IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

ANALISIS TRANSFORMASI MASSA AIR ARLINDO DAN DINAMIKA UPWELLING BANGGAI - LAUT MALUKU DENGAN PENDEKATAN MODEL SIRKULASI LAUT CROCO

MADE WEDANTA SURYADARMA

PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

@Hak cipta milik IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Analisis Transformasi Massa Air Arlindo dan Dinamika Upwelling Banggai - Laut Maluku dengan Pendekatan Model Sirkulasi Laut CROCO" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2025

Made Wedanta Suryadarma
C5501211011

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

RINGKASAN

MADE WEDANTA SURYADARMA. Analisis Transformasi Massa Air Arlindo dan Dinamika Upwelling Banggai - Laut Maluku dengan Pendekatan Model Sirkulasi Laut CROCO. Dibimbing oleh AGUS SALEH ATMADIPOERA, EDWIYOGA NUGROHO dan YULI NAULITA.

Kawasan Perairan Banggai–Laut Maluku juga dikenal sebagai hotspot produktivitas biologi laut yang dipengaruhi oleh keberadaan fenomena *upwelling*. Namun, kajian-kajian sebelumnya mengenai upwelling di wilayah ini umumnya masih terbatas pada analisis fisik di lapisan permukaan, tanpa mengeksplorasi dinamika kolom perairan secara vertikal secara menyeluruh. Laut Maluku berperan sebagai jalur masuk sekunder bagi Arus Lintas Indonesia (Arlindo), yaitu arus laut yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia serta memainkan peran penting dalam sistem sirkulasi laut global. Namun, mekanisme transformasi massa air Arlindo di wilayah Laut Maluku juga belum banyak dibahas secara rinci. Model sirkulasi laut tiga dimensi beresolusi tinggi (~3 km) telah dikembangkan dan disimulasikan menggunakan model CROCO (Coastal and Regional Ocean COmmunity) untuk periode 2018–2022. Model ini divalidasi dengan menggunakan data observasi dari profil CTD Argo float (2018–2020) serta hasil pengukuran langsung dari ekspedisi BUDEE pada bulan September 2022. Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengkaji secara mendalam mekanisme transformasi massa air Arlindo serta menganalisis karakteristik dan dinamika kolom perairan selama kejadian upwelling di Perairan Banggai, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami dinamika oseanografi regional di Perairan Banggai-Laut Maluku.

Hasil simulasi menunjukkan korelasi yang sangat baik antara suhu hasil simulasi dan data suhu dari pengukuran CTD dengan koefisien korelasi mencapai 0,995, sementara deviasi standar suhu sebesar 6,695 mengindikasikan perbedaan suhu sekitar 7 °C di kedalaman hingga ~1000 m. Sementara itu, korelasi salinitas sedikit lebih rendah, berkisar antara 0,74 hingga 0,96, dengan deviasi standar antara 0,13 dan 0,18. Berdasarkan temuan tersebut, simulasi model CROCO menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mereproduksi kondisi suhu dan salinitas di lautan, memberikan dasar yang kokoh untuk analisis lanjutan dalam memahami mekanisme dan dinamika *upwelling*. Transformasi massa air yang diperoleh melalui simulasi model ini juga menunjukkan kesesuaian yang baik dibandingkan dengan studi-studi sebelumnya, baik yang berbasis observasi maupun model. Distribusi massa air termoklin ITF (S_max) dengan densitas 24,5 σ_θ dan massa air intermediate (S_min) dengan densitas 26,5 σ_θ menunjukkan dominasi aliran dari Pasifik Utara yang bergerak ke selatan melalui Arus Mindanao dengan sirkulasi balik ke arah utara di batas timur yang akhirnya mengalir keluar menuju Samudra Pasifik. Sementara itu, massa air saline dari Pasifik Selatan juga terlihat mengalir melalui Selat Obi menuju Laut Maluku tenggara, dan massa air intermediate Samudera Antarktika terlihat jelas memasuki Laut Maluku melalui jalur dalam di utara di mana kedalaman ambang Halmahera terbatas sekitar 550 m. Pola distribusi dan sirkulasi yang disajikan yakni pada September 2022 yang mencerminkan kondisi muson Tenggara. Temuan ini

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
© Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

selaras dengan studi-studi sebelumnya, model ini juga memberikan gambaran yang jauh lebih mendalam dan detail mengenai distribusi massa air di wilayah tersebut dibandingkan dengan pengamatan lapangan yang terbatas. Temuan ini memberikan landasan yang kuat untuk analisis lebih lanjut mengenai sirkulasi regional, yang penting dalam memahami mekanisme dan dinamika *upwelling* di kawasan tersebut.

Upwelling di Perairan Banggai merupakan salah satu fenomena oseanografi yang memiliki dampak signifikan terhadap ekosistem laut di wilayah tersebut. Hasil simulasi model CROCO menunjukkan bahwa fenomena penting ini dipicu oleh angin muson tenggara dengan kecepatan hingga 7 m/s yang mendorong massa air permukaan bergerak ke utara, menciptakan kekosongan yang diisi oleh massa air dingin dari lapisan yang lebih dalam. Fenomena ini dimulai pada bulan Mei dan mencapai puncaknya pada bulan September, ditandai dengan rendahnya suhu permukaan laut yakni 25,5°C dan rendahnya tinggi muka laut yakni 0,45 m. *Upwelling* di Perairan Banggai juga ditandai dengan tersingkapnya isotherm 27°C dari kedalaman 50 m hingga permukaan pada Bulan September. Selama puncak *upwelling*, arus permukaan hingga kedalaman 100 m bergerak tegak lurus menjauhi garis pantai sehingga menyebabkan air dari lapisan bawah yang kaya nutrisi naik ke permukaan dan meningkatkan konsentrasi klorofil-a hingga 0,4 mg/m^3. Penelitian ini juga menyoroti peran dinamika arus meridional di Selat Bote, yang mengungkapkan bahwa meskipun arus di selat tersebut kuat bergerak ke arah utara pada bulan Januari dan Mei, pada bulan September aliran menjadi lebih lemah dan bahkan berbalik arah ke selatan akibat intrusi massa air dari Laut Maluku. Fenomena *upwelling* dipicu oleh karena dorongan kuat angin muson tenggara yang mendominasi dinamika perairan di permukaan.

Kata kunci: Banggai, CROCO, sirkulasi, *upwelling*, Arlindo

@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

©Hak cipta milik IPB University

SUMMARY

MADE WEDANTA SURYADARMA. *Ocean Circulation Modelling CROCO for Analysis of Indonesian Throughflow Water Mass Transformation and Upwelling Dynamics of Banggai - Maluku Sea.* Supervised by AGUS SALEH ATMADIPOERA, DWIYOGA NUGROHO and YULI NAULITA.

The Banggai–Maluku Sea region is recognized as a hotspot of marine biological productivity, largely influenced by the occurrence of upwelling phenomena. However, previous studies on upwelling in this area have generally been limited to surface-level physical analyses, without thoroughly exploring the vertical dynamics of the water column. The Maluku Sea also functions as a secondary gateway for the Indonesian Throughflow (ITF), an ocean current that connects the Pacific and Indian Oceans and plays a crucial role in global ocean circulation. Despite its importance, water mass transformation mechanisms of the ITF within the Maluku Sea have not been extensively examined in detail. To address these gaps, a high-resolution three-dimensional ocean circulation model (~3 km) was developed and simulated using the CROCO (Coastal and Regional Ocean COmmunity) model for the period 2018–2022. The model was validated using observational data from Argo float CTD profiles (2018–2020) and in-situ measurements obtained during the BUDEE expedition in September 2022. Through this modeling approach, the study aims to investigate in greater detail the water mass transformation mechanisms of the ITF and to analyze the characteristics and dynamics of the water column during upwelling events in the Banggai Waters. The findings are expected to contribute significantly to the understanding of regional oceanographic dynamics in the Banggai–Maluku Sea region.

The simulation results revealed a strong correlation between modeled and observed temperature data, correlation coefficient of 0.995. The standard deviation of temperature at depths up to ~1000 ms was 6.695, indicating a temperature difference of approximately 7°C. In contrast, the correlation for salinity was slightly lower, ranging from 0.74 to 0.96, with standard deviations between 0.13 and 0.18. These findings demonstrate that the CROCO model performed exceptionally well in reproducing temperature and salinity conditions, providing a solid foundation for further analysis of *upwelling* mechanisms and dynamics. Additionally, the simulated water mass transformation aligned well with previous observation-based and model-based studies. The distribution of thermocline water (S_max) with a density of 24.5 σ_θ and intermediate water (S_min) with a density of 26.5 σ_θ indicated a dominant southward flow from the North Pacific through the Mindanao Current, with a countercurrent circulating northward along the eastern boundary before exiting to the Pacific Ocean. Meanwhile, saline water from the South Pacific was observed flowing through the Obi Strait into southeastern Maluku Sea, and Antarctic Intermediate Water was clearly detected entering the Maluku Sea from the north through the Halmahera Sea, constrained by the Halmahera Sill depth of around 550 ms. This circulation and distribution pattern reflects the conditions during the southeast Monsoon in September 2022. Although consistent with earlier studies, the model provides a

IPB University

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

more detailed and comprehensive view of water mass distribution in the region compared to limited field observations. These results offer a robust basis for further regional circulation studies, critical for understanding *upwelling* dynamics in this area.

Upwelling in Banggai Waters is a significant oceanographic phenomenon affecting the local marine ecosystem. The CROCO model simulation reveals that this process is driven by the south monsoon winds, reaching speeds of up to 7 m/s, which push surface waters northward, creating a void filled by cooler subsurface waters. The *upwelling* begins in May and peaks in September, marked by cooling sea surface temperature to 25.5°C and a low sea level to 0.45 ms. It is characterized by the upward displacement of the 27°C isotherm from 50 ms depth to the surface in September. During peak *upwelling*, surface currents down to 100 ms flow crossshore to coastline, causing nutrient rich water from the lower layers rising to the surface, increasing the chlorophyll-a concentration to 0.4 mg/m³. This study also highlights the role of meridional currents in the Bote Strait, revealing strong northward flows in January and May, which weaken and reverse southward in September due to water mass intrusions from the Maluku Sea. *Upwelling phenome*non due to the dominant influence of the powerful southeast monsoon winds at the surface, demonstrating the intricate interplay between wind forcing and oceanic currents in driving this dynamic phenomenon.

Keywords: Banggai, CROCO, circulations, *upwelling*, ITF

@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

ANALISIS TRANSFORMASI MASSA AIR ARLINDO DAN DINAMIKA UPWELLING BANGGAI - LAUT MALUKU DENGAN PENDEKATAN MODEL SIRKULASI LAUT CROCO

MADE WEDANTA SURYADARMA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Kelautan

PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1. Dsc. Faisal Hamzah, S.Pi.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

Judul Tesis : Analisis Transformasi Massa Air Arlindo dan Dinamika Upwelling Banggai - Laut Maluku dengan Pendekatan Model Sirkulasi Laut CROCO
Nama : Made Wedanta Suryadarma
NIM : C5501211011

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Agus Saleh Atmadipoera, DESS

Pembimbing 2:
Dr. Dwiyoga Nugroho, MT

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Neviaty Putri Zamani, M.Sc.
NIP. 19641014 198803 2 001

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc.
NIP. 19630731 198803 1 002

Tanggal Ujian: 20 Maret 2025 Tanggal lulus:

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia–Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini berjudul "Analisis Transformasi Massa Air Arlindo dan Dinamika Upwelling Banggai - Laut Maluku dengan Pendekatan Model Sirkulasi Laut CROCO".

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Agus Saleh Atmadipoera, DESS., Dr. Dwiyoga Nugroh, M.T, dan Dr. Yuli Naulita M.Si, yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar dan penguji luar komisi pembimbing. Selain itu, terima kasih juga kepada bapak Apriansyah dan bapak Yulianto Suteja yang telah membantu selama penelitian ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2025

Made Wedanta Suryadarma

© Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xiv

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR LAMPIRAN xvi

I PENDAHULUAN 1
- 1.1 Latar Belakang 1
- 1.2 Rumusan Masalah 4
- 1.3 Tujuan 5
- 1.4 Manfaat 5
- 1.5 Hipotesis Penelitian 6

II TINJAUAN PUSTAKA 8
- 2.1 Aspek Teori *Coastal Upwelling* 8
- 2.2 Respons Fisik dan Biogeokimia terhadap Fenomena *Upwelling* 8
- 2.3 Pendekatan Studi *Upwelling* 9
- 2.4 *Upwelling* di Perairan Banggai 11
- 2.5 Transformasi Massa Air di Laut Maluku 12

III METODE 14
- 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 14
- 3.2 Data 14
- 3.3 Alat 15
- 3.4 Prosedur Kerja 15
  - 3.4.1 Model Numerik Laut 15
  - 3.4.2 Pra Pemrosesan Data CTD 19
- 3.5 Analisis Data 22
  - 3.5.1 Validasi Model Numerik CROCO 22
  - 3.5.2 Distribusi Dinamika Spasial *Upwelling* 22
  - 3.5.3 Analisis penampang vertikal beberapa parameter oseanografi 23
  - 3.5.4 Kalkulasi Volume Transpor 24
  - 3.5.5 Transformasi Massa Air di Laut Maluku 25
  - 3.5.5 Transformasi Massa Air di Laut Maluku 25

IV HASIL DAN PEMBAHASAN 26
- 4.1 Validasi Data 26
- 4.2 Volume Transpor Massa Air di sekitar Laut Maluku 33
- 4.3 Transformasi Massa Air ITF di Laut Maluku 37
- 4.4 Dinamika dan Mekanisme Fenomena *Upwelling* 40
- 4.5 Rona Musiman di Lapisan Permukaan Area *Upwelling* 52

V SIMPULAN DAN SARAN 58
- 5.1 Simpulan 58
- 5.2 Saran 59

DAFTAR PUSTAKA 60

LAMPIRAN 65

RIWAYAT HIDUP 73

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University
IPB University

DAFTAR TABEL

1. Jenis dan sumber data penelitian 15
2. Koordinat dan waktu pengukuran data Argo Float 20
3. Koordinat dan waktu pengukuran data CTD BUDEE 2022 21
4. Analisis diagram taylor simulasi model dengan data observasi lapangan 33
5. Tabulasi perbandingan Volume Transpor Massa Air dengan publikasi Lainnya 37

DAFTAR GAMBAR

1. Distribusi spasial klorofil-a (a) dan suhu permukaan laut (b) di Perairan Banggai pada bulan Agustus tahun 2015 (Atmadipoera *et al.* 2018), 2
2. Diagram kerangka berpikir 5
3. Skema respons dalam produksi fitoplankton terhadap fenomena *upwelling* (Kaempf dan Chapman 2016) 9
4. Skema terjadinya fenomena *upwelling* di Perairan Banggai, a) Kondisi Awal, b) Kondisi *upwelling* (Atmadipoera *et al.* 2018) 12
5. Domain model di Perairan Banggai, Maluku dan sekitarnya 14
6. Ilustrasi Grid Arakawa C (Arakawa and Lamb, 1977) 17
7. Ilustrasi Sistem Koordinat Sigma (Mellor *et al.* 2002) 17
8. Sebaran pengukuran CTD dari Argo Float dan Ekspedisi BUDEE September 2022 19
9. Diagram alir prosedur kerja 22
10. Peta garis transek vertikal untuk suhu dan arus meridional (merah) dan arus yang telah di rotasi (hitam) 23
11. Peta garis transek untuk menghitung transpor volume 24
12. Perbandingan profil suhu dari CTD Argo float (biru) dan model CROCO (merah) di Laut Maluku untuk Argo float ID 5904508 (Feb-Sep 2018) dan ID 5904531 (Mar-Mei 2019) 26
13. Perbandingan profil salinitas dari CTD Argo float (biru) dan model CROCO (merah) di Laut Maluku untuk Argo float ID 5904508 (Feb-Sep 2018) dan ID 5904531 (Mar-Mei 2019) 28
14. Analisis diagram taylor untuk suhu dan salinitas antara CROCO Model dan Argo Floats (ID 5904508 and ID 5904531) di Laut Maluku 28
15. Perbandingan profil suhu dari CTD Ekspedisi BUDEE (hijau) dan model CROCO (merah) di Laut Maluku (September 2022) 30

16. Perbandingan profil salinitas dari CTD Ekspedisi BUDEE (hijau) dan model CROCO (merah) di Laut Maluku (September 2022). 31
17. Analisis diagram taylor untuk temperature (a) dan salinitas (b) antara CROCO Model dan CTD Ekspedisi BUDEE di Laut Maluku 32
18. Volume transpor massa air pada selat-selat yang terhubung dengan Laut Maluku. Panah merah menunjukkan transpor menuju utara untuk transek zonal serta menuju timur untuk transek meridional. Panah biru menujukkan transpor menuju selatan untuk transek zonal serta menuju barat untuk transek meridional 34
19. Grafik Temporal Volume Transpor Musiman pada tahun 2018-2022 di Sekitar Laut Maluku (kanan), yakni pada Selat Peleng (a), Selat Obi(b), Sisi Utara Maluku (c), Selat Lifamatola (d), dan Selat Bote (e), serta grafik PSD dengan tingkat kepercayaan 95% (kiri) 36
20. Sebaran spasial rerata salinitas dengan vektor sirkulasi arus pada densitas permukaan 24.5 σ_θ (a), 26.5 σ_θ (b), 27.2 σ_θ (c) pada September 2022 39
21. Plot deret-waktu rataan harian (hitam) dan rataan bulanan (merah) parameter kecepatan meridional angin (a), kecepatan meridional arus (b), suhu permukaan laut (c), tinggi permukan laut (d), klorofil-a (e) selama periode 2018-2022 serta siklus tahunan yang telah dinormalisasi (f), peta *sampling box* plot deret-waktu pada area sentral *upwelling* Perairan Banggai (g) 41
22. Rata – rata vektor kecepatan dan arah angin selama periode (a) Non-*upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling* 44
23. Rataan bulanan distribusi vertikal kecepatan meridional selama periode (a) Non-*upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling* 48
24. Distribusi vertikal kecepatan arus yang telah dirotasi selama periode (a) Non-*upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling* 49
25. Distribusi vertikal kecepatan meridional di Selat Bote dari tahun 2018-2022 51
26. Rata – rata distribusi spasial suhu permukaan laut tumpang tindih vektor arus selama periode (a) Non-*upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling* 53
27. Rataan bulanan distribusi vertikal suhu laut selama periode (a) non-*upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling*, dan (e) *Isotherm* suhu 27°C pada fase non-*upwelling* dan puncak *upwelling* 55
28. Rataan bulanan distribusi spasial klorofil-a selama periode (a) Non- *upwelling*, (b) Awal *upwelling*, (c) Puncak *upwelling*, dan (d) Akhir *upwelling* 57

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

@Hak cipta milik IPB University

DAFTAR LAMPIRAN

1. Sebaran spasial salinitas dengan vektor arus pada beberapa kelompok densitas potensial 66
2. Diagram T-S di Laut Maluku hasil keluaran model CROCO 67
3. Sebaran spasial salinitas dengan vektor arus di permukaan pada fase upwelling yang berbeda 68
4. Sebaran spasial salinitas dengan vektor arus di kedalaman 50m pada fase upwelling yang berbeda 70
5. Skema respons kolom perairan Banggai saat upwelling terjadi 72

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University