

DISERTASI

**ANALISIS DINAMIKA STRUKTUR DAN
VARIABILITAS ARUS LINTAS INDONESIA
(ARLINDO) BERDASARKAN HASIL OBSERVASI
DAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Doktor ILMU MIPA**



**AMIROTUL BAHYAH
NIM. 08013682227004**

**PROGRAM STUDI ILMU MIPA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS DINAMIKA STRUKTUR DAN VARIABILITAS ARUS
LINTAS INDONESIA (ARLINDO) BERDASARKAN HASIL OBSERVASI
DAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA**

DISERTASI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor ILMU
MIPA Universitas Sriwijaya

Diusulkan oleh: AMIROTUL BAHYAH

NIM: 08013682227004

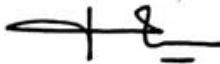
Telah disetujui pada tanggal 17 Juni 2025

Promotor

Prof. Dr. Iskhag Iskandar., M. Sc.

NIP: 197110041997021001

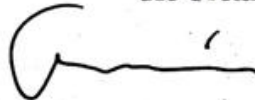
Ko-Promotor I



Dr. Wijaya Mardiansyah, M. Si

NIP: 197303051998031003

Ko-Promotor II



Prof. Dr. Sc. Anindya Wirasatriya, M. Si, M. Sc

NIP: 197711192003121003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, Ph.D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah Disertasi berikut dengan judul "Analisis Dinamika Struktur dan Variabilitas Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) berdasarkan Hasil Observasi dan Pemodelan Hidrodinamika" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Juni 2025.

Palembang, 17 Juni 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Disertasi:

Ketua & Sekretaris:

1. Prof. Hermansyah, Ph.D.
NIP. 197111191997021001
2. Prof. Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 196704191993031001

(.....)

(.....)

Tim Promotor:

1. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar., M. Sc.
NIP. 197110041997021001
2. Dr. Wijaya Mardiansyah, M. Si.
NIP. 197303051998031003
3. Prof. Dr. Sc. Anindya Wirasatriya, M. Si, M. Sc.
NIP. 197711192003121003

(.....)

(.....)

(.....)

Tim Penguji

1. Prof. Dr. Muhammad Irfan, M. T.
NIP. 196409131990031003
2. Dr. Netty kurniawati, M. Si.
NIP. 197201031997022002
3. Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si.
NIP. 197110081998021001

(.....)

(.....)

(.....)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Hermansyah, Ph.D.
NIP. 197111191997021001

Ketua Program Studi
Doktor Ilmu MIPA

(.....)

Prof. Dr. Dedi Rohendi, M.T.
NIP. 1967041919930311001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amirotul Bahiyah

NIM : 08013682227004

Judul Disertasi: Analisis Dinamika Struktur dan Variabilitas Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) berdasarkan Hasil Observasi dan Pemodelan Hidrodinamika

Menyatakan bahwa Disertasi saya adalah hasil karya pribadi dan disusun dengan pendampingan dari tim promotor beserta ko-promotor dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya berdasarkan aturan yang berlaku apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak lain.

Palembang, 17 Juni 2025

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amirotul Bahiyah

NIM : 08013682227004

Judul Disertasi : Analisis Dinamika Struktur dan Variabilitas Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) berdasarkan Hasil Observasi dan Pemodelan Hidrodinamika

Memberikan perizinan kepada Promotor dan pihak Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan data penelitian saya dalam Disertasi ini untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu satu tahun karya ilmiah Disertasi ini. Saya setuju menempatkan Promotor saya sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sepenuhnya sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak lain.

Palembang, 17 Juni 2025

Yang bertanda tangan,

 
Amirotul Bahiyah
NIM. 08013682227004

PRAKATA

Alhamdulillah rabbil 'alamin, rasa syukur penulis haturkan kepada Allah SWT, tuhan semesta alam yang Maha Pengasih, Maha Penyayang. Dalam proses penulisan laporan penelitian Disertasi ini, penulis sadari bahwa penyelesaian hasil yang baik dan tepat waktu merupakan anugerah dan pertolongan-Nya. Laporan penelitian Disertasi dengan judul “Analisis Dinamika Struktur dan Variabilitas Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) berdasarkan Hasil Observasi dan Pemodelan Hidrodinamika” menjadi bagian dari tahap laporan penelitian selama melaksanakan studi di Program Studi S3 Ilmu MIPA Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Penyelesaian penulisan laporan disertasi ini tidak terlepas dari arahan, saran, dan bantuan moril dan materil dari banyak pihak kepada penulis. Oleh karena itu, penulis menghaturkan rasa terima kasih dengan kesungguhan hati kepada:

1. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang memberikan kesempatan dan fasilitas pendidikan dan penelitian kepada penulis melalui program beasiswa Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) batch VI tahun 2021 dan program Peningkatan Kualitas Publikasi Internasional (PKPI) tahun 2023.
2. Bapak Profesor Dr. Iskhaq Iskandar., M. Sc., selaku promotor dan pembimbing PMDSU, serta Bapak Dr. Wijaya Mardiansyah, M. Si dan bapak Profesor Dr. Sc. Anindya Wirasatriya, M. Si, M. Sc. selaku ko-promotor atas bimbingan, arahan, saran dan komentar bagi penulis selama menempuh pendidikan dan penelitian disertasi.
3. Bapak Profesor Hermansyah, Ph.D., selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Profesor Drs. Dedi Rohendi, M.T., PhD, selaku ketua program studi S3 Ilmu MIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Profesor Prof. Dr. Muhammad Irfan, M. T, dan Ibu Dr. Netty kurniawati, M. Si, selaku dewan penguji yang telah memberikan saran dan

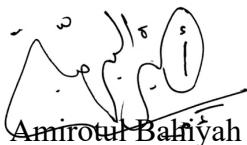
masuk dalam peningkatan kualitas penelitian dan penulisan laporan penelitian disertasi ini.

6. Professor Dr. Yukio Masumoto, selaku *host promotor* dari *The University of Tokyo* pada program PKPI atas bimbingan dan kolaborasinya, serta Dr. Janet Sprintall, selaku *host supervisor* dari *Scripps Institution of Oceanography*, UCSD atas bimbingan dan kolaborasinya.
7. Tim grup riset *Ocean-Atmosphere Interaction (OSFA)*, Universitas Sriwijaya; *Member of Physical Oceanography Research Group, The University of Tokyo*; rekan mahasiswa doktoral S3 Ilmu MIPA dan PMDSU; dan kolega di institusi lain atas bantuannya.
8. Kedua orang tua Bapak M. Maskuri, dan Ibu Maimunah atas perjuangan, didikan, kesabaran, restu, doa, dan upaya yang telah diusahakan kepada penulis. Penulis senantiasa berdoa dan berupaya berbakti atas perjuangan dan kasih sayang yang telah dilimpahkan, semoga Allah SWT senantiasa memberkati dan merahmati peran Bapak dan Ibu dalam kehidupan penulis.
9. Kakak Roidatul Khabibah, S.Pd., M.Pd, dan adik Abdul Rozak, S.T, serta Abdul Ghofur yang memberikan kelapangan hati untuk berbagi dan menyemangati.
10. dr. AMF, yang memberikan support dan menemani dengan sabar segala proses dan perjalanan studi.

Akhirnya, penulis berharap Disertasi ini dapat menjadi sumber literatur dan acuan pada penelitian selanjutnya serta bermanfaat secara meluas bagi pembaca dan masyarakat.

Palembang, 17 Juni 2025

Penulis,



Amrotul Khabibah

RINGKASAN

ANALISIS DINAMIKA STRUKTUR DAN VARIABILITAS ARUS LINTAS INDONESIA (ARLINDO) BERDASARKAN HASIL OBSERVASI DAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA

Karya tulis ilmiah berupa disertasi, Juni 2025

Amirotul Bahiyah; dibimbing oleh Prof. Dr. Iskhaq Iskandar., M.Sc., Dr. Wijaya Mardiansyah, M. Si, dan Prof. Dr. Sc. Anindya Wirasatriya, M. Si, M. Sc.

Program Studi Ilmu MIPA, Program Pascasarjana, Universitas Sriwijaya

xxiii + 118 halaman, 37 gambar, 8 tabel

Indonesia Maritime Continent (IMC) merupakan lokasi vital yang memiliki peran penting dalam sirkulasi global, baik sirkulasi laut (menawarkan satu-satunya jalur sirkulasi global di wilayah tropis) maupun atmosfer (menjadi bagian dari sirkulasi global walker). Dalam sirkulasi laut regional terkait dengan *the greater Southeast Asia Sea (SEAS)*, massa air Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) dipengaruhi oleh massa air Laut Cina Selatan (*South China Sea/SCS*) yang memiliki karakteristik *fresh*. Dibawah perubahan iklim yang semakin meningkat, sirkulasi lokal hingga global mengubah karakteristik ARLINDO secara signifikan. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika oseanografi di Laut Banda dan laut sekitarnya yang merupakan bagian dari jalur utama ARLINDO dan implikasinya terhadap perubahan iklim global, khususnya fenomena anomali iklim yang terjadi di wilayah Indo-Pasifik, yaitu fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan/atau *El Niño – Southern Oscillation* (ENSO). Keterkaitan erat antara dinamika lapisan permukaan dan lapisan dalam ARLINDO, anomali iklim Indo-Pasifik serta perubahan iklim lokal di wilayah Indonesia menjadi poin penting yang harus diperbarui secara berkala. Kajian ini memiliki kontribusi yang signifikan dalam pengembangan keilmuan terkait dalam memahami detil dinamika laut-atmosfer di jalur ARLINDO, dimana kajian ini akan ditinjau secara spasial dan temporal dengan memperhatikan dinamika struktur vertikal dari air laut khususnya di lapisan tercampur atau *mixed layer depth* (MLD) di wilayah Laut Banda dan sekitarnya. Analisis dilakukan dengan menggunakan pendekatan penginderaan jauh dengan mengintegrasikan data *insitu*, satelit atmosfer-laut, dan hasil pemodelan.

Penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahap. **Pertama**, analisis stratifikasi suhu-salinitas dan profil vertikal massa air ARLINDO di bawah pengaruh kejadian ENSO. Tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan dampak stratifikasi lautan akibat perubahan iklim yang berasal dari Samudra Pasifik tropis. **Kedua**, analisis temporal dan spasial sebaran salinitas permukaan dan lapisan dalam di Laut Banda dan laut sekitarnya. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pola sirkulasi laut di Indonesia secara musiman, khususnya di Laut Banda. **Ketiga**, analisis 3D perhitungan *salinity budget* yang diterapkan pada lapisan permukaan dan lapisan dalam dengan skala waktu penelitian yang lebih Panjang, yakni analisis antartahunan. Perbedaan analisis tahap kedua dan ketiga terletak pada skala waktu penelitian, wilayah kajian dan data yang digunakan, yakni data *insitu*-satelit (tahap kedua) dan data model OGCM (tahap ketiga).

Pada kondisi normal sepanjang tahun, saluran masuk ARLINDO memiliki nilai salinitas yang lebih tinggi dan massa air yang lebih dingin dibandingkan

saluran ARLINDO lainnya terutama pada saat musim angin barat laut. Sementara itu, diagram Temperatur-Salinitas (T-S) di Laut Indonesia menunjukkan nilai yang menurun dan meningkat kembali pada jalur keluar pada kedua parameter tersebut. Selama kejadian La Niña, massa air IMC sering digambarkan lebih *fresh* dan hangat, sementara keadaan sebaliknya digambarkan pada kejadian El Niño dengan pengecualian pada daerah *outlet*. Perubahan T-S yang ekstrim sebagian besar digambarkan di Selat Makassar dari monsun Tenggara (*southeast/SE*) (September-November atau SON) menjadi monsun Barat Laut (*northwest/NW*), diikuti oleh Laut Banda dan disusul oleh Laut Maluku. Perubahan massa air yang signifikan ini terkait dengan variabilitas *freshwater* yang menyebar dari Jawa ke Laut Banda. Laut Banda mengalami dua kali *freshening*: *freshening* ringan di bulan Desember dan *freshening* yang masif di bulan Maret. Kejadian *freshening* pertama dikaitkan dengan fluks permukaan melalui curah hujan, sedangkan *freshening* kedua di bulan Maret dikaitkan dengan adveksi zonal oleh Laut Jawa dan sedikit kontribusi dari fluks permukaan. Sebagai contoh kejadian, tahun 2018 tercatat sebagai fase *freshening* yang berkepanjangan dengan kecepatan rambat yang rendah sekitar 0.11 m s^{-1} dari Laut Jawa. Namun, kejadian tahun 2019 memiliki periode yang lebih pendek dengan *freshening* yang lebih masif dengan kecepatan rambat 0.41 m s^{-1} . Perbedaan kecepatan ini disebabkan oleh El Niño yang rendah, yang meningkatkan gaya adveksi Laut Jawa terhadap Laut Banda. Selain itu, fluks permukaan memberikan kontribusi yang lebih besar dalam proses *freshening* pada tahun 2019 (sekitar $-0.05 \text{ PSU hari}^{-1}$), dengan laju curah hujan harian mencapai 0.8 mm jam^{-1} , dibandingkan dengan fluks permukaan pada tahun 2018 (-0.03 hingga $-0.04 \text{ PSU hari}^{-1}$). Sebagai kontributor utama *freshwater* di *the southern hemisphere of IMC* (IMC_{sh}), *freshening* di Laut Jawa selama fase awal monsun barat laut (November hingga Desember) didominasi oleh fluks permukaan, dengan sedikit kontribusi dari aliran lintas SCS. Sementara itu, dari bulan Januari hingga Mei, Laut Jawa yang bersalinitas rendah mendapat kontribusi dari redaman (mewakili debit sungai), dengan kontribusi kecil dari curah hujan di atas laut. Menariknya, masukan SCS salinitas rendah ke Laut Jawa lebih lemah dibandingkan dengan kontribusi aliran permukaan. Selama periode interannual, fluktuasi salinitas (komponen arus) di IMC_{sh} lebih dipengaruhi oleh IOD (ENSO). Laut Banda berkorelasi kuat dengan ENSO, dan Laut Jawa dipengaruhi oleh IOD. Lebih lanjut, perubahan kecenderungan salinitas Laut Banda pada bulan September-November mempengaruhi indeks IOD tahun berikutnya pada bulan Februari. Temuan ini memberikan kontribusi keilmuan sebagai dasar untuk peramalan meteorologi di masa depan di mana fluktuasi ARLINDO mempengaruhi perubahan iklim global di wilayah Indo-Pasifik.

Hasil akhir kajian ini akan menjadi bagian dari *project New NAGA Report* yang bertujuan memperbaharui buku *NAGA Report* karya Prof. Klaus Wyrtki tahun 1961, yang merupakan kompilasi hasil-hasil riset tentang oseanografi Laut Indonesia. Selain itu hasil kajian ini juga diharapkan dapat menambah informasi dalam memahami dan memprediksi perubahan iklim yang terjadi di Indonesia dan mampu membantu dalam kebijakan manajemen kebencanaan akibat fenomena anomaly iklim, khususnya IOD dan ENSO.

Kata kunci: ARLINDO; Kejadian Iklim Indo-Pasifik; Perairan Indonesia; Laut Banda; Salinitas; Temperatur.

SUMMARY

ANALYSIS OF STRUCTURAL DYNAMICS AND VARIABILITY OF THE INDONESIAN THROUGHFLOW (ARLINDO) BASED ON OBSERVATIONS AND HYDRODYNAMIC MODELING RESULTS

Scientific paper in the form of dissertation, June , 2025

Amirotul Bahiyah; supervised by Prof. Dr. Iskhaq Iskandar., M.Sc., Dr. Wijaya
Mardiansyah, M. Si, and Prof. Dr. Sc. Anindya Wirasatriya, M. Si, M. Sc.

Department of Mathematics and Natural Sciences, Postgraduate Program,
Sriwijaya University

xxiii + 118 pages, 37 figures, 8 tables

The maritime continent is a vital location that has an important role in global circulation, both ocean circulation (offering the only global circulation path in the tropics) and atmosphere (being part of the global walker circulation). In the regional ocean circulation associated with the greater Southeast Asia Sea (SEAS), the ARLINDO water mass is influenced by the South China Sea (SCS) water mass which has fresh watermass characteristics. Under increasing climate change, local to global circulation changes the characteristics of ARLINDO significantly. Therefore, this research aims to examine the oceanographic dynamics in the Banda Sea and surrounding seas that are part of the main channel of the Indonesian Throughflow (ARLINDO) and its implications for global climate change, especially climate anomalies that occur in the Indo-Pacific region, namely the Indian Ocean Dipole (IOD) and/or El Niño - Southern Oscillation (ENSO) phenomena. The close relationship between ARLINDO surface-subsurface dynamics, Indo-Pacific climate anomalies and local climate change in the Indonesian region is an important point that must be updated regularly. This study has a significant contribution in the development of related science in understanding the details of ocean-atmosphere dynamics in the ARLINDO track, where this study will be reviewed spatially, and temporally by paying attention to the dynamics of the vertical structure of seawater, especially in the mixed layer depth (MLD) in the Banda Sea and surrounding areas. The analysis was conducted using a remote sensing approach by integrating insitu data, ocean-atmosphere satellites and modelling result.

This research is divided into three stages. **First**, the temperature-salinity stratification and vertical profile of ARLINDO water masses under the influence of ENSO events were analyzed. This stage was conducted to evaluate the possible impact of ocean stratification due to climate change originating from the tropical Pacific Ocean. **Second**, temporal and spatial analysis of surface and subsurface salinity distribution in the Banda Sea and surrounding seas. This analysis aims to determine the seasonal pattern of ocean circulation in Indonesia, especially in the Banda Sea. **Third**, 3D analysis of salinity budget calculations applied to the surface and subsurface layers with a longer research time scale, namely interannual analysis. The difference between the second and third stages of analysis lies in the study's time scale, the study area's coverage, and the data used, namely insitu-satellite data (second stage) and OGCM model data (third stage).

In the typical circumstances throughout the year, the entrance channel of ARLINDO had a higher salinity value and cooler water masses than other ARLINDO channels particularly during the Northwest (NW) Monsoon. Meanwhile, the Temperature-Salinity (T-S) diagram in the Indonesian Sea showed a declining value and raising again at the outflow pathway in both parameters. During La Niña events, Indonesian Maritime Continent (IMC) water masses are often portrayed as fresher and warmer, while reverse circumstances are depicted in El Niño events with exclusion at the outlet, indicating saltier and colder water masses than normal conditions. An extreme alteration of T-S value is mostly depicted in Makassar Strait from Southeast (SE) monsoon (September to November or SON) to NW monsoon, followed by the Banda Sea and continued by the Molucca Sea. This significant ocean change is related to freshwater variability spread from the Java to the Banda Sea. The Banda Sea has two freshening occurrences: a mild freshening in December and a massive freshening in March. The first freshening occurrence is associated with surface flux via precipitation, while, the second freshening in March is attributed to zonal advection by the Java Sea and a modest contribution by surface flux. As the sample occurrence, the 2018 has been noted as a prolonged freshening phase with a low propagation speed of around 0.11 m s^{-1} from the Java Sea. Still, the 2019 occurrence has a shorter period with more massive freshening with a propagation speed of 0.41 m s^{-1} . The difference in speed is due to a low El Niño, which increases the advection force of the Java Sea on the Banda Sea. Furthermore, the surface flux contributed more to freshening process in 2019 (approximately $-0.05 \text{ PSU day}^{-1}$), with the daily precipitation rate reaching 0.8 mm hr^{-1} , compared to the surface flux in 2018 (-0.03 to $-0.04 \text{ PSU day}^{-1}$). As the major contributor of freshwater in southern hemisphere of IMC (IMC_{sh}), freshening in the Java Sea during the early phases of the northwest monsoon (November to December) is dominated by surface flux, with a modest contribution from South China Sea (SCS) throughflow. Meanwhile, from January to May, the low salinity Java Sea is fed by damping contribution (representing river discharge), with a minor contribution from precipitation over the sea. Interestingly, the low salinity SCS input to the Java Sea is weaker than the surface flux contribution. During interannual periods, salinity (current component) fluctuation in IMC_{sh} more attracts to IOD (ENSO). the Banda Sea is strongly correlated with ENSO, and the Java Sea is fluctuated by IOD. Furthermore, the salinity tendency change of the Banda Sea in September-November affects the following year's IOD index in February. These findings provide a scientific contribution as a basis for future meteorological forecasting where ARLINDO fluctuations influence global climate change in the Indo-Pacific region.

The final results of this study will be part of the New NAGA Report project, which aims to update the 1961 NAGA Report book by Prof. Klaus Wyrski, which is a compilation of research results on the oceanography of the Indonesian Sea. In addition, the results of this study are also expected to add information in understanding and predicting climate change that occurs in Indonesia and be able to assist in disaster management policies due to climate anomaly phenomena, especially IOD and ENSO.

Key Words: ARLINDO; Indo-Pacific Climate Event; Indonesia Maritime Continent; Banda Sea; Salinity; Temperature.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
PRAKATA	vi
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SINGKATAN	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Kebaruan Penelitian	6
1.6. Kerangka Pikir Penelitian	15
BAB 2 Tinjauan pustaka	Error! Bookmark not defined.
2.1. Peran ARLINDO terhadap Sirkulasi Atmosfer-Laut Global	Error!
Bookmark not defined.	
2.1.1. Kontribusi <i>Maritime Continent</i> terhadap Sirkulasi Iklim Global	Error!
Bookmark not defined.	
2.1.2. ARLINDO dalam Sirkulasi Laut Global	Error! Bookmark not defined.
defined.	
2.2. Program <i>the International Nusantara Stratification and Transport Program</i> (INSTANT) di Selat Makassar	Error! Bookmark not defined.
2.3. <i>Freshwater Plug</i> di Selat Makassar	Error! Bookmark not defined.
2.4. Laut Banda	Error! Bookmark not defined.

2.5.	Faktor Penyebab Variabilitas Karakteristik Perairan MC.....	Error!
	Bookmark not defined.	
2.6.	Lapisan Termal	Error! Bookmark not defined.
2.7.	<i>Argo Float</i> dan Penentuan Kepadatan Air Laut dari Data <i>Argo Float</i>	Error! Bookmark not defined.
2.8.	OFES.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 3	metode penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.1.	Lokasi Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Data and Pengolahanya.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.1.	Data Indeks Iklim	Error! Bookmark not defined.
3.2.2.	Data <i>Argo Float</i>	Error! Bookmark not defined.
3.2.3.	Data Satelit Laut-Atmosfer	Error! Bookmark not defined.
3.2.4.	Model OFES.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Metode Analisis	Error! Bookmark not defined.
3.3.1.	Tahap pertama: Stratifikasi dan Profil Vertikal IMC.....	Error! Bookmark not defined.
	not defined.	
3.3.1.1	Mode iklim di Samudra Pasifik Tropis.....	Error! Bookmark not defined.
	defined.	
3.3.1.2	MLD, ILD, dan BLT.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2.	Tahap ke Dua: Analisis Musiman-Intramusiman <i>Upper-Layer Salinity Budget</i> dengan <i>Argo Float</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.	Tahap ke Tiga: Analisis Antar Tahunan <i>Mixed Layer Salinity Budget</i> dengan OGCM	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.1	Korelasi	Error! Bookmark not defined.
3.3.3.2	FFT	Error! Bookmark not defined.
3.4.	Tahapan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 4	HASIL dan PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1.	Stratifikasi Massa Air Benua Maritim Indonesia (IMC) yang Diperbaharui pada Kondisi Normal dan ENSO oleh <i>ARGO Float</i> ..	Error!
	Bookmark not defined.	
4.1.1.	Kejadian ENSO pada periode 2002-2022.....	Error! Bookmark not defined.

4.1.2. Stratifikasi massa air ARLINDO dalam kondisi normal	Error!
Bookmark not defined.	
4.1.3. Stratifikasi massa air selama peristiwa La Niña	Error! Bookmark not defined.
defined.	
4.1.4. Stratifikasi massa air selama peristiwa El Niño	Error! Bookmark not defined.
defined.	
4.2. <i>Spring Freshening</i> di Laut Banda yang Terpantau oleh <i>ARGO Float</i>	Error! Bookmark not defined.
4.2.1. Dinamika Lapisan Atas Laut Banda....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2. Distribusi salinitas rendah di Laut Banda	Error! Bookmark not defined.
defined.	
4.2.3. <i>Salinity budget</i> di Laut Banda periode 2018 and 2019	Error!
Bookmark not defined.	
4.3. Variabilitas <i>Freshwater</i> di Benua Maritim Indonesia bagian Selatan (IMC _{sh}) pada Anomali Iklim Indo-Pasifik Menggunakan Data OGCM Resolusi Tinggi	Error! Bookmark not defined.
4.3.1. Variabilitas <i>Freshwater</i> di Laut Banda	Error! Bookmark not defined.
4.3.2. Sumber <i>Freshwater</i> Bagian Barat	Error! Bookmark not defined.
4.3.3. Variabilitas Salinitas Antar Tahunan di Laut Banda dan Laut Jawa	Error! Bookmark not defined.
4.3.4. Keterkaitan variabilitas Frsehwater di IMC _{sh} dengan Kejadian Iklim	Error! Bookmark not defined.
BAB 5 KESIMPULAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR REVISI	Error! Bookmark not defined.
BIOGRAFI	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUBLIKASI	134

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Skema tahapan penelitian.....	15
Gambar 2.1 Atmosfer wilayah Indonesia menjadi bagian dari sirkulasi walker di Samudera Pasifik dan Samudera Hindia (Yulihastin, 2009). ... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.2 <i>Warm pool</i> di Samudera Pasifik bagian barat dan dampaknya terhadap iklim (D. Hu dkk., 2020).... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.3 Struktur global dari sirkulasi termohalin yang terkait dengan produksi Perairan Dalam Atlantik Utara (NADW). Nilai yang dilingkari adalah volume fluks dalam 106 m ³ /s yang terkait dengan <i>upwelling</i> NADW yang seragam dengan laju produksi (Gordon, 1986). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.4 Letak geografis perairan Indonesia dan pengaruh ARLINDO terhadap Samudera Hindia (Gordon, 2005). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.5 Jalur dan volume transpor ARLINDO melewati perairan Indonesia (Gordon, 2005)..... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.6 Transpor massa air ARLINDO di jalur lintas ARLINDO (Gordon dkk., 2010). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.7 Kecepatan aliran ARLINDO di beberapa jalur lintas ARLINDO (Gordon dkk., 2010)..... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.8 a) profil <i>meridional sea level anomaly</i> dan b) profil salinitas permukaan secara musiman sepanjang Selat Makassar di 4° LU - 6° LS (Lee dkk., 2019)..... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.9 Profil spasial SSS di wilayah Laut Jawa selama a) musim barat b) musim timur (Gordon dkk., 2003). ... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.10 a) Komponen klimatologi musiman SSS budget dan b) komponen adveksi horizontal dari beberapa arah utara (N), selatan (S), barat (W) dan timur (E) di Laut Jawa (Lee dkk., 2019). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.11 Letak geografis Laut Banda (Gordon & Susanto, 2001)..... Error! Bookmark not defined.	
Gambar 2.12 Perubahan suhu dan salinitas massa air Samudera Pasifik melewati perairan Indonesia di jalur ARLINDO (Sprintall dkk., 2014).. Error! Bookmark not defined.	
Gambar 3.1 a) Daerah penelitian pertama sepanjang jalur ARLINDO. b) Daerah penelitian kedua meliputi Lintasan Apung Argo di Laut Banda dan Laut Maluku. c) peta ketiga menunjukkan perairan Indonesia dengan wilayah penelitian spesifik, khususnya di belahan bumi selatan garis khatulistiwa. Wilayah penelitian meliputi Laut Jawa hingga Laut Banda bagian barat yang terbagi menjadi 4 wilayah (garis hitam). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 3.2 Bentuk distribusi data berdasarkan besaran korelasi (Nettleton, D., 2014). Error! Bookmark not defined.	
Gambar 3.3 Diagram alur penelitian	Error! Bookmark not defined.

- Gambar 4.1 Rangkaian waktu indeks Niño3.4 dari tahun 2002 hingga 2022.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2 Rerata tahunan dari a) diagram T-S, dan b) profil piknoklin yang berasal dari data *Argo float* di laut Indonesia selama kondisi normal. Rerata musiman dari diagram T-S selama c) Monsun Tenggara (SON), dan d) Monsun Barat Laut (DJF). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.3 Profil densitas waktu-kedalaman di lapisan permukaan hingga 200 m di sepanjang jalur ARLINDO: a) di Pasifik tropis, b) di laut Indonesia (Selat Makassar), dan c) di Samudra India. MLD dan ILD ditunjukkan dalam garis putih dan hitam.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.4 Pola tahunan dari a) diagram TS dan b) profil piknoklin dari *Argo Float* di IMC selama periode kejadian La Niña. Kondisi musiman digambarkan oleh Gambar c) stratifikasi massa air selama SON dan Gambar d) stratifikasi massa air selama DJF. Gambar ini disesuaikan dengan gambar pada sub bab sebelumnya. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.5 Profil densitas di beberapa jalur ARLINDO selama kejadian La Niña, khususnya di Samudera Pasifik sebagai daerah *inlet*, Selat Makassar sebagai jalur utama ARLINDO, Laut Banda sebagai daerah transit sebagian besar massa air ARLINDO dan Samudera India sebagai jalur akhir. Profil densitas ditampilkan dengan MLD dengan garis putih dan ILD dengan garis hitam.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.6 Pola tahunan dari a) diagram TS dan b) profil piknoklin oleh *Argo Float* di IMC selama periode kejadian El Niño. Kondisi musiman diilustrasikan oleh gambar c) diagram TS selama monsun tenggara (SON) dan gambar d) diagram TS selama monsun barat laut (DJF). Gambar ini disesuaikan dengan gambar pada sub bab sebelumnya.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.7 Profil densitas di beberapa jalur ARLINDO selama kejadian El Niño. Pada ilustrasi kedalaman-waktu ini memperlihatkan profil vertikal kerapatan berdasarkan diagram TS pada Gambar 4.6. Profil kerapatan ini ditampilkan dengan MLD sebagai garis putih dan ILD sebagai garis hitam yang serupa dengan Gambar 4.3 dan 4.5.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 Profil vertikal suhu (T di sebelah kiri) dalam satuan Celcius dan salinitas (S di sebelah kanan) dalam satuan PSU berdasarkan data *Argo Float* dengan lintasan di Laut Banda (Gambar a, b, d, dan e). Profil pelampung Argo c dan f menggambarkan kondisi di Maluku hingga Laut Banda. Profil suhu menampilkan komponen MLD (garis putih) dan ILD (garis hitam) dan di sisi kanan, profil salinitas dilapis dengan BLT (garis hitam).**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.9 Curah hujan harian di Laut Banda dan Laut Maluku selama tahun 2017 - 2019 yang bersesuaian dengan periode cakupan lintasan Argo. Intensitas curah hujan yang lebih tinggi digambarkan pada saat monsun barat laut dan curah hujan yang lebih rendah pada saat

- monsun tenggara. Area yang diekstraksi untuk curah hujan rata-rata harian adalah sekitar 0° hingga -8° LS dan 123° hingga -132° BT.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.10 Tampilan spasial curah hujan harian di Laut Banda dan Laut Maluku selama MAM 2018 (a-f) dan 2019 (g-l).**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.11 Distribusi spasial SSS yang ditampilkan dengan arah arus permukaan selama MAM 2018 (a-f) dan 2019 (g-l)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.12 a) Diagram waktu-bujur anomali SSS (SSA) dari Laut Jawa hingga Laut Banda dengan cakupan wilayah sekitar 105° BT hingga 135° BT dan 3.5° LS hingga 8° LS. b) Diagram waktu-bujur komponen arus zonal dari wilayah Laut Jawa sekitar 105° BT hingga 135° BT dan 4° LS hingga 8° LS. Vektor hijau dan hitam mengilustrasikan penyebaran *freshening* dari sumber ARLINDO bagian barat... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 Grafik komponen *salinity budget* di daerah skema besar dengan data deret waktu 5 hari sepanjang tahun 2018 – 2019 di Laut Banda. Grafik a-b menunjukkan kecenderungan salinitas (garis hitam), fluks permukaan (garis biru), adveksi horizontal (garis merah), dan residual (garis hijau). Grafik c-d merupakan komponen adveksi horizontal, dengan adveksi zonal atau komponen u (garis hijau) dan adveksi meridional atau komponen v (garis merah). Daerah batasnya adalah 123° – 132° BT dan 4° – 8° LS.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.14 Salinitas permukaan laut klimatologi yang ditampilkan dengan arah kecepatan arus dari OFES dan presipitasi NCEP di belahan selatan Laut Indonesia dalam satuan PSU. Data klimatologi ini diperkirakan dengan data harian selama 31 tahun dari tahun 1990 hingga 2020.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.15 Profil musiman waktu-kedalaman a) salinitas ditampilkan dengan MLD dan b) suhu di Laut Banda (124° hingga 128° BT, -8° hingga -14° LS) dari permukaan hingga kedalaman 50 m. Profil deret waktu dari tahun 1990 hingga 2020 diekstraksi berdasarkan salinitas rata-rata pada interval kedalaman 1 m. Biru: nilai rendah; Merah: nilai tinggi.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.16 a) *Salinity budget* klimatologi untuk Area 4 (Laut Banda). b) Komponen adveksi klimatologi, termasuk adveksi zonal, meridional, dan vertikal (nilai negatif mengindikasikan bahwa massa air mengalir melewati kotak ke masing-masing arah). c) Komponen fluks permukaan klimatologi. Perhitungan dalam satuan $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ untuk semua komponen.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.17 a) *Salinity budget* klimatologi di Area 1 (Laut Jawa). Klimatologi b) komponen adveksi dan c) komponen fluks permukaan untuk Area 1. Perhitungan dilakukan dalam satuan $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ untuk semua komponen.**Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.18 Deret waktu indeks *dipole mode* (DMI, biru) dan indeks Niño3.4 (merah) dari tahun 1990 hingga 2020. Fase positif, defisit curah hujan; fase negatif, peningkatan curah hujan. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.19 Profil vertikal a) anomali salinitas dan b) anomali suhu di Laut Banda (124° sd 128° BT, -8° sd -14° LS) dari permukaan hingga kedalaman 50 m. Profil deret waktu dari tahun 1990 hingga 2020 diekstraksi menggunakan anomali salinitas rata-rata pada interval kedalaman 1 m. Biru, nilai rendah; Merah, nilai tinggi. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.20 Anomali *salinity budget* antartahunan untuk Area 1–4 di Benua Maritim Indonesia di belahan bumi selatan. Dampak peristiwa ENSO–IOD diilustrasikan menggunakan diagram batang dari rata-rata komponen *salinity budget*, untuk a) September–Desember (dipengaruhi oleh IOD), dan b) Januari–Mei (dipengaruhi oleh ENSO). Merah, kecenderungan salinitas; biru, adveksi; hijau, fluks permukaan; dan kuning, fluks total (adveksi + fluks permukaan). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.21 Korelasi bulanan, dari tahun 1990 hingga 2020, dari komponen *salinity budget* di Area 1–4 dengan a) indeks ENSO dan b) indeks IOD. Anomali *salinity budget* berkorelasi dengan indeks IOD terutama pada bulan September–Desember dan dengan indeks ENSO terutama pada bulan Januari–Mei. Hitam, kecenderungan *Salinity budget*; biru, adveksi; hijau muda, fluks permukaan; oranye, fluks total; merah, presipitasi; biru tua, redaman; ungu tua, fluks permukaan WOA–NCEP; abu-abu, adveksi zonal; ungu muda, adveksi meridional; dan toska, adveksi vertikal. **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Penelitian terkait <i>freshwater plug</i> dan Laut Banda di Indonesia./	
Tabel 2.1 Simulasi <i>hindcast</i> kuasi-global eddying OFES. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 3.1 Spesifikasi data satelit dan periode yang digunakan dalam penelitian. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 3.2 Data <i>Argo Float</i> di wilayah IMC periode 2013 hingga 2022. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.1 Stratifikasi massa air di sepanjang jalur ARLINDO pada kondisi normal. Tabel ini didasarkan pada diagram T-S pada Gambar 4.2 yang menunjukkan rata-rata tahunan diagram T-S pada kedalaman 100 m dan 200 m. Tabel ini juga menunjukkan pola musiman selama SON dan DJF pada kedalaman 100 m. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.2 Stratifikasi massa air dari IMC di semua stasiun selama kejadian La Niña. Tabel ini mirip dengan Tabel 4.1, namun berdasarkan Diagram TS pada Gambar 4.4. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.3 Stratifikasi massa air IMC di semua stasiun selama kejadian El Niño. Tabel ini mirip dengan Tabel 4.1 dan 4.2, yang didasarkan pada Diagram TS pada Gambar 4.6. Error! Bookmark not defined.	
Tabel 4.4 Rerata kontribusi masing-masing komponen di keempat area selama tahun-tahun IOD dan ENSO yang kuat hingga ekstrem dalam satuan $1 \times 10^{-11} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Error! Bookmark not defined.	

DAFTAR SINGKATAN

ARLINDO	: Arus Lintas Indonesia
ADCP	: <i>Acoustic doppler current profiler</i>
BB	: Bujur Barat
BLT	: <i>Barrier Layer Thermal</i> atau lapisan penghalang termal
BT	: Bujur Timur
D	: Kedalaman
DFT	: <i>Discrete Fourier Transform</i>
DJF	: Desember, Januari dan Februari
ENSO	: <i>El Niño – Southern Oscillation</i>
FFT	: <i>Fast Fourier Transform</i>
GSMAP	: <i>Global Satellite Mapping of Precipitation</i>
ILD	: <i>Isothermal Layer Depth</i> atau kedalaman lapisan isothermal
IMC	: <i>Indonesia Maritime Continent</i>
IMC _{sh}	: <i>The southern hemisphere of IMC</i>
INSTANT	: <i>The International Nusantara Stratification and Transport Program</i>
IOD	: <i>Indian Ocean Dipole</i>
IUW	: <i>Indonesian upper water</i>
JAMSTEC	: <i>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</i>
JJA	: Juni, Juli dan Agustus
LS	: Lintang Selatan
LU	: Lintang Utara
MAM	: Maret, April dan Mei
MC	: <i>Maritime continent</i>
MLD	: <i>Mixed Layer Depth</i> atau kedalaman lapisan campuran
NADW	: <i>North Atlantic Deep Water</i> atau Perairan Dalam Atlantik Utara
NCDC	: <i>National Climate Data Center</i>
NOAA	: <i>National Oceanographic and Atmospheric Administration</i>
NW	: <i>Northwest monsoon</i> atau monsun Barat Laut
OGCM	: <i>Ocean General Circulation Model</i>

OISST	: <i>Optimum Interpolation Sea Surface Temperature</i>
S	: Salinitas
SE	: <i>Southeast Monsoon</i> atau monsun Tenggara
SEAS	: <i>The Greater Southeast Asia Sea</i>
SETIO	: <i>Southeast Tropical Indian Ocean</i>
SLA	: <i>Sea Level Anomaly</i>
SMAP	: <i>Soil Moisture Active Passive</i>
SMOW	: <i>Standard Mean Ocean Water</i>
SON	: September, Oktober, dan November
SST	: <i>Sea Surface Temperature</i>
SSTA	: <i>Sea Surface Temperature Anomaly</i>
SSS	: <i>Sea Surface Salinity</i>
SSSA	: <i>Sea Surface Salinity Anomaly</i>
T	: <i>Temperature</i>
WMO	: <i>World Meteorological Organization</i>
WOA	: <i>World Ocean Atlas</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Gambar Tambahan

- Gambar Tambahan 1. Distribusi spasial SSS yang ditampilkan dengan arah arus permukaan selama MAM 2018 (a-f) dan 2019 (g-l) pada kedalaman 40 m. Salinitas digambarkan dengan gradasi kemerahan yang mewakili nilai 35.0 PSU hingga 30.0 PSU dengan warna kebiruan. Vektor yang lebih panjang menunjukkan kecepatan arus permukaan yang lebih cepat.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 2. Skema area kecil grafik anggaran salinitas Gambar sesuai dengan Gambar 4.13. Daerah batasnya adalah 128°-132° BT dan 4°-6° LS.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 3. Korelasi antara SSS SMAP dan SSS Argo di area skema kecil dari Juli 2017 hingga Juni 2019. Gambar ini menunjukkan korelasi dan pola variasi musiman salinitas antara data satelit dan data *insitu* di Laut Banda.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 4. Grafik perbandingan salinitas dari OFES, analisis ulang Marine Copernicus, SMAP dengan data Argo pada a) lapisan permukaan hingga b) lapisan yang lebih dalam yaitu 20 m di 4 area.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 5. Perbandingan data curah hujan NCEP dengan pengamatan satelit GSMAP dan korelasinya dengan ENSO dan IOD. Perlakuan ini dilakukan di bagian barat (0° hingga 7° LS dan 100° hingga 108° BT), tengah (0° hingga 8° LS dan 108° hingga 124° BT), dan timur (0° hingga 8° LS dan 124° hingga 140° BT) IMC_{sh}.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 6. a) Anggaran salinitas klimatologi pada kotak ke-1 hingga ke-4 di wilayah studi IMC_{sh}. Klimatologi b) komponen adveksi dan c) komponen fluks permukaan. Anggaran salinitas dikompilasi semua data komponen dari tahun 1990 hingga 2020 dalam perhitungan klimatologi. Perhitungan ini dalam satuan $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ untuk semua komponen yang serupa dengan Gambar 4a.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 7. Anomali komponen adveksi antar tahunan di wilayah studi kotak 1-4, khususnya di IMC_{sh}. Diagram batang anomali komponen adveksi disajikan dalam bentuk a) rata-rata September-Desember yang menunjukkan pengaruh IOD dan b) rata-rata Januari-Mei yang menunjukkan pengaruh ENSO. Perhitungan ini dalam satuan $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ untuk semua komponen dan nilai yang lebih rendah menunjukkan aktivitas yang lebih kuat....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar Tambahan 8. Anomali komponen fluks permukaan antar tahunan di wilayah studi kotak 1-4, khususnya di IMC_{sh}. Untuk melihat pola dampak ENSO-IOD, kami menyajikan anomali komponen fluks permukaan dalam bentuk diagram batang berupa a) rata-rata September-Desember untuk melihat keterkaitannya dengan IOD dan b)

rata-rata Januari-Mei untuk melihat keterkaitannya dengan ENSO. Perhitungan ini dalam satuan $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ untuk semua komponen dan nilai yang lebih rendah menunjukkan aktivitas yang lebih kuat.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar Tambahan 9. Variabilitas bulanan salinitas permukaan laut, ditumpangsusunkan dengan data arus permukaan dari Desember 2017 hingga Mei 2018. Kami memilih secara acak tahun mana saja untuk memeriksa fitur laut dari (a) SMAP-OSCAR, (b) GLORYS12V1 dari Marine Copernicus, dan (c) set data OFES.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar Tambahan 10. (a) Cuplikan 3 hari dari perhitungan istilah redaman dengan mengembalikan salinitas WOA98 dan OFES berdasarkan Persamaan 1 hingga 3 selama Januari 2017 hingga April 2017. Kami secara acak memilih angka mana saja selama periode tersebut yang mewakili distribusi spasial istilah redaman. (b) Perbandingan pola debit sungai antara istilah redaman (unit dalam $1 \times 10^{-10} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) dan stasiun debit sungai di daerah pesisir oleh PUPR, Pemerintah Indonesia (unit dalam $-1 \times \text{m}^3 \text{ s}^{-1}$). Lokasi stasiun diplot pada gambar pertama distribusi debit sungai.**Error! Bookmark not defined.**

Table Tambahan

Tabel Tambahan 1. Kontribusi setiap komponen *salinity budget* di empat wilayah studi selama tahun-tahun IOD dan ENSO yang kuat hingga ekstrem. Satuan dalam $1 \times 10^{-11} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.**Error! Bookmark not defined.**

Tabel Tambahan 2. Persentase kontribusi komponen *salinity budget* di setiap wilayah studi untuk berbagai skala waktu. Perhitungan persentase tersebut meliputi frekuensi tinggi intra-musiman (kurang dari 10 hari), intra-musiman (10-90 hari), musiman (90 hari hingga satu tahun), tahunan (satu tahun hingga dua tahun), antar-tahunan (2 tahun hingga 5 tahun), dan jangka panjang (lebih dari 5 tahun).**Error! Bookmark not defined.**

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Maritime continent (MC) merupakan lokasi vital yang memiliki peran penting dalam sirkulasi global, baik sirkulasi *oceanic* maupun *atmospheric*. Ditinjau dari sirkulasi perairan global, wilayah kepulauan ini berperan sebagai *chockpoint* di jalur lintang rendah dan kanal penghubung yang mengalirkan air hangat dan *fresh* antara Samudera Pasifik dan Samudera India. MC memiliki peran sebagai *mix master* yang mampu mengubah massa air Samudera Pasifik yang tinggi suhu-salinitasnya menjadi massa air rendah salinitas dan lebih *fresh*-dingin ketika memasuki Samudera Hindia (A. L. Gordon, 2005). Massa air yang mengalir melewati wilayah Indonesia kemudian dikenal sebagai arus lintas Indonesia (ARLINDO) (Lee dkk., 2019; Wyrтки, 1961). Sedangkan ditinjau dari sirkulasi atmosfer global, MC menjadi area perubahan iklim dunia terkait dengan kemampuannya menyimpan *heat deviation* terbesar (*sensible* dan *laten*). Hal tersebut ditinjau dari 70% wilayahnya yang berupa perairan, dan mampu meningkatkan pembentukan awan-hujan (Windayati & Surinati, 2016). Diantara penyebab perubahan *heat deviation* perairan MC skala global, yakni karena adanya pengaruh anomali iklim wilayah Indo-Pasifik; fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan/atau *El Niño – Southern Oscillation* (ENSO) (Drushka dkk., 2012; Iskandar, 2012; Nur'utami & Hidayat, 2016; Safinatunnajah dkk., 2021; Santoso dkk., 2011; Supari dkk., 2018; Wirasatriya dkk., 2017), dan dalam skala lokal, kondisi hidrologi wilayah ini dipengaruhi oleh dua musim, yakni musim barat laut dan musim tenggara.

Berdasarkan sirkulasi laut regional, massa air ARLINDO dipengaruhi oleh massa air Laut Cina Selatan (*South China Sea/SCS*) sebagai bagian dari *the greater Southeast Asia Sea* (SEAS) (A. L. Gordon, 1986, 2005; Wyrтки, 1961). Persebaran jalur lintasan ARLINDO dan pengaruh SCS terhadap ARLINDO diungkap pertama kali oleh Wyrтки, K. (1961) pada buku NAGA Report-2 dengan menggunakan metode observasi *ship drift*. Pada musim barat, massa air yang berasal dari Pasifik mengalir melewati SCS menuju Laut Jawa (Gordon, 2005; Qu dkk., 2005;

Yulihastin, 2009) dan menjadi sumber dominan dari massa air rendah salinitas di Laut Jawa-Selat Makassar. Dengan dimulainya perubahan musim, air rendah salinitas diangkut oleh arus dari Laut Jawa ke Laut Cina selatan dan diikuti oleh perairan dengan salinitas lebih tinggi dari timur, yang hampir memenuhi seluruh Laut Jawa hingga September (Gordon, 2005; Gordon dkk., 2003, 2012; S. Hu & Sprintall, 2016). Penelitian lanjutan dari program INSTAN menunjukkan hasil pengukuran kecepatan arus, suhu dan salinitas secara simultan di jalur utama ARLINDO pada tahun 2004 hingga 2006. Hasil observasi (Gordon dkk., 2010) tersebut menunjukkan bahwa Selat Makassar memiliki kecepatan lapisan termoklin 50% lebih besar dibandingkan permukaan. Penurunan kecepatan aliran di kedalaman mendekati 120 m (Susanto & Song, 2015) di semua jalur ARLINDO terjadi pada pergantian musim barat laut menuju tenggara, yakni maksimum (minimum) sebesar 0.8 m/s (0.6 m/s) terjadi pada bulan Juli-September (musim transisi Oktober-Desember). Pernyataan tersebut juga didukung oleh penelitian Tozuka dkk., (2007, 2009) dengan pendekatan pemodelan OGCM. Selama musim barat (*boreal winter*), SCS berada pada puncak musim yang berdampak pada penurunan rata-rata transpor volume dan panas di Selat Makassar. Lebih lanjut, peristiwa pelemahan aliran ITF yang lebih kuat terjadi saat El Niño, dimana aliran SCS mengalami penguatan. Pelemahan aliran tersebut disebabkan oleh *freshwater* yang meningkatkan ketinggian dinamis, sehingga mengurangi gradien tekanan utara ke selatan yang menggerakkan aliran lapisan atas (Gordon dkk., 2003).

Pada penelitian sebelumnya (Fang dkk., 2010; Gordon dkk., 2003, 2012; Lee dkk., 2019; Qu dkk., 2005, 2009; Tozuka dkk., 2007, 2009), diyakini bahwa *freshwater* SCS yang melewati Selat Karimata mempengaruhi massa air Laut Jawa (menjadi lebih *fresh*) dan menyebabkan anomali *freshwater plug* di Selat Makassar hingga menghambat laju ARLINDO selama boreal winter. Namun, penelitian terbaru yang dilakukan oleh Lee dkk., (2019) mengungkapkan bahwa massa air dari SCS tidak cukup mampu menjadi sumber utama *freshwater* untuk menghasilkan anomali massa air rendah salinitas yang kuat di Laut Jawa dan *freshwater plug* di area Selat Makassar. *Freshwater plug* musiman tersebut diatur oleh siklus air monsun regional di Benua Maritim (curah hujan dan *runoff* sungai), yakni berasal dari massa air daratan MC (Jawa dan Kalimantan) sebagai *runoff* sungai selama

musim barat daya. Pernyataan tersebut juga didukung oleh hasil analisis Lee dkk., (2019) terhadap variasi musiman *salinity budget* dan adveksi horizontal di Laut Jawa dan Selatan Kalimantan, yakni berupa arah dominasi sumber *freshwater* di wilayah kajian. Selama boreal winter (Desember-Januari atau DJF) masukan *freshwater* berasal dari dominasi tingginya intensitas presipitasi di Laut Jawa. Sedangkan selama boreal spring (Maret-Mei atau MAM), presipitasi masih terus berlangsung di wilayah daratan Kalimantan yang menyebabkan anomali berlanjut dengan sumber utama *freshwater* berasal dari *river runoff* Kalimantan. Lebih lanjut diyakini bahwa keberadaan dari anomali tersebut telah mengubah karakteristik massa air ARLINDO yang pada akhirnya bermuara di Laut Banda. Jalur ARLINDO, khususnya Laut Banda sangat penting untuk diperhitungkan dalam penelitian ARLINDO (Napitu dkk., 2015) karena menjadi muara dari sebagian besar massa air Pasifik sebelum keluar menuju Samudera Hindia (Gordon & Fine A. Rana, 1996; Sprintall dkk., 2014a), sebagian besar transformasi perairan Pasifik di wilayah perairan Indonesia terjadi di Laut Banda, yang memiliki peran sebagai kapasitor dalam mengendalikan waktu ekspor massa air permukaan ke Samudera Hindia (A. L. Gordon & Susanto, 2001) hingga kemudian mempengaruhi berbagai parameter oseanografi-atmosfer secara lokal-global, seperti ENSO dan IOD (A. L. Gordon, 2005).

Mendasari hal tersebut, detail informasi mengenai parameter oseanografi di perairan lintasan ARLINDO dan juga khususnya Laut Banda menjadi penting untuk diketahui baik secara spasial, temporal serta profil vertikal lautnya. Seperti yang diketahui bahwa studi terkait ARLINDO sudah banyak dilakukan, namun **penelitian terkait variabilitas *freshwater* sebagai akibat dari aktivitas *freshwater plug* di Selat Makasar dan *salinity budget* Laut Jawa hingga Laut Banda belum banyak dilakukan dan dibahas dengan jangka waktu penelitian yang lebih Panjang, seperti *Interannual timescale*.** Selain itu, penelitian sebelumnya juga memiliki kekurangan diantaranya, jangkauan wilayah dan waktu penelitian yang masih sempit dengan data berupa sampel/data observasi/*insitu* (Ismail dkk., 2020; Rahma dkk., 2020), hanya memanfaatkan data citra satelit tanpa data *insitu* (Lee dkk., 2019), atau mengkolaborasikan data satellite dan data *insitu*, namun hanya mempertimbangkan permukaan laut atau area kajiannya berada di luar

perairan Indonesia (Y. Qiu dkk., 2012). Selain itu pembaharuan informasi karakteristik ARLINDO perlu dilakukan secara berkala mengingat sistem iklim diperkirakan akan terus berubah di bawah pemanasan global dengan proyeksi peningkatan frekuensi ENSO yang ekstrim dan Peristiwa IOD (Cai dkk., 2021; D. Hu dkk., 2020). Sehingga, kajian ini menjadi sangat tepat untuk menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Dari beberapa hal tersebut, penelitian ini akan dilakukan dengan **mengkolaborasikan data spasial dan temporal (*insitu*, satelit dan model) baik lapisan permukaan maupun lapisan dalam secara *timeseries*** untuk menggambarkan kondisi Laut Banda dan sekitarnya secara detail dan mampu menjawab secara terperinci fenomena-fenomena yang terjadi pada perairan Indonesia yang sangat dinamis, khususnya yang berkaitan dengan Laut Banda.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian terdahulu terkait sirkulasi regional, massa air IMC_{sh} dipengaruhi oleh massa air Laut Cina Selatan sebagai bagian dari *the greater Southeast Asia Sea* (SEAS) (Lee dkk., 2019). Massa air tersebut digerakkan oleh angin baratan di sisi barat MC melewati Selat Karimata dan kemudian menjadi penyebab penurunan salinitas secara signifikan di IMC_{sh} dan *freshwater plug* di Selat Makasar hingga menghambat laju dari ARLINDO selama *boreal winter* (Fang dkk., 2010; Gordon dkk., 2003, 2012; Lee dkk., 2019; Qu dkk., 2005, 2009; Tozuka dkk., 2007, 2009). Namun, penelitian terbaru yang dilakukan oleh (Lee dkk., 2019) mengungkapkan bahwa *freshwater plug* yang terjadi selama *boreal winter* didominasi oleh tingginya intensitas presipitasi di Laut Jawa, sedangkan pada musim tenggara (*boreal summer*), dominansi *river runoff* di perairan selatan Kalimantan menjadi penyebab utamanya. Penelitian lanjutan terkait variabilitas *freshwater* sebagai dampak adanya *freshwater plug* di perairan Selat Makasar terhadap perairan sekitar ditemukan belum banyak diketahui dan dibahas, dimana diyakini bahwa keberadaan dari anomali tersebut akan sangat mempengaruhi perairan sekitarnya hingga sejauh Laut Banda. Berdasarkan uraian tersebut, beberapa permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini, adalah:

1. Bagaimana dinamika profil vertikal massa air ARLINDO di bawah pengaruh ENSO?

2. Bagaimana karakteristik spasial dan temporal dari kejadian *freshening* di lapisan permukaan dan lapisan dalam di Laut Banda selama musim semi boreal dari pengamatan satelit *insitu* dan satelit atmosfer-laut?
3. Bagaimana pola variabilitas komponen *salinity budget* pada berbagai rentang waktu dalam IMC_{sh} dan besarnya kontribusi masing-masing komponen terhadap sumber *freshwater* di setiap wilayah studi?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika oseanografi di Laut Banda dan perairan sekitarnya yang merupakan bagian dari jalur utama ARLINDO dan implikasinya terhadap perubahan iklim global, khususnya fenomena anomali iklim yang terjadi di wilayah Indo-Pasifik, yaitu fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD) dan/atau *El Niño – Southern Oscillation* (ENSO). Keterkaitan erat antara dinamika karakteristik ARLINDO, anomali iklim Indo-Pasifik serta perubahan iklim lokal di wilayah Indonesia menjadi poin penting yang harus diperbarui secara berkala. Secara terperinci, beberapa tujuan yang penting untuk diketahui, yakni:

1. Mengetahui profil vertikal massa air ARLINDO di bawah pengaruh kejadian ENSO, khususnya di sepanjang jalur ARLINDO dari daerah pintu masuk, di dalam laut Indonesia, hingga ke daerah *outlet* di wilayah SETIO.
2. Mengungkap variabilitas spasial dan temporal dari *spring freshening* di Laut Banda baik di lapisan permukaan maupun lapisan dalam.
3. Mengetahui pola variabilitas musiman-antartahunan komponen *salinity budget* di IMC_{sh} dan mengkuantifikasi sumber-sumber utama *freshwater* di setiap daerah kajian.

Kajian ini memiliki kontribusi yang signifikan dalam pengembangan keilmuan terkait dalam memahami detail karakteristik terbaru dari dinamika ARLINDO. Kajian ini akan ditinjau secara spatial, temporal dengan memperhatikan dinamika struktur vertikal dari air laut khususnya di lapisan campuran atau *mixed layer depth* (MLD) di wilayah Laut Banda dan sekitarnya.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil akhir kajian ini akan menjadi bagian dari *NEW NAGA Report* yang bertujuan memperbaharui buku *NAGA Report* karya Prof. Klaus Wyrski tahun 1961, yakni kompilasi hasil-hasil riset tentang oseanografi Laut Indonesia. Selain itu hasil kajian ini juga diharapkan dapat memperbarui informasi dalam memahami dan memprediksi perubahan karakteristik oseanografi-iklim yang terjadi di Indonesia, sebagaimana pemanasan suhu laut global semakin signifikan, dan mampu membantu dalam kebijakan manajemen kebencanaan akibat fenomena anomaly iklim IOD dan ENSO.

1.5. Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian yang disajikan dalam disertasi ini berupa penelitian lanjutan atas anomali *freshwater plug* di jalur utama ARLINDO (Selat Makassar), yang diyakini memberikan dampak perubahan karakteristik massa air ARLINDO secara signifikan sejauh Laut Banda. Perubahan karakteristik massa air tersebut ditandai dengan ditemukannya massa air rendah salinitas di Laut Banda. Selain pemilihan anomali yang belum banyak diteliti, Pemilihan pendekatan metode yang tepat juga menjadi kebaruan dalam Penelitian ini. Berikut ini merupakan kebaruan dan acuan referensi yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 1.1 Penelitian terkait *freshwater plug* dan Laut Banda di Indonesia.

Referensi	Ringkasan Isi Referensi	Keterangan Keterbaruan Proposal Penelitian
(Wyrski, 1961)	Metode : Kompilasi data <i>insitu</i> (data historis ekspedisi kapal, survei hidrografi, alat pengukur, stasiun oseanografi, dan lain-lain) Hasil : Mengevaluasi batimetri, sirkulasi massa air, cuaca, iklim, efek lokal dari arus dan karakteristik aliran pasang surut di laut Indonesia dan laut sekitarnya	Studi Pertama: Penelitian IMC telah memilih untuk menggunakan analisis berbasis <i>insitu</i> untuk area terbatas di laut tertentu di Indonesia karena kemampuannya untuk mengungkapkan fenomena yang lebih spesifik mengingat kurangnya data <i>insitu</i>. Peneliti sebelumnya tidak melakukan analisis variasi stratifikasi selama kejadian iklim.
(Atmadipoe dkk., 2009a; Guo dkk., 2023; M. R. Iskandar & Suga, 2022)	Metode: Analisis berbasis data <i>insitu</i> dan berbasis <i>Argo Float</i> Hasil: Analisis dilakukan di Samudera Hindia (<i>outlet</i> ARLINDO) untuk menghitung kontribusi aliran keluar dari ARLINDO. Data grid klimatologi argo menunjukkan adanya <i>freshening</i> di <i>Indonesian upper water</i> (IUW) di Samudera Hindia dari tahun 2004 hingga 2013 dan tren peningkatan dari tahun 2014 hingga 2020 yang disebabkan oleh tren penguatan 1.33 Sv dekade⁻¹ selama tahun 1993-2018 yang terutama disebabkan oleh salinitas dan suhu ARLINDO.	Studi tentang profil vertikal massa air ARLINDO di bawah pengaruh kejadian ENSO dengan menggunakan data <i>insitu</i> belum banyak dilakukan, terutama di sepanjang jalur ARLINDO dari daerah masuknya, di dalam lautan Indonesia, hingga keluarnya di wilayah tropis-tenggara Samudera India atau <i>southeast Tropical Indian Ocean</i> (SETIO).
(Sprintall dkk., 2019)	Metode : Menggabungkan data <i>insitu</i> lautan dari <i>World Ocean Atlas</i> (WOA) dan CTD Hasil: Stratifikasi umum Indonesia diperoleh dengan menggabungkan data dari WOA 2001 dan CTD. Profil suhu, salinitas, dan kecepatan kedalaman dipengaruhi oleh pencampuran vertikal yang signifikan yang bervariasi selama peristiwa iklim Indo-Pasifik.	Untuk mengisi kesenjangan ini dan mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai variabilitas dan dinamika profil vertikal massa air ARLINDO selama kejadian iklim, 8 data <i>Argo Float</i> digunakan untuk menganalisis diagram T-S di sepanjang jalur ARLINDO.
(S. Hu & Sprintall, 2016; Santoso dkk., 2022a)	Metode : Menghubungkan variabilitas ARLINDO dengan ENSO dan IOD melalui sirkulasi anomali Indo-Pacific Walker. Penelitian ini memanfaatkan data gabungan dari pengamatan <i>insitu</i>, <i>reanalysis</i>, dan data model. Hasil : Penelitian ini menekankan relevansi struktur vertikal ARLINDO, yang merespons secara berbeda terhadap ENSO dan IOD;	

	oleh karena itu, mendiagnosis perubahan ARLINDO di bawah kondisi iklim yang berbeda harus mempertimbangkan aktivitas di berbagai lapisan. ENSO memiliki pengaruh yang lebih kuat terhadap total transit ARLINDO dibandingkan dengan Dipol Samudra India.
(Napitu dkk., 2015)	Metode: Statistik dan model <i>slab-ocean</i> Hasil: Variabilitas intra-musiman paling tinggi di Laut Banda dan Laut Timor, dengan standar deviasi 0.4°-0.5°C, yang mewakili 55%-60% dari total variasi SST non-musiman. Selama DJF di Laut Banda dan Laut Timor, kedalaman lapisan campuran lebih terapung dan mengisolasi air permukaan dari lapisan dalam yang lebih dingin sehingga menghambat peran proses laut dalam mengatur lapisan campuran. Fluks panas permukaan pada SST cenderung lebih besar selama tahun-tahun netral dan La Niña.
(Ismail dkk., 2020, 2023)	Metode: Analisis berbasis <i>Argo Float</i> Hasil: Data <i>Argo Float</i> mengungkap dinamika sirkulasi monsun barat laut di Laut Banda, khususnya keberadaan sirkulasi siklonik selama monsun barat laut, <i>upwelling</i> dan <i>downwelling</i>, dan variabilitas musiman salinitas-suhu lapisan campuran.
(Zhu dkk., 2019)	Metode: Menggunakan <i>Hybrid Coordinate Ocean Model+Navy Coupled Ocean Data Assimilation Global Analysis</i> (GLBa0.08) Hasil: Penelitian ini berfokus pada distribusi vortisitas Laut Banda dalam struktur empat lapisan, yang lebih besar pada 700 m bagian atas daripada lapisan yang lebih dalam. Mereka menemukan bahwa angin monsunal sebagian besar menggerakkan sirkulasi Laut Banda bagian tengah dan timur, tetapi gaya Coriolis mendominasi di bagian barat dan selatan.

(Halkides & Lee, 2009)	Metode : Integrasi data model dari estimasi kondisi laut ECCO dengan data satelit untuk menghitung anggaran suhu lapisan campuran (MLT) dan salinitas (MLS) di Laut Banda-Laut Arafura. Hasil: Menunjukkan kontribusi MLT dan MLS di Laut Banda. Anggaran termal lapisan campuran (secara musiman didominasi oleh fluks panas permukaan) dan salinitas lapisan campuran (secara musiman didominasi oleh adveksi) di Laut Banda. MLT di Laut Banda-Laut Arafura cenderung tinggi pada saat monsun barat laut dan lemah pada saat monsun tenggara. Kontribusi besar diberikan oleh fluks panas permukaan dalam variasi musiman kecenderungan MLT dengan menekan proses di lapisan dalam (pencampuran vertikal turbulen). Penurunan suhu terjadi ketika MLT negatif selama Mei-Agustus (kehilangan panas permukaan dan pendinginan oleh proses vertikal). MLS musiman dipengaruhi oleh proses laut dibandingkan dengan <i>freshwater plug</i> lokal. Kontribusi adveksi horizontal sebanding dengan proses di lapisan dalam laut.	Studi ke-2:
(A. L. Gordon & Susanto, 2001; I. Iskandar, 2010)	Metode : Kombinasi data altimetri TOPEX/POSEIDON dan ERS1993-1999 dan peta <i>Self-organizing</i>. Hasil : Divergensi lapisan permukaan Laut Banda mempengaruhi waktu dan profil ekspor ARLINDO ke Samudera Hindia. Pola monsun barat laut (tenggara) di daerah ini dicirikan oleh SST yang tinggi (rendah) dan SSS yang rendah (tinggi) yang terdistribusi secara seragam di lautan. Hal ini terkait dengan angin tenggara yang mendorong terjadinya <i>downwelling</i> Ekman dan sebaliknya. Divergensi permukaan Laut Banda berkorelasi cukup baik dengan keterlambatan ekspor (air permukaan 100 m) ke Samudera Hindia yang tertunda selama 3 bulan. Laut Banda mengalami pendinginan selama musim pancaroba (bulan MAM). Penyimpangan SST selama 2 puncak pada	Ketika massa air Samudera Pasifik melintasi jalur ARLINDO dan berakhir di Laut Banda, parameter suhu dan salinitas lautnya terdiversifikasi dan diubah oleh fluks panas udara-laut, <i>upwelling</i>, gaya pasang surut yang energik, dan variasi kedalaman lapisan campuran (MLD), kedalaman lapisan isothermal (ILD), dan lapisan penghalang termal (BLT) (Napitu dkk., 2015; Sprintall dkk., 2014a). Interaksi laut dan atmosfer berperan penting dalam pembentukan awan (Shi dkk., 2015), dimana perubahan 1°C suhu permukaan laut di wilayah ini berkorelasi kuat dengan gaya permukaan dan dapat menyebabkan variasi iklim skala besar (Iskandar dkk., 2020; Luis & Kawamura, 2001). Dampak anomali laut <i>freshwater plug</i> di Selat Makassar belum banyak dibahas. Fenomena kuat ini mampu mengubah karakteristik massa air ARLINDO secara signifikan sehingga mengakibatkan melemahnya ARLINDO. Anomali tersebut juga secara langsung akan berdampak pada banyak perubahan karakteristik Laut Banda. Mengkaji fenomena <i>freshening</i> selama <i>boreal spring</i> di Laut Banda sebagai akibat adanya <i>freshwater plug</i> di Selat Makassar. Mengkuantifikasi sumber utama <i>freshening</i> di

	bulan Desember dan Mei adalah sekitar 0.5°C (akhir Februari hingga awal Maret).	Laut Banda selama <i>boreal spring</i> menggunakan analisis <i>salinity budget</i> yang diintegrasikan dengan data <i>insitu</i>, satelit observasi dan reanalisi.
(A. L. Gordon & Fine A. Rana, 1996)	Metode : <i>Shipdrift</i>, Baruna Jaya I R/V Indonesia. Hasil : ARLINDO didominasi oleh dua komponen, yaitu massa air dengan salinitas rendah di termoklin atas Selat Makassar (yang berasal dari perairan Pasifik Utara) dan massa air yang lebih asin di termoklin bawah Laut Indonesia bagian timur (yang berasal dari perairan Pasifik Selatan). Di Selat Makassar, salinitas maksimum (S-max) diketahui lebih lemah selama musim barat laut yang mencerminkan adanya relaksasi aliran selama musim barat laut. Hal ini diikuti oleh pencampuran di Selat Makassar yang bertindak untuk melemahkan S-max. Sebaliknya, S-max Laut Flores lebih kuat pada saat musim barat laut, yang menunjukkan adanya jeda pada fase monsun.	
(A. L. Gordon dkk., 2003)	Metode : Pendekatan eksperimental dan observasi. Hasil : Selama musim dingin, angin mendorong air Laut Jawa yang bersalinitas rendah dan apung ke Selat Makassar bagian selatan, menciptakan gradien tekanan ke arah utara di lapisan permukaan selat. <i>Freshwater plug</i> di lapisan permukaan ini menghambat air permukaan yang hangat dari Samudra Pasifik mengalir ke selatan (Samudra Hindia) dan menyebabkan permukaan laut Samudra Hindia menjadi lebih dingin, yang pada proses selanjutnya dapat melemahkan monsun Asia.	
(A. L. Gordon, 2005)	Metode : Kombinasi data historis satelit dan observasi. Hasil : Angin muson menggeser massa air permukaan laut dengan salinitas rendah dari Laut Cina Selatan ke Laut Jawa dan Selat Makassar bagian selatan dari bulan Januari sampai Maret, dan ke Laut Cina Selatan dari bulan Juli sampai September. Kondisi ini dapat mempengaruhi kontribusi musiman yang signifikan dari lapisan	

	permukaan terhadap ARLINDO di Selat Makassar, di mana diketahui bahwa perairan subtropis Pasifik Utara mendominasi termoklin atas Selat Makassar dan Laut Banda.	
(Qu dkk., 2005)	Metode : Analisis data angin dalam kurun waktu 40 tahun terakhir dan model sirkulasi umum beresolusi tinggi. Hasil : Sebagai respon langsung terhadap angin Pasifik, massa air yang berasal dari Pasifik masuk ke Laut Cina Selatan melalui Selat Luzon, dan berlanjut ke selatan menuju Laut Jawa dan kembali ke Pasifik melalui Selat Makassar. Transportasi volume Selat Makassar sebagian besar terperangkap di permukaan dan variabilitas fluks panas ARLINDO di 100 m bagian atas menyumbang 89% dari total variabilitas; dengan kata lain, sebagian besar (99%) disebabkan oleh variabilitas transportasi volume. Selama fase pematangan El Niño, ketika sirkulasi di sekitar Filipina-Kalimantan mencapai kekuatan maksimumnya, total perpindahan panas ARLINDO berkurang 1/3 dari rata-rata jangka panjangnya. Sirkulasi inilah yang mengubah profil kecepatan meridional di Selat Makassar.	
(Tozuka dkk., 2007)	Metode : Eksperimen OGCM dengan dan tanpa aliran melintasi Laut Cina Selatan. Hasil : aliran SCS berperan penting dalam menghasilkan kecepatan maksimum massa air di lapisan dalam ARLINDO secara meridional di Selat Makassar. Kecepatan maksimum berada pada aliran selatan Selat Makassar dan terletak di lapisan dalam sekitar 110 m pada lapisan bawah permukaan, sedangkan yang berada di dekat permukaan tanpa pengaruh aliran Laut Cina Selatan.	
(Tozuka dkk., 2009)	Metode : Membandingkan keluaran dari eksperimen model sirkulasi umum laut (OGCM) dengan dan tanpa aliran SCS.	
		Studi ke-3: Dalam skala waktu intramusiman, khususnya musim semi boreal, pola peralihan antara pola monsun barat laut dan tenggara di Laut Banda ditandai dengan pola suhu sedang dan penurunan salinitas yang signifikan. Hal ini diidentifikasi dari aliran barat (A. L. Gordon & Susanto, 2001; Ismail dkk., 2023; Wyrтки, 1961), dan dikaitkan dengan aliran Laut Jawa ke arah timur (Wyrтки, 1961, Bahiyah, A. dkk, 2024). Namun, studi tentang fluktuasi energi <i>freshening</i> dalam bentuk penyelidikan interannual masih belum terungkap dalam penelitian sebelumnya. Menindaklanjuti hal tersebut, investigasi distribusi <i>freshwater</i> dilakukan di perairan IMC_{sh}, khususnya dari Laut Jawa hingga Laut Banda, terkait dengan pemeriksaan keterhubungan proses <i>freshening</i> dalam klimatologi musiman dengan karakteristik interannual. Namun fokus kajian ini adalah memahami keterhubungan Laut Banda dengan Laut Jawa, dilanjutkan dengan menghubungkan wilayah Selat Makassar dan Laut Flores. Penggunaan data model lautan yang memperhitungkan dinamika permukaan-dalam (pengaruh internal dan pencampuran pasang surut horizontal-vertikal) di perairan Indonesia relatif

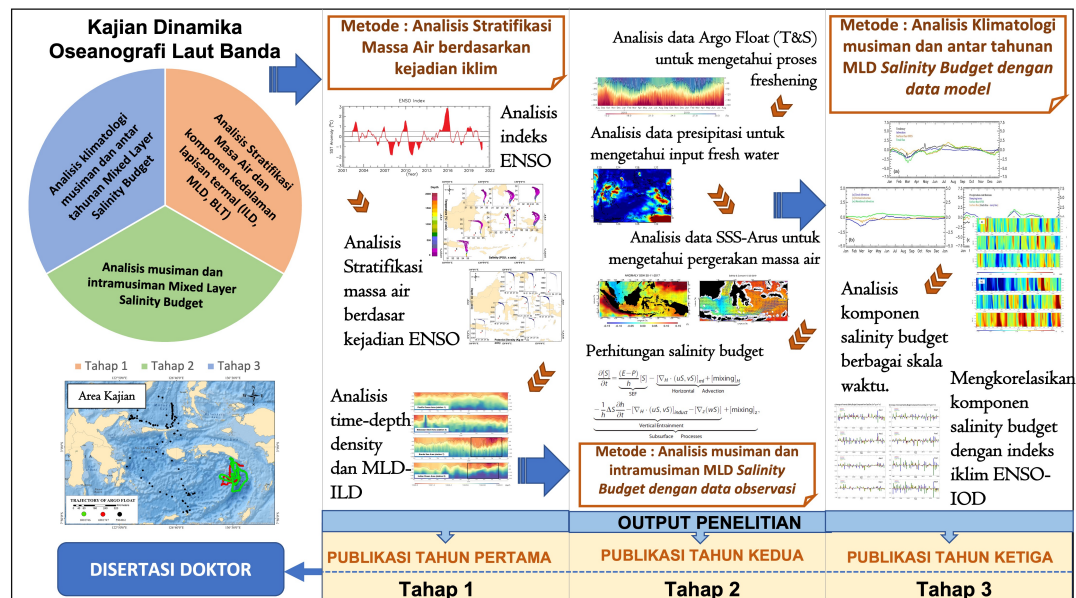
	Hasil : Selama musim dingin boreal ketika aliran SCS mencapai puncak musimannya, rata-rata volume dan transpor panas oleh Arlindo Selat Makassar berkurang sebesar 1.7 Sv dan 0.19 PW. Sedangkan ketika aliran SCS menguat saat El Niño mampu menyebabkan pelemahan volume dan transpor panas ke arah selatan melalui Selat Makassar sebesar 0.37 Sv dan 0.05 PW.	jarang. Untuk memahami dinamika sirkulasi ARLINDO secara detail, kita akan menggunakan model hidrodinamik dengan global sirkulasi versi baru <i>Ocean General Circulation Model</i> (OGCM) untuk <i>Earth Simulator</i> (disebut OFES). OFES dan Earth Simulator adalah hasil integrasi puluhan tahun simulasi lautan terkait dengan penyelesaian model pusaran air di lautan dunia. Sebagai tambahan, pemanfaatan model ini di perairan Indonesia mempertimbangkan pencampuran horizontal-vertikal, restoring salinity, dan atmospheric forcing. Secara rinci, model ini mengadopsi <i>scale-selective damping</i> dari operator bi-harmonic untuk pencampuran momentum dan tracers secara horizontal. Simulasi Hindcast telah diintegrasikan sejak tahun 1958 (Sasaki dkk., 2020).
(Qu dkk., 2009)	Metode : Analisis pengamatan dan hasil dari GCM laut. Hasil : Sirkulasi di Selat Makassar merupakan hasil interaksi antara ARLINDO yang mengalir ke selatan di termoklin dan SCST yang mengalir ke utara di dekat permukaan laut. SCST inilah yang menghambat air permukaan hangat dari Pasifik untuk mengalir ke arah selatan, sehingga menghasilkan kecepatan lapisan dalam maksimum di Selat Makassar. Eksperimen numerik menunjukkan bahwa struktur kecepatan di Selat Makassar sangat dipengaruhi oleh SSCT, dengan ilustrasi SCST pada model yang menghalangi jalur utama ARLINDO. Salah satu efek dari terhalangnya SCST dalam model juga menghasilkan ARLINDO yang lebih hangat, dengan temperatur bobot transpor sekitar 3°C lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa SCST secara signifikan (sebanyak 47%) mengurangi perpindahan panas ARLINDO.	Pemodelan hidrodinamika OFES di wilayah ARLINDO untuk menggambarkan variabilitas <i>freshwater</i> antar-tahunan, khususnya IMC_{sh}, dan dampak umpan baliknya terhadap perubahan iklim Indo-Pasifik.
(Fang dkk., 2010)	Metode: Observasi <i>acoustic doppler current profiler</i> (ADCP). Hasil : Air Laut Cina Selatan mengalir secara terus-menerus ke Laut Indonesia dan memiliki kemiringan permukaan laut dari utara ke selatan pada musim dingin. Ditemukan bahwa cabang-cabang SCS dari aliran lintas Pasifik mengalir ke Samudra Hindia pada musim dingin dan membalikkan transportasi Selat Karimata pada musim panas. Selain itu, Arus Selat Karimata memainkan peran ganda dalam total transpor Arus Lintas Indonesia (terlihat pada musim dingin). Efek	

	negatif dari peran ganda ini adalah berkurangnya volume dan perpindahan panas Selat Makassar.
(Gordon dkk., 2012)	Metode : Eksperimen HYCOM <i>global</i> 1/12 18.2 dan hasilnya dibandingkan dengan data observasi INSTANT di Selat Makassar. Hasil : Perubahan arus di SCS di lepas pantai Indonesia mungkin disebabkan oleh induksi ENSO. Selama El Niño, peningkatan arus melalui SCS yang lebih apung sepadan dengan aliran massa air Pasifik melalui Laut Sulu ke arah selatan menuju Selat Makassar bagian utara. Aliran SCS menghambat injeksi air permukaan Pasifik tropis ke Selat Makassar, sedangkan selama La Niña, aliran SCS mendekati nol sehingga memungkinkan masuknya air dari Pasifik tropis.
(Sprintall dkk., 2014b)	Metode : Kombinasi data observasi dan model. Hasil : Data observasi dan simulasi model menunjukkan bahwa profil suhu, salinitas dan kecepatan yang masuk ke dalam ARINDO ditentukan oleh intensitas pencampuran vertikal di perairan Indonesia. Hasil dari proses pencampuran total (<i>upwelling</i> di lapisan termoklin) di perairan Indonesia dapat menurunkan SST sebesar 0.5 °C yang kemudian berdampak pada curah hujan dan fluks panas atmosfer-laut. Komponen kedalaman dan kecepatan aliran ARLINDO dipengaruhi oleh ENSO dan IOD.
(Lee dkk., 2019)	Metode : <i>Salinity budget</i> lapisan atas dengan AOI di Laut Jawa. Hasil : Pada musim dingin boreal, Laut Jawa didominasi oleh curah hujan dengan intensitas tinggi di wilayah tersebut, sedangkan pada musim semi boreal, perairan didominasi oleh <i>runoff</i> air sungai di perairan Kalimantan bagian selatan. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penyumbatan <i>freshwater</i> di wilayah Selat Makassar dan melemahkan gradien tekanan utara-selatan yang dominan serta melemahkan transportasi ARLINDO ke arah selatan di lapisan atas.

	Akibatnya, ARLINDO di Selat Makassar memiliki profil kecepatan terendah di lapisan dalam pada saat musim barat.	Sintesis: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika oseanografi ARLINDO khususnya Laut Banda dan sekitarnya yang merupakan bagian dari jalur utama sirkulasi termohalin global di daerah tropis, dan implikasinya terhadap perubahan iklim global yang belum diteliti secara detail. , seperti anomali iklim yang terjadi di kawasan Indo-Pasifik yaitu fenomena IOD dan/atau ENSO. Keterkaitan erat antara dinamika oseanografi ARLINDO, anomali iklim Indo-Pasifik dan perubahan iklim lokal di wilayah Indonesia menjadi poin penting yang harus dimutakhirkan secara berkala.
(Lu dkk., 2023)	Metode : Data <i>insitu</i> dari pemantauan program ARLINDO dan produk <i>Global Ocean Physics Reanalysis</i> . Hasil : Mengevaluasi kondisi musiman dari Selat Karimata ke Selat Makassar dan memperkirakan efek salinitas terhadap <i>freshwater plug</i> di Selat Makassar. Studi ini menemukan bahwa faktor halosterik menyumbang sekitar (69.6 ± 11.7) % dari total variabilitas musiman dalam gradien ketinggian dinamis permukaan di Selat Makassar, yang sebagian besar mempengaruhi lapisan atas.	
(Sasaki dkk., 2020)	Metode: Simulasi <i>a quasi-global eddying ocean hindcast</i> yang menggunakan OFES2. Hasil : Perbandingan OFES dan OFES2: bias yang lebih kecil pada suhu permukaan laut global dan salinitas permukaan laut serta sifat massa air di laut Indonesia dan Laut Arab. Deret waktu indeks Niño3.4 dan IOD sedikit lebih baik di OFES2 dibandingkan dengan OFES. Tidak seperti versi sebelumnya, OFES2 mereproduksi anomali suhu permukaan laut rendah yang lebih realistis selama kejadian IOD positif. Salah satu kemungkinan penyebab peningkatan kejadian El Niño dan IOD ini adalah penggantian set data atmosfer. Karakteristik lapisan permukaan hingga campuran di wilayah Perairan Indonesia menunjukkan konsistensi dan perbaikan yang tampak signifikan di lapisan lebih dalam.	

1.6. Kerangka Pikir Penelitian

Berikut merupakan skema tahapan penelitian yang akan dikerjakan selama 3 tahun dalam rangka menuntaskan disertasi doktor. Wilayah kajian yang menjadi fokus penelitian ini adalah Laut Banda yang akan dilakukan dalam tiga tahapan menggunakan pendekatan remote sensing. Tahap pertama adalah analisis temporal untuk stratifikasi suhu-salinitas vertikal berdasarkan kejadian ENSO, dan kepadatan di wilayah IMC. Pada tahap kedua, analisis *salinity budget* musiman di wilayah Laut Banda menggunakan data *insitu*, sedangkan pada tahap terakhir, analisis *salinity budget* interannual dari Laut Jawa hingga Laut Banda menggunakan data OFES untuk dikorelasikan dengan ENSO-IOD.



Gambar 1.1 Skema tahapan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, N., Sharma, R., Parekh, A., Basu, S., Sarkar, A., & Agarwal, V. K. (2012). Argo observations of barrier layer in the tropical Indian Ocean. *Advances in Space Research*, 50(5), 642–654. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.05.021>
- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12), 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>
- Argo. (2020). Argo Float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC) – Snapshot of Argo GDAC of August 2020. *SEANOE*.
- Atmadipoera, A., Molcard, R., Madec, G., Wijffels, S., Sprintall, J., Koch-Larrouy, A., Jaya, I., & Supangat, A. (2009a). Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(11), 1942–1954. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.06.004>
- Atmadipoera, A., Molcard, R., Madec, G., Wijffels, S., Sprintall, J., Koch-Larrouy, A., Jaya, I., & Supangat, A. (2009b). Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(11), 1942–1954. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.06.004>
- Bahiyah, A., Wirasatriya, A., Mardiansyah, W., & Iskandar, I. (2024). An Updated Water Masses Stratification of Indonesian Maritime Continent (IMC) Attributed to Normal and ENSO Conditions by Argo Float. *Science and Technology Indonesia*, 9(2). <https://doi.org/10.26554/sti.2024.9.2>
- Bahiyah, A., Wirasatriya, A., Marwoto, J., Handoyo, G., & Agus Anugrah, D. S. P. (2019). Study of Seasonal Variation of Sea Surface Salinity in Java Sea and its Surrounding Seas using SMAP Satellite. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 246(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012043>
- Banzon, V., Smith, T. M., Mike Chin, T., Liu, C., & Hankins, W. (2016). A long-term record of blended satellite and in situ sea-surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth System Science Data*, 8(1), 165–176. <https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016>

- Berman, J. Jules, 2016. Data Simplification. Book of Taming Information with Open Sources Tools. ISBN: 978-0-12-803781-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00783-3>.
- Cai, W., Yang, K., Wu, L., Huang, G., Santoso, A., Ng, B., Wang, G., & Yamagata, T. (2021). Opposite response of strong and moderate positive Indian Ocean Dipole to global warming. *Nature Climate Change*, 11(1), 27–32. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00943-1>
- Chang, C. W. J., Hsu, H. H., Cheah, W., Tseng, W. L., & Jiang, L. C. (2019). Madden–Julian Oscillation Enhances Phytoplankton Biomass in the Maritime Continent. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41889-5>
- de Boyer Montégut, C., Mignot, J., Lazar, A., & Cravatte, S. (2007). Control of salinity on the mixed layer depth in the world ocean: 1. General description. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(6). <https://doi.org/10.1029/2006JC003953>
- Drushka, K., Sprintall, J., Gille, S. T., & Brodjonegoro, I. (2010). Vertical structure of Kelvin waves in the Indonesian throughflow exit passages. *Journal of Physical Oceanography*, 40(9), 1965–1987. <https://doi.org/10.1175/2010JPO4380.1>
- Drushka, K., Sprintall, J., Gille, S. T., & Wijffels, S. (2012). In situ observations of Madden-Julian oscillation mixed layer dynamics in the Indian and western Pacific Oceans. *Journal of Climate*, 25(7), 2306–2328. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00203.1>
- Du, Y., & Zhang, Y. (2015). Satellite and Argo observed surface salinity variations in the tropical Indian Ocean and their association with the Indian Ocean Dipole mode. *Journal of Climate*, 28(2), 695–713. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00435.1>.
- Eriksen, C. C. (1979). An equatorial transect of the Indian Ocean. *Journal of Marine Resources*, 37, 215–232.
- Fan, W., Jian, Z., Chu, Z., Dang, H., Wang, Y., Bassinot, F., Han, X., & Bian, Y. (2018). Variability of the Indonesian Throughflow in the Makassar Strait over the Last 30 ka. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24055-1>
- Fang, G., Susanto, R. D., Wirasantosa, S., Qiao, F., Supangat, A., Fan, B., Wei, Z., Sulistiyo, B., & Li, S. (2010). Volume, heat, and freshwater transports from the South China Sea to Indonesian seas in the boreal winter of 2007-2008. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(12). <https://doi.org/10.1029/2010JC006225>

- Feng, M., Zhang, N., Liu, Q., & Wijffels, S. (2018). The Indonesian throughflow, its variability and centennial change. In *Geoscience Letters* (Vol. 5, Issue 1). SpringerOpen. <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0102-2>
- Godfrey, J. S., E. F. Bradley, P. A. Coppin, L. F. Pender, T. J. McDougall, E. W. Schulz, & I. Helmond. (1999). Measurements of upper ocean heat and freshwater budgets near a drifting buoy in the equatorial Indian Ocean. *Journal of Geophysics Resources*, 104(13), 269–302.
- Gordon, A. (2019). KLAUS WYRTKI AND THE MODERN ERA OF THE MARITIME CONTINENT OCEANOGRAPHY. *Marine Research in Indonesia*, 44(2), 43–62. <https://doi.org/10.14203/mri.v44i2.552>
- Gordon, A. L. (1986). Interocean Exchange of Thermocline Water. In *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH* (Vol. 91, Issue C4).
- Gordon, A. L. (2005). Oceanography of the Indonesian seas and their throughflow. *Oceanography*, 18(SPL.ISS. 4), 15–27. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.01>
- Gordon, A. L., & Fine A. Rana. (1996). Pathways of Water between The Pacific and Indian Oceans in The Indonesian Seas. *Letters To Nature*, 379, 146–149.
- Gordon, A. L., Huber, B. A., Metzger, E. J., Susanto, R. D., Hurlburt, H. E., & Adi, T. R. (2012). South China Sea throughflow impact on the Indonesian throughflow. *Geophysical Research Letters*, 39(11). <https://doi.org/10.1029/2012GL052021>
- Gordon, A. L., Sprintall, J., Van Aken, H. M., Susanto, R. D., Wijffels, S., Molcard, R., Ffield, A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2010). The Indonesian throughflow during 2004-2006 as observed by the INSTANT program. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50(2), 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2009.12.002>
- Gordon, A. L., & Susanto, R. D. (2001). Banda Sea surface-layer divergence. *Ocean Dynamics*, 52, 2–10.
- Gordon, A. L., Susanto, R. D., Ffield, A., Huber, B. A., Pranowo, W., & Wirasantosa, S. (2008). Makassar Strait throughflow, 2004 to 2006. *Geophysical Research Letters*, 35(24). <https://doi.org/10.1029/2008GL036372>
- Gordon, A. L., Susanto, R. D., & Vranes, K. (2003). Cool Indonesian throughflow as a consequence of restricted surface layer flow. *Nature*, 425(6960), 824–828. <https://doi.org/10.1038/nature02038>

- Guo, Y., Li, Y., Cheng, L., Chen, G., Liu, Q., Tian, T., Hu, S., Wang, J., & Wang, F. (2023). An Updated Estimate of the Indonesian Throughflow Geostrophic Transport: Interannual Variability and Salinity Effect. *Geophysical Research Letters*, 50(13). <https://doi.org/10.1029/2023gl103748>
- Halkides, D. J., & Lee, T. (2009). Mechanisms controlling seasonal-to-interannual mixed layer temperature variability in the southeastern tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(2). <https://doi.org/10.1029/2008JC004949>
- Hasanudin, M. (1998). Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). *Oseana*, XXIII(2), 1–9. www.oseanografi.lipi.go.id
- Hendrizen, M., Kuhnt, W., & Holbourn, A. (2017). Variability of Indonesian Throughflow and Borneo Runoff During the Last 14 kyr. *Paleoceanography*, 32(10), 1054–1069. <https://doi.org/10.1002/2016PA003030>
- Holte, J., Talley, L. D., Gilson, J., & Roemmich, D. (2017). An Argo mixed layer climatology and database. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5618–5626. <https://doi.org/10.1002/2017GL073426>
- Hosoda, S., Ohira, T., Sato, K., & Suga, T. (2010). Improved Description of Global Mixed-Layer Depth Using Argo Profiling Floats. *Journal of Oceanography*, 66, 773–787.
- Hu, D., Wang, F., Sprintall, J., Wu, L., Riser, S., Cravatte, S., Gordon, A., Zhang, L., Chen, D., Zhou, H., Ando, K., Wang, J., Lee, J. H., Hu, S., Wang, J., Zhang, D., Feng, J., Liu, L., Villanoy, C., ... Ma, Y. (2020). Review on observational studies of western tropical Pacific Ocean circulation and climate. In *Journal of Oceanology and Limnology* (Vol. 38, Issue 4, pp. 906–929). Science Press. <https://doi.org/10.1007/s00343-020-0240-1>
- Hu, S., & Sprintall, J. (2016a). Interannual variability of the Indonesian Throughflow: The salinity effect. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(4), 2596–2615. <https://doi.org/10.1002/2015JC011495>
- Hu, S., & Sprintall, J. (2016b). Interannual variability of the Indonesian Throughflow: The salinity effect. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(4), 2596–2615. <https://doi.org/10.1002/2015JC011495>

- Hu, S., & Sprintall, J. (2017). Observed strengthening of interbasin exchange via the Indonesian seas due to rainfall intensification. *Geophysical Research Letters*, 44(3), 1448–1456. <https://doi.org/10.1002/2016GL072494>
- Iskandar, I. (2010). Seasonal and interannual patterns of sea surface temperature in Banda Sea as revealed by self-organizing map. *Continental Shelf Research*, 30(9), 1136–1148. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.03.003>
- Iskandar, I. (2012). The role of equatorial oceanic waves in the activation of the 2006 Indian Ocean Dipole. *ITB Journal of Science*, 44 A(2), 113–128. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2012.44.2.2>
- Iskandar, I., Irfan, M., & Saymsuddin, F. (2013). Why was the 2008 Indian Ocean Dipole a Short-lived Event? *Ocean Sci. J*, 48(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12601-013>
- Iskandar, I., Lestari, D., Utari, P., Sari, Q., Setiabudidaya, D., Mardiansyah, W., Supardi, & Rozirwan. (2018). How strong was the 2015/2016 El Niño event? *Journal of Physics: Conference Series*, 1011(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1011/1/012030>
- Iskandar, I., Lestrai, D. O., & Nur, M. (2019). Impact of El Niño and El Niño Modoki Events on Indonesian Rainfall. *Makara Journal of Science*, 217–222. <https://doi.org/10.7454/mss.v23i4.11517>
- Iskandar, I., Mardiansyah, W., Lestari, D. O., & Masumoto, Y. (2020). What did determine the warming trend in the Indonesian sea? *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00334-2>
- Iskandar, I., Mardiansyah, W., Setiabudidaya, D., Irfan, M., & Poerwono, P. (2017). Spatio-temporal variations of sea surface temperature in the Banda Sea during the period of 2002-2008. *AIP Conference Proceedings*, 1801. <https://doi.org/10.1063/1.4973107>
- Iskandar, I., Mardiansyah, W., Setiabudidaya, D., Poerwono, P., Kurniawati, N., Saymsuddin, F., & Nagura, M. (2014). Equatorial oceanic waves and the evolution of 2007 Positive Indian Ocean Dipole. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 25(6), 847–856. [https://doi.org/10.3319/TAO.2014.08.25.01\(Oc\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2014.08.25.01(Oc))
- Iskandar, I., Masumoto, Y., Mizuno, K., Sasaki, H., Affandi, A. K., Setiabudidaya, D., & Syamsuddin, F. (2014). Coherent intraseasonal oceanic variations in the eastern equatorial Indian Ocean and in the Lombok and Ombai Straits from observations

- and a high-resolution OGCM. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(2), 615–630. <https://doi.org/10.1002/2013JC009592>
- Iskandar, I., Sari, Q. W., Setiawan, R. Y., Siswanto, E., Ishizaka, J., Bahiyah, A., Mardiansyah, W., & Puryajati, A. D. (2023). Seasonal and interannual variations of surface chlorophyll-a in the Karimata Strait. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2266123>
- Iskandar, I., Utari, P. A., Lestari, D. O., Sari, Q. W., Setiabudidaya, D., Khakim, M. Y. N., Yustian, I., & Dahlan, Z. (2017). Evolution of 2015/2016 El Niño and its impact on Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1857. <https://doi.org/10.1063/1.4987095>
- Iskandar, M. R., & Suga, T. (2022). Change in Salinity of Indonesian Upper Water in the Southeastern Indian Ocean during Argo Period. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10430>
- Ismail, M. F. A., Karstensen, J., Ribbe, J., Arifin, T., Chandra, H., Akhwady, R., Yulihastin, E., Basit, A., & Budiman, A. S. (2023). Seasonal mixed layer temperature and salt balances in the Banda Sea observed by an Argo Float. *Geoscience Letters*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40562-023-00266-x>
- Ismail, M. F. A., Taofiqurohman, A., & Purwandana, A. (2020). Circulation dynamics of the Banda Sea estimated from argo profiles. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 584(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/584/1/012017>
- Jin, X., & Wright, J. S. (2020). Contributions of Indonesian Throughflow to eastern Indian Ocean surface variability during ENSO events. *Atmospheric Science Letters*, 21(8). <https://doi.org/10.1002/asl.979>
- Jones, Morgan, 2014. Building Valve Amplifiers second edition. ISBN: 978-0-08-096638-0. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63331-6>
- Kara, A. B., Rochford, P. A., & Hurlburt, H. E. (2000). An optimal definition for ocean mixed layer depth. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 105(C7), 16803–16821. <https://doi.org/10.1029/2000jc900072>
- Keerthi, M. G., Lengaigne, M., Vialard, J., de Boyer Montégut, C., & Muraleedharan, P. M. (2013). Interannual variability of the Tropical Indian Ocean mixed layer depth. *Climate Dynamics*, 40(3–4), 743–759. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1295-2>

- Koch-Larrouy, A., Madec, G., Iudicone, D., Atmadipoera, A., & Molcard, R. (2008a). Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian throughflow. *Ocean Dynamics*, 58(3–4), 275–288. <https://doi.org/10.1007/s10236-008-0154-5>
- Koch-Larrouy, A., Madec, G., Iudicone, D., Atmadipoera, A., & Molcard, R. (2008b). Physical processes contributing to the water mass transformation of the Indonesian throughflow. *Ocean Dynamics*, 58(3–4), 275–288. <https://doi.org/10.1007/s10236-008-0154-5>
- Lee, T., Fournier, S., Gordon, A. L., & Sprintall, J. (2019). Maritime Continent water cycle regulates low-latitude chokepoint of global ocean circulation. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10109-z>
- Lee, T., Fukumori, I., Menemenlis, D., Xing, Z., & Fu, L.-L. (2002). Effects of the Indonesian Throughflow on the Pacific and Indian Oceans. *Journal of Physical Oceanography*, 32, 1404–1429.
- Lee, T., Fukumori, I., & Tang, B. (2003). *NOTES AND CORRESPONDENCE Temperature Advection: Internal versus External Processes*.
- Levitus. (2012). *NODC Standard Product: World Ocean Atlas 1998 (7 disc set) (NCEI Accession 0095184)* ([0 to-10 S: 100 to 140 E]; Dataset). Dataset. <https://www.ncei.noaa.gov/archive/accession/0095184>
- Li, A., Zhang, Y., Hong, M., Shi, J., & Wang, J. (2023). Relative importance of ENSO and IOD on interannual variability of Indonesian Throughflow transport. *Frontiers in Marine Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1182255>
- Li, M., Gordon, A. L., Gruenburg, L. K., Wei, J., & Yang, S. (2020). Interannual to Decadal Response of the Indonesian Throughflow Vertical Profile to Indo-Pacific Forcing. *Geophysical Research Letters*, 47(11). <https://doi.org/10.1029/2020GL087679>
- Li, X., Hu, Z.-Z., Gong, Z., & Jha, B. (2022). Hotspots of Monthly Land Precipitation Variations Affected by SST Anomalies. *Journal of Climate*, 35(15), 4927–4941. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-21-0876.1>
- Lu, X., Hu, S., Guan, C., Li, M., Sprintall, J., & Wang, F. (2023). Quantifying the Contribution of Salinity Effect to the Seasonal Variability of the Makassar Strait

- Throughflow. *Geophysical Research Letters*, 50(21).
<https://doi.org/10.1029/2023GL105991>
- Luis, A. J., & Kawamura, H. (2001). Characteristics of atmospheric forcing and SST cooling events in the Gulf of Mannar during winter monsoon. *Remote Sensing of Environment*, 77, 139–148. www.elsevier.com/locate/rse
- Masson, S., Delecluse, P., Boulanger, J. P., & Menkes, C. (2002). A model study of the seasonal variability and formation mechanisms of the barrier layer in the eastern equatorial Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(12).
<https://doi.org/10.1029/2001jc000832>
- Masumoto, Y., Sasaki, H., Kagimoto, T., Komori, N., Ishida, A., Sasai, Y., Miyama, T., Motoi, T., Mitsudera, H., Takahashi, K., Sakuma, H., & Yamagata, T. (2004). A Fifty-Year Eddy-Resolving Simulation of the World Ocean-Preliminary Outcomes of OFES (OGCM for the Earth Simulator). In *Journal of the Earth Simulator* (Vol. 1).
- McCreary, J. P., Furue, R., Jensen, T., Kang, H.-W., Bang, B., Qu, T., & Miyama, T. (2007). *Interactions between the Indonesian Throughflow and circulations in the Indian and Pacific Oceans*. 75, 70–114.
- Meehl, G. A. (1987). The Annual Cycle and Interannual Variability in the Tropical Pacific and Indian Ocean Regions. *Monthly Weather Review*, 115, 27–50.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115,0027:TACAIV.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115,0027:TACAIV.2.0.CO;2)
- Murtugudde, R., & Busalacchi, A. J. (1999). Interannual Variability of the Dynamics and Thermodynamics of the Tropical Indian Ocean. *Journal of Climate*, 12, 2300–2327.
- Napitu, A. M., Gordon, A. L., & Pujana, K. (2015). Intraseasonal sea surface temperature variability across the Indonesian seas. *Journal of Climate*, 28(22), 8710–8727. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00758.1>
- Nettleton, D., 2014. Chapter 6-Selection of Variables and Factor Derivation. Book of Commercial Data Mining: Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects. Hal: 79-104. ISBN: 978-0-12-416602-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00263-0>.
- Nur'utami, M. N., & Hidayat, R. (2016). Influences of IOD and ENSO to Indonesian Rainfall Variability: Role of Atmosphere-ocean Interaction in the Indo-pacific

- Sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33, 196–203. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.070>
- Potemra, J. T., & Schneider, N. (2007). Influence of low-frequency Indonesian throughflow transport on temperatures in the Indian Ocean in a coupled model. *Journal of Climate*, 20(7), 1339–1352. <https://doi.org/10.1175/JCLI4146.1>
- Pujiana, K., Gordon, A. L., & Sprintall, J. (2013). Intraseasonal Kelvin wave in Makassar strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(4), 2023–2034. <https://doi.org/10.1002/jgrc.20069>
- Qiu, B., Mao, M., & Kashino, Y. (1999). Intraseasonal variability in the Indo-Pacific throughflow and the regions surrounding the Indonesian Seas. *Journal of Physical Oceanography*, 29(7), 1599–1618. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1999\)029<1599:IVITIP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1999)029<1599:IVITIP>2.0.CO;2)
- Qiu, Y., Cai, W., Li, L., & Guo, X. (2012). Argo profiles variability of barrier layer in the tropical Indian Ocean and its relationship with the Indian Ocean Dipole. *Geophysical Research Letters*, 39(8). <https://doi.org/10.1029/2012GL051441>
- Qu, T., Du, Y., Meyers, G., Ishida, A., & Wang, D. (2005). Connecting the tropical Pacific with Indian Ocean through South China Sea. *Geophysical Research Letters*, 32(24), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2005GL024698>
- Qu, T., & Meyers, G. (2005). Seasonal variation of barrier layer in the southeastern tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(11), 1–13. <https://doi.org/10.1029/2004JC002816>
- Qu, T., Song, Y. T., & Yamagata, T. (2009). An introduction to the South China Sea throughflow: Its dynamics, variability, and application for climate. In *Dynamics of Atmospheres and Oceans* (Vol. 47, Issues 1–3, pp. 3–14). <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.05.001>
- Rahma, A., Atmadipoera, A. S., & Naulita, Y. (2020). Water mass along eastern pathway of Indonesia Throughflow from a CTD Argo Float. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012003>
- Safinatunnajah, N., Wirasatriya, A., Rifai, A., Kunarso, Setiyono, H., Ismanto, A., Setiawan, J. D., & Nugraha, A. L. (2021). Influence of 2019 strong positive IOD on the upwelling variability along the southern coast of Java. *IOP Conference*

- Series: Earth and Environmental Science*, 919(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/919/1/012027>
- Saji, N. H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P. N., & Yamagata, T. (1999). A dipole mode in the tropical Indian ocean. *Nature*, 401(6751), 360–363. <https://doi.org/10.1038/43854>
- Santoso, A., England, M. H., Kajtar, J. B., & Cai, W. (2022a). Indonesian Throughflow Variability and Linkage to ENSO and IOD in an Ensemble of CMIP5 Models. *Journal of Climate*, 35, 3161–3179. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21>
- Santoso, A., England, M. H., Kajtar, J. B., & Cai, W. (2022b). Indonesian Throughflow Variability and Linkage to ENSO and IOD in an Ensemble of CMIP5 Models. *Journal of Climate*, 35, 3161–3179. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21>
- Santoso, A., England, W. C., & Phipps, S. J. (2011). The role of the Indonesian throughflow on ENSO dynamics in a coupled climate model. *Journal of Climate*, 24(3), 585–601. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3745.1>
- Sasaki, H., Kida, S., Furue, R., Aiki, H., Komori, N., Masumoto, Y., Miyama, T., Nonaka, M., Sasai, Y., & Taguchi, B. (2020). A global eddying hindcast ocean simulation with OFES2. *Geoscientific Model Development*, 13(7), 3319–3336. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3319-2020>
- Shee, A., Sil, S., Gangopadhyay, A., Gawarkiewicz, G., & Ravichandran, M. (2019). Seasonal Evolution of Oceanic Upper Layer Processes in the Northern Bay of Bengal Following a Single Argo Float. *Geophysical Research Letters*, 46(10), 5369–5377. <https://doi.org/10.1029/2019GL082078>
- Shi, R., Zeng, L., Wang, X., & Sui, D. (2015). High-frequency variability of latent-heat flux in the South China Sea. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 18(4), 378–385. <https://doi.org/10.1080/14634988.2015.1116916>
- Sipeng Wang, Rui Tian, Qindong Zhang, Zehang Kang, Xiaobin Tang. 2024. The application of trajectory analysis method and Fast Fourier Transform analysis method in the division of flow instability influence regions under ocean conditions. *Journal of Progress in Nuclear Energy*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2023.105045>

- Song, Q., & Gordon, A. L. (2004a). Significance of the vertical profile of the Indonesian Throughflow transport to the Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 31(16). <https://doi.org/10.1029/2004GL020360>
- Song, Q., & Gordon, A. L. (2004b). Significance of the vertical profile of the Indonesian Throughflow transport to the Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, 31(16). <https://doi.org/10.1029/2004GL020360>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., & Wijffels, S. E. (2014a). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience*, 7(7), 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., & Wijffels, S. E. (2014b). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience*, 7(7), 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., & Wijffels, S. E. (2014c). The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience*, 7(7), 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Wijffels, S. E., Feng, M., Hu, S., Koch-Larrouy, A., Phillips, H., Nugroho, D., Napitu, A., Pujiana, K., Dwi Susanto, R., Sloyan, B., Yuan, D., Riama, N. F., Siswanto, S., Kuswardani, A., Arifin, Z., Wahyudi, A. J., Zhou, H., ... Setiawan, A. (2019). Detecting change in the Indonesian seas. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 6, Issue JUN). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00257>
- Sprintall, J., & Tomczak, M. (1992). Evidence of the barrier layer in the surface layer of the tropics. *Journal of Geophysical Research*, 97(C5), 7305. <https://doi.org/10.1029/92jc00407>
- Sprintall, J., Wijffels, S. E., Molcard, R., & Jaya, I. (2009). Direct estimates of the Indonesian throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(7). <https://doi.org/10.1029/2008JC005257>

- Supari, Tangang, F., Salimun, E., Aldrian, E., Sopaheluwakan, A., & Juneng, L. (2018). ENSO modulation of seasonal rainfall and extremes in Indonesia. *Climate Dynamics*, 51(7–8), 2559–2580. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4028-8>
- Susanto, R. D., & Song, Y. T. (2015). Indonesian throughflow proxy from satellite altimeters and gravimeters. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(4), 2844–2855. <https://doi.org/10.1002/2014JC010382>
- Syamsuddin, M. L., Saitoh, S. I., Hirawake, T., Samsul, B., & Harto, A. B. (2013). Effects of El Niño-Southern Oscillation events on catches of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern Indian Ocean off Java. *Fishery Bulletin*, 111(2), 175–188. <https://doi.org/10.7755/FB.111.2.5>
- Tanaka, M. (1994). The Onset and Retreat Dates of The Austral Summer Monsoon over Indonesia, Australis and New Guinea. *Journal of The Meteorological Society of Japan*, 72(2), 255–267.
- Tozuka, T., Qu, T., Masumoto, Y., & Yamagata, T. (2009). Impacts of the South China Sea Throughflow on seasonal and interannual variations of the Indonesian Throughflow. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47(1–3), 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2008.09.001>
- Tozuka, T., Qu, T., & Yamagata, T. (2007). Dramatic impact of the South China Sea on the Indonesian throughflow. *Geophysical Research Letters*, 34(12). <https://doi.org/10.1029/2007GL030420>
- Utari, P. A., Setiabudidaya, D., Khakim, M. Y. N., & Iskandar, I. (2019). Dynamics of the South Java Coastal Current revealed by RAMA observing network. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 30(2), 235–245. <https://doi.org/10.3319/TAO.2018.12.14.01>
- van Aken, H. M., Brodjonegoro, I. S., & Jaya, I. (2009). The deep-water motion through the Lifamatola Passage and its contribution to the Indonesian throughflow. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(8), 1203–1216. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.02.001>
- Vranes, K., Gordon, A. L., & Ffield, A. (2002). The heat transport of the Indonesian throughflow and implications for the Indian Ocean heat budget. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(7–8), 1391–1410. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00150-3)

- Wang, S., Ummenhofer, C. C., Oppo, D. W., Murty, S. A., Wagner, P., Böning, C. W., & Biastoch, A. (2023). Freshwater Contributions to Decadal Variability of the Indonesian Throughflow. *Geophysical Research Letters*, 50(14). <https://doi.org/10.1029/2023GL103906>
- Wijffels, S., & Meyers, G. (2004). An Intersection of Oceanic Waveguides: Variability in the Indonesian Throughflow Region. *Journal of Physical Oceanography*, 34, 1232–1253. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2004\)034,1232:AIOOWV.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2004)034,1232:AIOOWV.2.0.CO;2).
- Wilson, E. A., & Riser, S. C. (2016). An assessment of the seasonal salinity budget for the upper Bay of Bengal. *Journal of Physical Oceanography*, 46(5), 1361–1376. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-15-0147.1>
- Windayati, R., & Surinati, D. (2016). Fenomena Madden-Julian Oscillation (MJO). *Oseana, XLI*(3), 35–43.
- Wirasatriya, A., Sugianto, D. N., & Helmi, M. (2017). The Influence of Madden Julian Oscillation on the Formation of the Hot Event in the Western Equatorial Pacific. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012006>
- Wyrcki, K. (1961). *NAGA REPORT Volume 2 Scientific Results* (Vol. 2).
- Wyrcki, K. (1971). Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition. *National Science Foundation*.
- Wyrcki, K. (1987). Indonesian through flow and the associated pressure gradient. *Journal of Geophysical Research*, 92(C12), 12941. <https://doi.org/10.1029/jc092ic12p12941>
- Xu, T. F., Wei, Z. X., Susanto, R. D., Li, S. J., Wang, Y. G., Wang, Y., et al. (2021). Observed water exchange between the South China Sea and Java Sea Through Karimata Strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(2), e2020JC016608. <https://doi.org/10.1029/2020JC016608>.
- Yu, L., Bingham, F. M., Lee, T., Dinnat, E. P., Fournier, S., Melnichenko, O., Tang, W., & Yueh, S. H. (2021). Revisiting the Global Patterns of Seasonal Cycle in Sea Surface Salinity. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(4). <https://doi.org/10.1029/2020JC016789>

- Yulihastin, E. (2009). Pengaruh El Niño 1997 terhadap Variabilitas Ozon Total Indonesia. *Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara*, 4(2), 75–85.
- Yulihastin, E., Febrianti, N., & Trismidianto. (2009). *Impacts of El Niño and IOD on the Indonesian Climate*. <https://www.researchgate.net/publication/323783989>
- Zhu, Y., Wang, L., Wang, Y., Xu, T., Li, S., Cao, G., Wei, Z., & Qu, T. (2019). Stratified Circulation in the Banda Sea and Its Causal Mechanism. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(10), 7030–7045. <https://doi.org/10.1029/2019JC015279>

