

Karakteristik Massa Air di Selat Sunda dan Perairan Lepasnya

Moch Reza Fahlevi¹, Ahmad Bayhaqi^{2*}, Denny Nugroho Sugianto¹, Muhammad Fadli³,
Huiwu Wang⁴, R. Dwi Susanto⁵, Sam Wouthuyzen²

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang Semarang, 50275 Indonesia

²Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Pasir Putih No.1, Ancol Timur, Jakarta Utara, Indonesia

³Pusat Penelitian Laut Dalam, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Y. Syaranamual, Poka, Kec. Tlk. Ambon, Kota Ambon, Maluku, Indonesia

⁴First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources
Qingdao 266061, People Republic of China

⁵Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland
College Park, MD 20742, USA

Email: ahmad.bayhaqi@lipi.go.id

Abstrak

Selat Sunda merupakan selat dengan kondisi fisik dinamis yang menjadi menjadi jalur sirkulasi massa air di perairan Indonesia pertemuan Armondo dan Arlindo. Perairan ini didominasi dari Samudera Hindia dengan dinamika perairan yang sebagian besar dipengaruhi oleh angin musim, hal ini dapat memicu pencampuran massa air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik massa air di Selat Sunda dan perairan lepasnya. Pengambilan data dilakukan pada bulan November 2019 dan data model diperoleh dari situs CMEMS (2015-2019). Pengolahan data menggunakan *software Ocean Data View (ODV)* dengan metode sebaran vertikal, melintang dan diagram TS. Hasil penelitian menunjukkan temperatur di Selat Sunda relatif lebih tinggi dengan kisaran 29-30,2°C. Sebaran salinitas dan densitas di Samudera Hindia lebih tinggi dengan nilai masing-masing 35-35,2 ‰ dan 22,20 kg/m³. Tipe massa air didominasi dari Samudera Hindia terdiri dari *Bengal Bay Water (BBW)*, *South Indian Central Water (SICW)*, *Antartic Intermediate Water (AAIW)* dan *Indonesian Upper Water (IUW)*. Dua jenis massa air berasal dari Samudera Pasifik yakni *Pacific Equatorial Water (PEW)* dan *Western North Pacific Central Water (WNPCW)*. Variabilitas massa air menunjukkan pola yang relatif serupa. Sebaran temperatur tertinggi terjadi pada musim peralihan 2 (30,2°C) dan terendah di musim timur (29,2°C). Sebaran salinitas permukaan tertinggi terjadi pada musim peralihan 2 (32,87 ‰) dan terendah pada musim peralihan 1 (31,74‰).

Kata Kunci: Temperatur, Salinitas, Densitas, Selat Sunda

Abstract

Water Mass Characteristics in and off The Sunda Strait

Sunda Strait is a strait with dynamic physical condition that crossed by Armondo and Arlindo. These waters are dominated by Indian Ocean with dynamics of waters which are largely influenced by monsoons, its condition give an example of mixing water mass. This research aims to determine characteristics and variability of water mass. This study was carried out in November 2019 and satellite data was obtained from CMEMS website (2015-2019). Processing data was performed using software Ocean Data View (ODV) by methods scatter distribution, cross section and TS diagram. The result show that temperature in the Sunda Strait was relatively higher with a range 29-30.2°C. The distribution of salinity and density in the Indian Ocean is higher with values of 35-35.2 ‰ and 22.2 kg/m³. TS diagram shows that water mass dominated by the Indian Ocean consists of Bengal Bay Water (BBW), South Indian Central Water (SICW), Antartic Intermediate Water (AAIW) and Indonesian Upper Water (IUW). Two type of water mass from Pacific

Ocean are Pacific Equatorial Water (PEW) and Western North Pacific Central Water (WNPCW). Variability of water mass shows a similar pattern. The highest temperature distribution occurred in transitional season 2 (30.2°C) and the lowest in east season (29.2°C). The highest distribution of salinity occurred in transitional season 2 (32.87 ‰) and the lowest in transitional season 1 (31.74 ‰).

Keywords: Temperature, Salinity, Density, Sunda Strait

PENDAHULUAN

Selat Sunda merupakan selat yang memisahkan antara pulau Sumatera dan pulau Jawa serta terhubung langsung dengan Laut Jawa dan Samudera Hindia (Purnomo *et al.*, 2018). Selat ini menjadi jalur penting dalam sirkulasi massa air di perairan Indonesia, hal ini karena Selat Sunda menjadi lintasan Arus Monsoon Indonesia (Armondo) sehingga memiliki kondisi fisik yang dinamis. Di bagian utara didominasi pengaruh Laut Jawa dan bagian selatan dipengaruhi Samudera Hindia. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa massa air di Selat Sunda didominasi massa air dari Samudera Hindia dengan karakteristik salinitas maksimum 34,8-35,4 psu (Yuliananingrum dan Putri, 2012). Samudera Hindia memiliki karakteristik perairan yang unik dan kompleks karena dinamika perairan ini dipengaruhi angin musim dan angin pasat (Wrytki, 1961). Menurut Jumarang dan Ningsih (2013) bahwa massa air di Selat Sunda sepanjang tahun relatif bergerak dari Laut Jawa ke Samudera Hindia, akibat faktor gradien tekanan dan topografi dasar laut. Kondisi ini memicu terjadinya pencampuran massa air yang berdampak positif terhadap kondisi nutrisi di perairan Selat Sunda dan sekitarnya. Faktor inilah menjadikan Selat Sunda sebagai daerah potensi untuk dikaji lebih dalam mengenai karakteristik massa air. Menurut Potemra *et al.* (2016) bahwa saat musim timur di perairan Selat Sunda bagian selatan terjadi pergerakan Arlindo dan Arus Jawa Selatan ke arah Samudera Hindia dengan transport volume mencapai 10 Sv. Hal ini mengakibatkan terjadinya pertemuan antara Arus Pantai Jawa dengan Arus Katulistiwa Selatan yang bergerak sepanjang pesisir barat Sumatera menuju tenggara serta masa air yang sepanjang tahun bergerak dari Laut Jawa menuju Samudera Hindia melalui Selat Sunda dengan kecepatan arus rerata 0,4 m/s. Kondisi ini memicu terjadinya transport bahang dan perubahan temperature laut akibat pertemuan dua massa air dengan karakteristik berbeda. Studi ini menjadi peran penting bagi aktivitas biologis biota laut

khususnya dalam menentukan potensi daerah tangkapan ikan kembung (*Rastregiller sp.*) sesuai pernyataan Tarigan *et al.* (2020).

Kajian mengenai karakteristik massa air di Selat Sunda dan Samudera Hindia menjadi informasi penting untuk mengetahui sebaran massa air secara vertikal dan melintang. Tidak hanya itu, dengan mengetahui profil temperatur dan salinitas dapat memperoleh kondisi perairan secara fisik dapat dijadikan bagi pengembangan dan pemanfaatan sumberdaya laut terutama perikanan khususnya perikanan tangkap untuk jenis ikan kembung (*Rastregiller sp.*) di Selat Sunda dan perairan sekitarnya (Cullen *et al.*, 1983; Cahyaningrum., 2009; Purwandana., 2012; Tarigan *et al.*, 2020).

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan terdiri atas parameter temperatur dan salinitas dari *instrument* CTD (*Conductivity Temperature Depth*) secara *snapshot*. CTD yang digunakan berjenis *Sea-Bird SBE* tipe 11plus V 5.2 dengan interval kedalaman pengukuran 1 meter. CTD ini dilengkapi sensor untuk mengukur densitas, kedalaman, *fluorescence*, pH, salinitas, temperatur, turbiditas dan *dissolved oxygen* (DO). Pengambilan data lapangan dibagi menjadi 9 stasiun yang terletak antara 99,893°BT – 105,796 °BT dan 5,952°LS – 7,999 °LS. Data sekunder yang digunakan adalah data temperatur dan salinitas diperoleh dari situs *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

Data CTD (*Conductivity Temperature Depth*) yang digunakan berupa parameter temperatur, salinitas dan densitas. Data ini diperoleh dari hasil pengukuran lapangan di Selat Sunda dan Samudera Hindia yang dilakukan oleh LP2O-LIPI (Lembaga Penelitian Observasi Oseanografi- LIPI) program ekspedisi program *Transport Indonesian Seas, Upwelling, Mixing Physics* (TRIUMPH) pada tanggal 18-22 November tahun 2019. Data model (temperatur

dan salinitas) sebagai data pendukung diperoleh dari situs *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* CMEMS (<http://www.marine.copernicus.eu>). Menurut Labania *et al.* (2018) data ini merupakan data hasil interpolasi secara spasial dan temporal yang terbagi mejadi 4 musim yakni musim barat (Desember-Februari), musim peralihan 1 (Maret-Mei), musim timur (Juni-Agustus) dan musim peralihan 2 (September-November) selama tahun 2015-2019 dengan resolusi 0,083° x 0,083° (±8 km).

Data parameter temperatur, salinitas dan densitas diolah dengan *software* SBE *Data Processing-Win32* untuk bisa diolah lebih lanjut dan merata-ratakan data sesuai tekanan (*binsize* = 1 dbar). Selanjutnya dilakukan filtrasi data dengan *Microsoft Excel* dimana data yang digunakan dibatas hingga kedalaman 1000 meter, sehingga data yang berada di kedalaman lebih dari 1000 meter tidak digunakan untuk meminimalisir perbedaan *range* data yang relatif besar. Data divisualisasikan dengan *software* ODV (*Ocean Data View*) untuk memperoleh sebaran vertikal, melintang dan diagram TS. Sebaran vertikal untuk mengetahui pola sebaran massa air terhadap kedalaman dan mengetahui lokasi lapisan termoklin. Sebaran melintang untuk mengetahui sebaran massa air berdasarkan titik geografis dan menentukan pergerakan massa air. Diagram TS digunakan untuk mengidentifikasi massa air (Saraswati, 2017).

Validasi data untuk mengetahui akurasi data model yang digunakan dengan metode RMSE (*Root Mean Square Error*). Metode ini merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan yang digunakan untuk mengukur tingkat

akurasi hasil prakiraan model. Nilai RMSE mendekati nol menunjukkan bahwa validasi data yang diperoleh oleh suatu model prakiraan mendekati nilai observasi. Adapun persamaan RMSE yaitu:

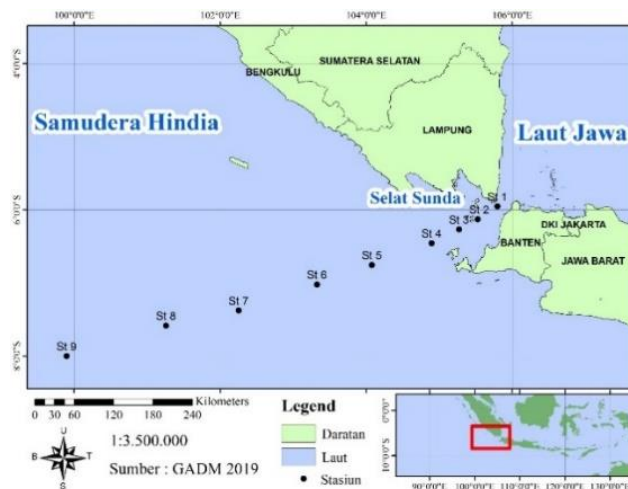
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i} - x_{2i})^2}{N}}$$

Keterangan: RMSE = *Root Mean Square Error*; $x_{(1i)}$ = Data model ke i , $i=1 \dots N$; $x_{(2i)}$ = Data lapangan ke i , $i=1 \dots N$; N = Banyak (pasangan) data

Validasi data model juga dilakukan dengan menggunakan Koefisien Korelasi Pearson (r) untuk mengetahui hubungan linier antara dua variabel. Koefisien Perason menggambarkan kekuatan hubungan antara dua variabel. Apabila hubungan antara variabel tidak linier, maka nilai Koefisien Pearon tidak mencerminkan kedua hubungan variabel tersebut (Safitri, 2016). Dua variabel dalam penelitian ini yakni data lapangan dan data model untuk parameter temperatur dan salinitas. Sesuai pernyataan Ismunarti *et al.* (2020) bahwa korelasi Pearson digunakan mengetahui besarnya hubungan antara dua variabel yang berbeda dengan kisaran nilai negatif satu hingga satu. Adapun persamaan Korelasi Pearson sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}}$$

Keterangan: r = Nilai Korelasi Pearson



Gambar 1. Wilayah lokasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Data

Nilai data lapangan temperatur relatif lebih kecil dibanding data model. Kondisi yang berbeda terjadi pada salinitas, nilai data lapangan lebih tinggi (Tabel 1). Variasi data disebabkan perbedaan lokasi titik koordinat stasiun. Hal ini akibat keterbatasan data model yang tersedia. Perbedaan nilai relatif kecil pada data model memrepresentasikan kondisi di lapangan (Saraswati, 2017).

Berdasarkan hasil analisis data, bahwa besarnya nilai RMSE parameter temperatur sebesar 1,15, nilai tersebut menunjukkan penyimpangan yang terjadi antara nilai temperatur model dengan nilai temperatur lapangan relatif kecil. Sedangkan, nilai RMSE salinitas sebesar 0,27. Berdasarkan pernyataan Hermialingga *et al.* (2020) bahwa batas ambang nilai RMSE verifikasi data model yang masih diterima kebenarannya sebesar 0,4 atau 40%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan yang terjadi antara nilai salinitas model dengan nilai salinitas lapangan sangat kecil. Pernyataan yang sama diperkuat oleh Swarinoto dan Husein (2012) bahwa nilai RMSE semakin mendekati nol menunjukkan nilai model semakin mendekati nilai sebenarnya di lapangan.

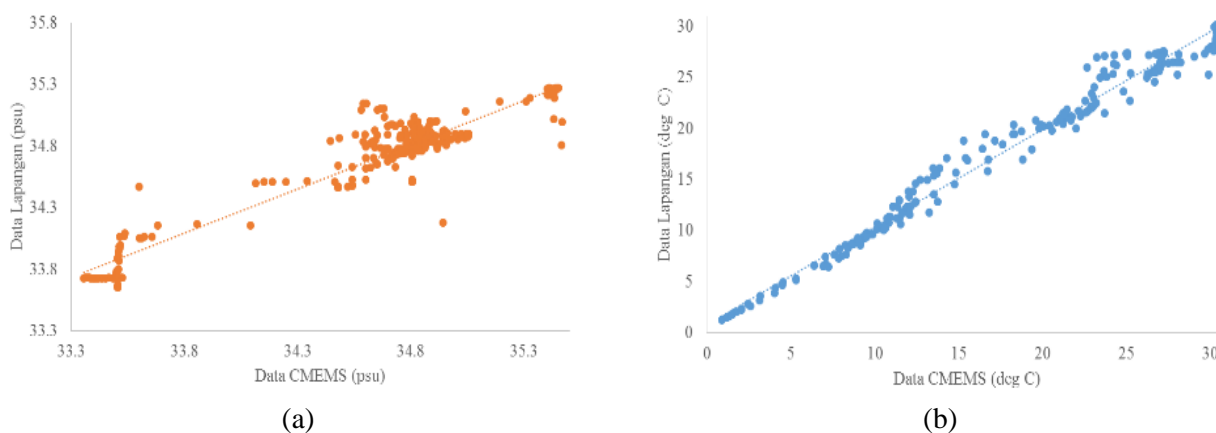
Hubungan antara data model parameter temperatur dan salinitas dengan data lapangan disajikan dalam Gambar. Nilai koefisien Korelasi Pearson (r) diperoleh dari masing-masing parameter (Tabel 5). Nilai korelasi untuk parameter temperatur diperoleh sebesar +0,94. Kondisi ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara nilai temperatur data model dengan nilai temperatur data lapangan. Berdasarkan Sugiyono (2009) bahwa nilai r antara 0,00–1,19 dikategorikan sangat rendah, 0,20–0,39 rendah, 0,40–0,59 sedang, 0,60–0,79 tinggi dan 0,80 – 1,00 sangat kuat. Kondisi yang serupa terjadi pada nilai korelasi untuk parameter salinitas yakni sebesar +0,99. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara nilai salinitas data model dengan nilai salinitas data lapangan mempunyai hubungan yang sangat kuat. Sehingga, data model untuk kedua parameter memiliki tingkat validasi tinggi, yang dapat dijadikan acuan untuk mengetahui variabilitas massa air di lokasi penelitian dalam jangka waktu panjang sesuai pernyataan Bayhaqi *et al.* (2019).

Identifikasi Massa Air

Sebaran temperatur vertikal mengalami penurunan seiring bertambahnya kedalaman (Gambar 3a). Nilai temperatur di beberapa stasiun dekat daratan (stasiun 1,2,3) relatif tinggi (29-30,2°C).

Tabel 1. Validasi temperatur dan salinitas di Selat Sunda dan Samudera Hindia

Parameter	Metode	
	RMSE	Korelasi Pearson (r)
Temperatur	1,15	0,99
Salinitas	0,27	0,94



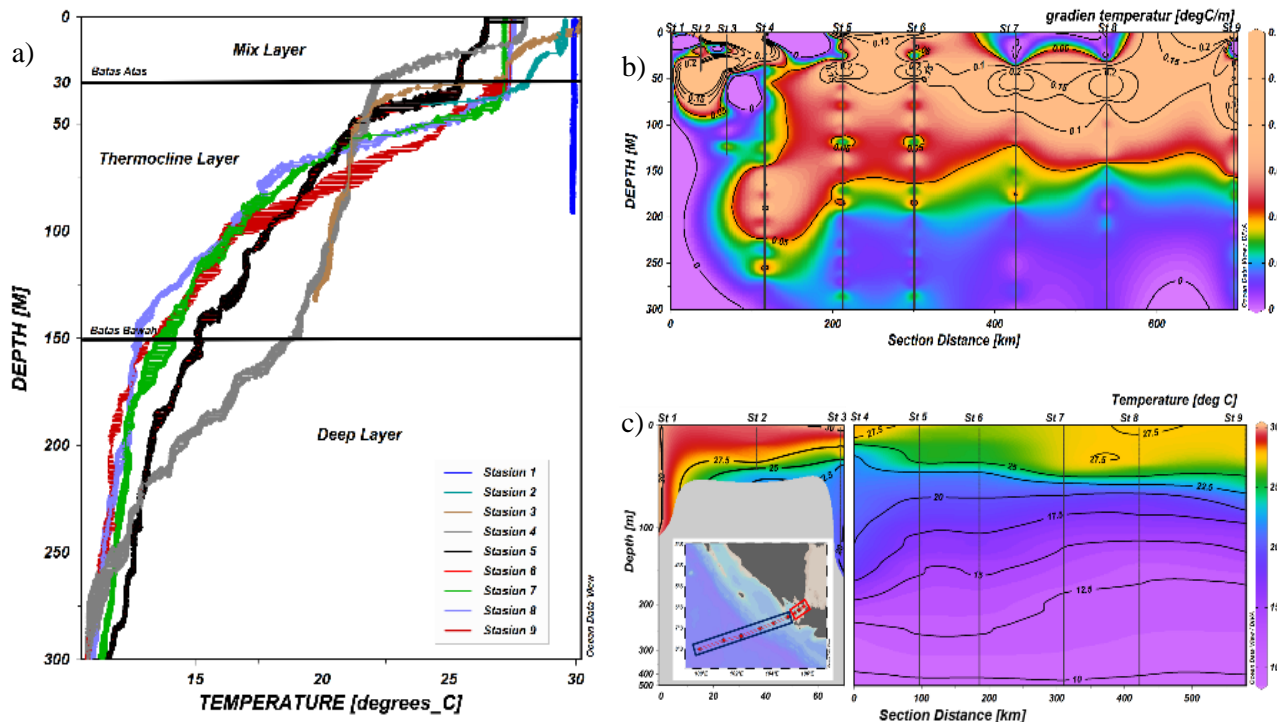
Gambar 2. Sebaran a) Salinitas dan b) Temperatur data lapangan dan data CMEMS.

Gradien temperatur pada kedalaman 50 m mencapai 0,2 namun ketebalannya relatif tipis (Gambar 3b), hal ini menunjukkan bahwa perubahan temperature padastasiun 1,2,3 relatif besar. Kondisi berbeda terjadi di stasiun 4 pada kedalaman 30-150 m, gradien temperatur sebesar 0,05 ketebalan lapisan relatif tebal. Berdasarkan nilai temperatur di setiap stasiun batas lapisan termoklin berada di kedalaman 30 m dan batas bawah berada di kedalaman 100 m. Perubahan temperatur relatif kecil pada kondisi kedalaman di bawah 100 m. Menurut Sidabutar *et al.* (2014) bahwa lapisan termoklin terbentuk karena adanya penurunan temperatur terhadap kedalaman secara cepat. Nilai absolut gradien temperatur pada lapisan termoklin sebesar 0,05°C/m. semakin besar nilai gradien temperatur maka lapisan termoklin semakin curam. Pengaruh pergerakan massa air secara melintang dapat mempengaruhi ketajaman lapisan termoklin.

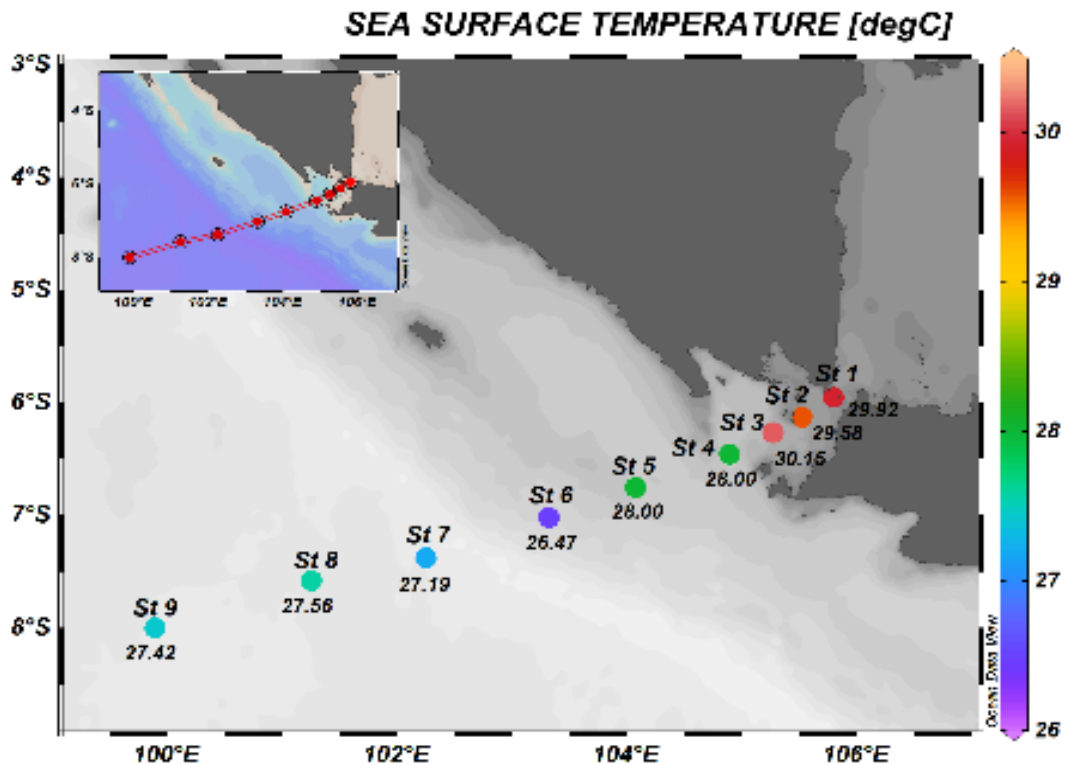
Nilai temperatur relatif stabil di perairan dengan *range* nilai 27-30°C karena masih dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari. Kondisi berbeda terjadi dilapisan dalam (*deep layer*) yang berada di kedalaman lebih dari 150 m dimana temperatur mulai stabil dengan nilai rerata

sebesar 12°C dan pada kedalaman 300 m sebesar 10-11°C. Sebaran temperatur secara melintang relatif menurun sesuai variasi warna dalam Gambar 3c dimana isotherm pada stasiun 1 lebih hangat mencapai 29-30°C kondisi berbeda terjadi pada stasiun 0 yang berada di perairan lepas Samudera Hindia memiliki isotherm 27-27,5°C. Hal ini dipengaruhi oleh letak geografis, wilayah yang dekat ekuator menerima intensitas cahaya lebih optimum (Hasanuddin, 1997). Sebaran temperatur secara melintang di setiap stasiunnya dengan variasi warna yang berbeda. Warna titik pada stasiun semakin merah menunjukkan nilai temperatur semakin tinggi, sedangkan warna semakin ungu menunjukkan nilai semakin rendah. Kondisi serupa terjadi pada sebaran temperatur secara melintang, dimana nilai temperatur yang berada di stasiun 1,2,3 relatif lebih tinggi mencapai 29,6-30,2°C. Nilai temperatur terendah berada di stasiun 6 sebesar 26,5°C.

Nilai salinitas di Selat Sunda memiliki relatif rendah kisaran 33,5‰ (Gambar 5a). Faktor pemicu rendahnya salinitas akibat *run off* sungai di pesisir Banten dan Lampung. Hal ini sesuai pernyataan Kuswanto *et al.* (2017) bahwa curah hujan tertinggi selama tahun 2010-2015 terjadi



Gambar 3. a) Profil temperatur secara vertikal pada kedalaman 300 m, b) Gradien temperatur secara melintang dan c) Profil temperatur secara vertikal pada kedalaman 500 m.

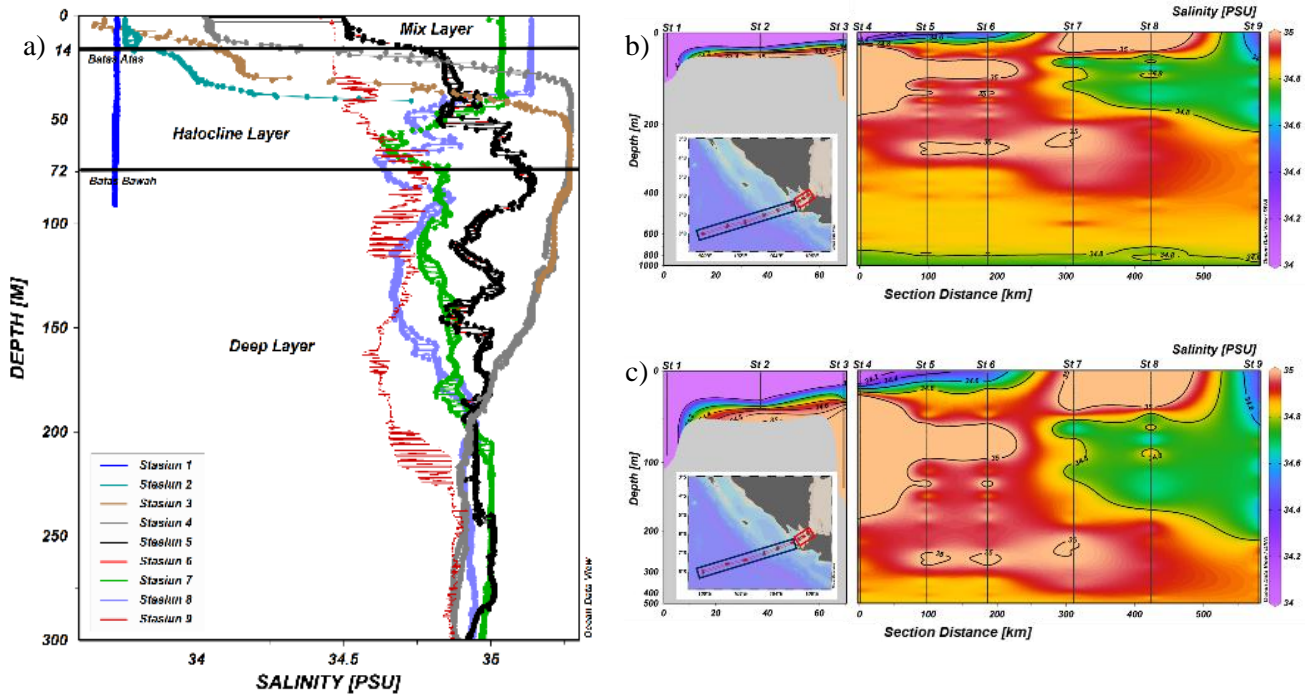


Gambar 4. Profil SPL secara melintang.

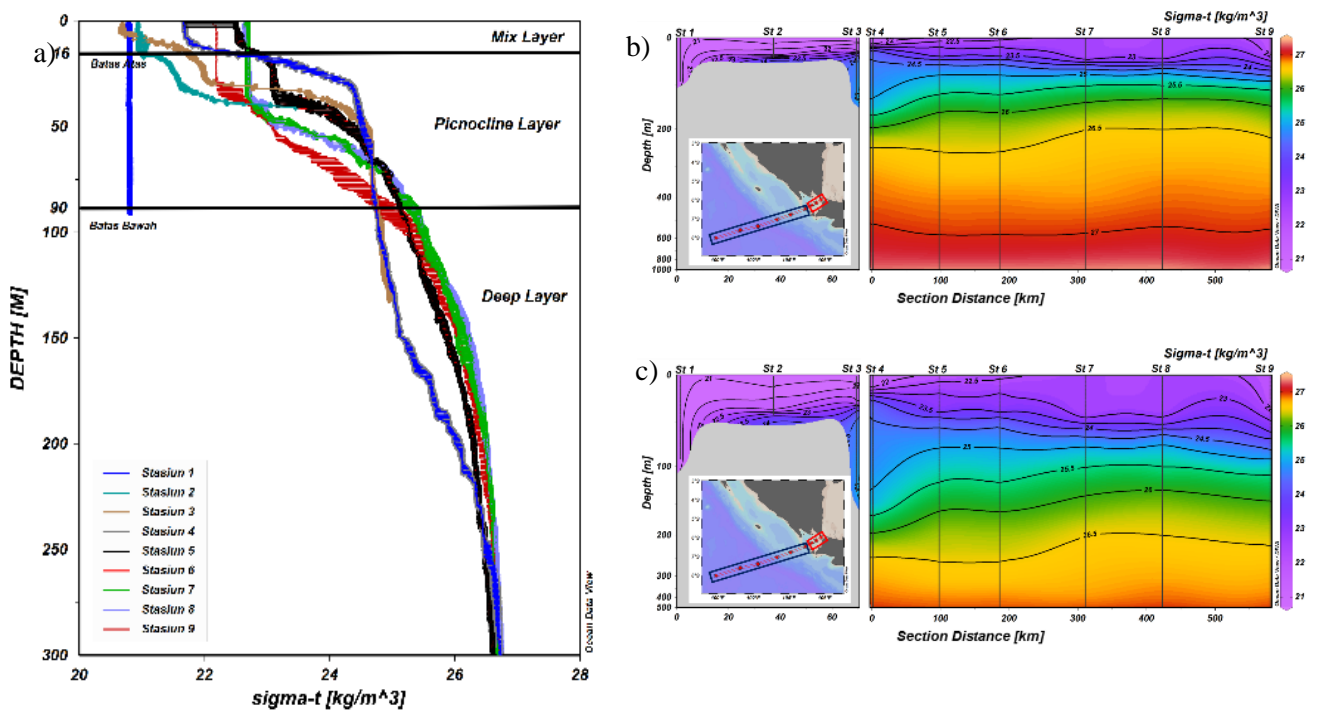
pada musim barat sebesar 330 mm di Perairan Lampung. Tingginya curah hujan menimbulkan tingginya *run off* dari daratan ke lautan yang mengakibatkan menurunnya kadar salinitas. Selain itu, Pengaruh masukan massa air dari Laut Jawa dengan ciri khas salinitas rendah menjadi salah satu faktor (Amri *et al.*, 2014). Lapisan piknoklin berada di kedalaman 14-72 m yang diindikasikan lokasi lapisan termoklin. Perubahan salinitas drastis di kedalaman lebih dari 40 m diperkirakan adanya pengaruh massa air oseanik dari Samudera Hindia. Nilai sebaran salinitas secara melintang pada musim peralihan 2 di Selat Sunda didominasi dari Samudera Hindia dengan karakteristik salinitas maksimum 33,5-35 ‰. Sesuai penelitian yang dilakukan oleh Aji *et al.* (2017), terdeteksi massa air dari Samudera Hindia dengan salinitas 33,5 ‰. Salinitas di permukaan seiring bertambahnya lintang semakin besar, akibat pengaruh garis lintang dan karakteristik salinitas lokal di Samudera Hindia yang bersalinitas tinggi.

Nilai densitas meningkat seiring bertambahnya kedalaman (Gambar 6a), dipengaruhi oleh salinitas dan temperatur (Saraswati, 2017). Sebaran densitas secara

vertikal pada *mix layer* berada di kedalaman 0–14 m dimana densitas stasiun 1 relatif stabil akibat peristiwa *mixing* lebih optimal di perairan dangkal. Lapisan piknoklin ditemukan berada di kedalaman 16-90 m yang didominasi di stasiun 2,3,4,5,6,8 dan 9 dipicu pengaruh masukan massa air Samudera Hindia yang berdensitas tinggi. Sedangkan pada stasiun 1 perubahan densitas terhadap kedalaman relatif kecil hal ini terlihat dari sebaran titik densitas yang berbentuk tegak terhadap kedalaman. Analisa sebaran densitas secara melintang ditinjau dari garis isopiknal yang relatif lurus. Kondisi ini menunjukkan stratifikasi massa air relatif stabil, densitas massa air yang lebih rendah berada di atas densitas massa air yang lebih besar (Ayubi *et al.*, 2013). Berdasarkan Gambar 6c bahwa terjadi peningkatan garis isopiknal dari stasiun 1 hingga stasiun 3 pada kedalaman 0–100 m. Peningkatan garis isopiknal ini menunjukkan terjadinya pergerakan massa air dari Samudera Hindia (Stasiun 3) menuju Selat Sunda (Stasiun 1). Hal ini dipengaruhi oleh angin muson barat pada periode akhir bulan November. Kondisi berbeda terjadi pada garis isopiknal dari stasiun 4 hingga stasiun 9 mengalami penurunan pada kedalaman 0-100 m, sehingga pergerakan



Gambar 5. a) Profil salinitas secara vertikal pada kedalaman 300 m, b) Profil salinitas secara melintang pada kedalaman 1000 m dan c) Profil salinitas secara melintang pada kedalaman 500 m.



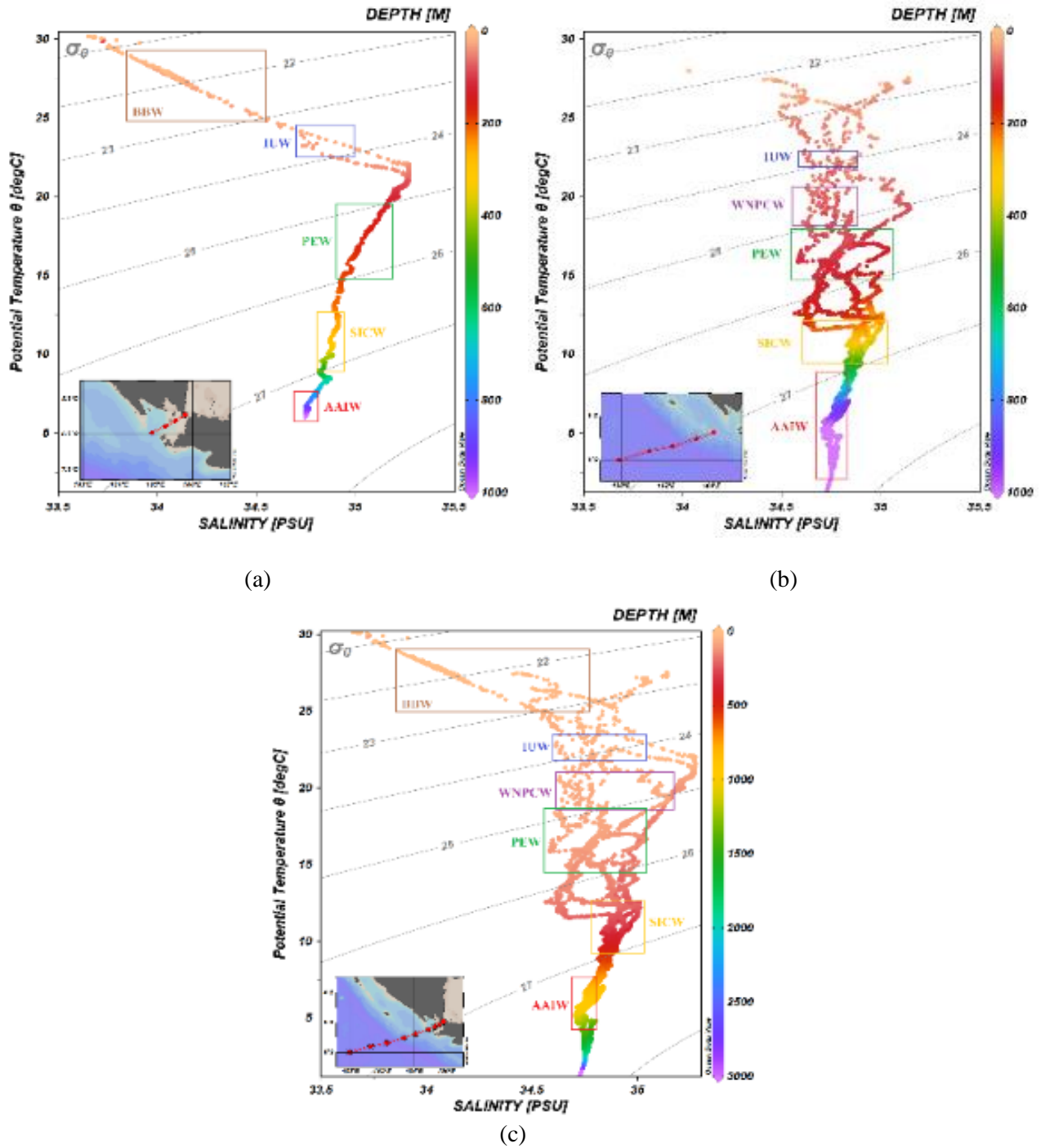
Gambar 6. a) Profil densitas secara vertikal pada kedalaman 300 m, b) Profil densitas secara melintang pada kedalaman 1000 m dan c) Profil densitas secara melintang pada kedalaman 500 m.

massa air didominasi menuju Samudera Hindia. Pada kedalaman 100-300 m garis isopiknal relatif meningkat, masih dipengaruhi Arus Katulistiwa

Selatan dan Arus Pantai Jawa yang bergerak ke arah timur akibat pengaruh angin muson barat sesuai pernyataan Potemra *et al.* (2016).

Identifikasi tipe massa air di Selat Sunda berdasarkan analisis profil diagram T-S (Gambar 7). Di lapisan permukaan (*upper layer*) didominasi massa air jenis BBW dengan salinitas rendah (33,89‰) yang berasal dari Samudera Hindia bagian utara (Teluk Bengal) dibawa oleh

Arus Katulistiwa Selatan. Salinitas massa air ini di Selat Sunda mengalami penurunan akibat terjadi pencampuran dengan massa air dari Laut Jawa. Dua jenis massa air dari Samudera Pasifik yakni WNPCW dan PEW terdeteksi pada σ_t (sigma-t)



Gambar 7. Diagram TS massa air di a) Selat Sunda dan Samudera Hindia, b) Selat Sunda dan c) Samudera Hindia.

kisaran 23,5-26 kg/m³ di stasiun 5,6,7,8 dan 9. Massa air ini berada di *range* kedalaman 0-500 m di Samudera Pasifik dengan karakteristik temperatur sebesar 7-23°C dan salinitas sebesar 34,2-36‰ berdasarkan data karakteristik massa air dunia oleh Emery (2003). Dua jenis massa air ini terbawa oleh Arlindo yang bergerak dari perairan Indonesia Timur menuju Samudera Hindia.

Massa air jenis IUW berada pada σ -t (sigma-t) kisaran 23,5-24,5 kg/m³ terdapat di stasiun 1-3 di Selat Sunda dan di stasiun 4-9 di basin Samudera Hindia. Massa air jenis ini memiliki karakteristik temperatur mencapai 23°C dengan salinitas 34,4-35 ‰ pada kedalaman 0-500 m. Massa air ini berasal dari inputan massa air sepanjang tahun dari Laut Jawa menuju Selat Sunda dengan kecepatan 0,3 m/s sesuai (Oktavia *et al.*, 2011). Massa air di *intermediate layer* (500-1500 m) terdeteksi jenis AAIW dan SCIW pada σ -t (sigma-t) kisaran 26,5-27 kg/m³. Sesuai pernyataan Emery (2003) bahwa karakteristik massa air AAIW memiliki temperatur relatif rendah kisaran 2-10°C dengan salinitas 33,8-34,8‰. Jenis SCIW memiliki temperatur 8-25°C dengan salinitas relatif tinggi mencapai 35,8‰. (Cahyaningrum, 2009). Massa air jenis ini berasal dari Samudera Hindia bagian selatan yang terbawa oleh Arus Katulistiwa Selatan (Cahyaningrum, 2009) Di lapisan ini, diperkirakan terjadi pencampuran massa air akibat ketidakstabilan salinitas. Menurut Amri *et al.* (2014) bahwa pencampuran massa air di Selat Sunda terjadi akibat topografi dasar laut.

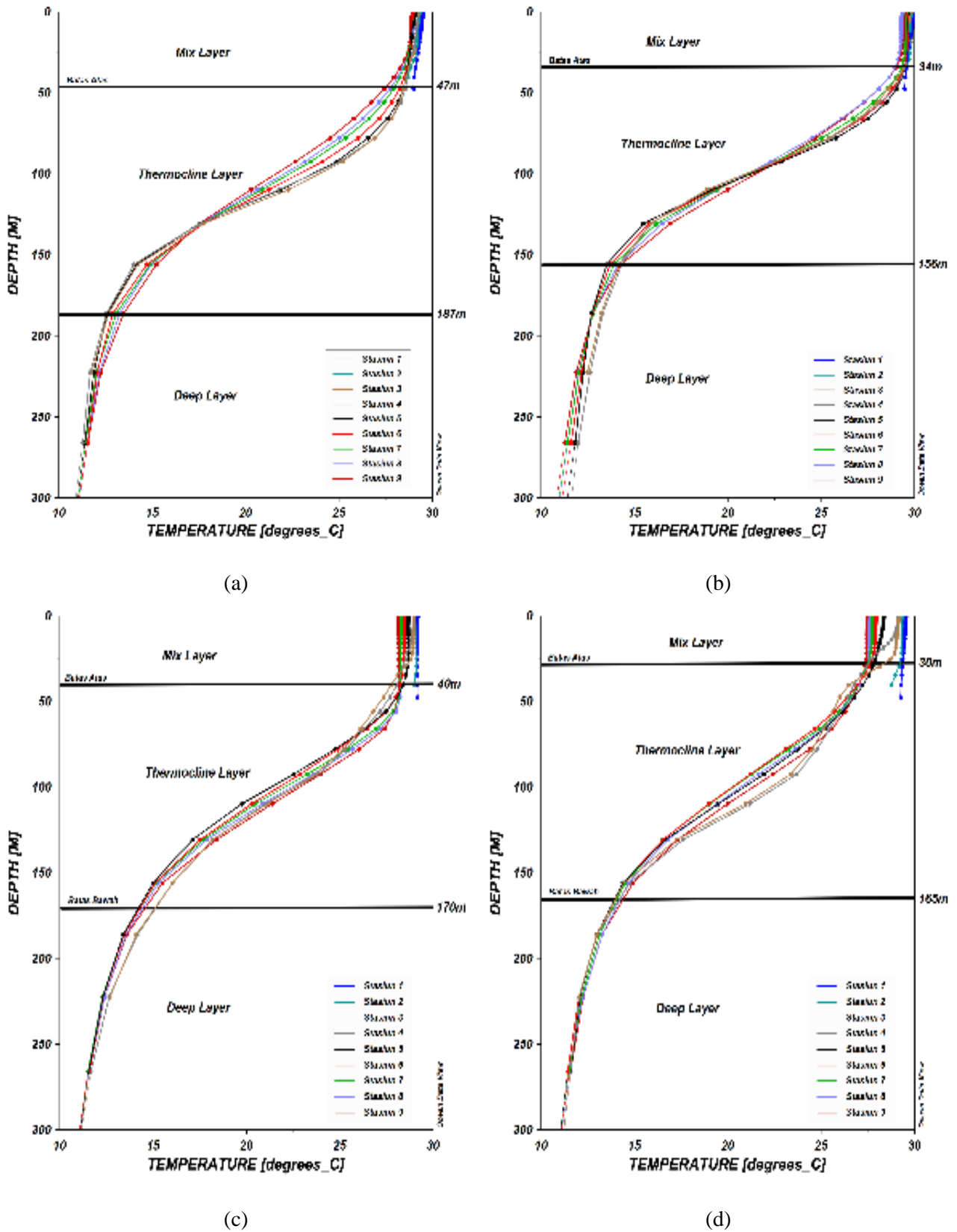
Variabilitas Massa Air

Pola temperatur secara vertikal secara *seasonal* (musiman) relatif sama dimana mengalami penurunan terhadap kedalaman (Gambar 8). Pada *mix layer* nilai temperatur terhadap kedalaman relatif stabil di setiap musim. Adapun nilai temperatur tertinggi terjadi di musim peralihan 1 mencapai 29,97°C. Hal yang berbeda terjadi pada lapisan termoklin dipengaruhi oleh besarnya gradien temperatur. Lapisan ini menjadi lapisan pemutus penyebaran massa air secara vertikal dari lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya (Wyrtki, 1961). Batas atas lapisan termoklin pada setiap musim di kedalaman 30-47 m dan batas bawah lapisan termoklin berada di kedalaman 155-187 m. Ketebalan lapisan termoklin di Selat Sunda 77-100 m sedangkan di Samudera Hindia kisaran 144-230 m (Kunarso *et al.*, 2012; Aji *et al.*, 2017) Kondisi lapisan

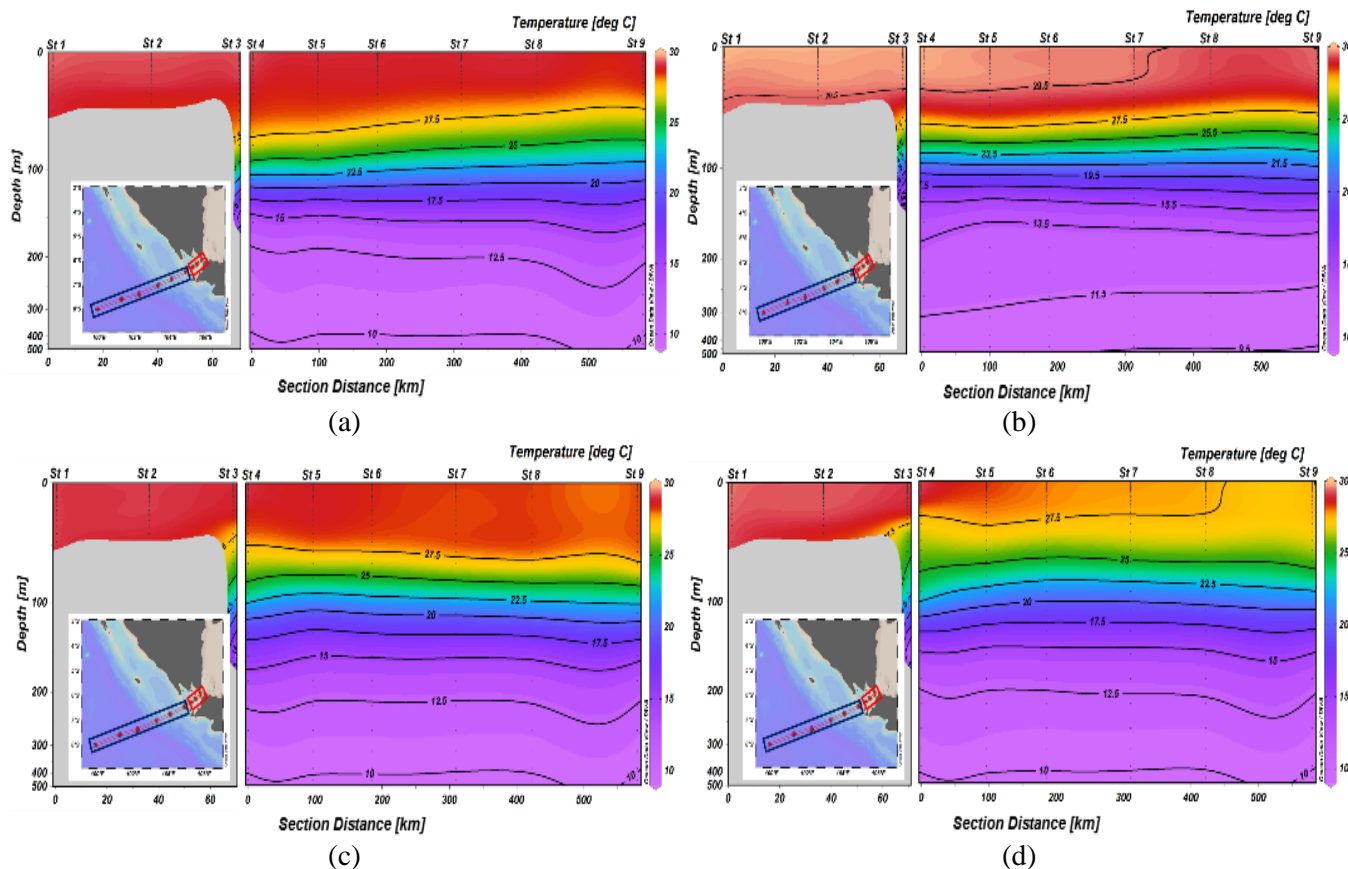
termoklin pada musim barat relatif lebih dalam dibanding musim lainnya, hal ini dipengaruhi oleh angin muson barat laut sehingga terjadi inputan massa air oleh Arus Katulistiwa Selatan dan Arus Pantai Jawa yang mengakibatkan terdorongnya lapisan termoklin lebih dalam. Gambar 8a menunjukkan lapisan termoklin pada musim barat berada di kedalaman 47 m. Menurut Teliandi *et al.* (2013) kondisi berbeda terjadi pada musim timur akibat adanya angin muson tenggara sehingga terjadi kekosongan massa air di bagian permukaan yang mengakibatkan batas atas lapisan termoklin lebih dangkal. Hal ini terlihat pada batas atas lapisan termoklin pada musim timur dan peralihan 2 di kedalaman 40 m dan 30 m.

Sebaran temperatur melintang di setiap musim memiliki garis isopiknal lurus artinya nilai temperatur secara melintang relatif stabil (Gambar 9a,b,c,d). Di musim peralihan 2, temperatur di lapisan homogen (*mix layer*) relatif lebih rendah dibanding musim lainnya. Menurut Teliandi *et al.* (2013) bahwa kondisi tersebut akibat pergantian angin muson sehingga terjadi pergerakan massa air secara vertikal. Secara musiman, sebaran temperatur di permukaan yang berada di Selat Sunda (stasiun 1,2,3,4) relatif lebih tinggi dibanding stasiun yang berada di perairan lepas. Faktor yang mempengaruhi diantaranya intensitas cahaya serta batimetri, dimana perairan dangkal menerima cahaya lebih optimal. Nilai temperatur pada musim peralihan 1 relatif lebih tinggi dibanding musim lainnya, hal ini terlihat dari variasi warna dimana pada setiap stasiun temperatur di permukaan sebagian besar kisaran 29,5-30°C. Sebaran temperatur secara melintang pada musim timur relatif rendah yang dipengaruhi peristiwa *upwelling* di Selat Sunda (Amri *et al.*, 2014). Menurut Teliandi *et al.* (2013) adanya pergerakan angin muson tenggara dari Australia menuju arah Asia sehingga terjadi kekosongan di wilayah perairan selatan Selat Sunda dan selatan Jawa yang diisi oleh massa air dibawahnya dengan temperatur lebih rendah. Kondisi serupa terjadi pada musim peralihan 2, variasi sebaran temperatur relatif rendah dengan kisaran nilai 27,5-29,2°C di permukaan.

Nilai salinitas semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Pada *mix layer* salinitas relatif rendah dengan kisaran nilai 31,74-34,2‰. Pada musim barat dan peralihan 1, nilai salinitas dipermukaan lebih rendah dibanding musim lainnya sebesar 31,74‰. Kondisi ini diduga akibat pengaruh *run off* dari sungai.



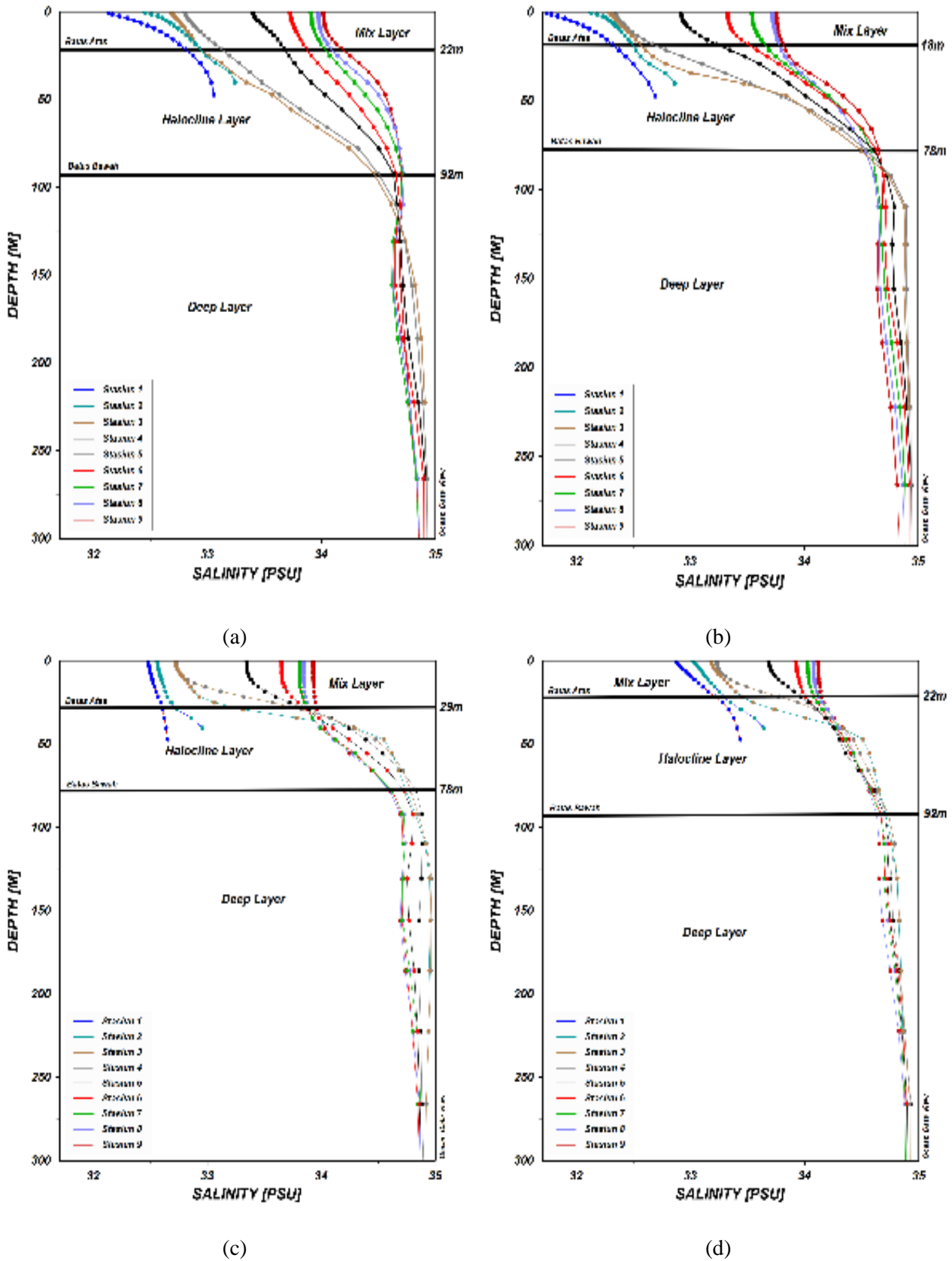
Gambar 8. Profil Temperatur secara vertical tahun 2015-2019 a) Musim barat, b) Musim peralihan 1, c) Musim timur, d) Musim peralihan 2.



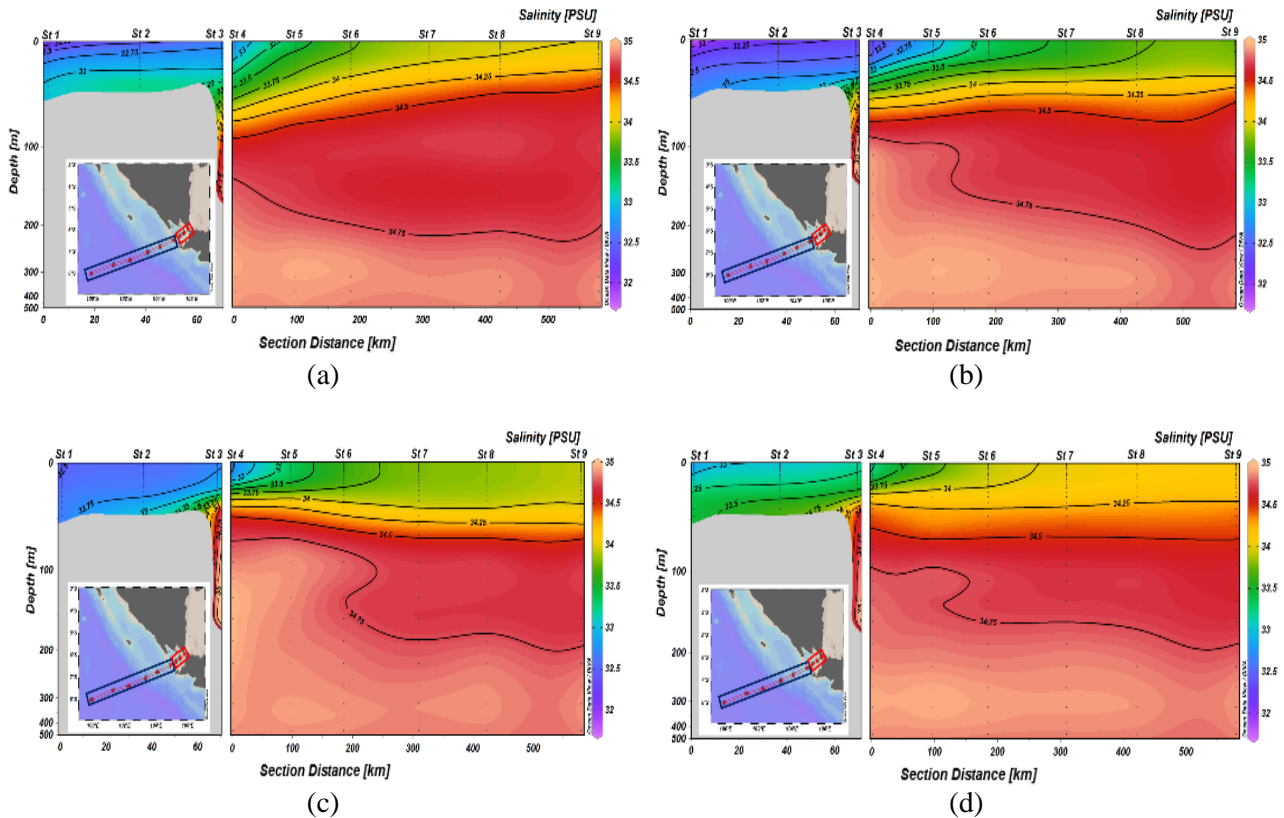
Gambar 9. Profil Temperatur secara melintang tahun 2015-2019 a) Musim barat, b) Musim peralihan 1, c) Musim timur, d) Musim peralihan.

Sesuai pernyataan Kuswanto *et al.* (2017) bahwa curah hujan tertinggi selama tahun 2010-2015 di perairan Teluk Lampung terjadi pada musim barat sebesar 330 mm. Curah hujan terendah terjadi pada musim timur sebesar 25 mm, mengakibatkan sebaran salinitas di permukaan relatif tinggi mencapai 32,6-34,2 ‰. Secara melintang, sebaran salinitas di permukaan seiring bertambahnya lintang (dari stasiun 1 ke stasiun 9) semakin meningkat. Pada stasiun 1 sebaran salinitas ditunjukkan dengan variasi warna biru dengan salinitas kisaran 32-32,5 ‰ dan pada stasiun 9 sebaran salinitas mencapai 32-34 ‰. Lapisan haloklin pada setiap musim terdeteksi di kedalaman 18-29 m. Pada lapisan tersebut perubahan salinitas terhadap kedalaman relatif besar dengan *range* nilai kisaran 32,5-34,5 ‰. Kondisi serupa terjadi pada sebaran salinitas secara melintang dimana pada kedalaman 20-100 m, Pada lapisan dalam sebaran salinitas relatif stabil dengan perubahan nilai terhadap kedalaman yang relatif kecil. garis isohalin relatif lebih rapat dibanding pada kedalaman lainnya menunjukkan bahwa perubahan salinitas relatif besar.

Massa air didominasi dari Samudera Hindia, dengan salinitas tinggi (33,5–34,9 ‰) (Gambar 12). Nilai ini mendekati karakteristik di Samudera Hindia oleh Bayhaqi *et al.* (2018) yakni 33,90-34,73 ‰. Pada kedalaman 100-200 m terdeteksi massa air jenis PEW dari Samudera Pasifik dengan salinitas 34,6-34,75 ‰. Nilai tersebut mendekati massa air jenis PEW di Laut Banda sebesar 34,5-34,6 ‰ oleh Firdaus (2017). Massa air ini diperkirakan terbawa oleh Arlindo sepanjang Selatan Jawa. Pada kondisi yang sama terjadi pencampuran massa air, karena ditemukan jenis SICW dengan salinitas maksimum (34,9 ‰) di kedalaman 250-500 m. Pada musim peralihan 1 didominasi dari Samudera Hindia. Namun, ditemukan dua jenis massa air dari Pasifik di kedalaman 110-160 m yaitu WNPCW dan PEW dengan temperatur 14-20°C dan salinitas 34,64-34,90 ‰. Massa air ini masih terpengaruh Arlindo yang bergerak sepanjang Selatan Jawa dari Laut Banda (Potemra *et al.*, 2016). Kondisi yang sama terdeteksi massa air lokal yakni IUW di kedalaman 90 m, berasal dari Laut Jawa yang sudah mengalami pencampuran sehingga



Gambar 10. Profil salinitas secara vertikal tahun 2015-2019 a) Musim barat, b) Musim peralihan 1, c) Musim timur, d) Musim peralihan



Gambar 11. Profil Salinitas secara melintang Tahun 2015-2019 a) Musim barat, b) Musim peralihan 1, c) Musim timur, d) Musim peralihan 2.

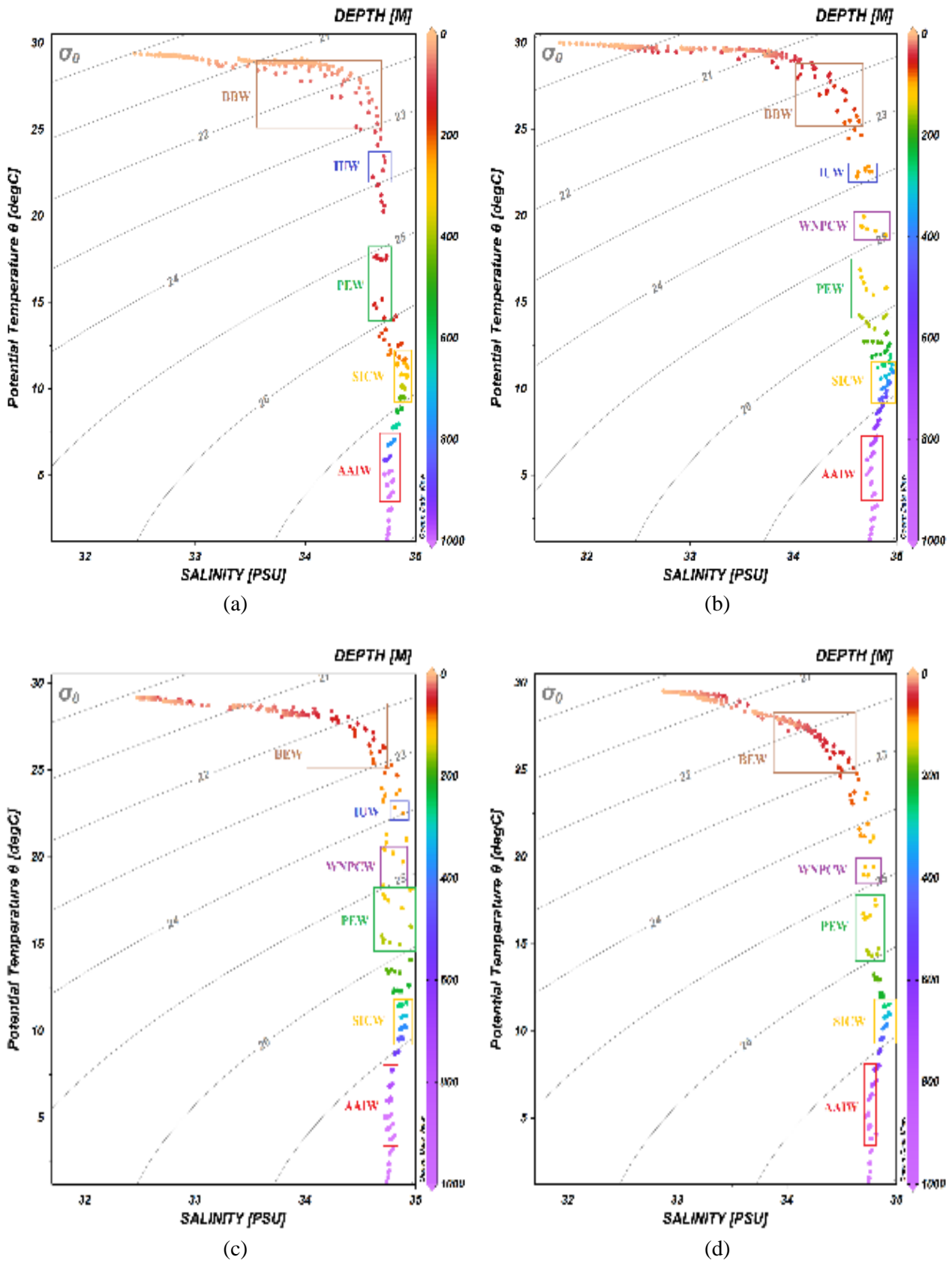
salinitas relatif lebih tinggi. Pada musim timur terdeteksi massa air yang sama dengan musim sebelumnya, dipengaruhi oleh angin muson tenggara sehingga terdapat dua jenis massa air dari Samudera Pasifik. Namun, kondisi pada musim peralihan 2 tidak terdeteksi massa air lokal, diperkirakan pengaruh dari musim sebelumnya. Menurut Ayubi *et al.* (2013) bahwa sepanjang tahun terjadi masukan massa air dari Samudera Hindia.

Identifikasi Massa Air

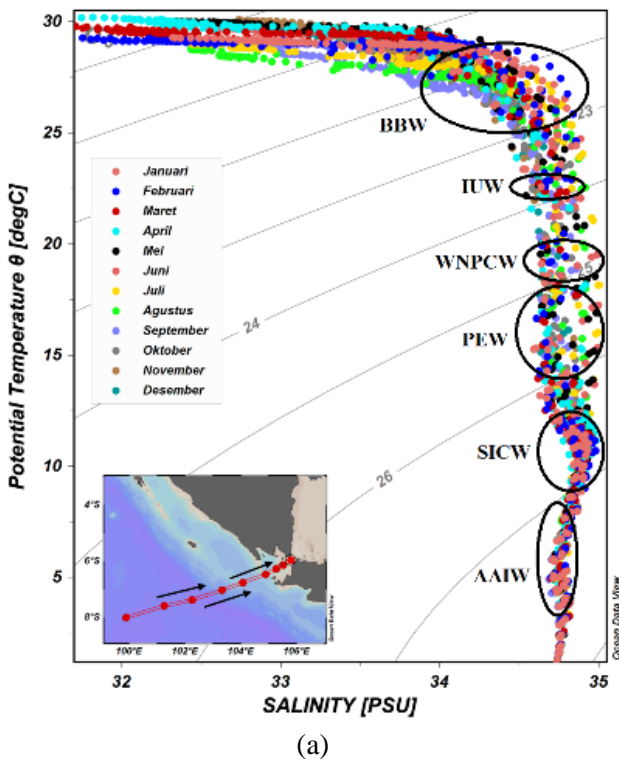
Secara *monthly climatology*, pergerakan massa air di permukaan didominasi dari Samudera Hindia (Gambar 13a). Namun, terdapat massa air lokal (IUW) yang diperkirakan berasal dari Laut Jawa. Di kedalaman 100-200 m didominasi dari Samudera Pasifik (PEW dan WNPCW). Massa air ini berasal dari perairan Indonesia Timur yang dibawa oleh Arus Katulistiwa Selatan di sepanjang Selatan Jawa (Potemra *et al.*, 2016). Kondisi ini sangat kuat terjadi pada musim timur, saat pergerakan angin muson tenggara ke arah

barat. Di lapisan yang lebih dalam, pergerakan massa air didominasi dari Samudera Hindia. Hal ini dicirikan ditemukannya massa air jenis SICW dan AAIW dengan temperatur rendah dan salinitas tinggi.

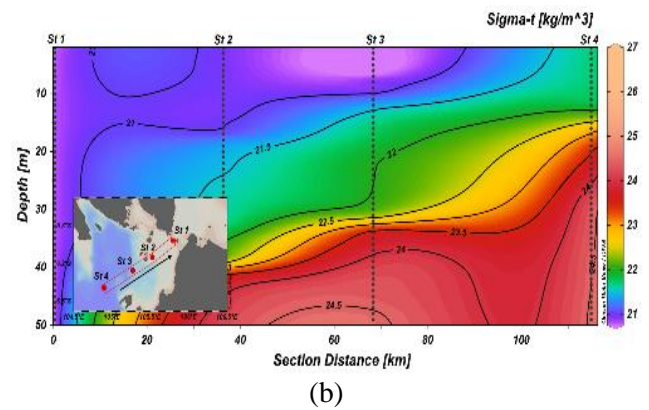
Menurut Azis (2006) bahwa massa air bergerak dari densitas tinggi ke densitas yang lebih rendah. Asumsi ini mengabaikan faktor Coriolis. Gambar 13b menunjukkan sebaran densitas di Selat Sunda secara melintang dari pengukuran lapangan. Garis isopiknal pada setiap kedalaman relatif miring, menunjukkan bahwa nilai densitas ke arah Samudera Hindia semakin meningkat. Sebagian besar di setiap kedalaman pola pergerakan massa air relatif mengarah ke stasiun 1, artinya pergerakan massa air didominasi mengarah ke Selat Sunda bagian utara dari arah selatan (Samudera Hindia). Kondisi ini sesuai dengan pernyataan Purnomo *et al.* (2018) bahwa pada musim peralihan 2 di Selat Sunda arah pergerakan arus didominasi dari arah Samudera Hindia menuju Laut Jawa. Kondisi ini dipengaruhi oleh faktor musim sebelumnya dan pergerakan angin muson tenggara.



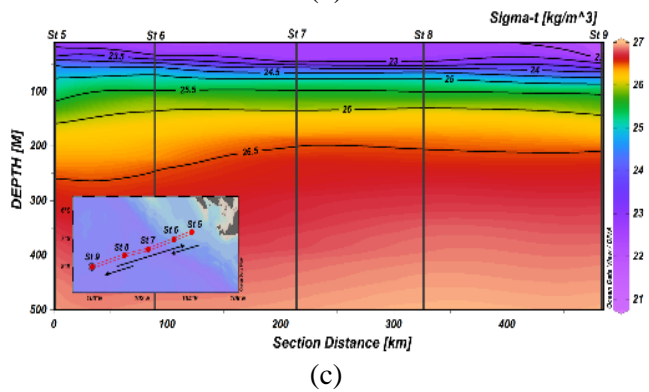
Gambar 12. Identifikasi massa air musiman tahun 2015-2019) Musim barat, b) Musim peralihan 1, c) Musim timur, d) Musim peralihan 2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 13.Pergerakan massa air di Selat Sunda dan Samudera Hindia berdasarkan a) Diagram TS, b) Sebaran densitas secara melintang pada kedalaman 50 m, c) Sebaran densitas secara melintang pada kedalaman 500 m.

KESIMPULAN

Sebaran temperatur secara vertikal di setiap stasiun mengalami penurunan terhadap kedalaman. Temperatur di permukaan kisaran 26,47–30,11°C. Lapisan termoklin terdeteksi berada di kedalaman 30-150 m. Sebaran salinitas mengalami peningkatan seiring bertambahnya kedalaman. Nilai salinitas pada stasiun yang berada di perairan lepas (stasiun 5-9) relatif lebih tinggi dibanding pada stasiun di Selat Sunda. Nilai densitas kisaran 20,8-22,2 kg/m³, garis isopiknal lurus menunjukkan stratifikasi massa air relatif stabil. Massa air yang terdeteksi di Selat Sunda dan Samudera Hindia diantaranya jenis IUW berasal dari Laut Jawa, WNPCW dan PEW dari Samudera Pasifik, BBW berasal dari Samudera Hindia bagian utara, AAIW dan SCIW berasal dari Samudera Hindia bagian selatan. Variasi jenis massa air yang terdeteksi pada perairan ini dipicu oleh pergerakan massa air akibat pengaruh angin muson Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengakui bahwa data penelitian artikel ini disediakan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia dari *International Collaboration Cruise TRIUMPH 2019* yang diadakan oleh *Research Center of Deep Sea – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (RCDS LIPI)*, *First Institute of Oceanography – Kementerian Sumber Daya Alam (FIO MNR)* dan Universitas Maryland (UMD). Ucapan terima kasih khusus juga disampaikan kepada Awak Kapal Baruna Jaya VIII dan semua ilmuwan yang terlibat atas kerjasama yang luar biasa selama pelayaran.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, T., Pranowo, W.S., Harsono, G. & Alam, T.M. 2017. Seasonal Variability of Thermocline, Sound Speed and Probable Shadow Zone in Sunda Strait. *Akuatika Journal*, 13(2):111-127. doi: 10.20884/1.oa.2017.13.2.253

- Amri, K., Priatna, A. & Suprpto. 2014. Karakteristik Oseanografi dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Selat Sunda pada Musim Timur. *Jurnal Riset Perikanan Tangkap*, 6(1):11–20. doi: 10.15578/bawal.6.1.2014.11-20
- Ayubi, M.A., Surbakti, H. & Mbay, L.A.N. 2013. Identifikasi Massa Air di Perairan Timur Laut Samudera Hindia. *Jurnal Maspari*, 5(2):119-133.
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. *Majalah Oseana*, 31(4):9-21.
- Bayhaqi, A., Lenn, Y.D., Surinati, D., Polton, J., Nur, M., Corvianawatie, C. & Purwandana, A. 2019. The Variability of Indonesian Throughflow in Sumba Strait and Its Linkage to the Climate Events. *American Journal of Applied Sciences*, 16(4):118-133. doi: 10.3844/ajassp.2019.118.133
- Cahyaningrum, A. 2009. Karakteristik Massa Air Arlindo di Pintasan Timor pada Musim Barat dan Musim Timur. [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor, 97 hlm.
- Emery, W.J. 2003. Ocean Circulation (Water Types and Water Masses). *Elsevier Sci. Ltd. Pub. USA*, 391 p. doi: 10.1016/B0-12-227090-8/00279-7
- Firdaus, M.L. 2017. Physical Properties and Nutrients Distribution of Seawater in The Banda Sea-Indonesia in International Symposium on Banda Sea Ecosystem (ISBSE) : 22 August 2017.
- Hasanuddin, M. 1997. Pengaruh Laut Terhadap Iklim. *Jurnal Oseana*, 22(2):15-22.
- Hermialingga, S., Purwiyanto, A.I.S. & Iskandar, I. Analisis Pemodelan Data Pasang Surut Menggunakan Model TPX 7.1 di Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta Utara. *Jurnal Kelautan Nasional*, 15(2):85-90.
- Ismunarti, D.H., Zainuri, M., Sugianto, D.N. & Saputra, S.W. 2020. Pengujian Reliabilitas Instrumen Terhadap Variabel Kontinu Untuk Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a Perairan. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1):1-8. doi: 10.14710/buloma.v9i1.23924
- Jumarang, M.I. & Ningsih, N.S. 2013. Transpor Volume Massa Air di Selat Sunda Akibat Interaksi Enso, Monsum dan Dipole Mode. *Prosiding SEMINAR UNILA Tahun 2013*, pp. 409–415.
- Kuswanto, T.D., Syamsuddin, M.L. & Sunarto. 2017. Hubungan Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a Terhadap Hasil Tangkapan Ikan Tongkol di Teluk Lampung. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 8(2):90-102.
- Labania, H.M.D., Sunarto & Khakhim, N. 2018. Variasi Musiman Gelombang dan Arus Laut di Perairan Pantai Lembasada Kabupaten Donggala. *Jurnal Kelautan Nasional*, 17(1): 1-10.
- Oktavia, R., Pariwono, J.I. & Manurung, P. 2011. Variasi Muka Laut dan Arus Geostrofik Permukaan Perairan Selat Sunda Berdasarkan Data Pasut dan Angin Tahun 2008. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan*, 3(2):127-152. doi: 10.28930/jitkt.v3i2.7827
- Potemra, J.T., Hacker, P.W., Melnichenko, O. & Maximenko, N. 2016. Satellite Estimate of Freshwater Exchange Between The Indonesian Seas and The Indian Ocean via The Sunda Strait. *Journal of Geophysical Research*, 10(1002):5098–5111. doi: 10.1002/2015JC011618
- Purnomo, Monang, S., Alam, T.M. & Pranowo, W.S. 2018. Rezim Horizontal dan Vertikal Arus Munson di Selat Sunda. *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 4(1):25–30. doi: 10.37875/hidropilar.v4i1.93
- Safitri, W.R. 2016. Analisis Korelasi Pearson dalam Menentukan hubungan Antara Kejadian Demam Berdarah Dengue dengan Kepadatan Penduduk di Kota Surabaya pada Tahun 2012–2014. *Jurnal Stikes Jombang*, 2(2):21-29.
- Saraswati, V.W. 2017. Stratifikasi Massa Air Laut Maluku. [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 30 hlm.
- Sidabutar, H.C., Rifai, A. & Indrayanti, E. 2014. Kajian Lapisan Termoklin di Perairan Utara Jayapura. *Jurnal Oseanografi*, 3(2):135–141.
- Swarinoto, Y. & Husain. 2012. Estimasi Curah Hujan Harian dengan Metode Auto Estimator (Kasus Jayapura dan Sekitarnya). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(1):53-61. doi: 10.31172/jmg.v13i1.118
- Tarigan, D.J., Cahyadi., F.D., Sasongko., A.S., Yonanto, L. & Rahayu, B.D. 2020. Daerah Penangkapan Ikan Kembung (*Rastrelliger sp*) di Selat Sunda pada Musim Peralihan. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 11(1): 63-79. doi: 10.24319/jtpk.11.63-79
- Teliandi, D., Djunaedi, O.S., Purba, N.P. & Pranowo, W.S. 2013. Hubungan Variabilitas

Mixed Layer Depth Kriteria $\Delta T=0,5$ °C Dengan Sebaran Tuna. *Jurnal Depik*, 2(3): 162-171.

Wyrski, K. 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters. Naga Report Volume 2. *Scripps Institution of Oceanography*, California, 195 p.

Yuliananingrum, T.L.P. & Putri, M.R. 2012. Kondisi Oseanografi di Selat Sunda dan Selatan Jawa Barat pada Monsun Barat 2012. *Prosiding SEMINAR ITB*, Bandung, pp. 49 – 61.