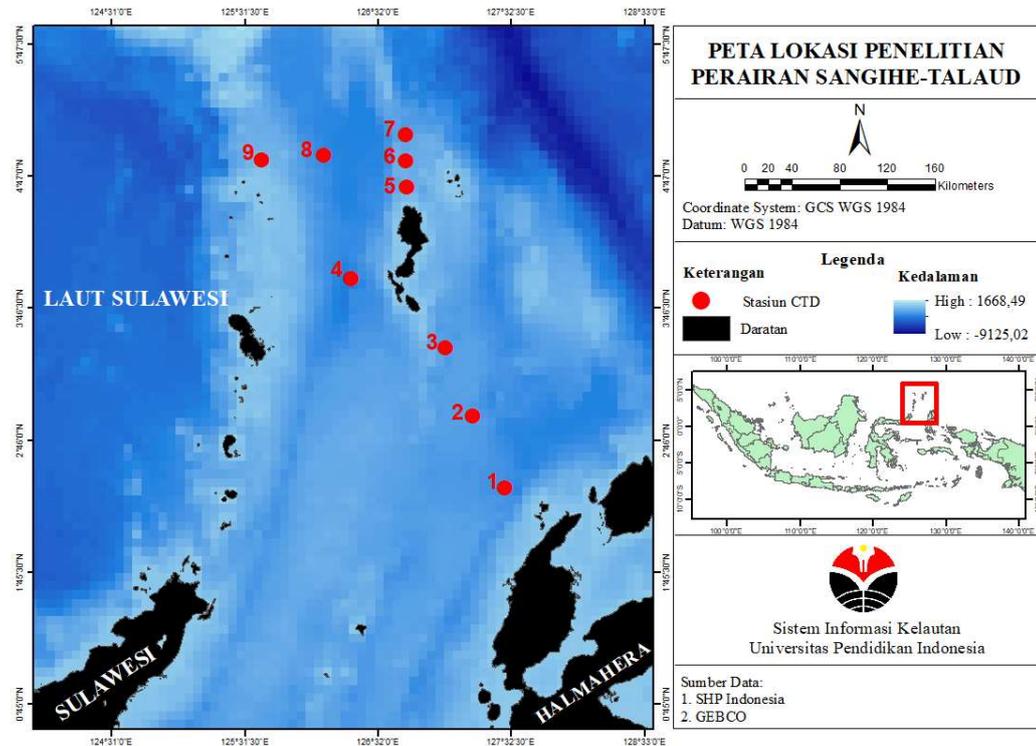


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Pengumpulan data suhu, konduktivitas, dan kedalaman dilakukan dengan memanfaatkan alat CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) SBE 911 *Plus* di Perairan Sangihe-Talaud dari tanggal 31 Oktober hingga 4 November 2017, sebagai bagian dari Ekspedisi Indonesia Timur (EIT) yang merupakan kolaborasi penelitian antara Pusat Riset Oseanografi BRIN dengan *Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences* (IOCAS). Terdapat 9 stasiun yang terlibat dalam penelitian ini yang diambil dengan menggunakan RV Baruna Jaya VIII seperti yang dapat dilihat pada peta lokasi kajian pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi kajian dengan stasiun CTD yang dilakukan selama ekspedisi RV Baruna Jaya VIII pada bulan Oktober-November 2017.

B. Alat dan Bahan

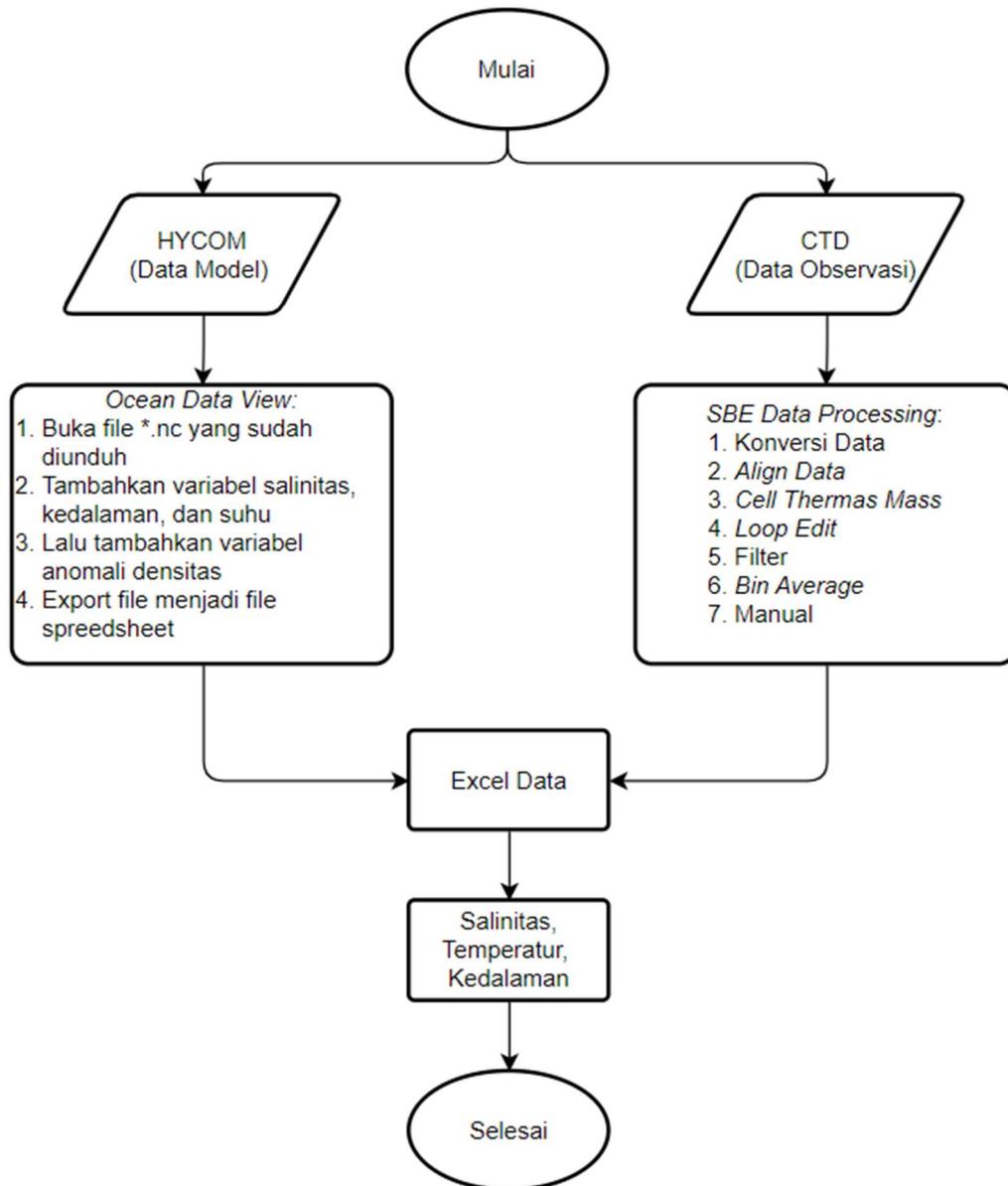
Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Bahan yang digunakan adalah data-data yang dibutuhkan untuk visualisasi. Alat dan bahan dalam penelitian ini dipaparkan lebih rinci pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan yang digunakan selama penelitian.

No.	Alat dan Bahan	Fungsi
1.	Laptop ROG Strix G512LI	Untuk melakukan proses pengolahan data
2.	<i>Software Arcgis 10.8</i>	Untuk membuat peta lokasi penelitian
3.	<i>Software SBE Data Processing 911 Plus</i>	Untuk pengolahan data <i>downcast</i> CTD agar siap digunakan
4.	<i>Software Ocean Data View 5.6.2</i>	Untuk mengolah dan visualisasi data, membuat diagram T-S, plot <i>vertical cross section</i>
5.	<i>Software Watermass Analysis (WMA) 1.0</i>	Untuk mengolah dan visualisasi data, membuat diagram T-S, menampilkan plot perubahan salinitas
6.	<i>Software OTHORPE 1.0</i>	Untuk mengolah data dan visualisasi data, membuat plot profil perpindahan Thorpe, laju disipasi energi kinetik turbulen, difusivitas <i>eddy</i> vertikal, dan diagram T-S
7.	<i>Runtime MATLAB 2022a</i>	Pendukung aplikasi OTHORPE 1.0
8.	<i>Software Microsoft Excel 2016</i>	Untuk mengolah data
9.	Data model GEBCO	Data pendukung untuk peta lokasi kajian
10.	Data model HYCOM	Input olahan data (dataset hibrida/data model)
11.	Data CTD	Input olahan data (data pengamatan)

C. Akuisisi Data

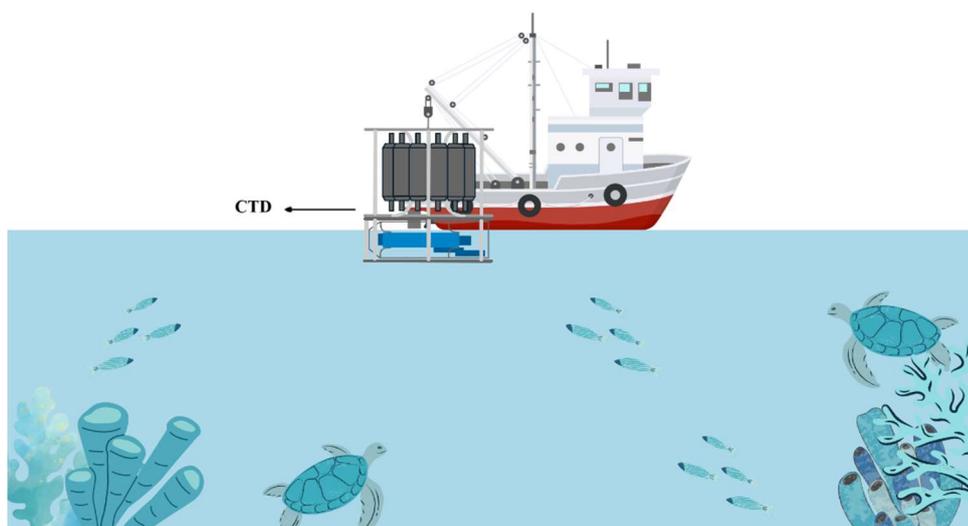
Dataset yang digunakan ada dua yaitu data CTD (observasi) dan data HYCOM (model). Data CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) merupakan data observasi yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan, sementara data HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) adalah data yang memberikan gambaran kondisi oseanografis berdasarkan simulasi komputer. Gambar 3.2 menyajikan aliran proses akuisisi dari data observasi dan data model.



Gambar 3. 2 Diagram alir proses pengolahan data CTD (observasi) dan data HYCOM (model).

Dataset hibrida (model) hasil dari portal data HYCOM (<https://ncss.hycom.org/thredds/>) juga dilibatkan untuk melihat variabilitas spasial-temporal salinitas di wilayah tersebut. Dataset HYCOM memiliki resolusi spasial $1/12^\circ$ (~9 km) namun tidak memiliki pengaruh pasang surut. File hasil unduhan dari portal data HYCOM dengan format file *.nc akan diolah dengan perangkat lunak *Ocean Data View* (ODV) untuk mendapatkan data temperatur, salinitas, kedalaman dan densitas.

Perangkat CTD (*Conductivity-Temperature-Depth*) SBE 911 *Plus* dari *Sea Bird Electronics* digunakan untuk mengumpulkan data properti massa air. Sebelum dilakukan analisis, data yang diperoleh dari pengukuran CTD harus diproses. Saat CTD diturunkan ke kedalaman tertentu dan pada tekanan tertentu, hanya data *downcast* yang diproses. Penelitian ini memanfaatkan data profil temperatur, salinitas, dan kedalaman dari berbagai lokasi, waktu, dan titik kedalaman maksimal di mana CTD diturunkan. Gambar 3.3 berikut menyajikan ilustrasi pengambilan data menggunakan alat CTD.



Gambar 3. 3 Ilustrasi pengambilan data CTD.

Gambaran yang lebih jelas mengenai proses pengambilan data, dokumentasi selama pengambilan data menggunakan alat CTD disajikan dalam Gambar 3.4. Gambar tersebut menunjukkan pengoperasian alat CTD serta kondisi di lapangan saat data diambil. Dokumentasi ini juga memberikan visualisasi nyata tentang metode dan kondisi di lapangan.

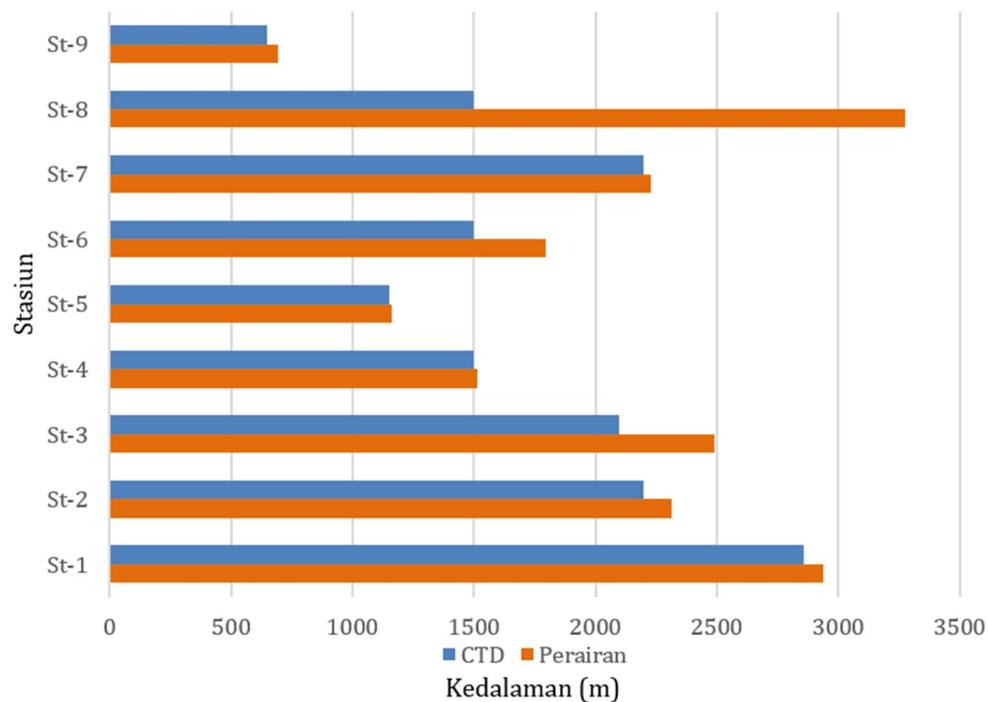


Gambar 3. 4 Proses pengambilan data menggunakan alat CTD.
(Sumber: Dokumentasi pengambilan data observasi oleh kru RV Baruna Jaya VIII)

Tabel 3.2 menunjukkan letak geografis dan deskripsi data yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel tersebut menyediakan informasi lebih rinci tentang titik-titik pengambilan data di 9 stasiun Perairan Sangihe-Talaud. Informasi tentang kedalaman pengukuran pada setiap stasiun dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Tabel 3. 2 Dataset Stasiun CTD yang dianalisis dalam penelitian ini.

Stasiun	Posisi Geografis	Tanggal/Bulan/Tahun	Jam (WIB)	Kedalaman (m)	
				CTD	Perairan
1	127,5028°E, 2,4009°S	31/10/2017	11:15	2860	2939
2	127,2558°E, 2,9494°S	31/10/2017	21:30	2200	2315
3	127,0495°E, 3,4724°S	01/11/2017	16:53	2100	2493
4	126,3337°E, 3,9993°S	02/11/2017	23:17	1500	1516
5	126,7555°E, 4,6981°S	03/11/2017	06:24	1150	1160
6	126,7498°E, 4,8994°S	03/11/2017	09:59	1500	1794
7	126,7499°E, 5,0991°S	03/11/2017	12:55	2200	2231
8	126,1303°E, 4,9420°S	03/11/2017	22:36	1500	3278
9	125,6592°E, 4,9060°S	04/11/2017	03:26	650	692



Gambar 3. 5 Perbandingan kedalaman maksimum pengukuran CTD dan kedalaman perairan di wilayah Sangihe-Talaud.

Data CTD diolah menggunakan perangkat *SBE Data Processing* untuk mendapatkan data temperatur, salinitas, dan kedalaman. Proses pengolahan data CTD dijelaskan sebagai berikut:

a. *Data Conversion*

Proses konversi dilakukan untuk mengubah data awal yang tersimpan dalam format biner menjadi format ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) dalam format berformat *.cnv (Purwandana *et al.*, 2014). Tujuan dari konversi data ini adalah agar data yang direkam oleh perangkat CTD dapat diproses menggunakan berbagai aplikasi perangkat lunak, seperti *Ocean Data View* dan Matlab.

b. *Align CTD*

Align CTD memiliki fungsi untuk menyelaraskan semua parameter yang diukur sehingga berada dalam sinkronisasi waktu, tekanan, dan massa air yang sama. Proses *align CTD* difokuskan pada variabel oksigen dengan menggunakan interval waktu 2 detik terhadap tekanan (McTaggart *et al.*, 2010).

c. *Cell Thermal Mass*

Cell thermal mass merupakan proses penyaringan yang melibatkan variabel konduktivitas terhadap dirinya sendiri (penyaringan secara rekursif), yang disebabkan oleh pengaruh massa termal pada saat pengukuran nilai konduktivitas pada sensor (McTaggart *et al.*, 2010). Proses penyaringan ini hanya berlaku pada data yang dihasilkan dari pengukuran temperatur menggunakan sensor temperatur primer dan sekunder.

d. *Loop Edit*

Loopedit berperan dalam melakukan koreksi terhadap data CTD ketika penurunan perangkat CTD berlangsung dengan kecepatan yang kurang dari batas minimal atau ketika perangkat CTD mengalami pergerakan naik turun yang disebabkan oleh goyangan kapal. Batas minimal kecepatan yang dijadikan acuan adalah $0,25 \text{ m s}^{-1}$ (McTaggart *et al.*, 2010).

e. *Filter*

Penyaringan yang dipakai adalah penyaringan *low pass* yang bertujuan untuk menghapuskan gangguan (*noise*) yang memiliki frekuensi tinggi pada variabel suhu, konduktivitas, dan tekanan. Pada penyaringan *low pass filter B*, digunakan nilai *cut-off* frekuensi sebesar 0,15 detik. Ini menyiratkan bahwa data yang direkam dengan frekuensi lebih tinggi dari *cut-off* frekuensi akan dihilangkan (McTaggart *et al.*, 2010).

f. *Bin Average*

Bin average berfungsi untuk menghasilkan nilai rata-rata data pada tekanan yang ditentukan, dengan menggunakan interval tekanan sebesar 1 meter. Proses ini bertujuan untuk menyederhanakan data dan mendapatkan gambaran yang lebih terstruktur pada tekanan yang diinginkan (Purwandana *et al.*, 2014).

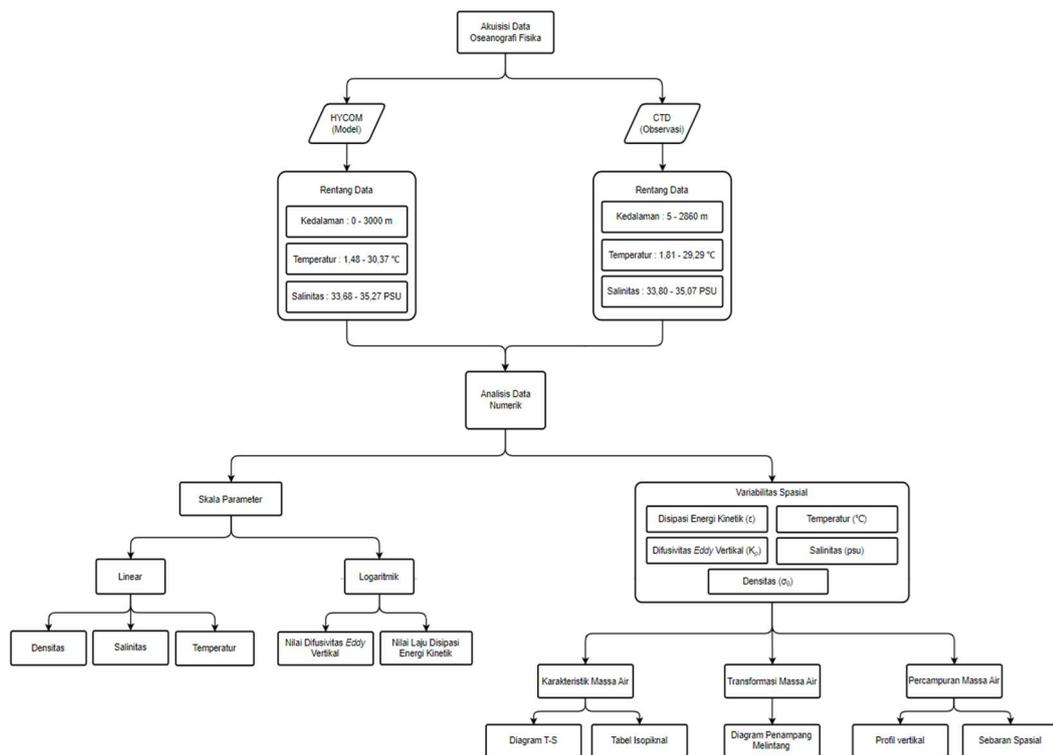
g. Manual

Proses koreksi secara manual diperlukan karena masih ada kemungkinan kesalahan yang tersisa setelah melalui tahap-tahap sebelumnya (Purwandana

et al., 2014). Langkah ini memungkinkan untuk deteksi dan perbaikan kesalahan yang mungkin terlewatkan dalam proses sebelumnya.

D. Analisis Data

Setelah tahap pengolahan, data yang telah diubah dan dikoreksi menggunakan berbagai perangkat lunak, seperti *Microsoft Excel 2016*, *Ocean Data View 5.6.2*, *Watermass Analysis 1.0*, dan *OTHORPE 1.0*. Pengolahan data dengan menggunakan *Watermass Analysis 1.0* menghasilkan diagram suhu-salinitas, dan penggunaan *Ocean Data View* menghasilkan diagram penampang melintang dari data CTD dan HYCOM untuk mengidentifikasi karakteristik dan transformasi massa air. Adapun pengolahan dengan perangkat lunak *OTHORPE 1.0* menghasilkan *output* profil vertikal dan sebaran spasial dari nilai laju disipasi energi kinetik dan difusivitas *eddy* vertikal untuk analisis pencampuran massa air di wilayah kajian. Diagram alir dari proses analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Diagram alir proses analisis data.

1. Karakteristik Massa Air

Analisis karakteristik massa air dilakukan menggunakan perangkat lunak *Watermass Analysis 1.0* yang menghasilkan diagram T-S. Diagram T-S menunjukkan hubungan antara salinitas dan suhu yang berguna untuk menentukan densitas air pada berbagai kedalaman kolom air secara vertikal. Fungsi utama diagram T-S adalah untuk mengidentifikasi karakteristik dan sumber suatu massa air serta menjadi metode yang efektif dalam penelitian mengenai pencampuran massa air (Harsono *et al.*, 2023).

2. Transformasi Massa Air

Diagram penampang vertikal (*vertical cross-section*) digunakan untuk menganalisis distribusi atau pergerakan massa air, dan dapat dibuat menggunakan perangkat lunak *Ocean Data View (ODV)*. Dalam diagram ini, sumbu X mewakili jarak atau posisi stasiun penelitian, yang memungkinkan kita untuk melihat variasi spasial sepanjang jalur penelitian. Sumbu Y menunjukkan densitas potensial, yang mencerminkan perubahan dalam kolom air yang disebabkan oleh variasi dalam suhu dan salinitas. Densitas potensial penting karena memberikan gambaran tentang stabilitas kolom air dan membantu mengidentifikasi lapisan air dengan sifat yang berbeda. Sementara itu, sumbu Z menampilkan salinitas yang merupakan salah satu parameter kunci dalam menentukan karakteristik massa air. Dengan melihat variasi salinitas pada kedalaman yang berbeda, kita bisa memahami pergerakan massa air, proses pencampuran, dan interaksi antar lapisan. Melalui interpolasi data dan representasi grafis ini, diagram penampang vertikal memberikan wawasan yang mendalam tentang struktur vertikal dan dinamika massa air di wilayah penelitian.

3. Pencampuran Massa Air

Kuantifikasi pencampuran turbulen dilakukan dengan menghitung laju disipasi dan difusivitas *eddy* vertikal. Metode Thorpe merupakan metode pendekatan estimasi tidak langsung untuk menentukan laju disipasi akibat turbulensi *eddy*. Estimasi pencampuran didasarkan pada pembalikan densitas, metode yang diusulkan oleh Thorpe (1977). Metode Thorpe diawali dengan

menghitung Skala Thorpe atau Skala Panjang Thorpe (L_T) sebagai alat untuk memproyeksikan disipasi dan skala vertikal turbulensi yang dihasilkan. Skala Thorpe ini mewakili perpindahan parsel air dalam pencariannya untuk mencapai posisi stabil. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Dillon, 1982), terungkap bahwa terdapat keterkaitan linier antara Skala Thorpe (L_T) dan Skala Ozmidov (L_O). Berdasarkan penelitian Dillon (1982), rasio rata-rata keduanya memiliki nilai:

$$a = \frac{L_O}{L_T} = 0,8 \quad (3.1)$$

Oleh karena itu, dapat diperoleh formula untuk laju disipasi yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\varepsilon = 0.64L_T^2 \langle N \rangle^3 \quad (3.2)$$

di mana Skala Thorpe (L_T) didefinisikan sebagai berikut.

$$L_T = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

di mana n mewakili jumlah sampel dan d_i adalah *Thorpe displacement*. Kemudian, N adalah frekuensi gaya apung yang didefinisikan sebagai:

$$N^2 = - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (3.4)$$

Selain itu, Purwandana (2023) menyatakan bahwa metode Thorpe hanya mengestimasi energi kinetik turbulen di area dengan turbulensi yang besar, menyebabkan area tanpa pembalikan parsel yang tidak terdeteksi. Oleh karena itu, diperlukan tingkat disipasi latar belakang di area tersebut, yang mengikuti tingkat disipasi terkait dengan medan gelombang Garret dan Munk (GM) (Garrett *et al.*, 1975; Purwandana *et al.*, 2020). Purwandana (2023) merumuskan pengaturan laju disipasi latar sebagai berikut:

$$\varepsilon = \begin{cases} 0.64L_T^2 N^3, & \text{ketika ada pembalikan} \\ \max \left(1 \times 10^{-10}, \varepsilon_0 \left(\frac{N^2}{N_0^2} \right) \right), & \text{ketika tidak ada pembalikan} \end{cases} \quad (3.5)$$

di mana nilai $10^{-10} \text{ W kg}^{-1}$ merupakan nilai laju disipasi terendah yang terukur melalui mikrostruktur di Laut Banda (Bouruet-Aubertot *et al.*, 2018; Koch-Larrouy *et al.*, 2015).

Turbulensi juga terjadi akibat dispersi partikel material lewat proses difusi, sehingga nilai turbulensi vertikalnya dapat dihitung menggunakan perhitungan difusivitas *eddy* (K_ρ), dengan persamaan (Park *et al.*, 2008):

$$K_\rho = \frac{\gamma \mathcal{E}}{N^2} \quad (3.6)$$

di mana γ adalah konstanta efisiensi pencampuran dengan nilai 0,2 berdasarkan Osborn (1980).