

*Skripsi Geofisika*

**ANALISIS VARIASI ARUS LINTAS INDONESIA MENGGUNAKAN  
METODE *EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION*  
STUDI KASUS: LAUT ARAFURA**

Disusun dan diajukan oleh

AINUL MARDIAH

H22115022



**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**ANALISIS VARIASI ARUS LINTAS INDONESIA MENGGUNAKAN  
METODE *EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION***

**STUDI KASUS: LAUT ARAFURA**

Skripsi Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Memenuhi Syarat

Untuk Mencapai Gelar Sarjana



**AINUL MARDIAH**

**H22115022**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI ARUS LINTAS INDONESIA MENGGUNAKAN  
METODE *EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNCTION***

**STUDI KASUS: LAUT ARAFURA**

Disusun dan diajukan oleh

**AINUL MARDIAH**

**H22115022**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi, Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Pada tanggal 8 Januari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. Sakka, M.Si  
NIP. 196410251991031001

Pembimbing Pertama



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng  
NIP. 196709291993031003

Ketua Program Studi



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng  
NIP. 196709291993031003

### PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ainul Mardiah  
NIM : H22115022  
Program Studi : Geofisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Analisis Variasi Arus Lintas Indonesia Menggunakan Metode *Empirical Orthogonal Function* Studi Kasus: Laut Arafura”

Adalah karya tulisan tangan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 08 Januari 2021

ng menyatakan  
  
Ainul Mardiah

## ABSTRAK

Sirkulasi laut Indonesia dipengaruhi oleh dua sistem arus utama, salah satunya yaitu Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Arlindo berperan penting dalam pembentukan *ENSO* serta sirkulasi termohalin yang kemudian memengaruhi iklim secara global melalui penyaluran bahang dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia melalui perairan Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi parameter oseanografi yaitu suhu, salinitas, dan sigma-t ( $\sigma_t$ ) serta variasi Arlindo secara spasial dan temporal menggunakan metode EOF di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m selama 132 bulan. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan pola – pola dominan yang ditentukan oleh data. Cara kerja dari metode ini adalah mereduksi data yang berukuran besar menjadi beberapa mode EOF tanpa menghilangkan informasi dari data asli. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data model terdiri dari data suhu, salinitas, dan arus (komponen zonal dan meridional) keluaran dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Data sigma-t ( $\sigma_t$ ) diperoleh dari data suhu dan salinitas. Hasil analisis terhadap data suhu, salinitas, sigma-t ( $\sigma_t$ ), dan arus memperoleh tiga mode EOF terbesar dengan total persentase varians masing masing data sebesar 98,2 % untuk data suhu, 88% untuk data salinitas, 89,9% untuk data sigma-t ( $\sigma_t$ ), dan 95,2% untuk data arus.

**Kata Kunci:** Arlindo, ENSO, Suhu, Salinitas, Sigma-t ( $\sigma_t$ ) dan CMEMS

## ABSTRACT

*Indonesian marine circulation is influenced by two mainline system, one of which is the Indonesian Through Flow (ITF). ITF plays an important role in the formation of ENSO and the thermohaline circulation which then affects the global climate by channeling heat from the Pasific Ocean to the Indian Ocean through Indonesian waters. This study aims to analyze ITF variations and oceanographic parameters, namely temperature, salinity, and sigma-t ( $\sigma_t$ ) spatially and temporally using the EOF method in the Arafura Sea at a depth of 0.5 m for 132 months. This method aims to obtain dominant patterns determined by data. The way this method works is to reduce large data into several EOF modes without removing information from the original data. This research was conducted using a data model consisting of temperature, salinity, and current data (zonal and meridional components) output from the Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). The sigma-t ( $\sigma_t$ ) data is obtained from temperature and salinity data. The results of the analysis of temperature, salinity, sigma-t ( $\sigma_t$ ), and current data obtained the three largest EOF modes with a total percentage of variance of each data of 98.2% for temperature data, 88% for salinity data, 89.9% for sigma-t ( $\sigma_t$ ) data, and 95.2% for current data.*

**Keywords:** *ITF, ENSO, Temperature, Salinity, Sigma-t ( $\sigma_t$ ), and CMEMS*

## PRAKATA



*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah Rabbil 'alamin*, puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* karena berkat rahmat dan limpahan karunia\_NYA, yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah atas junjungan Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wa sallam*. Semoga sunnah – sunnah beliau dapat kita amalkan dalam kehidupan sehari – hari. Beliau merupakan sang teladan terbaik yang patut di contoh selama kita hidup di dunia.

Alhamdulillah, tak lupa penulis ucapkan syukur dan do'a sehingga penyusunan skripsi yang berjudul “**Variasi Arus Lintas Indonesia Menggunakan Metode Empirical Orthogonal Function Studi Kasus: Laut Arafura**” bisa terselesaikan. Apresiasi dan ucapan terima kasih penulis kepada kedua orangtua, terutama ibunda **Dra. Rahma Abubakar** yang selalu memberikan do'a dan penyemangat bagi penulis untuk menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, motivasi, waktu dan pikiran untuk mendampingi penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebanyak - banyaknya dan penghargaan kepada :

1. Bapak **Dr. Sakka, M.Si.**, selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Muhammad Alimuddin Hamzah, M.Eng.**, selaku pembimbing pertama di kampus yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memberi nasihat, motivasi, dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

2. Bapak **Prof. Dr. Dadang Ahmad Sumiarhardja, M.Eng.**, dan Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si, M.Si .**, selaku tim penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi.
3. Seluruh **Dosen Departemen Geofisika** dan **Staf Departemen** serta **Fakultas MIPA** atas ilmu pengetahuan selama masa studi yang telah diajarkan dan pelayanan yang telah diberikan.
4. **Besse Tenri Pada, Rahayu Nindah, Yulmiati, Sufridah Hardianti, Dewi Ayu Swastika, Riatna, Dewi Fadillah, Fatma Jamil, Sakinah, Tirta Putra Adikusuma, Irhamiah Marjan Ence, Jihan Faizatul Rahmah Mardanillah, Iesous Rismilda De Fretes, Suci Firmansyah, Annisa Maqvirah, dan Fitriyani Abdullah.** Terima kasih telah memberikan banyak dukungan dan untuk setiap momen suka dan duka selama bersama.
5. Seluruh teman-teman **Geofisika 2015**, yang telah memberikan dukungan dan saling membantu dalam penyelesaian studi ini.
6. Seluruh teman-teman **F15IKA**, yang telah memberikan banyak dukungan dan pengalaman kepada penulis. Terimakasih untuk setiap momen suka dan duka yang tak terlupakan selama bersama. Salam **SATU DALAM DEKAPAN.**
7. Keluarga **Himpunan Mahasiswa Geofisika (HMGF), Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI), dan KM FMIPA UNHAS**, terima kasih kesempatan berorganisasi yang telah diberikan serta atas kebersamaan dan pengalamannya. **USE YOUR MIND BE THE BEST.**

8. Kepada **teman-teman posko KKN G-100 Nur Yaumil Akhir, Fannya Ayuniar, Charina, Helmi Handika, Sompoan Teguh Satria, Hamas Al Asad Fanna, Muktamar Husain, Muh. Erwin, dan Asli.** Terima kasih atas setiap waktu yang menyenangkan selama masa KKN bersama.
9. Serta terima kasih banyak penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah mendo'akan dan memberikan semangat kepada penulis yang tak sempat penulis sebutkan namanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Olehnya itu penulis meminta maaf apabila terdapat kesalahan – kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya itu merupakan kesalahan penulis sendiri bukan dari pihak yang telah membantu. Karena penulis hanya manusia biasa yang tak luput dari kesalahan. Harapan penulis semoga tulisan ini bermanfaat bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

**Makassar, 8 Januari 2021**

**Penulis**

## DAFTAR ISI

SAMPUL	
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Ruang Lingkup .....	5
I.4 Tujuan Penelitian .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
II.1 Arus Lintas Indonesia.....	6
II.2 Suhu .....	10
II.3 Salinitas .....	12
II.4 Densitas .....	13
II.5 Metode <i>Empirical Orthogonal Function</i> (EOF).....	14

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
III.1 Lokasi Penelitian.....	17
III.2 Alat dan Bahan.....	18
III.3 Tahapan Penelitian.....	18
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>22</b>
IV.1 Suhu .....	23
IV.1.1 Sebaran Spasial dan Temporal Suhu .....	23
IV.1.2 Sebaran Spasial dan Temporal Suhu Setelah Detrend.....	27
IV.1.3 Sebaran Spasial dan Temporal Anomali Suhu .....	30
IV.2 Salinitas.....	36
IV.2.1 Sebaran Spasial dan Temporal Salinitas.....	36
IV.2.2 Sebaran Spasial dan Temporal Salinitas Setelah Detrend.....	40
IV.2.3 Sebaran Spasial dan Temporal Anomali Salinitas.....	43
IV.3 Sigma-t ( $\sigma_t$ ) .....	48
IV.3.1 Sebaran Spasial dan Temporal Sigma-t ( $\sigma_t$ ) .....	48
IV.3.2 Sebaran Spasial dan Temporal Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Setelah Detrend.....	52
IV.3.3 Sebaran Spasial dan Temporal Anomali Sigma-t ( $\sigma_t$ ) .....	55
IV.4 Arus.....	60
IV.4.1 Sebaran Spasial dan Temporal Arus.....	60
IV.4.2 Sebaran Spasial dan Temporal Arus Setelah Detrend.....	64
IV.4.3 Sebaran Spasial dan Temporal Anomali Arus.....	68
IV.5 Lintasan Arlindo di Laut Arafura .....	73
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>75</b>
V.I Kesimpulan .....	75

V.II Saran .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Lintasan Arlindo .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Profil Menegak Suhu .....	12
<b>Gambar 3.1</b> Lokasi Penelitian .....	17
<b>Gambar 4.1</b> Sebaran Spasial Rata-Rata Suhu Selama 132 Bulan .....	24
<b>Gambar 4.2</b> Sebaran Spasial Suhu Secara Musiman .....	25
<b>Gambar 4.3</b> Keterangan Posisi Titik A dan B .....	26
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Temporal Suhu Pada Titik A dan B .....	27
<b>Gambar 4.5</b> Sebaran Spasial Suhu Setelah Detrend .....	28
<b>Gambar 4.6</b> Sebaran Spasial Suhu Setelah Detrend Secara Musiman .....	29
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Temporal Suhu Setelah Detrend Pada Titik A dan B.....	30
<b>Gambar 4.8</b> Sebaran Spasial Anomali Suhu Mode 1, 2, dan 3 .....	34
<b>Gambar 4.9</b> Grafik Temporal Anomali Suhu Mode 1, 2, dan 3 .....	36
<b>Gambar 4.10</b> Sebaran Spasial Rata-Rata Salinitas Selama 132 Bulan.....	37
<b>Gambar 4.11</b> Sebaran Spasial Salinitas Secara Musiman .....	38
<b>Gambar 4.12</b> Grafik Temporal Salinitas Pada Titik A dan B.....	39
<b>Gambar 4.13</b> Sebaran Spasial Salinitas Setelah Detrend .....	41
<b>Gambar 4.14</b> Sebaran Spasial Salinitas Setelah Detrend Secara Musiman.....	41
<b>Gambar 4.15</b> Grafik Temporal Salinitas Setelah Detrend Pada Titik A dan B ...	42
<b>Gambar 4.16</b> Sebaran Spasial Anomali Salinitas Mode 1,2, dan 3 .....	46
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Temporal Anomali Salinitas Mode 1, 2, dan 3 .....	48
<b>Gambar 4.18</b> Sebaran Spasial Rata-Rata Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Selama 132 Bulan .....	49
<b>Gambar 4.19</b> Sebaran Spasial Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Secara Musiman.....	50

<b>Gambar 4.20</b> Grafik Temporal Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Pada Titik A dan B .....	51
<b>Gambar 4.21</b> Sebaran Spasial Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Setelah Detrend.....	53
<b>Gambar 4.22</b> Sebaran Spasial Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Secara Musiman.....	53
<b>Gambar 4.23</b> Grafik Temporal Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Setelah Detrend .....	
Pada titik A dan B.....	54
<b>Gambar 4.24</b> Sebaran Spasial Anomali Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Mode 1, 2, dan 3.....	58
<b>Gambar 4.25</b> Grafik Temporal Anomali Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Mode 1, 2, dan 3 .....	60
<b>Gambar 4.26</b> Sebaran Spasial Rata-Rata Kecepatan Arus Selama 132 Bulan....	61
<b>Gambar 4.27</b> Sebaran Spasial Kecepatan Arus Secara Musiman .....	62
<b>Gambar 4.28</b> Grafik Temporal Kecepatan Arus Pada Titik A dan B.....	64
<b>Gambar 4.29</b> Sebaran Spasial Kecepatan Arus Setelah Detrend.....	65
<b>Gambar 4.30</b> Sebaran Spasial Kecepatan Arus Setelah Detrend.....	
Secara Musiman .....	66
<b>Gambar 4.31</b> Grafik Temporal Kecepatan Arus Setelah Detrend .....	
Pada Titik A dan B .....	67
<b>Gambar 4.32</b> Sebaran Spasial Anomali Kecepatan Arus Mode 1,2, dan 3 .....	71
<b>Gambar 4.33</b> Grafik Temporal Anomali Kecepatan Arus Mode 1, 2, dan 3.....	73
<b>Gambar 4.34</b> Lintasan Arlindo di Laut Arafura .....	74

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Nilai Eigen, Persentase Varians dan Total Persentase Varians.....	
Anomali Suhu .....	32
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Eigen, Persentase Varians dan Total Persentase Varians.....	
Anomali Salinitas .....	44
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Eigen, Persentase Varians dan Total Persentase Varians.....	
Anomali Sigma-t ( $\sigma_t$ ) .....	56
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Eigen, Persentase Varians dan Total Persentase Varians.....	
Anomali Kecepatan Arus.....	69

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1** Indeks Nino 3.4

**Lampiran 2** Script Matlab Pengolahan Data Suhu Secara Spasial dan Temporal

**Lampiran 3** Script Matlab Pengolahan Data Salinitas Secara Spasial dan  
Temporal

**Lampiran 4** Script Matlab Pengolahan Data Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Secara Spasial dan  
Temporal

**Lampiran 5** Script Matlab Pengolahan Data Arus Secara Spasial dan Temporal

**Lampiran 6** Script Matlab Analisis Data Suhu Menggunakan Metode EOF

**Lampiran 7** Script Matlab Analisis Data Salinitas Menggunakan Metode EOF

**Lampiran 8** Script Matlab Analisis Data Sigma-t ( $\sigma_t$ ) Menggunakan Metode  
EOF

**Lampiran 9** Script Matlab Analisis Data Arus Menggunakan Metode EOF

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Sirkulasi laut Indonesia dipengaruhi oleh dua sistem arus utama, salah satunya yaitu Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang disebabkan oleh bertiupnya angin pasat timur yang mengakibatkan permukaan laut bagian barat Samudera Pasifik lebih tinggi dibandingkan bagian timur Samudera Hindia. Fenomena tersebut mengakibatkan mengalirnya massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia melalui perairan Indonesia yang merupakan jalur penghubung antara dua massa air ini. Menurut Gordon (1986) dan Godfrey (1996), sistem arus ini berperan penting dalam pembentukan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) serta penting dalam sirkulasi termohalin yang kemudian mempengaruhi iklim secara global melalui penyaluran bahang dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia (Horhoruw, 2016).

Variabilitas Arlindo berkaitan dengan dinamika laut atmosfer di wilayah Indo-Pasifik. Dalam skala waktu intra musiman dan musiman, fluktuasi Arlindo berhubungan erat dengan dinamika laut atmosfer di wilayah ekuator seperti *Madden Julian Oscillation* (MJO), kedatangan gelombang Kelvin Hindia, dan Rossby Pasifik, serta monsun Asia-Australia. Dalam skala waktu antar tahun, Arlindo juga dipengaruhi oleh dinamika interaksi laut atmosfer di Samudera

Pasifik dan Hindia, seperti fenomena *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) (Atmadipoera dkk, 2016).

Variabilitas Arlindo dapat dianalisis dengan menggunakan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) (Hannachi, 2007). Metode EOF bertujuan untuk mereduksi data yang berukuran besar menjadi beberapa mode *Orthogonal Function* tanpa menghilangkan varians dari data asli. Tujuan lain dari metode EOF adalah untuk memisahkan keterkaitan data spasial dan temporal, sehingga dapat dihasilkan sebuah kombinasi linear yang sesuai dengan ruang dan waktu (Robial, 2016).

Safitri, Cahyarini, dan Putri (2012) mengkaji variasi transport Arlindo, salinitas dan temperature di permukaan Laut Timor. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa adanya pengaruh musim dan fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) terhadap transpor Arlindo, salinitas, dan temperature. Pada musim timur transpor Arlindo menjadi lebih kuat dibandingkan saat musim barat, nilai salinitas pada musim timur lebih tinggi dibandingkan musim barat dan nilai temperature lebih rendah pada musim timur. Sementara pada periode La Nina transpor Arlindo lebih tinggi dibandingkan pada periode El Nino, nilai salinitas lebih tinggi pada periode El Nino dan nilai temperature lebih tinggi pada periode La Nina. Hal tersebut dipengaruhi oleh sistem pergerakan dan perpindahan massa air yang terkait dengan periode terjadinya ENSO.

Horhoruw (2016) menganalisis struktur dan variabilitas Arlindo di kawasan Selat Makassar dengan menggabungkan data observasi hasil Ekspedisi Widya

Nusantara (EWIN) dan data hasil model *Infrastructure Development for Space Oceanography* (INDES0) (Rosmorduc, 2015), dengan penerapan analisis EOF. Hasil penelitian menunjukkan massa air Arlindo Selat Makassar didominasi oleh massa air dari Pasifik Utara, yaitu *North Pasific Subtropical Water* (NPSW) di lapisan termoklin dan *North Pasific Intermediate Water* (NPIW) di lapisan bawah termoklin. Hasil model INDES0 menunjukkan aliran Arlindo pada lapisan permukaan melemah selama musim barat yang diduga pengaruh pergerakan massa air di permukaan menuju ke arah utara sedangkan pada lapisan termoklin aliran Arlindo lebih kuat selama musim barat yang disebabkan oleh melemahnya *eddy* yang terbentuk di bagian Selatan Selat Makassar. Analisis temporal dengan menggunakan metode EOF menunjukkan variabilitas Arlindo di lapisan Permukaan 79,1 %, di lapisan termoklin 85,5 %, dan di lapisan bawah termoklin variasi Arlindo 87,3%.

Atmadipoera dan Galang (2017) mengkaji pola sirkulasi, struktur vertikal arus, dan variabilitas Arlindo di Laut Sulawesi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola sirkulasi Arlindo di Laut Sulawesi dicirikan dengan tiga wilayah arus yang unik yaitu poros utama aliran Arlindo dengan vektor arus yang kuat di sepanjang lintasannya, sirkulasi siklonik di bagian selatan Laut Sulawesi, dan sirkulasi antisiklonik di bagian utara Laut Sulawesi. Struktur vertikal arus menunjukkan kecepatan maksimum Arlindo sekitar 60 cm/s di kedalaman antara 150 m dan 250 m. Variabilitas Arlindo di Laut Sulawesi didominasi oleh periode skala intra musiman dengan puncak spektral energi antara 21 dan 59 hari.

Laut Arafura merupakan salah satu perairan yang terletak di bagian timur Indonesia yang sangat berpotensi untuk sumberdaya perikanan, hal ini dikarenakan adanya fenomena *upwelling* yang terjadi di perairan ini. Hidrodinamika laut Arafura sangat dipengaruhi oleh pasang surut, pola angin, dan laju massa air terangkut (*transport*) dari perairan disekitarnya serta profil batimetri yang kompleks juga sangat mempengaruhi pola arus. Arus dan transpor massa air utama yang terbentuk dari permukaan hingga dasar laut sangat dinamis, arus tersebut secara umum menyebabkan transpor massa air secara horizontal dan sirkulasi vertikal. Selain itu, Arlindo juga bervariasi secara musiman di perairan ini menyebabkan perubahan suhu permukaan laut dan interaksinya dengan angin monsun mempengaruhi interaksi laut – atmosfer sehingga berpotensi terjadinya *tropical cyclones* dan juga mempengaruhi pola hujan di daerah sekitar (Pranowo, 2012).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis variasi parameter oseanografi yaitu suhu, salinitas, dan sigma-t ( $\sigma_t$ ) serta variasi Arlindo secara spasial dan temporal menggunakan metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF) di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi parameter oseanografi yaitu suhu, salinitas, dan sigma-t ( $\sigma_t$ ) secara spasial dan temporal menggunakan metode EOF di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m?

2. Bagaimana variasi Arlindo secara spasial dan temporal menggunakan metode EOF di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m?

### **I.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data model *Copernicus Marine and Environment Monitoring Service* (CMEMS, 2016) selama 132 bulan dari bulan Januari 2008 sampai Desember 2018. Data yang digunakan terdiri dari data suhu, salinitas, dan arus. Data suhu dan salinitas kemudian digunakan untuk memperoleh data sigma-t ( $\sigma_t$ ) menggunakan aplikasi matlab. Selanjutnya, menghitung anomali dari setiap data yang digunakan untuk dianalisis menggunakan metode EOF.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis variasi parameter oseanografi yaitu suhu, salinitas, dan sigma-t ( $\sigma_t$ ) secara spasial dan temporal menggunakan metode EOF di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m.
2. Menganalisis variasi Arlindo secara spasial dan temporal menggunakan metode EOF di Laut Arafura pada kedalaman 0,5 m.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Arus Lintas Indonesia**

Arus Lintas Indonesia (Arlindo) atau lebih dikenal oleh para ahli oseanografi dengan istilah “*Indonesian Through Flow*” adalah aliran massa air antar Samudera yang melewati perairan Indonesia. Sebagai Negara yang diapit oleh dua lautan besar yakni Samudera Pasifik di bagian utara dan timur laut serta Samudera Hindia di bagian selatan dan barat daya Indonesia berlaku sebagai saluran bagi aliran massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia. Aliran massa air ini terjadi sebagai akibat adanya perbedaan tekanan antara kedua lautan tersebut (Wyrcki, 1987).

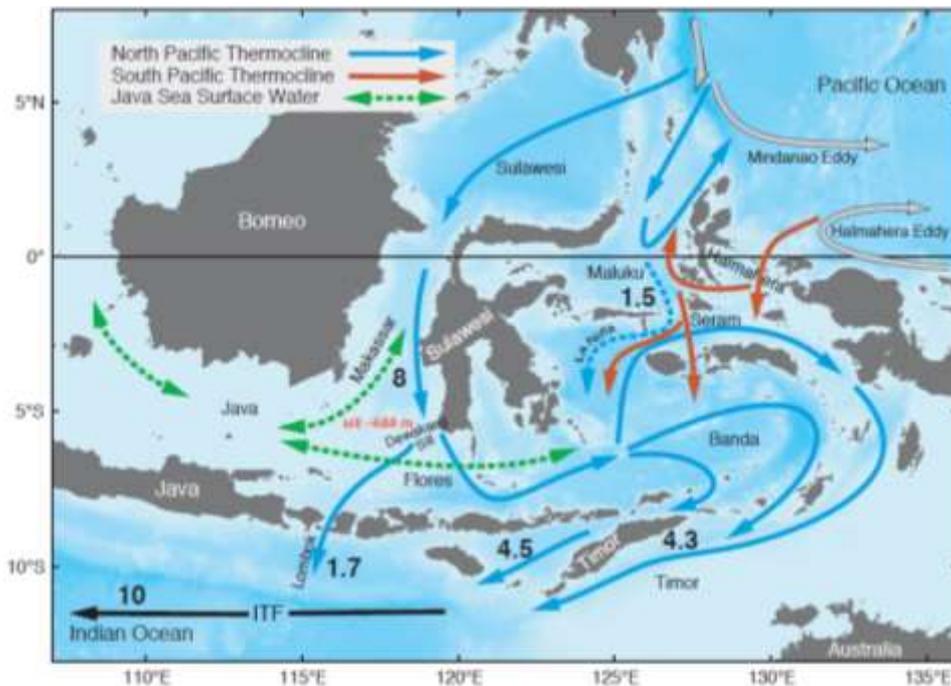
Dalam keadaan normal, di atas Pasifik bertiup angin pasat tenggara sepanjang tahun. Tenaga gesekan angin ini berfungsi mendorong massa air Pasifik ke arah barat. Sehingga terjadilah penumpukkan massa air di Pasifik bagian barat yang berada dekat dengan Indonesia. Sebagai akibat terjadinya perbedaan tinggi permukaan air antara Pasifik bagian barat dengan Samudera Hindia yang berada di selatan Indonesia. Menurut WYRTKI (1987), perbedaan tinggi antara dua permukaan Samudera ini nilainya bervariasi. Pada waktu monsun tenggara perbedaan tinggi muka lautan ini mencapai maksimum, setinggi 28 cm yang diukur antara Davao, Filipina (Pasifik) dan Darwin, Australia (Hindia). Sebaliknya pada waktu monsun barat perbedaan tinggi permukaan dua lautan ini

nilainya berada pada titik terendah yakni kurang dari 10 cm. Perbedaan ketinggian muka lautan inilah yang menyebabkan terjadinya gradien tekanan yang kemudian menimbulkan perpindahan massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia. Kehadiran Arlindo menambah kompleksnya proses fisis yang terjadi di perairan Indonesia, sebagai contoh adalah proses pencampuran (*mixing*) dua massa air yang berbeda, *upwelling*, *downwelling*, dan sebagainya. Proses-proses tersebut membawa pengaruh luas, tidak saja bagi bidang oseanografi, tetapi juga bagi bidang-bidang lain seperti perikanan, cuaca/iklim, serta lingkungan laut dan pantai (Hasanuddin, 1998).

### **II.1.1 Rute**

Proses Arlindo pertama kali diketahui dari hasil “Ekspedisi Snellius”, yang mengadakan penelitian oseanografi di seluruh cekungan yang ada di Laut Maluku pada tahun 1929 dan 1930. Dari sifat-sifat fisis air laut yang ditemukan di cekungan-cekungan laut tersebut disimpulkan bahwa massa air tersebut berasal dari Samudera Pasifik yang masuk ke perairan Indonesia. Kemudian di tahun 1960, dengan menggunakan Kapal Jalanidhi secara implisit penelitian Arlindo mulai dilakukan. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa ada tiga pintu masuk utama massa air Pasifik ke perairan Indonesia., yang pertama adalah Selat Makassar. Massa air yang berasal dari Pasifik utara memasuki laut Sulawesi lewat sebelah selatan Mindanao kemudian masuk ke perairan Indonesia melalui Selat Makassar, rute ini dinamakan dengan rute barat. Diujung akhir Selat Makassar jalur ini bercabang menjadi dua, sebagian langsung menuju Samudera

Hindia melewati Selat Lombok dan yang sebagian lagi berbelok ke timur melewati Laut Flores menuju Laut Banda. Di Laut Banda massa air ini mengalami pencampuran dengan massa air Pasifik yang masuk lewat Laut Halmahera, Laut Maluku dan Laut Seram. Untuk selanjutnya campuran massa air ini menyebar ke arah Samudera Hindia dengan melewati dua jalur. Jalur pertama adalah jalur yang berada antara Pulau Alor dan Pulau Timur atau lebih dikenal dengan Selat Ombai sedangkan jalur kedua adalah jalur yang berada di sebelah selatan Pulau Timor (Gordon, 1986). Pintu kedua masuknya massa air pasifik adalah Laut Maluku. Dari Laut Maluku massa air yang berasal dari Pasifik tersebut memasuki Laut Seram dengan melewati Selat Lifamatola yang terletak antara Pulau Lifamatola dan Pulau Obi, kemudian mengalir menuju ke Laut Banda (Ilahude dan Gordon, 1994). Pintu ketiga masuknya massa air pasifik adalah Laut Halmahera. Massa air dari Pasifik selatan yang dibawa oleh *New Guinea Coastal Current* langsung masuk ke Laut Halmahera, kemudian menuju ke Laut Seram dan Cekungan Aru. Disini terjadi pencampuran dengan massa air yang datang dari Laut Banda. Akhirnya massa air ini masuk lewat bagian timur Laut Timor menuju Samudera Hindia (Van Aken et al.; Fieux dalam Hasanuddin, 1998).



**Gambar 2.1** Lintasan Arlindo (Gordon, 2005)

### II.1.2 Asal Massa Air

Ada dua jenis massa air yang merupakan komponen Arlindo, yakni massa air yang berasal dari Pasifik utara dan massa air dari Pasifik selatan. Massa air dari Pasifik utara yang terdiri dari *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) masuk perairan Indonesia melalui Selat Makassar. Kehadiran NPSW dan NPIW di perairan Indonesia dikenali dari nilai salinitas tinggi dan NPIW memiliki nilai salinitas rendah. Di Selat Makassar massa air NPSW ditemukan pada kedalaman rata-rata 100-150 dbar (1 dbar kira kira sama dengan 1 meter). Kedua jenis massa air ini dari Selat Makassar sebagian langsung menuju ke Samudera Hindia lewat Selat Lombok, dan sebagian lagi ke arah Laut Flores menuju ke Laut Banda. Dalam perjalanannya ke Laut Banda

kedua massa air ini melemah sebagai akibat adanya pencampuran secara vertikal yang kuat yang merupakan karakteristik dari perairan Indonesia. Di rute timur massa air dari Pasifik Utara memasuki perairan Indonesia melalui Laut Maluku. Berbeda dengan di Selat Makassar, di Laut Maluku massa air dari Pasifik utara ini terdeteksi kuat hanya di Laut Maluku bagian utara. Dibagian tengah dan selatan terdeteksi sangat lemah. Hanya sebagian kecil dari massa air ini yang kemudian memasuki Laut Seram dan akhirnya ke Laut Banda. Di bagian selatan Laut Maluku massa air pada termoklin Pasifik Selatan masuk Laut Seram melalui laut Halmahera dengan didorong oleh *New Guinea Coastal Under Current* (Hasanuddin, 1998).

## **II.2 Suhu**

Suhu merupakan salah satu parameter air laut yang sangat penting. Suhu adalah suatu besaran fisika yang menyatakan banyaknya bahang (*heat*) yang terkandung dalam suatu benda. Suhu pada umumnya diukur dalam satuan derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Sinar matahari merupakan sumber bahang bagi perairan (Weyl, 1970).

Pancaran energi matahari yang sampai ke permukaan laut akan diserap oleh massa air. Pada umumnya perairan yang banyak menerima bahang dari matahari adalah daerah yang terletak pada daerah lintang rendah dan akan semakin berkurang bila letaknya semakin mendekati kutub. Suhu air laut di daerah sekitar khatulistiwa pada umumnya tinggi (Sverdrup *et al.*, 1942).

Suhu permukaan laut umumnya dipengaruhi oleh kondisi meteorologis. Faktor-faktor meteorologis yang berperan adalah evaporasi, presipitasi, kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari. Suhu air laut bervariasi tergantung pada kedalaman, sirkulasi massa air, turbulensi, kondisi geografis, dan jarak dari sumber panas seperti gunung berapi di bawah air, di mana suhu ini akan menurun seiring bertambahnya kedalaman (King, 1963).

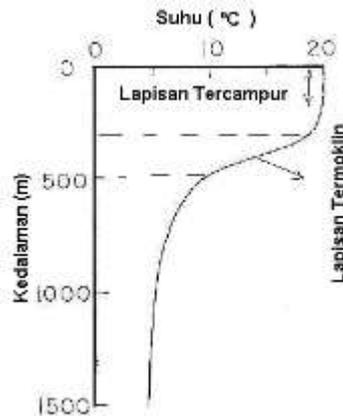
Suhu air laut berkisar antara  $-2^{\circ}\text{C}$  hingga  $30^{\circ}\text{C}$ , nilai terendah terjadi di daerah kutub (King, 1963). Rata-rata variasi tahunan suhu pada lapisan permukaan daerah khatulistiwa kurang dari  $2^{\circ}\text{C}$ , kecuali Laut Banda, Laut Arafura dan Laut Timor memiliki nilai yang tinggi antara  $3 - 4^{\circ}\text{C}$  yang sama dengan daerah selatan Jawa (Wyrski, 1961).

Nilai suhu maksimum dipengaruhi oleh proses pemanasan yang kuat dan kondisi angin yang bertiup melemah di permukaan laut. Sedangkan suhu minimum dipengaruhi oleh tingginya presipitasi dan angin yang bertiup cukup kuat, yang pada umumnya terjadi pada Musim Barat (Desember - Februari).

Menurut Richard dan Davis, 1991, suhu perairan secara vertikal dikelompokkan menjadi tiga zona, yaitu:

- a. Lapisan permukaan (*homogeneous layer*),
- b. Lapisan termoklin (*thermocline layer*),
- c. Lapisan dalam (*deep layer*) yang merefleksikan ciri khas asal massa air tiap lintang.

Profil sebaran menegak suhu yang menunjukkan letak lapisan tercampur dan lapisan termoklin dapat dilihat pada berikut ini (Pickard, 1970).



**Gambar 2.2** Profil menegak suhu

### II.3 Salinitas

Salinitas merupakan parameter fisika laut yang sangat penting selain suhu. Salinitas menunjukkan jumlah gram garam terlarut yang terkandung dalam satu kilogram air laut. Salinitas merupakan salah satu parameter yang dapat dimanfaatkan dalam mempelajari karakteristik massa air suatu perairan (Pickard, 1970).

Sebaran salinitas lebih bervariasi dibandingkan dengan sebaran suhu pada umumnya di kawasan tropis (Wyrki, 1961). Sebaran salinitas di laut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti presipitasi, evaporasi, masukan air tawar (*run off*), proses pengadukan (*mixing*), serta perubahan arus akibat pergantian musim. Pada Musim Barat (Desember-Februari) akan terjadi penurunan nilai salinitas air laut akibat masukan air tawar dan presipitasi dalam jumlah yang besar. Daerah dengan evaporasi yang lebih tinggi dibandingkan presipitasi memiliki nilai salinitas yang

tinggi. Pengaruh perubahan arus akibat pergantian musim terhadap nilai salinitas dapat diketahui dari perbedaan letak isohalin. Di perairan Indonesia, isohalin pada Musim Barat bergerak lebih ke timur dan sebaliknya pada Musim timur (Ilahude, 1999).

Sebaran vertikal salinitas di suatu perairan dibagi dalam tiga lapisan, yaitu lapisan permukaan (*homogeneous layer*), lapisan haloklin, dan lapisan dalam. Ketebalan lapisan homogen lebih tergantung pada kekuatan pengadukan. Pada perairan dangkal, angin dapat melakukan pengadukan massa air lapisan atas sehingga membentuk lapisan homogen dengan ketebalan 50 – 70 m. Pada lapisan dengan salinitas homogen, suhu biasanya homogen. Lapisan haloklin ditandai dengan perubahan salinitas secara drastis seiring bertambahnya kedalaman. Lapisan terakhir terletak mulai dari batas bawah lapisan haloklin sampai dasar perairan (Ross, 1970).

#### **II.4 Densitas**

Densitas ( $\rho$ ) didefinisikan sebagai massa per unit volume dengan unit ( $\text{kg/m}^3$ ). Stewart (2003) menyatakan densitas di laut tidak dapat diukur secara langsung melalui suatu alat ukur. Densitas diukur menggunakan data suhu, salinitas, dan tekanan yang diukur secara langsung. Perhitungan ini memiliki ketelitian sampai lima angka di belakang koma. Pada umumnya nilai densitas air pada permukaan laut berkisar  $1027 \text{ kg/m}^3$ . Agar lebih praktis dan karena perubahan nilai densitas hanya dalam dua digit terakhir, maka para ilmuwan menggunakan suatu kuantitas

yang disebut sebagai sigma (s, t, p) yang merupakan fungsi dari suhu, salinitas, dan tekanan (Stewart, 2003 dalam Cahyaningrum, 2009) :

$$\sigma (s,t,p) = [\rho (s,t,p) - 1000] \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

$\rho (s,t,p)$  adalah densitas in situ yang merupakan fungsi dari salinitas, suhu, dan tekanan.

Densitas air laut akan meningkat akibat dari peningkatan nilai salinitas dan tekanan serta penurunan nilai suhu. Secara tidak langsung, perubahan nilai densitas dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempengaruhi nilai suhu dan salinitas. Proses pemanasan yang terjadi di suatu permukaan laut dapat menyebabkan perubahan pada nilai densitasnya. Densitas air laut lebih besar dari air murni disebabkan terdapatnya kandungan air garam dalam air laut. Seperti halnya lapisan termoklin pada pelapisan suhu dan lapisan haloklin pada pelapisan salinitas, pelapisan densitas pada suatu perairan akan menghasilkan lapisan piknoklin. Densitas pada lapisan piknoklin mengalami peningkatan yang drastis seiring meningkatnya kedalaman. Ketebalan lapisan ini berbeda-beda untuk tiap wilayah perairan. Menurut Wyrski (1961), ketebalan lapisan ini dipengaruhi oleh proses dinamik. Di perairan Indonesia bagian timur, tidak berkembang arus dalam sehingga lapisan ini mencapai kedalaman antara 120 – 160 m (Cahyaningrum, 2009).

## **II.5 Metode *Empirical Orthogonal Function* (EOF)**

*Empirical Orthogonal Function* (EOF) merupakan suatu metode untuk menentukan pola – pola dominan yang ditentukan oleh data dan berevolusi dalam

ruang dan waktu (Robial, 2016). Tujuan utama dari analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) adalah mereduksi sejumlah besar variabel data menjadi hanya beberapa variabel tanpa mengubah sebagian besar varians dari data asli (Hannachi, 2004). Analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) mendekomposisi data dalam bentuk  $u_k(s)$  mewakili variabilitas spasial dan  $c_k(t)$  mewakili variabilitas temporal, sehingga bentuk umum persamaannya dapat ditulis sebagai berikut (Hannachi, 2007):

$$X(t,s) = \sum_{k=1}^M c_k(t)u_k(s) \quad (2)$$

Data grid yang terdiri dari bidang spasial dan waktu  $X(t,s)$  mewakili nilai dari bidang  $X$  pada waktu  $t$  dan posisi spasial  $s$ . Nilai bidang pada waktu  $t_i$  dan posisi spasial  $s_j$  diwakili  $x_{ij}$  untuk  $i = 1, \dots, n$  dan  $j = 1, \dots, p$ . Bidang yang diamati kemudian diwakili oleh matriks data berikut ini:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Perata-rataan waktu pada grid ruang ke- $j$  disimbolkan dengan  $\bar{x}_j$ , diberikan oleh persamaan berikut ini:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{kj} \quad (4)$$

Atau dengan menggunakan matriks, perata-rataan pada persamaan (4) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\bar{x} = (\bar{x}_{.1}, \dots, \bar{x}_{.p}) \quad (5)$$

Selanjutnya menentukan anomali dari bidang yang diamati dengan menggunakan persamaan berikut:

$$X'_{ts} = X_{ts} - \bar{x}_{.s} \quad (6)$$

Setelah menentukan nilai anomali, selanjutnya mendefinisikan matriks kovarians dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{n} X'^T X' \quad (7)$$

Matriks S pada persamaan (7) memuat kovarians antar grid yang dapat menjelaskan varians maksimum yaitu dengan menentukan arah  $u = (u_1, \dots, u_p)^T$  sehingga  $X'u$  memiliki variabel maksimum yang hasilnya sebagai berikut:

$$\max(u^T S u) \text{ dengan } u^T u = 1 \quad (8)$$

Dengan menggunakan *Eigenvalue Problem* (EVP) diperoleh solusi untuk persamaan (8) sebagai berikut:

$$S u = \lambda^2 u \quad (9)$$

Selanjutnya nilai varians dapat dihitung dalam bentuk persentase sebagai berikut:

$$\textit{Explained variance} = \frac{100 \lambda_k^2}{\sum_{k=1}^p \lambda_k^2} \% \quad (10)$$

Anomali  $X'$  pada EOF ke – k yaitu  $u_k = (u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{kp})^T$ , misalkan jika  $a_k = X' u_k$  adalah mode (komponen utama) ke – k maka komponen  $a_{tk}, t = 1, \dots, n$  sebagai berikut:

$$a_{tk} = \sum_{j=1}^p X'_{tj} u_{kj} \quad (11)$$