

STRUKTUR VERTIKAL DAN VARIABILITAS *UPWELLING* ANTAR TAHUNAN DI PERAIRAN BANGGAI, LAUT MALUKU

AMANDA CHRISTIN DOMPEIPEN



**PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Struktur Vertikal dan Variabilitas *Upwelling* Antar Tahunan di Perairan Banggai, Laut Maluku” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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, Desember 2024

Amanda Christin Dompeipen
C5501221007

- 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.



RINGKASAN

AMANDA CHRISTIN DOMPEIPEN. Struktur Vertikal dan Variabilitas *Upwelling* Antar Tahunan di Perairan Banggai, Laut Maluku. Dibimbing oleh AGUS SALEH ATMADIPOERA, NYOMAN METTA N NATIH dan ABDUL BASIT.

Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow/ITF*) merupakan arus laut penting yang menghubungkan Samudra Pasifik dan Samudra Hindia melalui perairan Indonesia. Aliran ini berperan dalam redistribusi panas global serta memengaruhi iklim dan variabilitas oseanografi, seperti *El Niño–Southern Oscillation* (ENSO). Aliran ITF di Laut Maluku, yang terletak di barat daya Samudra Pasifik, berkontribusi besar terhadap distribusi nutrisi dan suhu, berdampak pada ekosistem laut serta aktivitas perikanan. Kondisi oseanografi di Laut Maluku sangat dipengaruhi oleh ENSO, di mana perubahan intensitas *upwelling* dan sirkulasi ITF selama *El Niño* dan *La Niña* menghasilkan dinamika laut–atmosfer yang bervariasi secara horizontal maupun vertikal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh dinamika laut–atmosfer terhadap struktur vertikal dan variabilitas *upwelling* di wilayah Banggai, Laut Maluku, selama enam fenomena ENSO (2008–2023). Selain itu, penelitian ini juga mengamati peran ITF dalam memodulasi *upwelling* serta menganalisis intensitas *upwelling* antar–tahunan berdasarkan berbagai parameter laut–atmosfer di wilayah tersebut.

Penelitian ini menggunakan data observasi satelit dan model keluaran dari *Copernicus Marine Environment Monitoring* (CMEM) yang meliputi parameter angin, klorofil-a, tinggi permukaan laut, suhu laut, salinitas, arus, serta data CTD. Analisis data dilakukan melalui beberapa metode, termasuk validasi model dengan diagram *Taylor*, analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) untuk memahami pola spasial–temporal, serta diagram *Hovmöller* untuk menggambarkan pola sinyal antar–tahunan. Intensitas *upwelling* diukur menggunakan indeks *Composite Upwelling Indices* yang mempertimbangkan beberapa parameter laut–atmosfer. Validasi model pada variabel suhu permukaan (SPL) laut dan anomali tinggi permukaan laut menunjukkan koefisien korelasi tinggi (0,92 dan 0,99).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ENSO memengaruhi parameter oseanografi di Laut Maluku secara signifikan, khususnya SPL, klorofil-a, dan arus meridional. Selama *El Niño*, SPL di Laut Maluku turun hingga 26,6–29,75 °C, yang menunjukkan pendinginan akibat *upwelling* intensif, terutama pada super *El Niño* 2015–2016. Sebaliknya, *La Niña* menghasilkan SPL yang lebih tinggi, berkisar antara 28–30,2 °C, dengan intensitas *upwelling* yang lebih lemah. Konsentrasi klorofil-a selama *El Niño* meningkat hingga lebih dari 0,8 mg/m³, yang menunjukkan peningkatan produktivitas primer, sementara pada *La Niña* konsentrasinya berada di sekitar 0,35 mg/m³.

Struktur vertikal suhu laut menunjukkan suhu lapisan permukaan yang lebih rendah selama *El Niño*, yang diperkuat dengan naiknya isoterm 26,5 °C hingga kedalaman 20 m di sebelah barat hingga 124,6 °BT. Pada *La Niña*, struktur suhu vertikal menunjukkan lapisan permukaan yang lebih hangat, dengan isoterm 26,5 °C pada kedalaman 40–60 m. Kedalaman *mixed layer depth* (MLD) menunjukkan perbedaan signifikan antara fase ENSO. Saat *El Niño*, MLD berkisar antara 11,8

m hingga 13,8 m, sedangkan pada *La Niña* mencapai lebih dari 19,5 m. Lapisan permukaan yang lebih dingin selama *El Niño* disertai dengan *upwelling* yang kuat dan peningkatan konsentrasi nutrisi yang mendukung pertumbuhan fitoplankton, sementara *La Niña* ditandai dengan lapisan permukaan yang lebih hangat dan intensitas *upwelling* yang lebih lemah. Hal ini juga terlihat pada hasil analisis EOF suhu secara vertikal dengan *total explained variance* sebesar 99,9% (EOF1), yang menunjukkan perbedaan signifikan pada nilai eigen di permukaan, yang mengalami anomali suhu lebih ekstrem atau lebih dingin dari rata – rata, sementara lapisan yang lebih dalam cenderung lebih stabil.

Struktur vertikal arus meridional menunjukkan arus kuat ke utara hingga 0,5 m/s pada kedalaman 30 m selama *El Niño*, yang mendukung intensitas *upwelling* yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada *La Niña*, arus lebih dominan ke selatan dengan kecepatan maksimum 0,2 m/s, yang menunjukkan pelemahan *upwelling*. Analisis EOF arus meridional memperlihatkan bahwa mode pertama (28,55% varians) menunjukkan arus ke utara yang dipengaruhi oleh monsun dan ITF. Mode kedua hingga keempat menunjukkan peran signifikan ENSO dalam memodulasi arus meridional yang berdampak pada distribusi nutrisi dan SPL, sehingga memperkuat atau melemahkan fenomena *upwelling* sesuai intensitas ENSO. *Composite Upwelling Indices* menunjukkan intensitas *upwelling* tertinggi selama *El Niño* dengan indeks di atas 0,8, sedangkan pada *La Niña*, intensitasnya lemah dengan indeks di bawah 0,4.

Analisis luas area *upwelling* melalui struktur vertikal menunjukkan bahwa *El Niño* menghasilkan perluasan area *upwelling* progresif hingga 5,56 km² pada *El Niño* pertama (E1), 6,17 km² pada *El Niño* kedua (E2), dan 6,48 km² pada *El Niño* ketiga (E3). Sebaliknya, selama *La Niña*, luas area *upwelling* jauh lebih kecil, sekitar 0,69 km² pada *La Niña* pertama (L1) dan mencapai 4,40 km² pada *La Niña* ketiga (L3). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa *El Niño* memengaruhi perubahan ukuran kolam hangat atau *warm pool* di Pasifik Barat. Pada fase ini, penurunan SPL di Laut Maluku berhubungan dengan pergeseran *warm pool* ke arah timur akibat melemahnya angin pasat dan peningkatan suhu permukaan di wilayah Pasifik Tengah dan Timur. Sebaliknya, saat *La Niña* angin pasat yang menguat menyebabkan *warm pool* bergeser kembali ke Pasifik Barat, sehingga meningkatkan SPL dan memperlemah *upwelling* di Laut Maluku.

Kata kunci: Arlindo, ENSO, Laut Maluku, Upwelling, Variabilitas Laut–Atmosfer



SUMMARY

AMANDA CHRISTIN DOMPEIPEN. Vertical Structure and Interannual Variability of *Upwelling* in Banggai Waters, Maluku Sea. Supervised by AGUS SALEH ATMADIPOERA, NYOMAN METTA N. NATIH dan ABDUL BASIT.

The Indonesian Throughflow (ITF) is a crucial ocean current that connects the Pacific and Indian Oceans via Indonesian waters. This flow plays a key role in global heat redistribution and influences climate and oceanographic variability, including the El Niño–Southern Oscillation (ENSO). The ITF in the Maluku Sea, located at the southwestern boundary of the Pacific Ocean, significantly contributes to nutrient and temperature distributions, impacting marine ecosystems and fishery activities. Oceanographic conditions in the Maluku Sea are heavily influenced by ENSO, where variations in upwelling intensity and ITF circulation during El Niño and La Niña events lead to diverse ocean–atmosphere dynamics, both horizontally and vertically. This study aims to examine the impact of ocean–atmosphere dynamics on the vertical structure and variability of upwelling in the Banggai region, Maluku Sea, during six ENSO events (2008–2023). Additionally, the study observes the role of ITF in modulating upwelling and analyzes interannual upwelling intensity based on various ocean–atmosphere parameters in the region.

This study utilized satellite observational data and model outputs from the Copernicus Marine Environment Monitoring (CMEM), covering parameters such as wind, chlorophyll-a, sea surface height, sea temperature, salinity, currents, and CTD data. Data analysis was conducted using various methods, including model validation with Taylor diagrams, Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis to understand spatial–temporal patterns, and Hovmöller diagrams to illustrate interannual signal patterns. Upwelling intensity was measured using the Composite Upwelling Indices (CUI), which considers multiple ocean–atmosphere parameters. Model validation of sea surface temperature (SST) and sea level anomaly demonstrated high correlation coefficients (0.92 and 0.99).

The results show that ENSO significantly affects oceanographic parameters in the Maluku Sea, particularly SST, chlorophyll-a, and meridional currents. During El Niño, SST in the Maluku Sea decreases to 26.6–29.75 °C, indicating cooling due to intensive upwelling, especially during the 2015–2016 super El Niño. Conversely, La Niña results in higher SST, ranging from 28–30.2 °C, with weaker upwelling intensity. Chlorophyll-a concentrations during El Niño increase to over 0.8 mg/m³, indicating a rise in primary productivity, while during La Niña, concentrations are around 0.35 mg/m³.

The vertical temperature structure reveals lower surface layer temperature during El Niño, with the 26.5 °C isotherm rising to a depth of 20 m in the western region to 124.6 °E. During La Niña, the vertical temperature structure shows a warmer surface layer, with a 26.5 °C isotherm at 40–60 m depths. The mixed layer depth (MLD) differs significantly between ENSO phases, with El Niño exhibiting MLDs ranging from 11.8 m to 13.8 m, while during La Niña, the MLD extends beyond 19.5 m. The colder surface layer during El Niño was accompanied by strong upwelling and increased nutrient concentrations, supporting phytoplankton growth. In contrast, La Niña is characterized by a warmer surface layer and weaker

- 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

upwelling intensity. This is also seen in the results of the vertical temperature EOF analysis with a total explained variance of 99.9% (EOF1), which shows significant differences in eigenvalues at the surface, which experience more extreme or colder than average temperature anomalies, while deeper layers tend to be more stable.

The vertical structure of meridional currents indicates a strong northward flow, reaching up to 0.5 m/s at 30 m depth during El Niño, supporting increased upwelling intensity. In contrast, during La Niña, currents predominantly flow southward with a maximum speed of 0.2 m/s, indicating weaker upwelling. EOF analysis of meridional currents also revealed that the first mode (28.55% variance) represents northward currents influenced by the monsoon and ITF. Modes two through four show the significant role of ENSO in modulating meridional currents, impacting nutrient and SST distributions, thus strengthening or weakening upwelling phenomena according to ENSO intensity. The CUI revealed the highest upwelling intensity during El Niño with indices above 0.8, while during La Niña, the intensity was weak with indices below 0.4.

Analysis of the upwelling area through vertical structure indicates that El Niño results in a progressive expansion of the upwelling area up to 5.56 km² during the first El Niño (E1), 6.17 km² during the second El Niño (E2), and 6.48 km² during the third El Niño (E3). Conversely, during La Niña, the upwelling area is much smaller, around 0.69 km² during the first La Niña (L1) and reaching 4.40 km² during the third La Niña (L3). This study also indicates that El Niño affects the size of the warm pool in the Western Pacific. During this phase, SST declined in the Maluku Sea, associated with an eastward shift of the warm pool due to weakening trade winds and increasing surface temperatures in the central and eastern Pacific regions. Conversely, during La Niña, stronger trade winds cause the warm pool to shift back to the Western Pacific, raising SST and reducing upwelling in the Maluku Sea.

Keywords: ENSO, ITF, Maluku Sea, Ocean–Atmosphere Variability, Upwelling



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, tahun 2024
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 apapun tanpa izin IPB.

STRUKTUR VERTIKAL DAN VARIABILITAS *UPWELLING* ANTAR TAHUNAN DI PERAIRAN BANGGAI, LAUT MALUKU

AMANDA CHRISTIN DOMPEIPEN

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

**PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Dr. Gentio Harsono, S.T., M.Si.
2. Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si.

Judul Tesis : Struktur Vertikal Dan Variabilitas *Upwelling* Antar Tahunan di
Perairan Banggai, Laut Maluku
Nama : Amanda Christin Dompeipen
NIM : C5501221007

Disetujui oleh

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



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Nyoman Metta N. Natih, M.Si.



Pembimbing 3:
Dr.rer.nat. Abdul Basit, S.Si., M.App.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si.
NIP. 19660712 199103 2 003



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



Tanggal Ujian:
10 Desember 2024

Tanggal lulus:



- 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini berjudul “Struktur Vertikal dan Variabilitas *Upwelling* Antar Tahunan di Perairan Banggai, Laut Maluku”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Agus Saleh Atmadipoera, DESS, Dr. Ir. Nyoman MN Natih, M.Si, dan Dr.rer.nat. Abdul Basit, S.Si., M.App.Sc, yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada tim BUDEE yang telah menyediakan data CTD untuk digunakan sebagai data validasi model pada penelitian ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, keluarga serta seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama penyelesaian studi.

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

Bogor, Desember 2024

Amanda Christin Dompeipen
C5501221007



- 

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
II METODE	5
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	5
2.2 Data	5
2.3 Analisis Data	7
2.3.1 Validasi Data	8
2.3.2 Diagram <i>Hovmöller</i>	9
2.3.3 Analisis Klimatologi dan Penapisan <i>Bandpass</i>	9
2.3.4 Analisis <i>Empirical Orthogonal Function</i> (EOF)	10
2.3.5 Analisis <i>Power Spectral Density</i> (PSD)	12
2.3.6 Estimasi Volume Transport	12
2.3.7 Analisis <i>Composite Upwelling Indices</i>	13
III HASIL DAN PEMBAHASAN	14
3.1 Validasi Data	14
3.2 Variabilitas Antar Tahunan Keluaran MODEL CMEM	17
3.3 Dinamika Sirkulasi Permukaan dan <i>Upwelling</i> pada ENSO Berbeda	18
3.3.1 Suhu Laut	18
3.3.2 Klorofil-a dan angin	21
3.4 Struktur Vertikal <i>Upwelling</i>	23
3.4.1 <i>Cross section</i> Suhu Laut	23
3.4.2 <i>Cross section</i> Komponen Arus Meridional	25
3.4.3 Pola Spasial dan Variasi Temporal Suhu dan Arus	26
3.5 Variabilitas Transport Ekman	30
3.6 Respons Laut–Atmosfer pada ENSO berbeda	32
IV SIMPULAN DAN SARAN	36
4.1 Simpulan	36
4.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	49



DAFTAR TABEL

1	Klasifikasi <i>Composite Upwelling Indices</i>	13
2	Nilai korelasi, RMSD, dan standar deviasi dari suhu laut dan salinitas	16
3	Perubahan volume transport (Q_v) selama fenomena ENSO yang berbeda dengan mengacu pada rata – rata $Q_v = 0,13$ Sv (kedalaman 0–25 m) di Perairan Banggai	31
4	Perubahan volume transport (Q_v) selama fenomena ENSO yang berbeda dengan mengacu pada rata – rata $Q_v = 0,16$ Sv (kedalaman 0–200 m) di Perairan Banggai	31

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram kerangka pikir penelitian	4
2	Peta Lokasi Penelitian Perairan Banggai, Laut Maluku	5
3	Diagram alir analisis data	7
4	Validasi data antara model CMEM dan data satelit untuk parameter suhu permukaan laut (a), anomali tinggi permukaan laut (b), serta analisis diagram <i>Taylor</i> (c)	14
5	Kolokasi data profil suhu air laut (a) dan salinitas (b) antara model CMEM (hitam) dan CTD (merah) pada enam lokasi CTD (lihat Gambar 2). Panel kanan menunjukkan analisis diagram <i>Taylor</i> untuk profil suhu (c) dan salinitas (d)	15
6	Variabilitas arus di Selat Lifamatola pada periode 2015–2018 berdasarkan data pengukuran <i>mooring</i> (Yuan <i>et al.</i> 2022) (a) dan keluaran model CMEM (b). Warna menunjukkan kecepatan komponen arus meridional (v)	16
7	Plot <i>time-longitude</i> (diagram <i>Hovmöller</i>) sepanjang 1,3 °LS dari parameter yang difilter dengan <i>band-pass</i> 2–5 tahun, yaitu suhu air laut (a), salinitas (b), arus meridional (c) pada lapisan dekat permukaan, dan <i>Oceanic Niño Index</i> (ONI) (d)	17
8	Rata – rata sirkulasi dan suhu permukaan laut (SPL) selama periode Juli hingga September (puncak <i>upwelling</i>) di kedalaman 0,5 m pada fenomena ENSO yang berbeda (a), deret waktu <i>band-pass</i> filter SPL antar-tahunan pada periode 2015–2018 (b), dan siklus tahunan SPL (c)	20
9	Rata – rata kecepatan angin dan klorofil-a selama periode Juli hingga September (puncak <i>upwelling</i>) pada fenomena ENSO yang berbeda (a), deret waktu <i>band-pass</i> filter antar-tahunan klorofil-a dan kecepatan angin pada periode 2015–2018 (b–c), serta siklus tahunan keduanya (d–e) di Perairan Banggai	22
10	Struktur vertikal <i>upwelling</i> Banggai yang ditunjukkan oleh penampang melintang suhu air laut sepanjang 1,3 °LS pada puncak monsun tenggara selama tahun – tahun <i>La Niña</i> (panel atas) dan <i>El Niño</i> (panel bawah)	24

11	Penampang melintang arus meridional sepanjang 1,3 °LS pada puncak monsun tenggara selama tahun – tahun <i>La Niña</i> (panel atas) dan <i>El Niño</i> (panel bawah)	25
12	Pola spasial dan temporal dari mode EOF pertama suhu laut sepanjang 0,83 °LS, pola spasial (a), variasi temporal (b), serta <i>Power Spectral Density</i> (PSD) dari PC dengan tingkat kepercayaan 95% (c)	27
13	Pola spasial dari lima mode EOF pertama arus meridional sepanjang 0,83 °LS, dengan <i>total explained variance</i> 50,8%	28
14	Deret waktu <i>band-pass filter</i> antar–tahunan dari komponen utama (PC) EOF–2 (a) dan EOF–4 (b), serta <i>Power Spectral Density</i> (PSD) dari PC arus meridional dengan tingkat kepercayaan 95% (c–d)	29
15	Deret waktu volume transport di wilayah <i>upwelling</i> 123,6 °BT – 124,2 °BT sepanjang 1,3 °LS pada kedalaman 0–25 m (a) dan 0–200 m (b)	30
16	Deret waktu ONI (a) dan parameter laut yang difilter dengan <i>band-pass filter</i> antar–tahunan (b–f) di wilayah <i>upwelling</i> (lihat Gambar 2)	33
17	Deret waktu <i>Upwelling Index</i> (UI) untuk setiap variabel laut (a–h) dan <i>Composite Upwelling Indices</i> (CUI) dari tujuh variabel (i). Catatan: Persegi panjang merah menunjukkan tiga fenomena tahun <i>La Niña</i> , sedangkan persegi panjang biru menunjukkan fenomena tahun <i>El Niño</i> pada puncak monsun tenggara (a–h). Garis merah menunjukkan rata – rata bulanan CUI pada bulan Agustus, dan garis biru menunjukkan rata – rata CUI selama tiga bulan puncak monsun tenggara	35

DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram T-S data CTD dan CMEM dari 6 stasiun	44
2	Skrip analisis dan visualisasi data menggunakan perangkat lunak Pyferret	45
3	Skrip analisis dan visualisasi data menggunakan perangkat lunak Matlab	47

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.