

KARAKTERISTIK DAN STRATIGRAFI MASSA AIR DI TELUK BUNGUS DAN PULAU-PULAU KECIL DI KOTA PADANG

THE CHARACTERISTICS AND STRATIGRAPHIC OF WATER MASS IN BUNGUS BAY AND SMALL ISLAND IN PADANG CITY

Try Al Tanto^{1,2*}, I Wayan Nurjaya², Indra Jaya², Tri Hartanto², Amir Yarkhasy²,
Akmala Dwi Nugraha^{3,4} dan Soma Somantri³

¹Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir - BRSDM KKP

²Program Studi Ilmu Kelautan, Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB

³Pelabuhan Perikanan Samudera Bungus, DJPT KKP

⁴Program Studi Teknologi Perikanan Laut, FPIK IPB

Jl. Raya Padang – Painan Km.16, Bungus, Kota Padang

*E-mail: try.altanto@gmail.com / try_altanto@apps.ipb.ac.id

Naskah masuk: 6 April 2022

Naskah diperbaiki: 01 Agustus 2022

Naskah diterima: 2 Agustus 2022

ABSTRAK

Perairan Sumatera Barat merupakan tempat pencampuran massa air dari Samudera Hindia dan perairan dari daratan. Fenomena pencampuran air laut dan air tawar di perairan Sumatera Barat mempunyai karakteristik berbeda dengan perairan lainnya, khususnya berkaitan dengan distribusi, stratifikasi, dan kestabilan pencampuran massa air. Kajian dilakukan menggunakan instrumen CTD untuk mengukur parameter kedalaman, temperatur, dan salinitas serta pada dua lokasi, yaitu perairan Teluk Bungus dan beberapa pulau-pulau kecil (PPK). Lokasi penelitian meliputi 9 stasiun dan terbagi dalam 4 transek, meliputi transek Teluk Bungus 1 dan 2, berada di perairan Teluk Bungus dan transek PPK 1 dan 2 yang berada di sekitar PPK. Data penelitian di analisis menggunakan metode DIVA dan Diagram TS dengan memanfaatkan software *Ocean Data View* dan bahasa pemrograman *Python 3.8*. Secara umum, hasil analisa data menunjukkan karakteristik massa air yang kontras. Perairan Teluk Bungus memiliki salinitas rendah dan temperatur tinggi, sebaliknya, wilayah PPK memiliki karakteristik salinitas tinggi dan temperatur rendah. Teluk Bungus memiliki nilai rata-rata temperatur $29.738^{\circ}\text{C} \pm 0.383$, salinitas 32.784 ± 0.063 psu, densitas $20.155 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.175$ dan Brunt Vaisala 8.62 cyc/h . PPK memiliki nilai rata-rata temperatur $29.142^{\circ}\text{C} \pm 0.580$, salinitas $32.973 \text{ psu} \pm 0.191$, densitas $20.498 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.331$ dan Brunt Vaisala 6.7 cyc/h . Perbedaan karakteristik massa air pada dua lokasi penelitian berkaitan dengan stabilitas massa air (umumnya daerah teluk dan dekat daratan relatif stabil, sedangkan wilayah perairan dekat PPK kurang stabil), sehingga perairan di wilayah Teluk Bungus didominasi massa air dari daratan, sebaliknya wilayah PPK didominasi massa air dari samudera.

Kata kunci: CTD, karakteristik massa air, pulau-pulau kecil (PPK), Teluk Bungus.

ABSTRACT

The West Sumatra ocean region becomes a mixing region of water masses from the Indian Ocean and the mainland. The phenomenon of mixing between seawater and freshwater has different characteristics compared to other regions, especially in distribution, stratification, and stability of the mixing. This research was carried out using the CTD instrument to measure the depth, temperature, and salinity in the two locations, Bungus Bay and small islands around the region (PPK). There were 9 stations divided into 4 transects, namely transects 1 and 2 both for Bungus Bay and PPK. The analysis was performed using the DIVA method and TS diagram by applying *Ocean Data View* and *Python 3.8* programming language. Generally, the results showed that there is a contrast in water mass characteristics between Bungus Bay and PPK. The Bungus Bay had general characteristics of low salinity and high temperature, while the PPK had high salinity and low temperature. Bungus Bay has an average temperature value of $29.738^{\circ}\text{C} \pm 0.383$, a salinity of $32.784 \text{ psu} \pm 0.063$, a density of $20.155 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.175$ and Brunt Vaisala 8.62 cyc/h . PPK has an average temperature value of $29.142^{\circ}\text{C} \pm 0.580$, a salinity of $32.973 \text{ psu} \pm 0.191$, a density of $20.498 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.331$ and Brunt Vaisala of 6.7 cyc/h . The discrepancies in water mass characteristics in the location are related to the water mass stability (generally the bay area and relatively nearby mainland are relatively stable, while the PPK region is unstable), so Bungus Bay and the PPK are dominated by the water mass from the mainland and the ocean.

Keywords: CTD, water mass characteristic, a small island (PPK), Bungus Bay.

1. Pendahuluan

Perairan Samudera Hindia melintang sepanjang utara-selatan antara Antartika dan Teluk Bengal dan timur-barat antara Afrika Selatan dan barat Australia. Bagian timur laut Samudera Hindia (Indonesia) didominasi oleh iklim musiman yang disebabkan angin *monsoon* dan memberi dampak subtropis dibagian belahan bumi selatan [1]. Perairan Indonesia, selain dipengaruhi oleh *monsoon* juga dipengaruhi oleh *Dipole Mode* (DM). Fenomena *Dipole Mode* dicirikan dengan interaksi atmosfer dan laut pada Samudera Hindia [2]. Samudera Hindia juga merupakan muara ARLINDO yang mengalir dari Samudera Pasifik yang secara tidak langsung memiliki peran signifikan terhadap dinamika iklim regional seperti *monsoon*, *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) maupun Sirkulasi Walker [3].

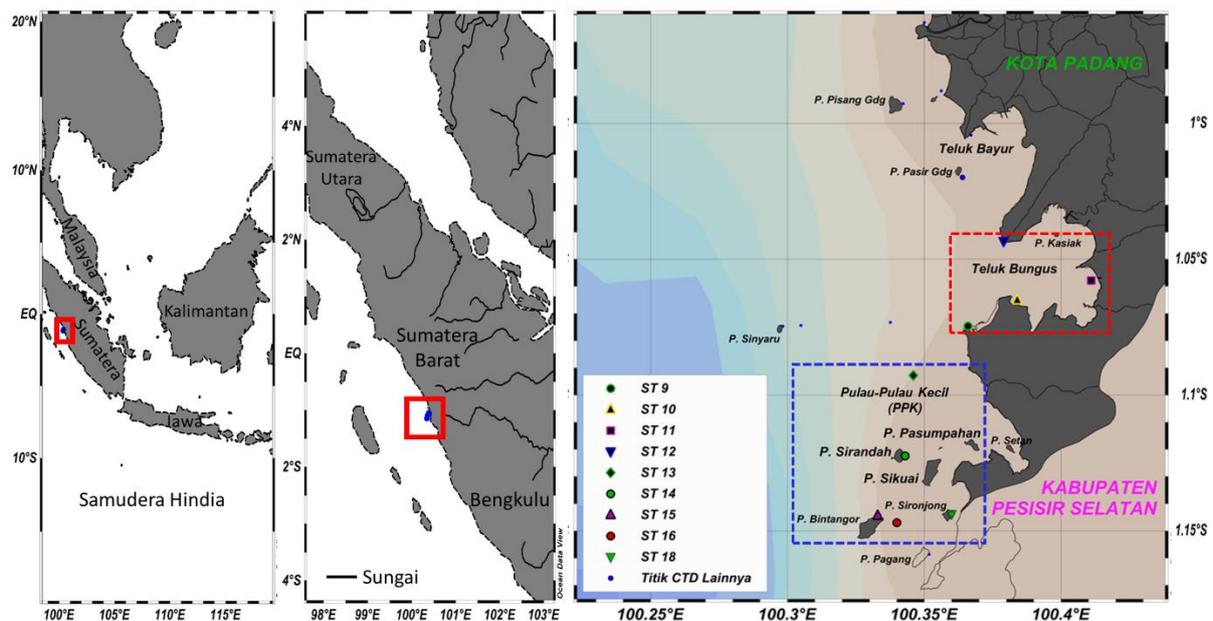
Terdapat beberapa pulau-pulau kecil (PPK), diantaranya P. Pasumpahan, P. Sirandah, P. Sikuai, P. Sironjong dan beberapa pulau lainnya; maupun perairan teluk (dan salah satunya Teluk Bungus). Umumnya aktifitas di wilayah pesisir, perairan Teluk Bungus memiliki pelabuhan perikanan. Salah satu fenomena penting yang menarik dikaji adalah dinamika kondisi oseanografi yang berpengaruh terhadap pergerakan massa air laut, baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga berimplikasi terhadap produktivitas primer yang erat kaitannya dengan perikanan. Karakteristik dan pergerakan massa air berkorelasi terhadap perubahan suhu perairan laut dan samudera serta berpengaruh terhadap aktivitas biologi biota laut, seperti laju pertumbuhan fitoplankton, respirasi bakteri karbon organik, dan struktur rantai makanan [4].

Perairan Teluk Bungus dan beberapa pulau-pulau kecil (PPK) disekitarnya mendapat pengaruh masukan air sungai, juga pengaruh langsung dari Samudera Hindia. Masukan air dari berbagai sumber mengakibatkan kondisi perairan menjadi kompleks. Kompleksitas kondisi perairan berpengaruh pada karakteristik massa air, akan mencirikan kondisi perairan, khususnya berkaitan dengan sifat fisik perairan, berupa temperatur, salinitas, dan densitas. Parameter fisik penting untuk mempelajari kondisi dan sifat perairan, sebaran, dan pelapisan massa air serta pencampuran massa air di suatu perairan. Karakteristik massa air dapat terkait dengan iklim global melalui pergerakan massa air, khususnya keberadaan massa air tawar pada lapisan termoklin [5]. Adanya fenomena pelapisan massa air dapat mempengaruhi kestabilan massa air [6], khususnya barotropik atau baroklinik.

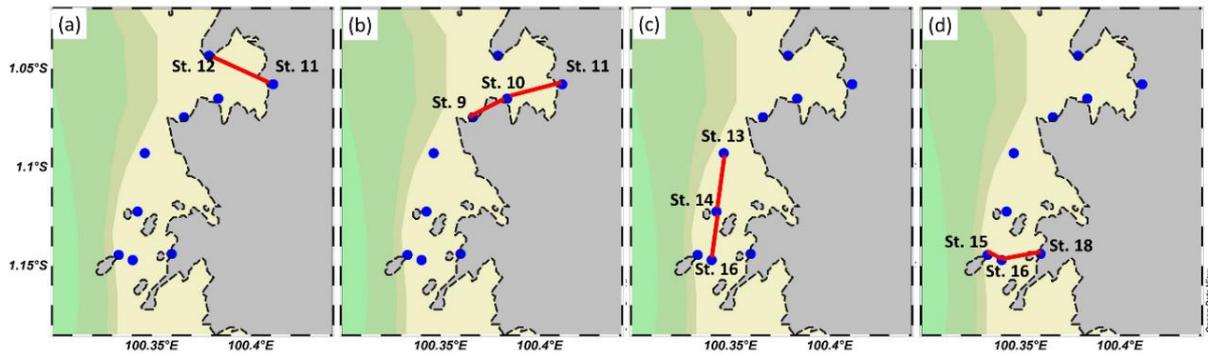
Kompleksitas kondisi perairan (PPK dan Teluk Bungus) berpengaruh terhadap aktifitas biota laut, khususnya tentang karakteristik dan pelapisan massa air. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada dua daerah (Teluk Bungus (merah) dan PPK (biru)) perairan Kota Padang, Sumatera Barat untuk memahami karakteristik massa air dan potensi pemanfaatannya, salah satunya kajian arus [7].

2. Metode Penelitian

Kajian karakteristik dan pelapisan massa air dilakukan pada wilayah perairan di Kecamatan Bungus Teluk Kabung - Kota Padang, yaitu perairan Teluk Bungus dan beberapa pulau-pulau kecil (PPK) (seperti P. Pasumpahan, P. Sirandah, P. Sikuai, P. Sironjong dan P. Bintangor) (**Gambar 1**).



Gambar 1. Titik-titik pengambilan data CTD



Gambar 2. Transek sebaran melintang (a) Teluk Bungus 1, (b) Teluk Bungus 2, (c) PPK 1, dan (d) PPK 2

Visualisasi sebaran melintang pengambilan data berdasarkan pembagian transek (**Gambar 2**) menunjukkan ada empat bagian transek di lokasi penelitian, masing-masing dua bagian terletak di Teluk Bungus dan PPK. Pengambilan data dilakukan menggunakan alat ukur *Conductivity Temperature Depth* (CTD) untuk merekam data suhu, salinitas dan kedalaman laut dan dilakukan oleh Tim Survei IPB di sekitar perairan Teluk Bayur pada tahun 2017 dan berkaitan dengan tumpahan CPO di Teluk Bayur pada 28 September 2017 [8]. Data pengukuran CTD diolah menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV) [9] dan bahasa pemrograman *Python 3.8* dengan *Integrated Development Environment* (IDE) *Jupyter Notebook* untuk menggambarkan kondisi karakteristik perairan, baik dalam bentuk sebaran suhu dan salinitas, maupun estimasi densitas menggunakan hubungan nilai suhu dan salinitas. Metode DIVA digunakan untuk analisis variasional multidimensi dan umum digunakan dalam oseanografi untuk memahami fenomena massa air pada sifat fisik yang berbeda [10]. Selain itu, TS (*Temperature-Salinity*) digunakan untuk analisis karakteristik massa air sehingga dapat diidentifikasi karakter dan sumber suatu badan air [11,12].

Densitas (ρ) sebagai salah satu parameter penting dan didefinisikan sebagai perbandingan massa dengan volume suatu benda/zat (g/cm^3 atau kg/m^3). Densitas (simbol $\rho_{s,t,p}$) bergantung pada 3 parameter, yaitu suhu (t), salinitas (s), dan tekanan (p). Densitas bertambah dengan bertambahnya salinitas dan berkurangnya suhu, kecuali pada suhu di bawah densitas maksimum. Densitas memiliki simbol $\rho_{s,t,p}$ (disebut densitas *in-situ*) dan nilai densitas rata-rata air laut sebesar 1.025 gr/cm^3 . Densitas air laut secara umum dalam simbol $\sigma_{s,t,p}$ dengan persamaan [13,14]:

$$\sigma_{s,t,p} = (\rho_{s,t,p} - 1) \times 10^3 \quad \dots\dots (1)$$

Penentuan nilai salinitas perairan laut pada tekanan udara, $p = 0$, sehingga simbol densitas disingkat $\sigma_t = (\rho_{s,t,0} - 1) \times 10^3$ (σ_t disebut nilai sigma-t). Nilai σ_t tergantung densitas pada suhu dan salinitas yang dipertimbangkan, dan tidak memiliki satuan. Nilai σ_t air laut dengan suhu 20°C dan salinitas 35‰ ($\rho = 1.02478$) dapat ditulis $\sigma_t = 24.78$ [14].

Stratifikasi parameter densitas dapat dilihat dari stabilitas massa air pada kondisi perairan dengan stabilitas tinggi sehingga stratifikasi juga lebih tinggi. Kolom air stabil secara statis jika massa air yang dipindahkan secara adiabatik (dengan tidak adanya pertukaran bahang dan garam) naik dan turun dalam jarak pendek dan kembali ke posisi semula. Persamaan stabilitas (E) ditulis [15]:

$$E \approx -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) \quad \dots\dots (2)$$

ρ adalah nilai densitas perairan (kg/m^3) dan parameter z kedalaman laut (m). Karena $\sigma_t = \rho - \rho_{ref} \rightarrow \rho_{ref} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_t}{\partial z} \right) \quad \dots\dots (3)$$

σ_t adalah nilai *in situ density anomaly*.

Dengan memasukkan sifat adiabatik, sehingga persamaan stabilitas menjadi:

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_\theta}{\partial z} \right) \quad \dots\dots (4)$$

σ_θ merupakan *potensial density anomaly*.

Persamaan untuk stabilitas massa air berlaku pada area kecil (*small range*). Untuk pendekatan yang lebih luas, maka persamaan (4) ditambah dengan parameter gravitasi g (m/s^2) dan *sound speed* C (m/s):

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) - \frac{g}{c^2} \quad \dots\dots (5)$$

atau

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_t}{\partial z} \right) - \frac{g}{c^2} \quad \dots\dots (6)$$

Stabilitas massa air dapat dibedakan menjadi:

- $E > 0$: Stabil
- $E = 0$: Netral
- $E < 0$: Tidak stabil (*Unstable*).

Pengaruh stabilitas dinyatakan dengan frekuensi stabilitas N (*cycle/h*) dan disebut dengan *buoyancy frequency* atau *Brunt-Vaisala frequency* [15]:

$$N^2 = -g E$$

$$N = \sqrt{-g E} \quad \dots\dots (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

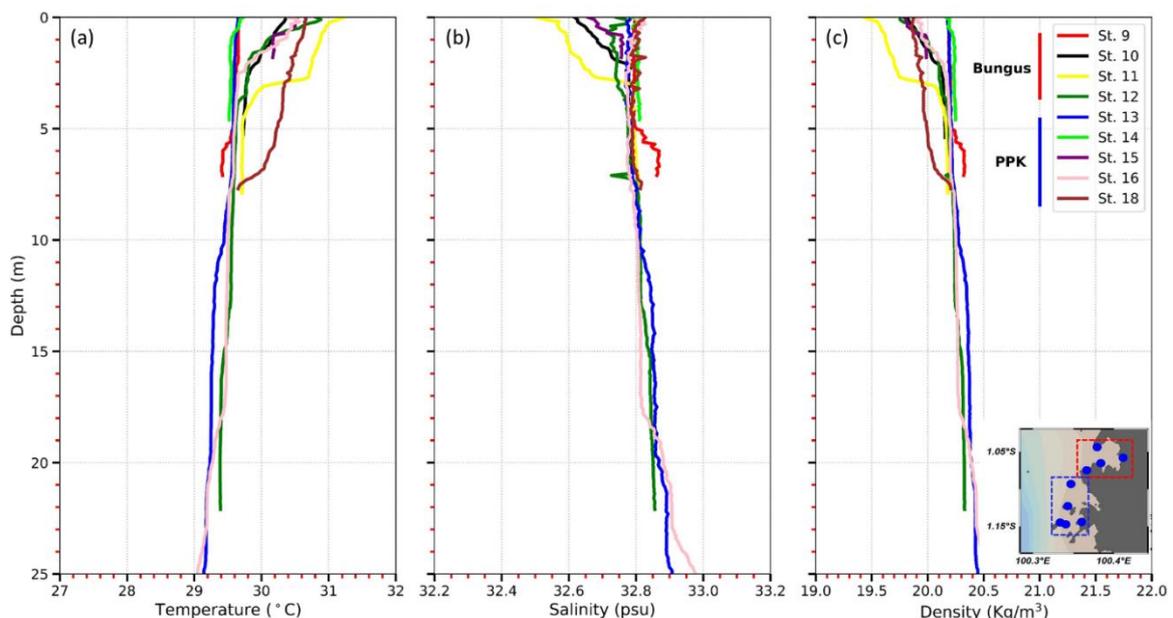
Distribusi temperatur, salinitas, dan densitas.

Penelitian ini difokuskan pada dua daerah yaitu Teluk Bungus (merah, merepresentasikan perairan pesisir yang berdekatan dengan daratan) dan PPK (biru, merepresentasikan perairan terbuka menghadap Samudera Hindia) untuk melihat perbedaan stabilitas massa air, khususnya pola pencampuran dan perlapisan massa air. Sebaran menegak (**Gambar 3**) pada daerah Teluk Bungus ditandai dengan st. 9 (merah), st. 10 (hitam), st.11 (kuning), dan st.12 (hijau tua). Perairan Teluk Bungus dekat dengan daratan utama memiliki nilai temperatur yang hangat (maksimum) dan nilai salinitas rendah (tawar). Suhu perairan dekat dengan perairan laut lepas lebih rendah dibandingkan suhu di perairan pesisir dekat daratan utama [16].

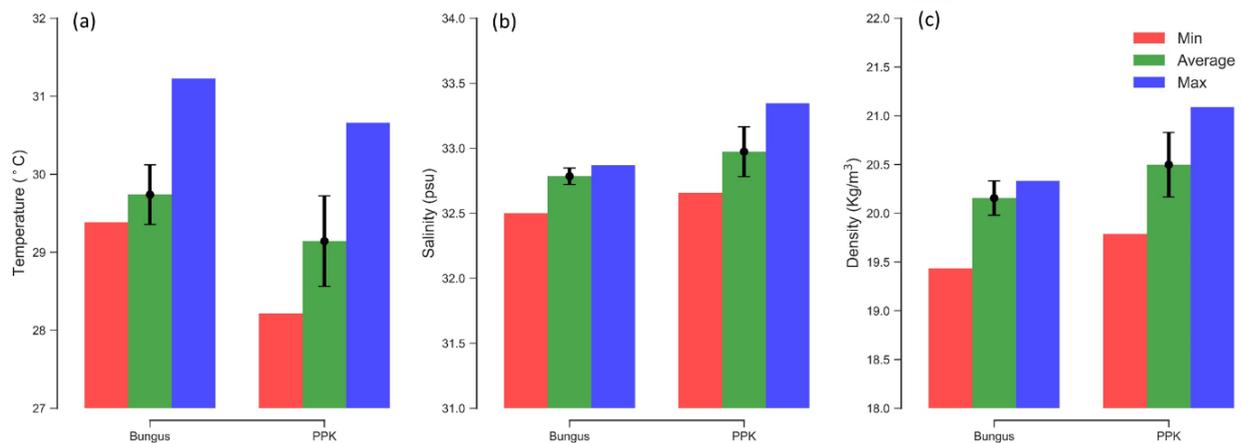
Ciri umum perairan Teluk Bungus memiliki nilai temperatur maksimum (st. 11). Posisi st. 11 berada pada sisi dalam teluk dekat daratan utama Pulau Sumatera dengan nilai temperatur mencapai 31.228°C . Kondisi umum temperatur permukaan laut di perairan Indonesia berkisar $28 - 31^{\circ}\text{C}$ [17]. Tingginya nilai temperatur pada st.11 berkaitan dengan radiasi matahari yang optimum pada perairan yang dangkal dan aktifitas antropogenik. Tingginya nilai temperatur dan rendahnya salinitas pada st.11 dapat menghasilkan nilai densitas yang rendah (ringan). Sebaran menegak (**Gambar 3**) pada daerah PPK ditandai dengan st. 13 (biru), st. 14 (hijau muda), st.15 (ungu), st.16 (merah muda), dan st. 18 (coklat). Daerah PPK menghadap Samudera Hindia memiliki karakteristik umum temperatur lebih rendah (dingin) dan salinitas lebih tinggi dibandingkan di Teluk

Bungus. Kedua lokasi penelitian (Teluk Bungus dan PPK) memiliki pola penurunan parameter fisis terhadap kedalaman yang cenderung sama. Perbandingan nilai temperatur terhadap kedalaman menunjukkan nilai semakin kecil dan terlihat jelas pada stasiun di daerah teluk karena daerah Teluk Bungus memiliki nilai temperatur yang lebih hangat di permukaan. Pola salinitas cenderung meningkat dengan penambahan kedalaman (dan memiliki pola sama dengan parameter densitas).

Perairan Teluk Bungus dan PPK memiliki perbedaan nilai minimum, maksimum, dan rata-rata karakteristik massa air (**Gambar 4**). Karakteristik perairan Teluk Bungus menunjukkan nilai temperatur berkisar $29.385-31.228^{\circ}\text{C}$ dan rata-rata $29.738^{\circ}\text{C} \pm 0.383$. Parameter salinitas perairan Teluk Bungus memiliki rentang $32.501-32.869$ psu dengan rata-rata 32.784 psu ± 0.063 . Nilai densitas sebagai fungsi temperatur dan salinitas memiliki rentang $19.432-20.330$ Kg/m^3 dengan rata-rata 20.155 $\text{Kg/m}^3 \pm 0.175$. Perairan pada kawasan PPK memiliki rentang nilai lebih kecil dan berkisar $28.216 - 30.663$ dengan rata-rata mencapai 29.142 ± 0.580 . Salinitas perairan PPK memiliki nilai lebih tinggi dengan rentang $32.657-33.346$ psu dan rata-rata 32.973 psu ± 0.191 , rentang nilai densitas $19.788-21.087$ Kg/m^3 dan rata-rata 20.498 $\text{Kg/m}^3 \pm 0.331$. Nilai rata-rata temperatur Teluk Bungus lebih tinggi dari PPK. Nilai salinitas berbanding terbalik dengan nilai temperatur dan menunjukkan PPK memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan Teluk Bungus. Nilai rata-rata densitas Teluk Bungus lebih tinggi dibandingkan di perairan PPK. Nilai salinitas memiliki peran lebih dominan pada pembentukan nilai densitas di lokasi penelitian (Teluk Bungus dan PPK).



Gambar 3. Sebaran menegak (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada seluruh titik pengambilan data (Teluk Bungus dan PPK)



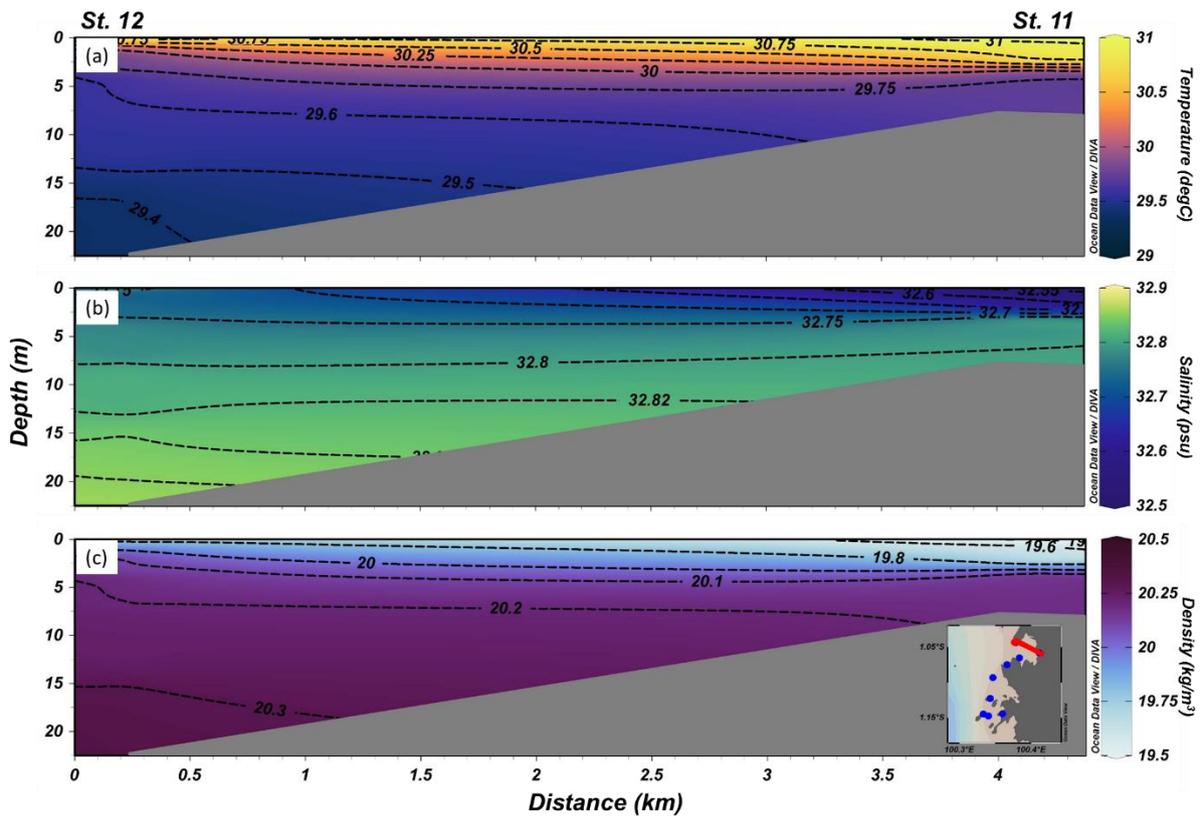
Gambar 4. Rentang nilai (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada Teluk Bungus dan PPK

Sebaran melintang dan spasial temperatur, salinitas, dan densitas. Sebaran melintang temperatur, salinitas, dan densitas pada transek Teluk Bungus 1 (**Gambar 5**), khususnya parameter temperatur pada lapisan permukaan menunjukkan gradasi dari nilai tertinggi (hangat) pada st. 11 (bagian dalam teluk) menuju st. 12 (bagian luar teluk) dengan nilai yang semakin menurun. Terlihat jelas gradasi garis isothermal 30°C pada kisaran kedalaman 5 m (st. 11) maupun pada lapisan permukaan (st. 12). Perairan bagian dalam teluk memiliki batimetri perairan cukup dangkal dibandingkan dengan bagian luar teluk. Nilai minimum pada masing-masing stasiun 29.6°C dan 19.4°C untuk st. 11 dan st. 12. Nilai salinitas memiliki pola gradasi berbanding terbalik dengan nilai temperatur. Nilai salinitas permukaan pada bagian dalam teluk memiliki nilai rendah (mencapai 32.5 psu), sedangkan bagian luar teluk mencapai 32.75 psu. Peningkatan nilai kedalaman sebanding dengan pertambahan nilai salinitas. Salinitas maksimum st. 11 berkisar 32.8 psu dan st. 12 berkisar 32.86 psu. Sebaran melintang densitas menunjukkan pola gradasi semakin besar menuju ke arah laut. Nilai terendah pada lapisan permukaan di st. 11 sebesar 19.6 Kg/m³, sedangkan nilai terbesar pada st. 12 dengan nilai maksimum >20.3 Kg/m³.

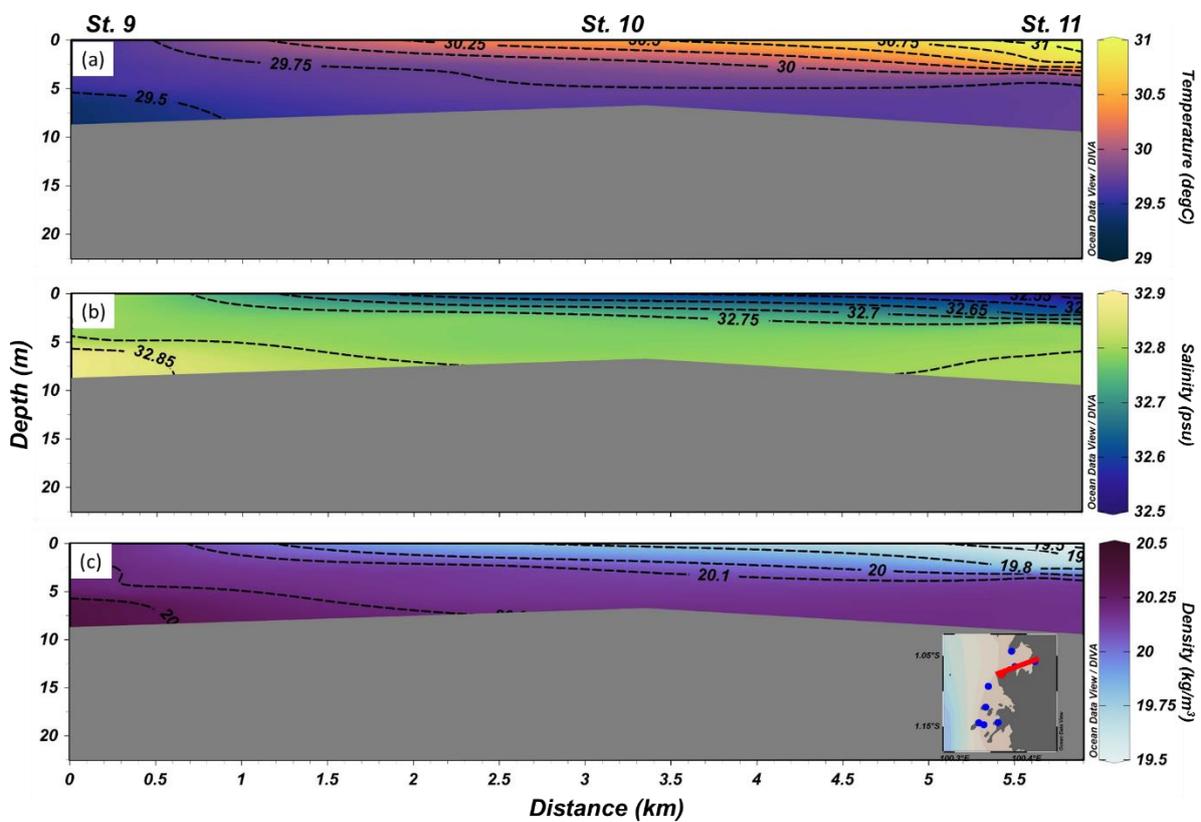
Transek Bungus 2 melewati tiga stasiun (st. 9, 10, dan 11) menunjukkan pola relatif sama dengan transek Bungus 1. Transek menyisir sisi timur Teluk Bungus pada kedalaman ±10 m. Sebaran melintang temperatur menunjukkan pola gradasi semakin dingin menuju ke luar teluk (st. 9). Posisi st. 9 lebih dekat dengan Samudera Hindia menjadikan nilai temperatur lebih rendah jika dibandingkan pada st. 12 yang berada di sisi barat teluk. Nilai terendah berada pada kedalaman 9 m pada st. 9 dengan nilai <29.5°C

dan tertinggi berada pada lapisan permukaan st. 11 dengan nilai >31°C. Sebaran nilai salinitas menunjukkan pola yang sama namun nilai semakin tinggi menuju samudera (st. 9). Stasiun pada transek Bungus 2 menunjukkan pola gradasi lebih jelas untuk parameter temperatur, salinitas, dan densitas. Hal ini menunjukkan persebaran massa air sesuai dengan sumber pembentukannya, baik di samudera (temperatur rendah dan salinitas tinggi) maupun daratan atau sungai (temperatur tinggi dan salinitas rendah). Nilai salinitas tertinggi pada st.9 pada kedalaman ±9 m sebesar >32.85 psu. Nilai densitas yang terbentuk pada transek Bungus 2 relatif sama dengan transek Bungus 1 dengan nilai densitas terendah pada daerah teluk (st. 11) dan semakin meningkat seiring bertambahnya jarak menuju samudera. Nilai tertinggi densitas pada transek Bungus 2 diperoleh pada st. 9 dengan nilai >20.5 Kg/m³ dan terendah pada lapisan permukaan pada st. 11 dengan nilai <19.6 Kg/m³.

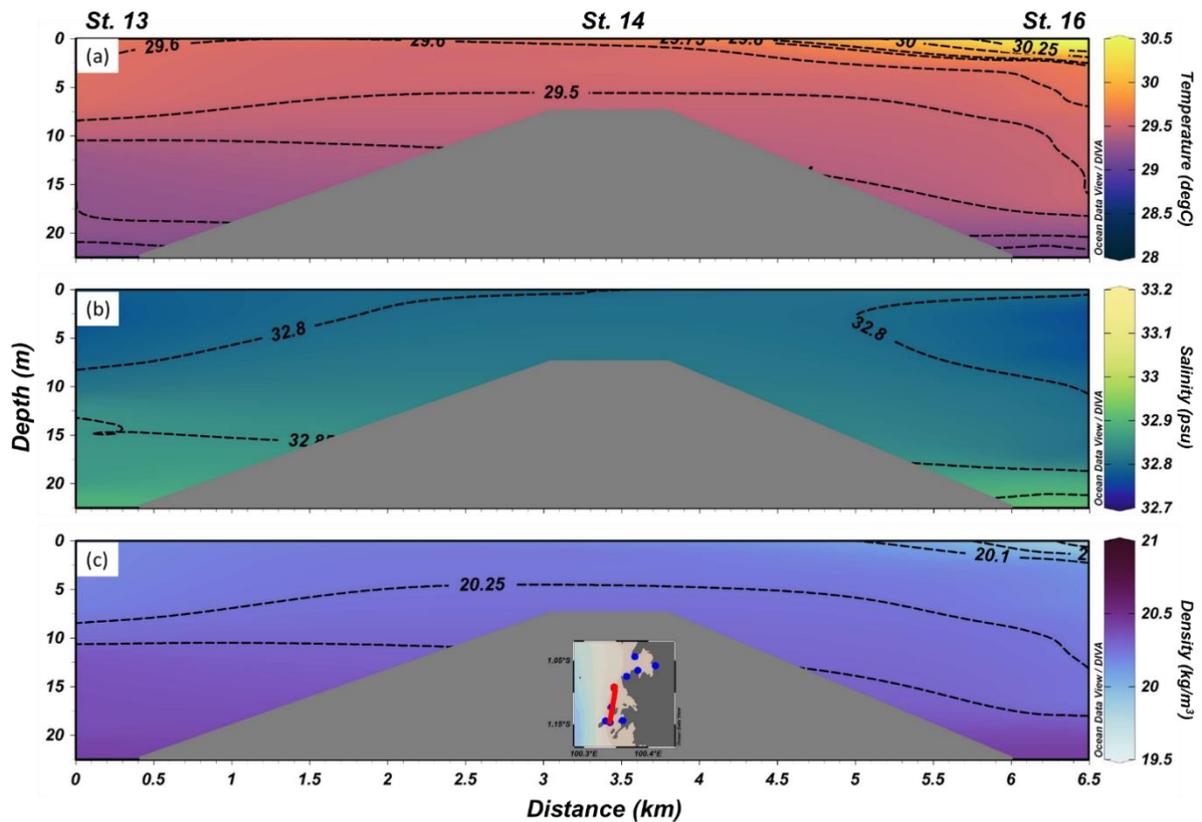
Perairan Teluk Bungus pada Transek Teluk Bungus 1 dan 2 menunjukkan zonasi atau posisi wilayah dengan karakteristik nilai tertentu. Karakteristik perairan penting karena berkaitan dengan kualitas hidup biota yang sangat bergantung pada kondisi fisik perairan sehingga dapat mempengaruhi produktifitas perairan. Penentuan zonasi penting untuk mengetahui karakteristik fisik perairan laut dan pengaruhnya bagi biota perairan, khususnya keragaman dan struktur komunitas plankton [18]. Temperatur sebagai salah satu karakteristik fisik perairan berkaitan dengan daya serap karbondioksida (CO₂). Penelitian [4] menemukan bahwa temperatur permukaan laut yang rendah dapat menyerap lebih banyak CO₂ yang ada di atmosfer.



Gambar 5. Sebaran melintang (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada transek Teluk Bungus 1



Gambar 6. Sebaran melintang (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada transek Teluk Bungus 2

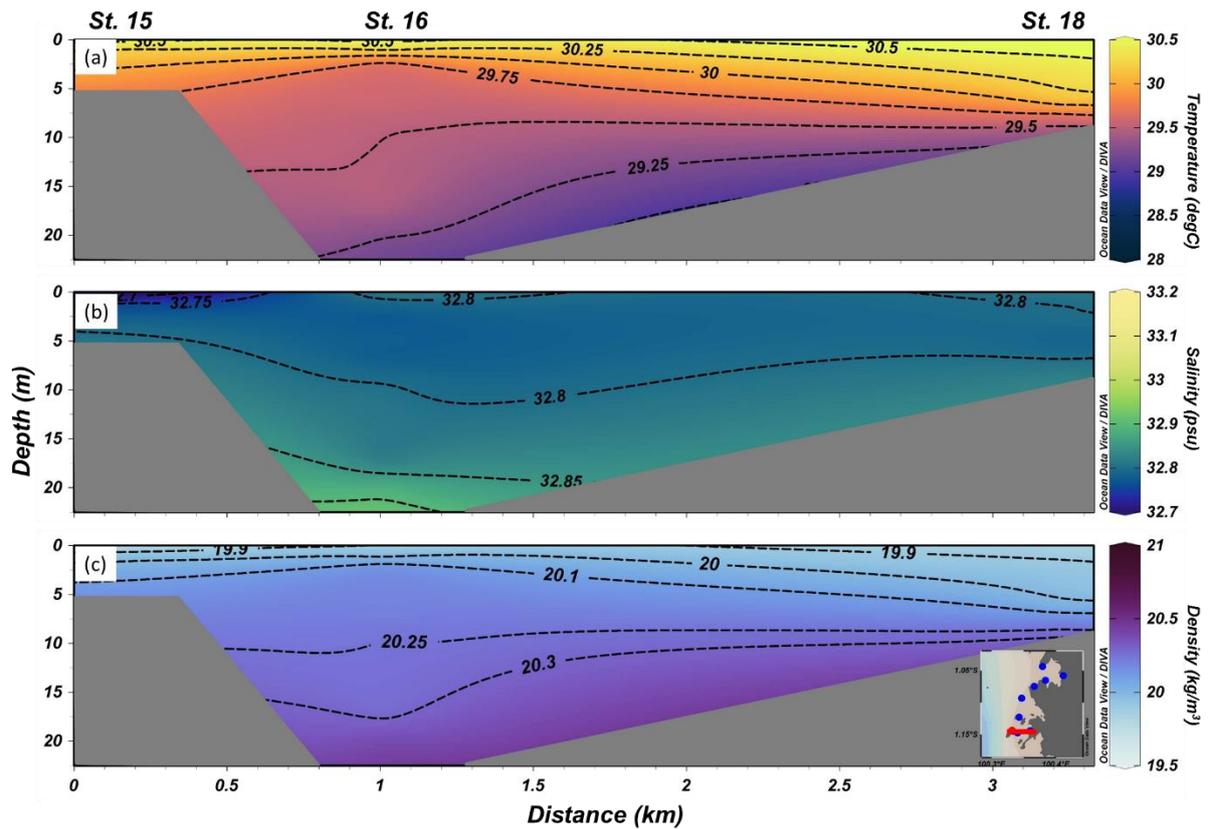


Gambar 7. Sebaran melintang (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada transek PPK 1

Transek PPK 1 menghubungkan st. 16, st. 14 dan st. 13 yang melintang dari timur ke barat. Transek PPK 1 memiliki distribusi parameter fisik temperatur, salinitas, dan densitas yang tidak signifikan. Transek PPK 1 cenderung homogen yang ditandai sedikitnya garis *isothermal*, *isohaline*, dan *isopicnal* dengan variasi nilai yang berdekatan. Transek PPK 1 memiliki kedalaman ± 5 m (st. 14, tengah) dan >20 m (st. 13 dan st. 16). Sebaran melintang temperatur (**Gambar 7(a)**) menunjukkan adanya sedikit gradasi temperatur tinggi pada st. 16 yang berada dekat dengan daratan utama (Pulau Sumatera). Nilai tinggi temperatur bertahan hingga st. 14 yang berada di tengah. Nilai tertinggi berada pada lapisan permukaan st. 16 dengan nilai $>30.25^{\circ}\text{C}$ dan nilai terendah pada st. 16 dan st. 13 dengan nilai $<29.2^{\circ}\text{C}$ di kedalaman >20 m. Sebaran melintang nilai salinitas (**Gambar 7(b)**) terlihat relatif homogen dengan nilai berkisar 32.8–32.85 psu. Nilai salinitas rendah terlihat pada lapisan permukaan stasiun yang dekat dengan daratan (st. 16 dan st. 13). Sebaran melintang densitas (**Gambar 7(c)**) berkisar 20–20.5 Kg/m^3 dengan nilai terkecil pada lapisan permukaan st. 16 dan tertinggi pada kedalaman di bawah 20 m. Secara umum, densitas perairan lebih besar pada lapisan bawah dibandingkan pada lapisan permukaan dan sesuai dengan beberapa kajian sebelumnya [19-21], hanya

saja nilai densitas pada PPK cukup rendah sebagai akibat pengaruh daratan [16].

Transek PPK 2 memiliki kedalaman cukup bervariasi antar tiga stasiun (st. 15, ± 5 m; st. 16, >20 m; dan st. 18, ± 10 m). Stasiun 15 dan st. 18 berada dekat daratan sehingga memiliki batimetri lebih dangkal. Sebaran melintang nilai temperatur (**Gambar 8(a)**) menunjukkan adanya lapisan cukup homogen sampai dasar pada st. 15 dan st. 18 dengan nilai pada bagian dasar berkisar garis *isothermal* 29.75°C dan lapisan permukaan $\pm 30.5^{\circ}\text{C}$. Nilai terendah ditemukan pada st. 16 dengan kisaran nilai $<29.25^{\circ}\text{C}$ ditemukan pada kedalaman <20 m. Sebaran melintang salinitas (**Gambar 8(b)**) menunjukkan terdapat massa air dengan salinitas rendah berada pada lapisan permukaan st. 15 dengan nilai 32.7 psu, sedangkan pada st. 16 dan st. 18 pada kisaran 32.8 psu. Nilai salinitas bertambah seiring bertambahnya kedalaman dan mencapai nilai maksimal pada ± 33 psu pada st. 16 dengan kedalaman > 20 m. Sebaran melintang nilai densitas pada lapisan permukaan (**Gambar 8(c)**) berkisar 19.9–20 Kg/m^3 dan bertambah seiring bertambahnya kedalaman hingga mencapai nilai maksimum pada kisaran 20.3 Kg/m^3 pada kedalaman > 20 m.



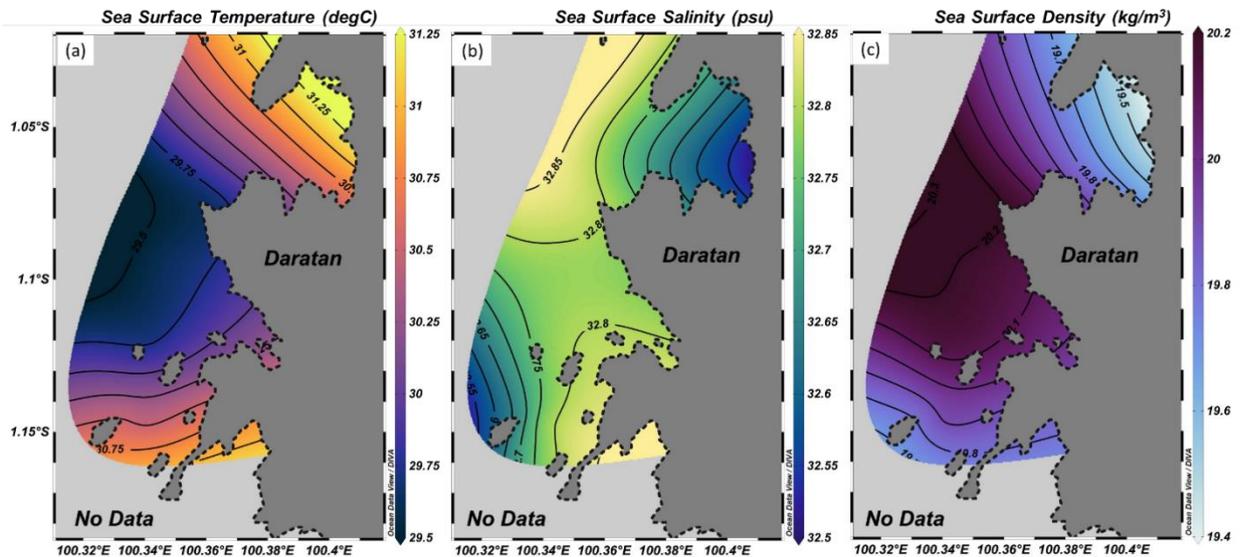
Gambar 8. Sebaran melintang (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas pada transek PPK 2

Sebaran spasial temperatur pada lapisan permukaan (**Gambar 9(a)**) secara keseluruhan memiliki nilai cukup tinggi (29.5–31.25°C). Nilai temperatur tertinggi terdapat di stasiun 11 (31.25°C) dan terendah di stasiun 13 (±29.5°C). Sebaran nilai temperatur secara spasial terbagi menjadi dua wilayah, yaitu perairan dengan temperatur tinggi dan rendah. Wilayah yang memiliki nilai temperatur tinggi (hangat) berada pada daerah dekat daratan, terutama daerah teluk dan dibagian dalam PPK. Wilayah dengan nilai temperatur lebih rendah berada pada bagian luar teluk dan PPK yang berbatasan langsung dengan perairan samudera. Nilai salinitas menunjukkan peningkatan pola gradasi seiring pertambahan jarak menuju samudera. Sebaran spasial salinitas (**Gambar 9(b)**) menunjukkan adanya dua wilayah dengan salinitas tinggi dan rendah. Wilayah dengan salinitas rendah berada di teluk, semakin dekat dengan daratan utama maka nilai salinitas semakin rendah dan dekat dengan pulau-pulau kecil.

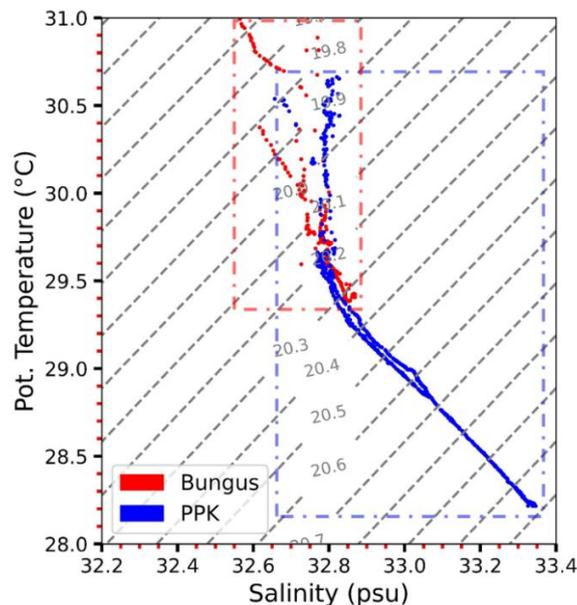
Nilai salinitas terendah berada di teluk dengan nilai <32.55 psu dan nilai tertinggi berada di luar teluk dekat samudera dengan nilai 32.85 psu. Sebaran spasial permukaan densitas (**Gambar 9(c)**) dengan

gradasi semakin rendah menuju teluk dan dominan dipengaruhi salinitas, sebaliknya sebaran spasial permukaan densitas dengan gradasi semakin tinggi menuju samudera dan dominan dipengaruhi oleh temperatur. Nilai densitas terendah ditemukan didalam teluk dengan nilai <19.5 Kg/m³ dan nilai tertinggi berada diluar teluk dengan nilai >20.3 Kg/m³.

Diagram T-S dan kestabilan massa air. Diagram T-S dibagi menjadi 2 bagian yaitu pada wilayah Teluk Bungus dan PPK. Diagram T-S digunakan untuk melihat karakteristik fisik dan tumpukan massa air pada suatu perairan (**Gambar 10**) serta menunjukkan hubungan salinitas dan temperatur (khususnya pada 9 stasiun pengukuran). Wilayah Teluk Bungus (st. 9-12, warna merah) dan PPK (st. 13-16 dan st. 18, warna biru) menunjukkan perbedaan cukup signifikan. Massa air Teluk Bungus memiliki kisaran temperatur 29.4-31°C dan salinitas 32.35-32.85 psu. Massa air di wilayah Teluk Bungus memiliki rentang temperatur dan salinitas yang pendek dan terentang nilai tersebut. Massa air di wilayah Teluk Bungus didominasi massa air yang lebih ringan dengan densitas 19.6–20.35 Kg/m³.



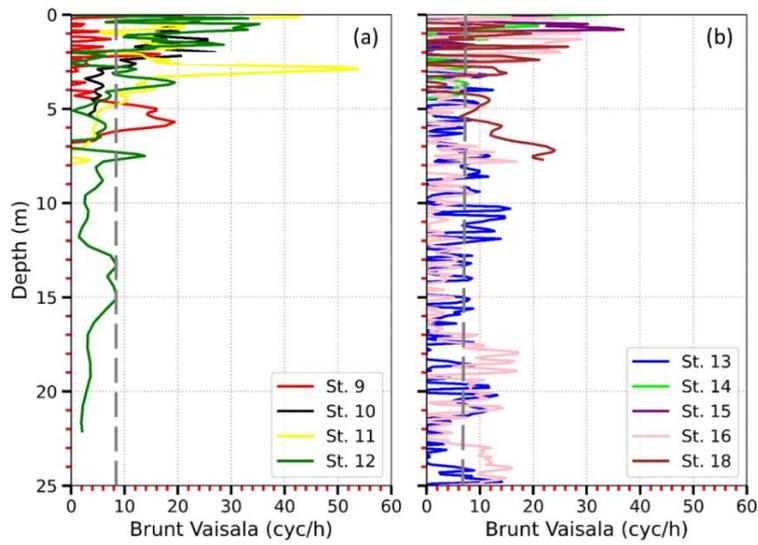
Gambar 9. Sebaran spasial permukaan nilai (a) temperatur, (b) salinitas, dan (c) densitas perairan



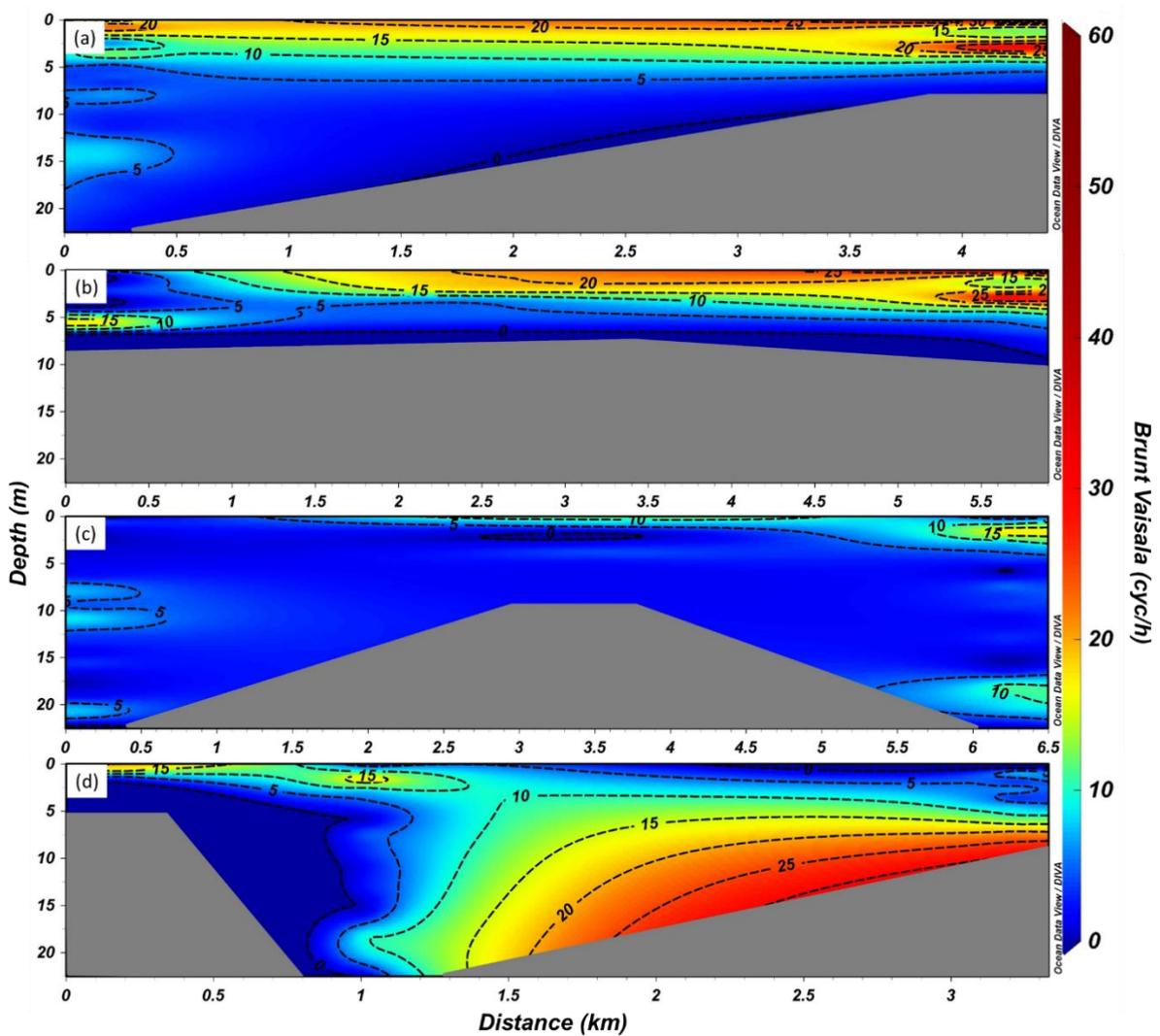
Gambar 10. Diagram T-S di wilayah Teluk Bungus (merah) dan PPK (biru)

Massa air wilayah PPK lebih cenderung terlihat pengaruh dari samudera. Massa air dari samudera memiliki ciri salinitas tinggi dan temperatur rendah. Massa air wilayah PPK memiliki rentang nilai lebih lebar dengan nilai temperatur tertinggi lebih rendah dan nilai salinitas terendah lebih tinggi jika dibanding wilayah Teluk Bungus. Massa air wilayah PPK memiliki kisaran temperatur 30.6- 28.2°C dan salinitas berkisar 32.6-33.35 psu. Massa air di wilayah PPK didominasi massa air yang lebih berat dengan densitas berkisar 19.8 – 21.9 Kg/m³. Hal ini sangat sesuai dengan kajian-kajian sejenis yang menunjukkan perairan terbuka di PPK mendapat pengaruh dari daratan lebih sedikit dibandingkan dengan perairan pesisir.

Nilai *Brunt Vaisala* menunjukkan kestabilan pada suatu lapisan (**Gambar 11: (a)** Teluk Bungus, **(b)** PPK). Nilai *Brunt Vaisala* yang tinggi menunjukkan bahwa lapisan stabil, sebaliknya lapisan dengan nilai *Brunt Vaisala* rendah sebagai lapisan tidak stabil dan berpotensi menjadi tempat terjadinya pencampuran massa air. Secara umum, nilai *Brunt Vaisala* pada dua lokasi penelitian didominasi nilai yang tinggi pada lapisan permukaan dan semakin mengicil seiring bertambahnya kedalaman. Wilayah Teluk Bungus memiliki nilai *Brunt Vaisala* maksimum di st. 11 dengan nilai mencapai 54 cyc/h pada kedalaman 3 m dan rata-rata 8.62 cyc/h. Wilayah PPK memiliki nilai *Brunt Vaisala* maksimum di st. 15 dengan nilai mencapai 36 cyc/h pada kedalaman 1 m dan rata-rata 6.7 cyc/h.



Gambar 11. Sebaran menegak Brunt Vaisala pada (a) Teluk Bungus dan (b) PPK



Gambar 12. Sebaran melintang Brunt Vaisala pada transek (a) Teluk Bungus 1, (b) Teluk Bungus 2, (c) PPK 1 dan (d) PPK 2

Sebaran melintang pada transek Teluk Bungus 1 (**Gambar 12 (a)**) menunjukkan adanya stratifikasi nilai *Brunt Vaisala*. Nilai *Brunt Vaisala* secara umum mengalami penurunan seiring bertambahnya kedalaman. Nilai *Brunt Vaisala* pada st. 11 (di dalam teluk) mengalami penurunan yang cukup konstan, meski terlihat nilai yang cukup tinggi pada kedalaman 4 m sebelum nilainya mengecil kembali. Nilai *Brunt Vaisala* pada st. 12 (luar teluk) lebih kecil dibandingkan didalam teluk karena pada st. 12 merupakan tempat percampuran massa air (Diagram T-S yang menunjukkan lapisan massa air permukaan (temperatur tinggi dan salinitas rendah) menyebar). Pola sebaran melintang nilai *Brunt Vaisala* pada transek Teluk Bungus 2 (**Gambar 12 (b)**) relatif mirip dengan transek Teluk Bungus 1 karena masih dalam pola atau kawasan teluk yang sama.

Transek PPK 1 memiliki nilai *Brunt Vaisala* kecil dibandingkan dengan seluruh transek pada lokasi penelitian (**Gambar 12 (c)**). Nilai *Brunt Vaisala* kecil menunjukkan daerah tidak stabil [23] dan berpotensi terjadi percampuran massa air [20, 24, 25]. Transek PPK 1 yang dilakukan diantara pulau adalah salah satu sebab ketidakstabilan lokasi karena adanya banyak dinamika, baik vertikal dan horizontal yang bekerja, sehingga sangat berpotensi menjadi tempat percampuran massa air (dari daratan dan samudera). Nilai *Brunt Vaisala* pada transek PPK 2 cukup berbeda dengan transek PPK 1. Nilai *Brunt Vaisala* pada st. 18 (dekat daratan utama) menunjukkan nilai berbeda dan hal ini berkaitan dengan stratifikasi densitas yang kuat pada daerah lapisan yang dekat dengan dasar perairan.

4. Kesimpulan

Perairan Teluk Bungus memiliki karakteristik umum salinitas rendah dan temperatur tinggi, sebaliknya, wilayah PPK memiliki karakteristik salinitas tinggi dan temperatur rendah. Teluk Bungus memiliki nilai rata-rata temperatur $29.738^{\circ}\text{C} \pm 0.383$, salinitas 32.784 ± 0.063 psu, densitas $20.155 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.175$ dan *Brunt Vaisala* 8.62 cyc/h. Wilayah perairan PPK memiliki nilai rata-rata temperatur $29.142^{\circ}\text{C} \pm 0.580$, salinitas $32.973 \text{ psu} \pm 0.191$, densitas $20.498 \text{ Kg/m}^3 \pm 0.331$ dan *Brunt Vaisala* 6.7 cyc/h.

Daerah teluk dan dekat daratan cukup stabil, sedangkan wilayah perairan dekat PPK kurang stabil. Karakteristik perairan di wilayah Teluk Bungus didominasi massa air dari daratan, sedangkan wilayah PPK didominasi massa air dari samudera.

Kajian karakteristik massa air pada lokasi penelitian akan lebih komprehensif jika dikaitkan dengan analisa kesuburan perairan dan kaitannya dengan fenomena *blooming algae* serta aplikasinya pada hasil tangkapan ikan, yang menjadi salah satu penelitian lanjutan di masa mendatang.

Daftar Pustaka

- [1] M. Tomczack and J. S. Godfrey, *Regional Oceanography: An Introduction*. Copyright © 1994 M. Tomczack, M. dan J. S. Godfrey, 1994.
- [2] S. Izuka, T. Matsuura, T. Yamagata, S. Izuka, T. Matsuura, and T. Yamagata, "The Indian Ocean SST dipole simulated in a coupled general circulation model," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 27, no. 20, pp. 3369–3372, 2000, doi: 10.1029/2000GL011484.
- [3] R. D. Susanto and Y. T. Song, "Indonesian throughflow proxy from satellite altimeters and gravimeters," *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. 120, pp. 2844–2855, 2015, doi: 10.1002/2014JC010382.Received.
- [4] L. Cao and H. Zhang, "The role of biological rates in the simulated warming effect on oceanic CO₂ uptake," *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 122, no. 5, pp. 1098–1106, 2017, doi: 10.1002/2016JG003756.
- [5] A. Purwandana, "Kajian Percampuran Vertikal Massa Air dan Manfaatnya," *J. Oseana*, vol. xxxviii, no. 3, pp. 9–22, 2013.
- [6] S. Pond and G. L. Pickard, *Introductory Dynamical Oceanography*, Two Editio. Canada: Department of Oceanography - University of British Columbia, 1983.
- [7] E. Brown, A. Coiling, D. Park, J. Phillips, D. Rother, and J. Wright, *Ocean Circulation*, Reprint. England (UK): Butterworth-Heinemann Ltd; The Open University, 2004.
- [8] H. Mutmainah, Ilham, T. Al Tanto, Hadi, and R. Anggoro, "Analisa Tumpahan Crude Palm Oil (CPO) di Teluk Bayur Sumatera Barat, 28 September 2017," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 15, no. 1, pp. 37–44, 2020, doi: 10.15578/jkn.v15i1.7853.
- [9] R. Schlitzer, "Interactive analysis and visualization of geoscience data with Ocean Data View," *Comput. Geosci.*, vol. 28, no. 10, pp. 1211–1218, 2002, doi: 10.1016/S0098-3004(02)00040-7.
- [10] A. Barth, J. M. Beckers, C. Troupin, A. Alvera-Azcárate, and L. Vandenbulcke, "Divand-1.0: N-dimensional variational data analysis for ocean observations," *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, pp. 225–241, 2014, doi: 10.5194/gmd-7-225-2014.
- [11] W. J. Emery and R. E. Thomson, "Data analysis methods in physical oceanography," *Data Anal. methods Phys. Oceanogr.*, no. January 2004, 1997, doi: 10.2307/1353059.
- [12] W. J. Emery and R. E. Thomson, *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*, Second Ed. 2008.
- [13] H. U. Sverdrup, M. W. Johnson, and R. H. Fleming, *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, New York, 1942.

- [14] G. Neumann and W. J. Pierson, *Principles of Physical Oceanography*. USA: Prentice-Hall, 1966.
- [15] R. H. Stewart, *Introduction to Physical Oceanography*, September. Texas: Department of Oceanography, Texas A & M University, 2008.
- [16] T. Al Tanto, T. Hartanto, M. Purba, and W. S. Pranowo, "Karakteristik Massa Air di Perairan Barat Daya Pulau Sumba, Provinsi Nusa Tenggara Timur," *J. Kelaut. Nas.*, vol. 15, no. 1, pp. 23–36, 2020, doi: 10.15578/jkn.v15i1.7660.
- [17] A. Nontji, *Laut Nusantara*, 5th ed. Jakarta: Djambatan, 2007.
- [18] M. F. Gutierrez *et al.*, "Salinity shapes zooplankton communities and functional diversity and has complex effects on size structure in lakes," *Hydrobiologia*, vol. 813, no. 1, pp. 237–255, 2018, doi: 10.1007/s10750-018-3529-8.
- [19] A. Purwandana, "Vertical mixing in the deep region of the Sunda Strait, Indonesia Abstrak," *Oseanologi dan Limnol. di Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 43–51, 2022, doi: 10.14203/oldi.2022.v7i1.397.
- [20] H. Hermansyah, A. S. Atmadipoera, T. Prartono, I. Jaya, and F. Syamsudin, "Stratification and Stability of Seawater Mass in Sulawesi Sea," *Int. J. Sci. Basic Appl. Res.*, vol. 36, no. 8, pp. 36–44, 2017.
- [21] Iskandar, N. B. Sukoco, Kamija, and W. S. Pranowo, "Karakteristik Termoklin dan Kecepatan Suara di Selat Lombok Berdasarkan Filtering Data CTD Menggunakan Analisis Toolpak," *J. Chart Datum*, vol. 1, no. 4, pp. 43–50, 2018.
- [22] M. P. Suhana *et al.*, "Pola dan Karakteristik Sebaran Medan Massa, Medan Tekanan dan Arus Geostropik Perairan Selatan Jawa," *J. Din. Marit.*, vol. 6, no. 2, pp. 20–25, 2018.
- [23] H. Meirinawati and M. R. Iskandar, "Karakteristik Fisika dan Kimia Perairan di Laut Jawa – Ambang Dewakang," *Oseanologi dan Limnol. di Indones.*, vol. 4, no. 1, p. 41, 2019, doi: 10.14203/oldi.2019.v4i1.140.
- [24] Risiko, A. S. Atmadipoera, I. Jaya, and E. H. Sudjono, "Analysis of turbulent mixing in Dewakang Sill, Southern Makassar Strait," in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 54, pp. 1–10, doi: 10.1088/1755-1315/54/1/012086.
- [25] I. Prihatiningsih, I. Jaya, A. S. Atmadipoera, and R. Zuraida, "Turbulent mixing of water masses in Selayar Slope - Southern Makassar Strait," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 284, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/284/1/012033.