixing*) karena peredaran dan pembentukan massa air (*formation of water masses*).

Secara vertikal salinitas dalam perairan dibagi ke dalam tiga lapisan, yaitu lapisan homogen (*homogeneous layer*), lapisan haloklin (*halocline layer*), dan lapisan dalam (*deep layer*). Lapisan homogen dengan ketebalan berkisar antara 50-100 m atau tergantung dari kuatnya pengadukan. Lapisan haloklin dengan salinitas tinggi sejalan dengan bertambahnya kedalaman, lapisan ini terletak di bawah lapisan homogen hingga kedalaman antara 600-1000 m. Selanjutnya lapisan dalam berada di lapisan bawah sampai dasar.

Massa air yang didominasi massa air dari Samudra Pasifik yang melewati tiga pintu utama Arlindo (Laut Sulawesi, Laut Maluku, dan Laut Halmahera) mengalami pengenceran akibat intrusi air sungai dan tingginya curah hujan sepanjang tahun. Kondisi

ini menyebabkan rata-rata salinitas di perairan tropis kurang dari 34 psu. Menurut Wyrcki (1961) pada musim timur nilai salinitas kurang dari 34 psu dan pada musim barat salinitas lebih besar dari 34‰.

Densitas (ρ) atau massa per unit volume (Steward, 2008) dalam suatu perairan densitas dapat ditentukan nilainya dengan menghitung nilai suhu, salinitas dan tekanan. Bila suhu semakin rendah, maka densitas massa air akan meningkat. Hal ini terlihat nyata pada lapisan termoklin dimana densitas meningkat dengan cepat dan dikenal dengan lapisan pegat (*discontinuity layer*). Selain itu kenaikan salinitas juga dapat meningkat dengan meningkatkan nilai densitas massa air walaupun tidak sekuat pengaruh suhu. Pada lapisan pegat massa air pada lapisan atas tidak dapat bercampur dengan lapisan air di bawahnya bila gradien σ_t sama besar (Wyrcki, 1961).

Hubungan antara densitas dengan salinitas dan suhu (0 °C) untuk pertama yang dikemukakan oleh Knudsen (1901) dalam Neumann dan Pearson (1966). Nilai $\sigma_0 = (\rho_{s,0,0} - 1) \times 10^3$ merupakan fungsi dari salinitas yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\sigma_0 = -0.093 + 0.8149 S - 0.000482 S^2 + 0.0000068 S^3$$

Perhitungan densitas dengan ketelitian memiliki ketelitian sampai lima angka dibelakang titik (.), tetapi karena perubahan nilai densitas hanya dalam dua digit, maka para ilmuwan menggunakan suatu kuantitas yang disebut sebagai sigma (Σ) yang tergantung pada nilai suhu, salinitas, dan tekanan $\sigma_{(s,t,p)}$ (Steward, 2008); $\sigma_{(s,t,p)} = \rho_{(s,t,p)} - 1000 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{(s,t,p)}$ adalah densitas *in situ* yang merupakan fungsi dari suhu, salinitas, dan tekanan.

Fungsi empiris untuk menghitung sigma-t (σ_t) dari nilai sigma-0 (σ_0) berdasarkan perhitungan fungsi D (Forch, 1902) dalam Neumann dan Pearson (1966). Fungsi D merupakan suatu fungsi yang menyatakan efek dari suhu dari σ_0 yang berbeda. Perhitungan hubungan suhu terhadap densitas yang dinyatakan dengan persamaan : $\sigma_t = \sigma_0 - D$, dimana $D = \Delta_t$ (perubahan suhu), sigma-t (σ_t) merupakan nilai densitas yang dihitung pada tekanan atmosfer ($p=0$ dan suhu ($t-0$) yang dinyatakan dalam persamaan : $\sigma_t = (\rho_{(s,t,0)} - 1) \times 1000$, kebalikan dari nilai densitas *in situ* adalah volume spesifik *in situ* dari nilai densitas pada tekanan (P), suhu (t) dan salinitas (s) yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\alpha_{s,t,p} = \frac{1}{\rho_{(s,t,p)}}$$

Berdasarkan hasil observasi dan pemodelan menurut Umasangaji (2006) mengindikasikan bahwa sumber utama Arlindo adalah massa air termoklin Pasifik Utara yang mengalir melalui Selat Makassar (kedalaman *sill* 650 m). Selanjutnya kontribusi Arlindio dari massa air termoklin yang lebih dangkal dan massa air perairan dalam yang berasal dari Pasifik Selatan masuk ke perairan Indonesia melalui rute bagian timur yaitu Laut Maluku dan Laut Halmahera dengan massa air yang lebih tinggi densitasnya

melintasi Selat Lifamatola (kedalaman *sill* 1940 m), Arlindo bergerak ke luar menuju bagian timur Samudera India melalui selat sepanjang rangkaian pulau-pulau Sunda Kecil seperti Selat Ombai (kedalaman *sill* 350 m), Selat Lombok (300 m), Laut Timor (1890 m).

Berdasarkan musim, Perairan Indonesia yang berlaku dua musim, yaitu musim timur (*Southeast Monsoon*) dan musim barat (*Northwest Monsoon*). Menurut Illahude dan Gordon (2006) menjelaskan selama musim timur (SEM) dari Agustus - September dengan kondisi perairan dingin pada lapisan dalam (θ/S) adalah 34.63 psu dengan suhu $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan kondisi air permukaan hangat di Laut Seram dan Utara Banda (θ/S) dengan gradien salinitas 0.4 dengan suhu $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan perairan Makassar adalah $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laut Timor memiliki suhu yang lebih dingin di lapisan dalam meningkat $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1400 m) yang berasal dari Samudra Hindia, sedangkan di Laut Maluku dengan suhu $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ merupakan karakteristik air dari *Antarctic Intermediate Water* melalui lapisan dalam Utara Pasifik. Pada musim barat (NWM) dengan ciri suhu permukaan rata-rata lebih hangat pada $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ jika dibandingkan dengan musim timur. Kondisi salinitas perairan berkisar antara 34.1 - 34.5 psu, dimana salinitas permukaan Laut Banda lebih tinggi, sedangkan Selatan Makassar yang lebih rendah (31.1 psu) dan mencapai 35.1 psu di Laut Timor. Jenis massa air dari *NPSW* dengan S_{\max} pada musim timur lebih rendah 0.2 yang dilemahkan oleh musim barat. Pada saat bersamaan dengan Berkurangnya S_{\max} pada aliran Arlindo terlihat pencampuran vertikal yang kuat pada musim barat.

Suplai massa air dari Laut Jawa (*Java Sea Water*) terhadap pengenceran, fluks bahang dan air tawar di *South Equatorial Current* Samudra Hindia oleh Atmadipoera *et al.* (2009) menjelaskan kontribusi massa air *JSW* pada lapisan permukaan dengan salinitas yang lebih tawar yang melemahkan kontribusi massa air *NPSW* di lapisan termoklin. Massa air *JSW* digerakkan ke sisi timur perairan oleh arus muson permukaan dikarenakan pencampuran *diapycnal* yang kuat. Massa air ini keluar ke Samudra India melalui Selat Lombok, Ombai dan Timor dengan *phase lag* antara satu dan lima bulan, sehingga salinitas tawar di permukaan dan termoklin di Samudra Hindia bagian timur dimunculkan di awal musim timur antara bulan April dan akhir bulan September.

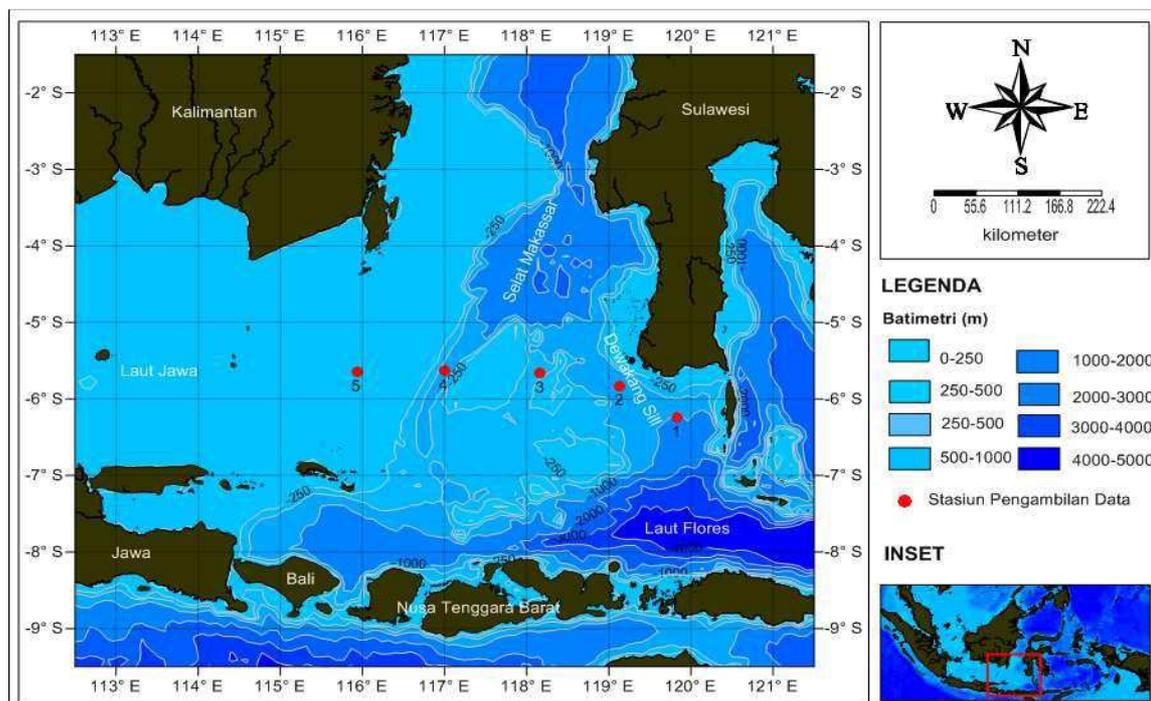
2 Metode Penelitian

4.1 2.1 Sebaran Menegak dan Melintang Suhu dan Salinitas

Riset dilaksanakan pada bulan Agustus, 2010, dengan menggunakan kapal riset Baruna Jaya IV. Data dari pelayaran difokuskan pada perairan Dewakang *Sill* selatan Selat Makassar Sulawesi Selatan, dikarenakan kondisi pasang surut internal yang sangat energik. Pengambilan dan pengukuran sampel yang dilakukan di perairan Selatan Selat Makassar dengan menempatkan lima Stasiun serta mencakup dua kanal utama yang

menjadi jalur Arlindo, salah satunya kanal Dewakang *Sill*. Tiap Stasiun secara umum akan dilihat profil CTD. Rute jadwal pengukuran dan pengambilan sampel yang melewati perairan tersebut dapat dilihat pada tampilan Gambar 1, berdasarkan pada data peta rupa bumi (RBI) tahun 2009, dengan data batimetri dari satelit etopo2 berupa estimasi dan pengukuran topografi dasar laut.

Pengukuran data oseanografi dengan menggunakan *Conductivity, Temperature, and Depth* (CTD) akan menampilkan data suhu ($^{\circ}\text{C}$), salinias (psu), sigma-t (kg/m^3), kedalaman (m), dan tekanan (dbar). Sensor *termistor, digiquartz* and *conductivity* yang terdapat pada CTD secara terus-menerus akan merekam data setelah diturunkan dan ditarik kembali ke atas. Data hasil pengukuran yang terekam dalam *deck unit* berupa sinyal analog kemudian diubah oleh *probe* CTD yang dihubungkan langsung dengan komputer dengan kabel data menjadi sinyal digital. Pembuatan *Map rute* perjalanan sebelumnya untuk memudahkan dalam penentuan lokasi pengukuran dan pengambilan sampel, seperti pada Tabel 1. GPS (*Global Position System*) dapat menampilkan posisi penelitian dalam bentuk derajat dan waktu, secara teknis mengirimkan sinyal ke satelit dan dikembalikan ke GPS.



4.1.1.1.1 **Gambar 1.** Lokasi pengamatan sepanjang Stasiun 1-5 di Selatan Dewakang *Sill*, selatan Selat Makassar

4.1.1.1.2

4.1.1.1.3 **Tabel 1.** Lokasi data CTD pada setiap stasiun

Stasiun	CTD			
	Koordinat	Tanggal dan Waktu	Tekanan (db)	Kedalaman CTD
1	06 14.87 S; 119 49.79 T	20/08/2010 11:10:54	1001.299	1009.341
2	05 49.81 S; 119 08.05 T	20/08/2010 19:50:07	901.034	908.044
3	05 40.00 S; 118 10.03 T	21/08/2010 08:28:24	521.231	524.802
4	05 38.30 S; 116 59.77 T	21/08/2010 19:02:47	603.963	608.222
5	05 39.02 S; 115 55.86 T	22/08/2010 04:24:45	50.257	50.557

Data terukur yang diolah dalam *Software* ODV, seperti pada diagram alir pengolahan yang ditunjukkan pada Gambar 2, hasilnya berupa gambaran profil menegak dan melintang dari suhu, salinitas, sigma-t. Profil sebaran melintang salinitas, suhu, dan sigma-t yang dapat dijadikan dasar analisa tentang karakteristik massa air juga menampilkan variasi salinitas dan suhu maksimum dan minimum. Profil ini juga memberi gambaran terbentuknya pelapisan perairan yang didasarkan pada suhu dan salinitas, bagaimana kondisi di lapisan homogen, termoklin, halohalin, dan lapisan dalam.

Nilai sigma-t (σ_t) air laut diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung nilai sigma-0 (σ_0) dengan menggunakan persamaan Knudsen sebagai berikut:

$$\sigma_0 = -0.093 + 0.8149 S - 0.000482 S^2 + 0.0000068 S^3$$

Kemudian oleh Fotonoff dan Tabata (1958) dalam Kaharuddin (2012) persamaan tersebut di atas dirumuskan dalam notasi Sigma (Σ):

$$\sigma_0 = \sum_{j=0}^3 B_j S^j$$

dimana:

B_0 : (-0.0934458324), B_1 : (0.814876576925), B_2 : (-4.824961403E-4), B_3 : (6.767861356E-6), dan S : Salinitas

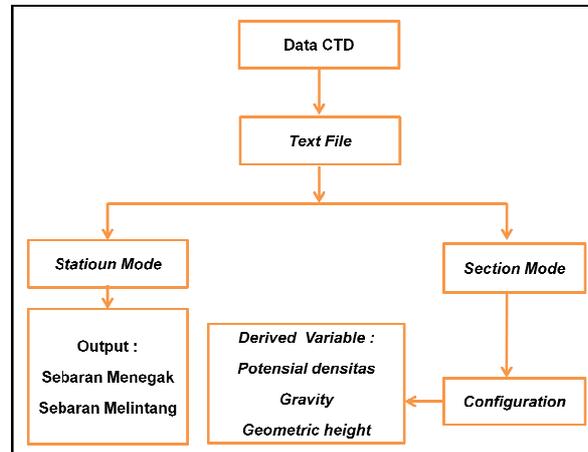
Kemudian nilai Sigma-t dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_t = \frac{\sum_{i=1}^4 a_j t^i}{t + A_0} + \sum_{j=0}^3 \sum_{i=1}^2 A_{ij} (\delta_0)^i t^j$$

dimana:

T : Suhu (°C) A_{22} : -8.164
 A_{10} : 3.6730E-8 A_{23} : 1.667E-8
 A_{11} : -4.7867E- A_0 : 67 .26

$A_{12} : 9.8485E-5$ $a_2 : -0.54593391107$
 $A_{13} : -1.0843E-6$ $a_1 : 4.5316842620$
 $A_{20} : 0$ $a_3 : -1.9824837971E-3$
 $A_{21} : 1.8030E-5$ $a_1 : -1.438030609E-7$



Gambar 2. Diagram alir pengolahan parameter fisik dari CTD dengan perangkat lunak ODV

2.2 Karakteristik Massa Air

Menurut Tomczak (2002), menjelaskan bahwa massa air Arlindo dari Pasifik yang masuk dan menyebar di Perairan Indonesia pada lapisan termoklin dan lapisan dalam telah diketahui ada empat jenis massa air yaitu massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW), kedua massa air ini di bawa oleh arus *Mindanao Eddy* dan arus *North Equatorial Current* (NEC), kemudian massa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) dan *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) yang dibawa oleh arus *New Guinea Coastal Current* (NGCC) dan arus *South Equatorial Current* (SEC).

3 Hasil Dan Pembahasan

Profil sebaran menegak suhu dan salinitas perairan di selatan Dewakang *Sill* menunjukkan profil berbeda terhadap kedalaman. Suhu menegak menunjukkan grafik dengan nilai maksimum di lapisan permukaan dan mengalami fluktuasi pada lapisan termoklin, selanjutnya mengalami penurunan secara drastis dan relatif homogen pada lapisan dalam. Berbeda dengan grafik salinitas menegak, menunjukkan salinitas rendah di lapisan permukaan dan mengalami fluktuasi peningkatan di lapisan haloklin, selanjutnya konsentrasi salinitas mengalami perubahan lambat dan relatif homogen di lapisan dalam.

Secara umum lapisan yang terbentuk dari profil suhu lautan pada Gambar 3, menunjukkan adanya tiga lapisan utama, yaitu lapisan tercampur permukaan (*mixed* Jpt. Jurnal Pertanian Terpadu, Jilid 1, Nomor 1 | 198

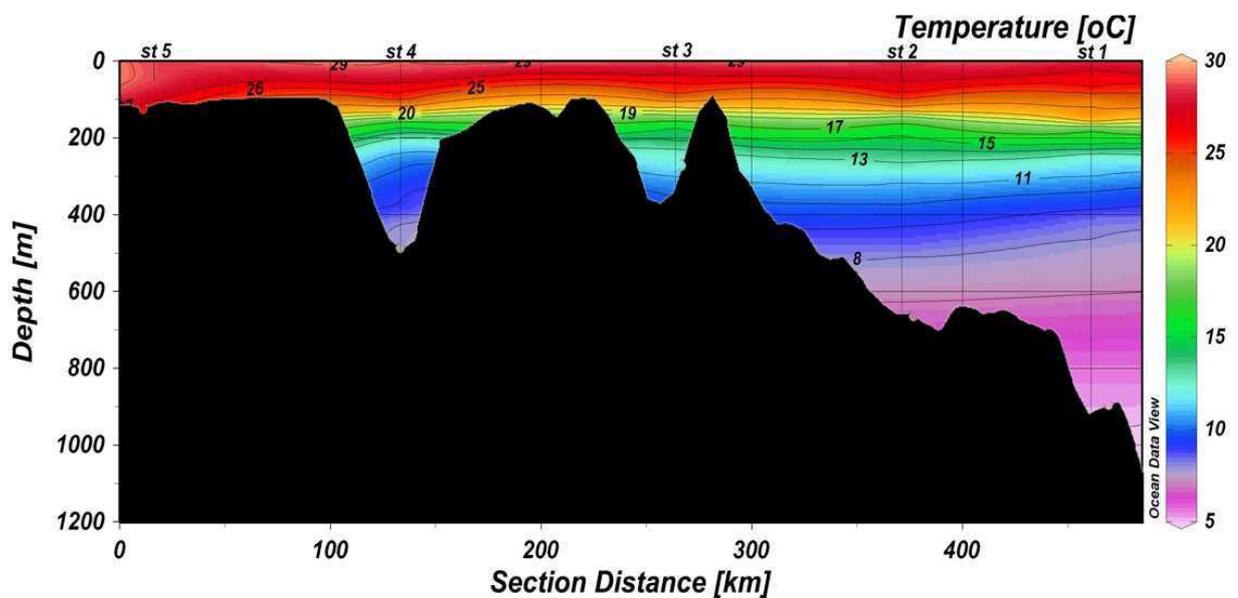
surface layer), lapisan termoklin (*thermocline layer*), dan lapisan dalam (*deep layer*). Lapisan tercampur permukaan (*mixed surface layer*) merupakan lapisan homogen dengan kisaran nilai bahang yang relatif sama. Lapisan homogen dari profil melintang suhu sepanjang Stasiun di perairan Dewakang *Sill* relatif sedikit berbeda ketebalan lapisan antar Stasiun. Ketebalan lapisan tercampur permukaan dari Stasiun 1 - 5 ditemukan pada kedalaman pengukuran CTD, antara 50 m - 130 m dengan nilai kisaran suhu antara 21° - 28 °C dengan fluktuasi gradien suhu antara 0.01 °C - 0.02 °C, sedangkan pada Stasiun 5 dengan kedalaman pengukuran CTD sampai kedalaman 2 - 50 m menunjukkan lapisan suhu homogen dengan nilai 28 °C, hal ini disebabkan lokasi Stasiun 5 berada pada perairan dangkal di Laut Jawa.

Lapisan termoklin merupakan lapisan pembatas antara lapisan permukaan tercampur dan lapisan dalam, ditandai adanya drastisitas penurunan suhu terhadap kedalaman. Profil ketebalan lapisan termoklin bervariasi terhadap kedalaman secara melintang sepanjang antar masing-masing Stasiun pengamatan. Variasi lapisan termoklin hanya ditemukan di antara Stasiun 1 - 4, pada kisaran kedalaman antara 114 m - 163 m, dengan variasi ketebalan lapisan mulai dari 4 m - 21 m, sedangkan Stasiun 5, tidak ditemukan karena interval kedalaman perairan dangkal. Meskipun ada variasi ketebalan lapisan terbentuk di antara lapisan tercampur dan lapisan dalam, tetapi interval lapisan sangat tipis ditemukan pada kisaran 20 °C di masing-masing kedalaman antar Stasiun (1 - 4) dengan ketebalan umum sekitar 49 m. Stasiun 1, ditemukan lapisan termoklin pada kedalaman 156 m - 163 m dengan ketebalan lapisan sekitar 7 m. Pada Stasiun 2, ditemukan pada kedalaman 129 m - 132 m dengan ketebalan lapisan 4 m. Pada Stasiun 3, ditemukan pada kedalaman 114 m - 135 m dengan ketebalan lapisan 21 m, selanjutnya, Stasiun 4 ditemukan pada kedalaman 131 m - 139 m dengan ketebalan lapisan 9 m. Variabilitas lapisan termoklin tinggi yang masih terlihat sampai di lapisan bawah menyerupai kondisi termoklin Selat Makassar, kecepatan sekitar 50% lebih besar dari lapisan permukaan, dan sekitar dua sampai tiga kali kecepatan di lapisan termoklin Selat Leste (Gordon *et al.* 2010).

Lapisan dalam (*deep layer*) merupakan lapisan ketiga dari lapisan dalam lautan secara umum dengan karakteristik suhu yang relatif homogen dan mengalami penurunan sangat lambat. Penurunan suhu pada kisaran kedalaman pengukuran CTD terlihat variasi relatif homogen di kedalaman 200 m hingga batas terdalam pengukuran sekitar 1000 m. Lapisan termoklin terbawah merupakan batasan lapisan dalam dengan suhu homogen yang berkisar antara 4 °C - 12.50 °C. Profil lapisan dalam perairan terdapat pada kedalaman Stasiun 1 sampai Stasiun 4, dengan kedalaman lapisan dalam (*deep layer*) ditemukan pada Stasiun 1 (1001 m) dan 2 (900 m) yang dapat mewakili karakteristik

lapisan dalam. Pada Stasiun 3 (521 m) dan 4 (604 m) mewakili lapisan dalam yang berada pada daerah *slope*, dengan nilai suhu terendah berkisar antara 6.77 °C - 7.55 °C.

Variabilitas suhu dan kecepatan degradasi suhu terhadap kedalaman perairan dengan tiga pola pelapisan utama pada perairan Dewakang *Sill*, mengalami stratifikasi dengan gradien fluktuasi yang berbeda terhadap kedalaman. Kondisi ini relatif rendah dengan pengamatan yang ditemukan oleh Gordon *at el.* (2010) di Selat Makassar dengan profil suhu yang membagi lapisan kedalaman berdasarkan rata-rata besaran gradien suhu vertikal yang lebih spesifik ke dalam empat bagian (lapisan permukaan tercampur, termoklin, lapisan tengah dan lapisan dalam). Lapisan permukaan tercampur (0 m - 50m) memiliki rata-rata gradien suhu vertikal -0.31 °C/10 m, lapisan termoklin (50 m - 200 m) gradien suhu lebih besar dari -0,91 °C/10 m, kembali menurun di lapisan tengah (200 m - 500m) hanya -0.23 °C/10 m dan lebih rendah -0,05 °C/10 m di lapisan dalam (500 m - 1200 m).



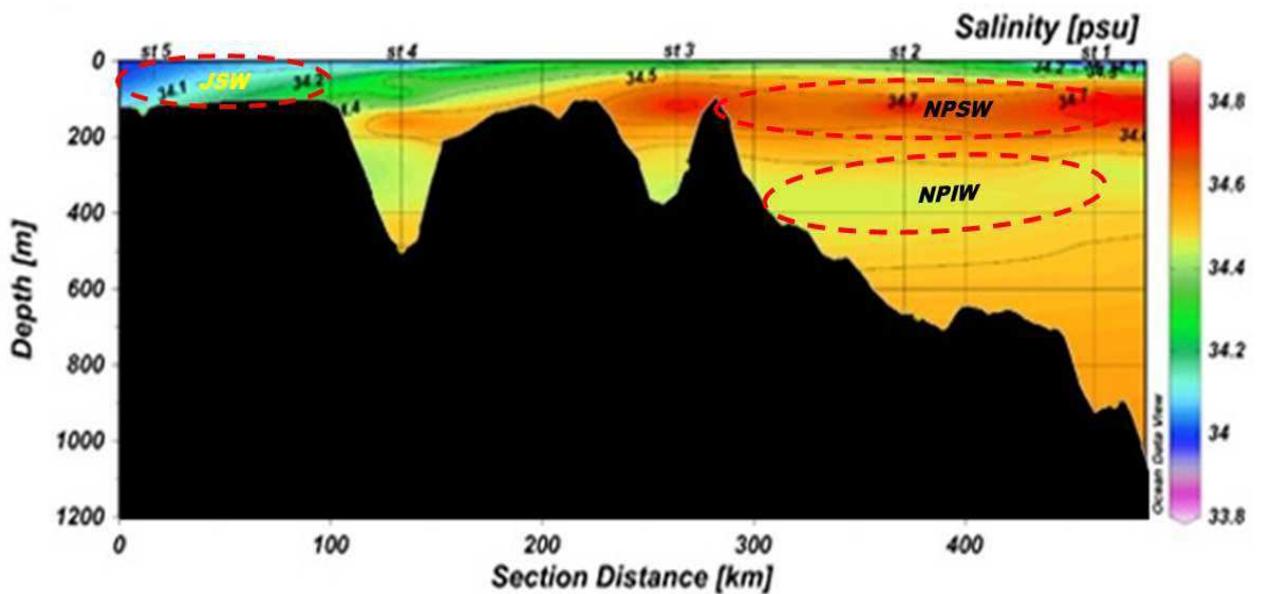
Gambar 3. Profil melintang suhu perairan sepanjang stasiun Selatan Dewakang *Sill*

Lapisan tercampur permukaan (*mixed surface layer*) secara umum memiliki karakteristik dengan besaran salinitas lebih rendah dibandingkan lapisan haloklin dan lapisan dalam. Lapisan permukaan perairan Dewakang *Sill* menunjukkan adanya dua lapisan massa air yang berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Lapisan permukaan dengan kisaran salinitas 33.6501 - 34.0445 psu, dengan kondisi yang relatif homogen sampai dasar (50 m) di Stasiun 5. Salinitas ini merupakan karakteristik massa air Laut Jawa yang banyak mendapatkan intrusi massa air tawar. Selanjutnya mengalami pendangkalan pada Stasiun 4 dengan ketebalan lapisan sekitar 20 m, dengan kisaran salinitas 33.8123 - 34.0921 psu, di lapisan ini ditemukan adanya lekukan ke dalam antara

batas lapisan isohalin atas (34.2053 psu) dengan lapisan isohalin bawah (34.3035 psu). Ketebalan lapisan menipis ditemukan pada Stasiun 3 dan 2, sekitar 10 m - 15 m, dengan kisaran salinitas 33.8801 - 34.0677 psu. Selanjutnya terlihat kembali penebalan lapisan hingga kedalaman sekitar 17 m dengan salinitas 33.8921 - 34.09215 psu pada Stasiun 1.

Kedalaman lapisan haloklin relatif berfluktuasi sepanjang Stasiun dengan kedalaman dapat mencapai 521 m - 1001 m, berdasarkan pengukuran CTD (Stasiun 1 - 4) dengan kisaran salinitas antara 34.5047 - 34.5802 psu dengan gradien salinitas 0.002 psu. Variasi salinitas pada lapisan haloklin memiliki ketebalan berbeda pada tiap Stasiun. Pada Stasiun 1 lapisan haloklin terletak di kedalaman 188 - 231 m dengan kisaran salinitas 34.5023 - 34.5906 psu, pada Stasiun 2 lapisan haloklin terletak di kedalaman 169 m - 265 m dengan kisaran salinitas 34.5035 - 34.5195 psu, pada Stasiun 3 lapisan haloklin terletak di kedalaman 163 m - 205 m dengan kisaran salinitas 34.5015 - 34.5981 psu, sedangkan pada Stasiun 4 lapisan haloklin terletak di kedalaman 163 m - 195 m dengan kisaran salinitas 34.5052 - 34.5924 psu.

Lapisan dalam (*deep layer*) relatif homogen terhadap kedalaman dengan karakteristik relatif sama dengan lapisan haloklin (34.5022 - 34.5890 psu). Peningkatan salinitas pada lapisan dengan gradien densitas yang rendah (0.01 - 0.003 psu/m) sehingga tidak terlihat fluktuasi lapisan. Laju penurunan densitas terhadap tekanan yang relatif sedang jika dibanding dengan nilai hasil pemodelan suhu dan salinitas permukaan di Pasifik-Khatulistiwa oleh Friedrich *et al.* (2011) yang menemukan gradien 0.3 - 0.5 psu/m sebagai konsekuensi dari proses *upwelling*. Nilai salinitas pada lapisan dalam mengalami perubahan yang sangat kecil dan menjadi lebih stabil seiring bertambahnya kedalaman. Peningkatan salinitas sepanjang Stasiun 4 sampai 2 relatif sama, hanya pada Stasiun 1 mengalami peningkatan salinitas mencapai 34.5809 psu hingga kedalaman 1001 m pada kedalaman pengukuran CTD. Kedalaman perairan berperan dalam menentukan terbentuknya lapisan dalam, selain interaksi dari arus dengan topografi dasar lautan. Kontur dasar suatu perairan berkontribusi besar terhadap karakterisasi massa air (salinitas dan suhu kedalaman), di antaranya berkontribusi menciptakan aktifitas *interal wave*, *upwelling* dan *downwelling* massa air, juga terjadinya turbulensi.

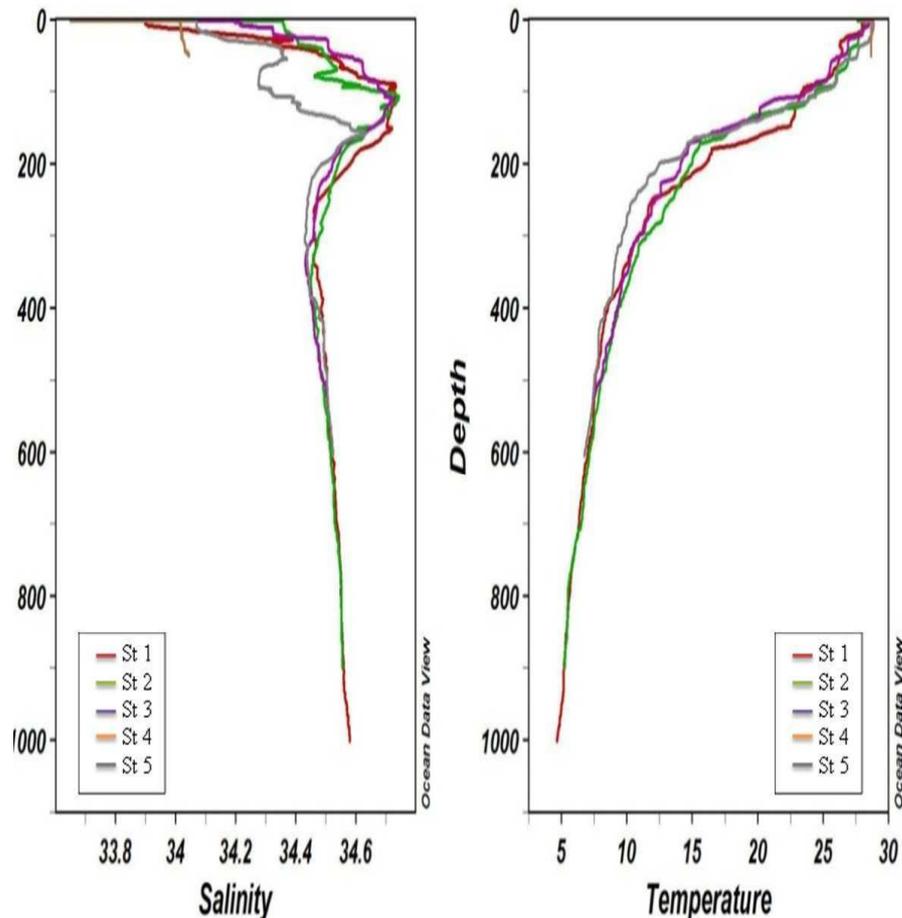


Gambar 4. Profil melintang salinitas perairan sepanjang stasiun Selatan Dewakang Sill

Stratifikasi salinitas vertikal terhadap kedalaman terbentuk seperti grafik pada suhu, yang terbagi ke dalam tiga lapisan utama (permukaan, haloklin, dan lapisan dalam) seperti pada Gambar 5. Pola pelapisan menegak salinitas dengan kisaran ketebalan maksimal dan minimal sesuai kedalaman lapisan utama perairan. Grafik lapisan permukaan menunjukkan garis menegak dengan variasi relatif homogen, dimana kondisi ini dapat diwakili Stasiun 5 dengan garis relatif tegak lurus sampai kedalaman 50 m (salinitas 33.6543 - 34.0445 psu). Kondisi berbeda ditunjukkan pada Stasiun lain (Stasiun 1 - 4), akibat ada peningkatan secara drastis nilai salinitas terhadap kedalaman di lapisan permukaan. Variasi salinitas membentuk dua lapisan dengan ketebalan berbeda pada lapisan permukaan, lapisan atas permukaan memiliki ketebalan dangkal dibandingkan dengan lapisan dalam permukaan. Lapisan atas dan bawah permukaan terlihat berhimpit dengan batas lapisan isohalin atas (34.2565 psu) dan lapisan isohalin bawah (34.3335 psu). Lapisan termoklin berada di bawah lapisan permukaan yang ditandai dengan garis miring dengan degradasi salinitas menurun terhadap kedalaman (163 m - 265 m) dengan kisaran salinitas 34.5024 - 34.5903 psu. Selanjutnya lapisan dalam kembali tegak lurus dengan variasi peningkatan salinitas sampai kedalaman batas terukur CTD sangat lambat/konstan, sehingga gradien densitas berkisar antara 0.001 - 0.002 psu/m.

Profil menegak salinitas berbanding terbalik dengan profil menegak suhu, ini terlihat adanya pergeseran nilai salinitas terhadap kedalaman dan gradien fluktuasi densitas mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kedalaman (tekanan). Suhu secara vertikal mengalami penurunan sejalan dengan bertambahnya kedalaman, sebagai akibat lemahnya penetrasi matahari terhadap kedalaman perairan. Salinitas

permukaan yang relatif rendah pada Stasiun 5 sampai Stasiun 1 jika dibanding dengan lapisan termoklin diketahui adanya masukan massa air dari Laut Jawa dengan karakteristik salinitas yang relatif rendah. Salinitas dan densitas massa air sepanjang Stasiun pengamatan di Selatan Selat makassar dan Dewakang *Sill* lebih tinggi jika dibandingkan dengan kisaran pada jalur/Selat keluar massa air ke Samudera Hindia di Selatan Jawa.



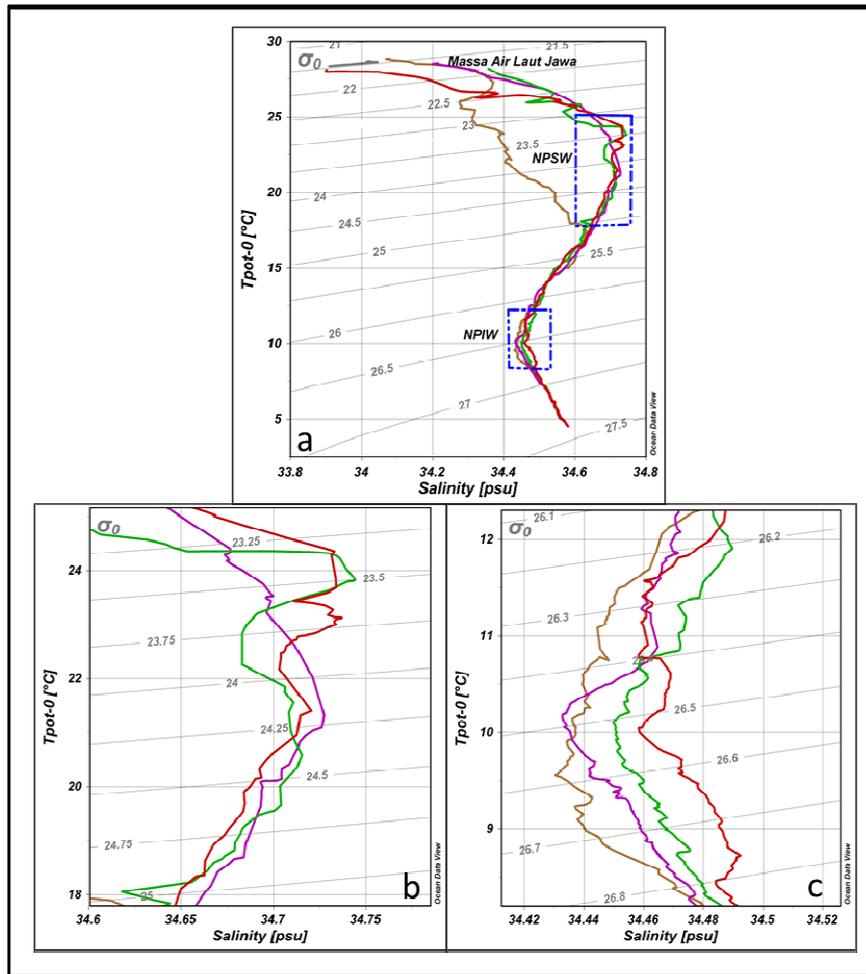
4.1.2

Gambar 5. Profil vertikal suhu dan salinitas perairan sepanjang stasiun Selatan Dewakang *Sill*

Kondisi salinitas dan suhu yang sangat tinggi di lapisan termoklin menyerupai dengan kondisi salinitas dan suhu di Selat Makassar dan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi perairan Selat Ombai, Lombok, Dao, dan Timor yang lebih rendah, seperti yang didapatkan oleh Atmadipoera *et al.* (2009) melalui kajian data menggunakan model KL07 menunjukkan hasil bahwa lapisan permukaan hingga lapisan termoklin terlihat pengenceran salinitas di beberapa lokasi akibat adanya curah hujan berlebih dan *run-off* sungai di Laut Jawa sedangkan Ombai yang salin dan juga adanya pengaruh musiman. Kajian ini menemukan lapisan permukaan di Laut Jawa dan Ombai yang hangat ($20 - 22 \sigma_\theta$), dengan salinitas tinggi (34.4031 psu) sedangkan di laut Timor lebih hangat (29.01°C). Hal ini yang menyebabkan percampuran *diapycnal* yang kuat sepanjang muson.

4.1.3 3.1 Identifikasi Jenis Massa Air

Karakteristik massa air yang melewati perairan di Selatan Dewakang *Sill* dan sekitarnya sepanjang stasiun pengamatan dapat diketahui melalui diagram *T-S* seperti pada Gambar 6. Pada grafik yang didasarkan pada Stasiun pengamatan, dapat dilihat adanya tiga jenis massa air dengan kondisi nilai salinitas dan densitas (σ_0) yang berbeda tetapi relatif rendah dan ditandai dengan stratifikasi suhu yang tinggi berdasarkan lapisan tekanan/kedalaman.



Gambar 6. Jenis dan karakteristik massa air di Selatan Dewakang *Sill* berdasarkan diagram *T-S* (a), *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) (b), dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) (c).

Kedalaman termoklin merupakan parameter fisis lautan yang letaknya bisa berubah-ubah secara vertikal, seperti yang dijelaskan oleh Kurnarso dkk. (2012). Secara teoritis menurut Tomzack (2000) dalam Kurnarso dkk. (2012) menjelaskan bahwa beberapa faktor bisa mempengaruhi perubahan kedalaman lapisan termoklin yaitu arus,

upwelling dan downwelling, material padatan tersuspensi, posisi lintang, curah hujan dan variabilitas iklim global (El Niño dan La Niña). Song *et al.*, (2007) dalam Kurnarso dkk. (2012) melakukan mengidentifikasi kedalaman termoklin namun lokasinya di perairan selatan India dan tidak mengkaitkan dengan variabilitas iklim global. Hasil riset dari Susanto *et al.* (2001; 2007) dalam Kurnarso dkk. (2012) telah menemukan saat El-Niño kedalaman termoklin lebih dangkal dari pada saat La-Niña, tanpa parameter IOD (*Indian Oscillation Dipole Mode*) dalam kajiannya dan belum membahas secara detail penyebab perubahan batas atas maupun batas bawahnya berkaitan dengan dua varibilitas iklim global ENSO (El-Nino Southern Oscilation) dan IOD sekaligus. Pemahaman yang lebih komprehensif tentang perubahan kedalaman termoklin dalam kaitannya dengan ENSO, IOD dan Monsun di wilayah perairan selatan Jawa hingga Timor belum dijumpai.

4.1.3.1.1 **Tabel 2.** Karakter aliran massa air Selatan Dewakang *Sill* dan sekitarnya berdasarkan Stasiun pengamatan

Jenis Massa Air	Karakter Massa Air			
	Tekanan (db)	Temperatur Potensial (°C)	Salinitas (psu)	Densitas (sigma- theta) (kg m ⁻³)
Laut Jawa	1 – 98	25.01 - 28.36	33.317 - 33.913	21.43 - 22.67
NPSW	112 – 204	23.83 - 15.79	34.391 - 34.485	23.50 - 25.50
NPIW	242 – 479	12.40 - 8.77	34.454 - 34.495	26.45 - 27.09

Berdasarkan tabulasi karakteristik setiap massa air dapat dilihat pada Tabel 3, terlihat karateristik massa air dapat diketahui dengan melihat param salinitas, temperatur, dan densitas (σ_0). Terdapat tiga jenis massa air yang melintasi Stasiun pengamatan, diantaranya karakteristik massa air Laut Jawa, *North Pacific Subtropical Water* (NPSW), dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW). Karakteristik massa air ditandai dengan salinitas (33.3174 - 33.9136 psu) dan densitas (σ_0) terendah (21.50 kg m⁻³) serta suhu yang tinggi mencirikan massa air Laut Jawa dan merupakan karakteristik massa air pada lapisan tercampur sepanjang Stasiun pengamatan. Massa air dengan σ_0 24.50 kg m⁻³ dan salinitas (34.3931 - 34.4865 psu) yang mencirikan lapisan termoklin ditandai sebagai karakteristik massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) melalui jalur Arlindo dari Pasifik Utara melewati Perairan Makassar. Pada Gambar 6b ditemukan profil berbeda (Stasiun 4) jika dibandingkan salinitas Stasiun lainnya pada kisaran salinitas 34.2828 - 34.5921 psu, kondisi tersebut diindikasikan akibat adanya aktivitas dari pasut internal sepanjang *slope*. Di lapisan termoklin bawah diindikasikan sebagai karakteristik massa air *North Pasific Intermediate Water* (NPIW) ditandai dengan σ_0 26.50 kg m⁻³ dan salinitas (34.4536 - 34.4954 psu). Salinitas massa air NPSW mengalami penurunan konsentrasi daripada massa air NPIW yang tinggi, disebabkan oleh proses pencampuran vertikal yang

kuat pada lapisan dalam sepanjang jalur Arlindo menyebabkan adanya perubahan karakteristik massa air.

Perairan Selatan Selat Makassar khususnya di Selatan Dewakang *Sill* memiliki stratifikasi lapisan termoklin sepanjang stasiun terhadap kedalaman. Kondisi ini menurut Tomzack (2000) dan Kunarso dkk. (2012) menjelaskan kemungkinan adanya tutupan awan merupakan penghambat masuknya cahaya matahari ke dalam lautan. Hal ini berakibat intensitas cahaya matahari sebagai *trigger* dari naiknya suhu perairan laut pada kedua kasus di atas hampir sama tingginya. Intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan hampir sama maka akan membentuk pola kedalaman termoklin hampir sama dengan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan laut, sehingga dapat menyebabkan dangkalnya lapisan termoklin. Selanjutnya dikatakan bahwa tersebut sama saja berarti dengan meningkatnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan, diduga bisa menyebabkan makin dalamnya lapisan termoklin.

Perbedaan ketebalan lapisan termoklin dari setiap stasiun dengan adanya intensitas suhu dan fluktuasi gradien densitas jenis massa air di lapisan yang menjadi jalur arlindo dan membawa pengaruh beberapa fenomena fisik perairan seperti dinamika ENSO. Menurut Kunarso dkk. (2012) bahwa lapisan termoklin saat El Niño menjadi tebal karena adanya beberapa factor lingkungan yang menjadikan batas atas termoklin naik dan batas bawah termoklin turun. Ditambahkan oleh (Susanto *et al.*, 2001) bahwa kenaikan 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 laut. Hal ini bisa terjadi karena secara umum pada saat El Niño tutupan awan di atas atmosfer Indonesia khususnya selatan Ekuator minim um. Indikator tutupan awan bisa diketahui secara tidak langsung dari tingginya curah hujan, sehingga termoklin melebar kebawah dan ketebalannya meningkat.

4 Kesimpulan

- a. Perairan Selatan Selat Makassar khususnya di Selatan Dewakang *Sill* memiliki stratifikasi lapisan terhadap kedalaman dengan karakteristik yang dipengaruhi oleh pertemuan massa air dari Selat Makassar dan Laut Jawa juga dari Laut Flores yg menyebabkan adanya *front* di lapisan permukaan tercampur. Keberadaan *sill/slope* yang relatif dangkal berkontribusi terhadap karakter aliran dan dinamika pencampuran massa air.
- b. Sepanjang stasiun pengamatan (stasiun 1-5) ditemukan tiga jenis karakter massa air pada tiap kedalaman yaitu karakter massa air Laut Jawa ditandai dengan salinitas

(33.3174 - 33.9136 psu) dan densitas (σ_θ) terendah (21.50 kg m^{-3}) serta suhu yang tinggi, *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) ditandai Massa air dengan densitas (σ_θ) 24.50 kg m^{-3} dan salinitas (34.3931 - 34.4865 psu), dan karakteristik massa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) ditandai dengan σ_θ 26.50 kg m^{-3} dan salinitas (34.4536 - 34.4954 psu).

Daftar Pustaka

- Atmadipoera, A., Molcard, R., Madec, G., Wijffels, S., Sprintall, J., Koch-Larrouy, A., Jaya, I., & Supangat, A. (2009). Characteristics and Variability of the Indonesian Throughflow Water at the Out flow Straits. *Deep-Sea Res I*. 56: 1942–1954.
- 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
- Gordon, A.L., Sprintall, J., Van Aken H.M., Susanto, D., Wijffels, S., Molcarde, R., Ffield, A., Pranowog, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian throughflow during 2004–2006 as Observed by the INSTANT program. *Dyn Atmosph Oceanogr* 50:115–128.
- Ilahude, A.G., (1999). Pengantar Oseanologi Fisika. P3O-LIPI. Jakarta.
- Ilahude, A.G., & Gordon, A. (1996). Thermocline stratification within the Indonesian Sea. *J Geophys Res* 101:12401-12409
- Kunarso, Hadi, S., Ningsih, N.S., Mulyono, S. B. (2012). Perubahan Kedalaman dan Ketebalan Termoklin pada Variasi Kejadian ENSO, IOD dan Monsun di Perairan Selatan Jawa Hingga Pulau Timor. *Ilmu Kelautan*. Vol. 17 (2) 87-98
- Neumann, G., & Pierson, W. J., (1966). *Principles of Physical Oceanography*. Engle Wood Cliffs, N.J. Prentice Hall Inc. New York.
- Nontji. (1993). *Laut Nusantara*. Buku referensi. Djambatan, Jakarta . 368 hal.
- Ross, D. A. (1970). *Introduction to Oceanography*. Appleton-Century-Croft. Meredith Corporation. New York, NY.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to Physical Oceanography*. Department of Oceanography. Texas A & M University.
- Susanto, R. D., Gordon, A. L., & Zheng, Q. (2001). Upwelling Along the Coast of Java N Sumatra N Its Relation to ENSO. *J. Geophysical Research Letters*, 28(8): 1599-1602.
- Tomzack, M. 2000. *An Introduction An Physical Oceanography*. The Flinders University of South Australia. Australia. 429 pp
- Tomczak, M., & Godfrey J. S. (2002). *Regional Oceanography: An Introduction*. Pergamon Press. Australia.
- Umasangaji, H. (2006). Variabilitas dan karakteristik arus lintas Indonesia hubungannya dengan fluktuasi lapisan Termoklin di perairan selat makassar. Sekolah Pascasarjana [Tesis]. IPB. Bogor.