



SEBARAN DAN KEANEKARAGAMAN KOMUNITAS BENTIK KARANG MESOFOTIK BERDASARKAN KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI (PERAIRAN BALI DAN LOMBOK)

DONDY ARAFAT



**PROGRAM DOKTOR ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa Disertasi yang berjudul “Sebaran Dan Keanekaragaman Komunitas Bentik Karang Mesofotik Berdasarkan Karakteristik Oseanografi (Perairan Bali dan Lombok)” 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 disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2025

Dondy Arafat
C5601211006

- 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

DONDY ARAFAT. Sebaran Dan Keanekaragaman Komunitas Bentik Karang Mesofotik Berdasarkan Karakteristik Oseanografi (Perairan Bali dan Lombok). Dibimbing oleh DIETRIECH GEOFFREY BENGEN, BEGINER SUBHAN dan YULI NAULITA.

Ekosistem karang mesofotik (*Mesophotic Coral Ecosystems/MCEs*) merupakan zona terumbu karang pada kedalaman yang berperan penting sebagai refugia atau tempat perlindungan bagi spesies karang dari tekanan perubahan iklim dan aktivitas antropogenik. Di Indonesia, khususnya di wilayah Segitiga Karang (*coral triangle*), kajian mengenai karang mesofotik masih sangat terbatas, padahal kawasan ini menyimpan keanekaragaman hayati laut yang sangat tinggi. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh perlunya informasi ilmiah terkini mengenai sebaran vertikal serta keanekaragaman komunitas bentik karang keras, karang lunak, dan spons. Selanjutnya mengkaji pengaruh faktor oseanografi seperti suhu, salinitas, dan massa air terhadap struktur komunitas tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi dan distribusi komunitas bentik karang mesofotik di perairan Bali dan Lombok, menggambarkan parameter oseanografi termasuk massa air pada kolom perairan karang mesofotik, menjelaskan distribusi serta kontribusi takson bentik terhadap zona mesofotik, dan menguraikan keterkaitan antara karakteristik oseanografi dengan distribusi komunitas bentik di zona dangkal hingga mesofotik.

Penelitian ini memberikan kebaruan dalam tiga hal utama. Pertama, ini merupakan studi pertama di Indonesia yang secara sistematis memetakan komunitas bentik pada karang mesofotik dengan pendekatan spasial dan vertikal, mengintegrasikan data in-situ (sensor CTD), citra satelit, dan model reanalisis oseanografi. Kedua, penelitian ini mengidentifikasi karakteristik massa air berbeda antara zona dangkal (*Tropical Surface Water – TSW*) dan zona mesofotik (*North Pacific Subtropical Water – NPSW*) di Selat Lombok, yang dibawa oleh Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) atau *Indonesian Throughflow* (ITF). Ketiga, ditemukan adanya pergeseran dominansi komunitas dari karang keras seperti *Acropora*, *Porites*, dan *Turbinaria* di perairan dangkal, ke komunitas spons dan karang lunak di zona mesofotik (30–50 m), serta peran signifikan genera karang mesofotik seperti *Leptoseris* dan *Tubastrea* yang beradaptasi terhadap tekanan hidrostatik dan cahaya rendah. Temuan ini memperkuat hipotesis Deep Reef Refugia dan memperluas pemahaman ekologis tentang adaptasi bentik di bawah tekanan oseanografi.

Penelitian ini dilaksanakan pada enam stasiun pengamatan yang tersebar di perairan Bali (2022) dan Lombok (2020). Pengambilan data bentik dilakukan dengan metode *Underwater Photo Transect* (UPT) pada kedalaman 10–50 m. Parameter oseanografi diukur menggunakan alat Sensor CTD dan didukung dengan data satelit reanalisis dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service*. Analisis data mencakup statistik deskriptif, PERMANOVA, SIMPER, serta teknik multivariat seperti nMDS dan *Principal Component Analysis* (PCA), untuk mengevaluasi pola spasial dan vertikal komunitas bentik serta hubungan dengan faktor oseanografi.

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan komposisi komunitas bentik antara perairan dangkal dan zona mesofotik. Di perairan dangkal (10–30 m), karang keras mendominasi dengan pertumbuhan cepat dan morfologi bercabang



yang toleran terhadap cahaya tinggi. Sementara itu, di kedalaman 30–50 m, terjadi pergeseran dominansi ke spons dan karang lunak, seiring dengan penurunan intensitas cahaya dan perubahan kondisi fisik air laut. Analisis karakteristik massa air menunjukkan pengaruh kuat dari massa air NPSW dan TSW yang membentuk stratifikasi termohalin di kolom perairan, berperan dalam menentukan distribusi vertikal komunitas. PCA dan nMDS mengungkapkan keterkaitan yang signifikan antara parameter oseanografi (suhu, salinitas, DO, pH, dan nutrien) dengan distribusi dan struktur komunitas bentik. Kombinasi analisis spasial dan vertikal ini menegaskan pentingnya integrasi pendekatan oseanografi dalam konservasi ekosistem karang mesofotik, serta menekankan posisi strategis Bali dan Lombok sebagai wilayah pengamatan penting di *Coral Triangle* yang dilintasi oleh ITF.

Komposisi komunitas bentik sangat bervariasi secara vertikal dan spasial antara perairan Bali dan Lombok. Di zona dangkal (kedalaman 10–30 m), komunitas didominasi oleh karang keras (*hard coral*) seperti *Acropora*, *Montipora*, *Porites*, dan *Turbinaria*, yang memiliki bentuk pertumbuhan bercabang atau tabular serta adaptif terhadap intensitas cahaya tinggi. Sementara itu, pada zona upper mesofotik (30–50 m), terjadi penurunan dominansi karang keras dan peningkatan dominansi spons (*sponge*) serta karang lunak (*soft coral*), mengindikasikan adanya perubahan struktur komunitas yang dipengaruhi oleh gradien kedalaman dan ketersediaan cahaya. Pola distribusi ini dikonfirmasi melalui visualisasi data tutupan komunitas dan hasil analisis *Bray-Curtis* serta dendrogram kluster, yang menunjukkan diferensiasi komunitas antara lokasi dan kedalaman.

Analisis karakteristik oseanografi menunjukkan bahwa parameter suhu dan salinitas mengalami perubahan yang konsisten terhadap kedalaman dan musim. Massa air yang teridentifikasi di zona mesofotik adalah TSW dan NPSW yang dibawa oleh ARLINDO (sudah disebutkan diatas) melalui Selat Lombok. *Tropical Surface Water* (TSW). Karakteristik oseanografi menunjukkan stratifikasi kuat antara zona dangkal hingga ekosistem karang mesofotik (kedalaman hingga 100) *North Pacific Subtropical Water* – NPSW) di Selat Lombok memiliki karakter massa air yang nilai suhu rendah, salinitas tinggi, dan biasa ditemukan di kedalaman >100 m. Variabilitas suhu dan salinitas, baik vertikal maupun musiman, mengontrol ketersediaan cahaya, nutrien, oksigen terlarut, dan pH, yang krusial bagi adaptasi ekologi organisme bentik. Selat Lombok sebagai jalur utama Arus Lintas Indonesia (ITF) memperkuat implikasi langsung dinamika massa air terhadap struktur komunitas MCEs dan proses ekologisnya. Perbedaan massa air ini menghasilkan stratifikasi termohalin yang signifikan, dengan suhu yang menurun dan salinitas yang meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Variabilitas ini turut membentuk zona oseanografi yang berbeda, memengaruhi ketersediaan cahaya dan nutrien di habitat bentik. Distribusi spasial suhu dan salinitas yang divisualisasikan melalui data satelin dari *Copernicus* dan data insitu CTD, menunjukkan perbedaan antara musim barat dan timur, menekankan dinamika musiman yang berpengaruh terhadap komunitas bentik.

Distribusi dan keanekaragaman karang keras, karang lunak, dan spons (takson bentik) menunjukkan pola stratifikasi yang jelas antara zona dangkal dan mesofotik. Di Bali, tingkat kekayaan genera karang keras lebih tinggi di zona dangkal, sementara di Lombok, spons menunjukkan kontribusi yang lebih besar di zona mesofotik. Genera spons seperti *Stylissa*, *Ircinia*, dan *Callyspongia* menjadi dominan di kedalaman 30–50 m, sedangkan karang lunak seperti *Sinularia* dan

Nephthea menggantikan posisi karang keras pada zona tersebut. Indeks keanekaragaman *Shannon* (H') dan *Evenness* (E) mengindikasikan adanya distribusi komunitas yang lebih merata pada zona mesofotik, meskipun kekayaan spesies secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan zona dangkal. Hasil analisis SIMPER memperlihatkan kontribusi takson-takson utama terhadap perbedaan antar zona dan lokasi, menunjukkan adanya adaptasi ekologis terhadap kondisi fisik perairan yang berbeda.

Analisis keterkaitan antara komunitas bentik dan parameter oseanografi dilakukan menggunakan PCA dan nMDS, yang menunjukkan bahwa faktor oseanografi seperti suhu, salinitas, oksigen terlarut (DO), pH, dan nutrisi (NO_3 dan PO_4) berpengaruh signifikan terhadap distribusi komunitas bentik. Zona dangkal dikaitkan dengan suhu yang lebih tinggi dan fluktuatif, mendukung spesies karang dengan toleransi cahaya tinggi, sedangkan zona mesofotik memiliki parameter yang lebih stabil namun dengan intensitas cahaya lebih rendah, mendukung organisme dengan morfologi *foliose* atau *encrusting* seperti *Leptoseris* dan *Pachyseris*. Pola ini mendukung hipotesis *refugia*, bahwa ekosistem karang mesofotik menyediakan kondisi mikrohabitat yang mendukung kelangsungan spesies bentik yang rentan terhadap perubahan lingkungan ekstrem di perairan dangkal. Temuan ini menekankan pentingnya integrasi data oseanografi dalam perencanaan konservasi dan pengelolaan ekosistem karang mesofotik.

Berdasarkan hasil temuan dan analisis dalam penelitian ini, direkomendasikan agar ekosistem karang mesofotik di perairan Bali dan Lombok dijadikan prioritas dalam kebijakan konservasi dan pengelolaan wilayah pesisir dan laut Indonesia. Rekomendasi dari penelitian ini adanya integrasi karakteristik oseanografi dengan distribusi komunitas bentik, dalam Upaya penetapan kawasan konservasi laut, terutama dalam upaya mitigasi dampak perubahan iklim terhadap terumbu karang dangkal. Selain itu, penguatan pemantauan jangka panjang dengan dukungan teknologi canggih, untuk eksplorasi bawah laut untuk mengisi kekosongan data di zona mesofotik yang selama ini kurang terjangkau. Penelitian lanjutan perlu diarahkan untuk mengkaji konektivitas genetik dan dinamika larva antara ekosistem karang mesofotik dan ekosistem perairan dangkal (*shallow*) guna memahami peran ekologisnya secara lebih menyeluruh. Terakhir, penting untuk meningkatkan kapasitas riset dan kolaborasi antar-lembaga, termasuk pemberdayaan masyarakat pesisir, agar strategi konservasi berbasis sains ini dapat diterapkan secara adaptif dan berkelanjutan dalam konteks segitiga terumbu karang dunia.

Kata kunci: Bali, karang mesofotik, komunitas bentik, Lombok, oseanografi



SUMMARY

DONDY ARAFAT. Distribution and Diversity of Mesophotic Coral Benthic Communities Based on Oceanographic Characteristics (Bali and Lombok Waters). Supervised by DIETRICH GEOFFREY BENGEN 1st, BEGINER SUBHAN of 2nd, and YULI NAULITA of 3rd.

The mesophotic coral ecosystem (MCE) is a coral reef zone at depth that plays an important role as a refugia for coral species from the pressures of climate change and anthropogenic activities. In Indonesia, particularly in the coral triangle region, studies on mesophotic corals remain very limited, despite the exceptionally high marine biodiversity of the area. This study is driven by the need for up-to-date scientific information on the vertical distribution and biodiversity of benthic communities, particularly hard corals, soft corals, and sponges, and to examine the influence of oceanographic factors such as temperature, salinity, and water masses on their structure. The objectives are to identify the composition and distribution of mesophotic benthic communities in the waters of Bali and Lombok, describe oceanographic parameters including water masses within the mesophotic coral column, explain the distribution and contribution of benthic taxa to the mesophotic zone, and outline the relationship between oceanographic characteristics and benthic community distribution from shallow to mesophotic zones.

This study presents novelty in three main aspects. First, it is the first systematic mapping of mesophotic coral benthic communities in Indonesia using spatial and vertical approaches, integrating in-situ data (CTD sensors), satellite imagery, and oceanographic reanalysis models. Second, it identifies distinct water mass characteristics between the shallow zone (Tropical Surface Water – TSW) and the mesophotic zone (North Pacific Subtropical Water – NPSW) in the Lombok Strait, transported by the Indonesian Throughflow (ITF). Third, it documents a shift in community dominance from hard corals such as *Acropora*, *Porites*, and *Turbinaria* in shallow waters to sponge and soft coral communities in the mesophotic zone (30–50 m), as well as the significant role of mesophotic coral genera such as *Leptoseris* and *Tubastrea*, which are adapted to low-light and high hydrostatic pressure environments. These findings reinforce the Deep Reef Refugia hypothesis and broaden the ecological understanding of benthic adaptation under oceanographic stressors.

The research was conducted at six observation stations in the waters of Bali (2022) and Lombok (2020). Benthic data were collected using the Underwater Photo Transect (UPT) method at depths of 10–50 m. Oceanographic parameters were measured using CTD sensors and supported by reanalysis satellite data from the Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Data analyses included descriptive statistics, PERMANOVA, SIMPER, and multivariate techniques such as nMDS and Principal Component Analysis (PCA) to evaluate spatial and vertical patterns of benthic communities and their relationship with oceanographic factors. Results indicate differences in benthic community composition between shallow waters and the mesophotic zone. In shallow waters (10–30 m), hard corals dominate, characterised by fast growth and branching morphologies tolerant to high light. At depths of 30–50 m, there is a shift toward sponge and soft coral dominance, coinciding with reduced light intensity and changes in physical seawater conditions. Analysis of water mass characteristics shows a strong influence of NPSW and

TSW, forming thermohaline stratification in the water column, which plays a role in determining vertical community distribution. PCA and nMDS reveal significant correlations between oceanographic parameters (temperature, salinity, DO, pH, and nutrients) and benthic community structure. This combination of spatial and vertical analyses underscores the importance of integrating oceanographic approaches into MCE conservation and highlights the strategic position of Bali and Lombok as key observation sites in the coral triangle crossed by the ITF.

Benthic community composition varied vertically and spatially between Bali and Lombok. In the shallow zone (10–30 m), communities were dominated by hard corals (*Acropora*, *Montipora*, *Porites*, and *Turbinaria*) with branching or tabular growth forms adapted to high light intensity. In the upper mesophotic zone (30–50 m), hard coral dominance decreased while sponge (*Stylissa*, *Ircinia*, *Callyspongia*) and soft coral (*Sinularia*, *Nephthea*) dominance increased, indicating structural changes influenced by depth gradients and light availability. These patterns were confirmed by community cover data visualisation and Bray-Curtis and cluster dendrogram analyses, showing community differentiation between locations and depths.

Oceanographic analysis revealed consistent changes in temperature and salinity with depth and season. In the mesophotic zone, the water masses identified were TSW and NPSW, transported by the ITF through the Lombok Strait. TSW dominates from the surface to the upper mesophotic zone, while NPSW, characterised by lower temperatures and higher salinity, is typically found below 100 m. Vertical and seasonal variability in temperature and salinity controls the availability of light, nutrients, dissolved oxygen, and pH, all of which are crucial for benthic ecological adaptation. The Lombok Strait, as a major ITF pathway, reinforces the direct influence of water mass dynamics on MCE community structure and ecological processes. This stratification results in distinct oceanographic zones, affecting light and nutrient availability in benthic habitats. Spatial distributions of temperature and salinity, visualised through Copernicus satellite data and in-situ CTD measurements, show differences between the west and east monsoons, emphasising seasonal dynamics affecting benthic communities. The distribution and diversity of hard corals, soft corals, and sponges show clear stratification between shallow and mesophotic zones. In Bali, hard coral genus richness is higher in the shallow zone, while in Lombok, sponges contribute more to the mesophotic zone. Shannon diversity (H') and evenness (E) indices indicate a more even community distribution in the mesophotic zone, although overall species richness is lower compared to shallow waters. SIMPER analysis highlights the contribution of key taxa to differences between zones and locations, indicating ecological adaptation to differing physical conditions.

PCA and nMDS analyses show that oceanographic factors such as temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), pH, and nutrients (NO_3 and PO_4) significantly influence benthic community distribution. Shallow zones are associated with higher and more variable temperatures, supporting coral species tolerant of high light, while mesophotic zones have more stable parameters but lower light, favouring foliose or encrusting morphologies such as *Leptoseris* and *Pachyseris*. This supports the refugia hypothesis that MCEs provide microhabitats supporting the survival of benthic species vulnerable to extreme environmental changes in shallow waters. These findings highlight the importance of integrating

oceanographic data into the planning and management of mesophotic coral ecosystem conservation.

Based on the findings and analyses of this study, it is recommended that MCEs in the waters of Bali and Lombok be prioritised in Indonesia's coastal and marine conservation policies. Recommendations include integrating oceanographic characteristics with benthic community distribution for the designation of marine protected areas, especially for mitigating climate change impacts on shallow coral reefs. Strengthening long-term monitoring with advanced technology is also recommended to address data gaps in the hard-to-reach mesophotic zone. Further research should focus on genetic connectivity and larval dynamics between mesophotic and shallow ecosystems to better understand their ecological role. Finally, it is important to enhance research capacity and inter-agency collaboration, including empowering coastal communities, so that science-based conservation strategies can be applied adaptively and sustainably in the context of the global Coral Triangle.

Keywords: Bali, benthic community, Lombok, mesophotic coral, oceanography



- 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 2025¹³
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.

¹³. Pelimpahan hak cipta atas karya tulis dari penelitian kerja sama dengan pihak luar IPB harus didasarkan pada perjanjian kerja sama yang terkait



- 



SEBARAN DAN KEANEKARAGAMAN KOMUNITAS BENTIK KARANG MESOFOTIK BERDASARKAN KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI (PERAIRAN BALI DAN LOMBOK)

DONDY ARAFAT

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Kelautan

**PROGRAM DOKTOR ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc.
- 2 Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc.
- 2 Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA

Judul Disertasi : Sebaran dan Keanekaragaman Komunitas Bentik Karang Mesofotik Berdasarkan Karakteristik Oseanografi (Perairan Bali dan Lombok

Nama : Dondy Arafat
NIM : C5601211006

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Dietrich Geoffrey Bengen, DEA

Pembimbing 2:
Dr. Beginer Subhan, S.Pi.,M.Si

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: 11 Juli 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak september 2022 sampai bulan desember 2024 ini dengan judul “Sebaran dan Keanekaragaman Komunitas Bentik Karang Mesofotik Berdasarkan Karakteristik Oseanografi (Perairan Bali dan Lombok)”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Disertasi ;

1. Pembimbing Prof. Dr. Ir. Dietrieck Geoffrey Bengen, DEA, Dr. Beginer Subhan, S.Pi.,M.Si dan Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran.
2. Penguji luar komisi pembimbing yakni Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA atas arahan dan saran pada saat ujian tulis dan lisan pada proposal disertasi penelitian.
3. Ketua Program Studi Pascarsajana Ilmu Kelautan yakni Prof. Dr. Ir. Neviaty P. Zamani, M.Sc, atas kesediaan waktu dalam menghadiri ujian disertasi serta memberikan saran dalam pengujian
4. Orang Tua yakni “Mama” Doetje Eka Dharma dan “Papa” Drs. Sastra Yuddin yang telah merawat, membesarkan serta mendidik memberikan dukungan dan mendoakan untuk penulis hingga menjadi seorang Doktor.
5. Istri tercinta dan terkasih Herwi Rahmawitri serta ananda tersayang Azzam dan Ataya yang terus memberikan doa, semangat, keyakinan, kekuatan dan kesabaran selama ini.
6. Keluarga Besar Alm Rasjid Djimin, Bunda Trijas dan Ayah, Om Iwan dan tante tempat mengadu dari mulai kuliah.
7. Rekan dosen Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB atas dukungan kepada penulis
8. Teman angkatan IKL 2021 Nebuchadnezzar A, Astianingsih, Wayan ED,Wayan S., Hasty, Hanung yang bersama memberikan semangat
9. Keluarga cemara bagian hidrobiologi laut Ibu Nevi, Ibu Endang, Mba Nani, Mba Mutia, Ceu Dea, Ceu Nadia, Ceu Yayoi, Bang Begin dan Bapak Kepala Bagian Prof. Dr. Ir. Dietrieck Geoffrey Bengen, DEA.
10. Seluruh rekan mahasiswa/i yang telah membantu dalam penelitian yakni mas made, mba lita, mas deni khairudi, mas erwin, serta rekan-rekan dari IPB *Scientific Diving* dan Laboratorium oseanografi Dept ITK FPIK-IPB, atas dukungan data oseanografi di sekitar perairan Lombok.
11. Staf administrasi Ibu Wina, Bapak Usep dan Ibu Ida di pascasarjana ilmu kelautan yang telah membantu dalam menyiapkan keperluan.

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

Bogor, Agustus 2025

Dondy Arafat

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	XX
DAFTAR GAMBAR	XXI
DAFTAR LAMPIRAN	XXV
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan	12
1.4 Hipotesis	12
1.5 Manfaat	12
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	13
II METODE	14
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
2.2 Alat dan Bahan	16
2.3 Prosedur Penelitian	17
2.4 Analisis Data	20
III HASIL DAN PEMBAHASAN	23
3.1 Komposisi Dan Sebaran Komunitas Bentik Karang Mesofotik Di Perairan Bali Dan Lombok	23
3.1.1 Komposisi komunitas bentik karang mesofotik	23
3.1.2 Hubungan komposisi komunitas bentik terhadap pada area karang mesofotik di perairan bali dan Lombok	25
3.2 Karakteristik parameter oseanografi pada kolom area karang mesofotik di perairan Bali dan Lombok	33
3.2.1 Identifikasi masa Air Lokasi Penelitian	33
3.2.2 Rona parameter oseanografi pada musim yang Berbeda	41
3.2.3 Variabilitas suhu dan salinitas di perairan dangkal (<i>sallow</i>) dan area mesofotik	47
3.3 Menganalisis Keterkaitan Distribusi, Dominansi, Dan Keanekaragaman Genera Komunitas Bentik Serta Kontribusi Terhadap Ekosistem Karang Mesofotik.	49
3.3.1 Pola Sebaran Genera Karang Keras (<i>hard coral</i>) Terhadap Zona Pengamatan	53
3.3.2 Pola sebaran Genera Karang Keras (<i>hard coral</i>) Berdasarkan Kedalaman	58
3.3.3 Pola sebaran Genera Spons (<i>sponge</i>) Terhadap Zona Pengamatan	68
3.3.4 Pola sebaran Genera Spons (<i>sponge</i>) Berdasarkan Kedalaman	70
3.3.5 Pola Sebaran Genera Karang Lunak (<i>soft coral</i>) Terhadap Zona Pengamatan	77
3.4 Keterkaitan Karang Keras (<i>Hard Coral</i>), Spons (<i>Sponge</i>) dan Karang Lunak (<i>Soft Coral</i>) Terhadap Karakteristik Oseanografi.	80

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.



IV	SIMPULAN DAN SARAN	85
4.1	Simpulan	85
4.2	Saran	86
	DAFTAR PUSTAKA	87
	LAMPIRAN	101
	RIWAYAT HIDUP	146

- 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.



DAFTAR TABEL

1. Kategori terumbu karang berdasarkan tutupan karang hidup.	19
2. Koordinat pengukuran CTD yang diturunkan di perairan Lombok tahun 2023	20
3. Analisis korelasi antara faktor (kedalaman dan komunitas bentik dominan) dengan komunitas bentik perairan di Bali dan Lombok	28
4. Analisis Tabel referensi masa air di yang ditemukan pada MCEs	36
5. Data lingkungan dari pengukuran dan satelit yang diambil dalam rata-rata 1 tahun 2023	50
6. Keterkaitan Hubungan Sebaran Bentik Karang Mesofotik (MCEs) Dan Non-Mesofotik (<i>Shallow</i>) Berdasarkan Faktor Lingkungan	84

DAFTAR GAMBAR

1. Identifikasi Zonasi kedalaman habitat terumbu karang. Terumbu karang dangkal ditemukan pada kedalaman 0–30 m, ekosistem terumbu karang <i>upper</i> mesofotik berada pada kisaran kedalaman sekitar 30–60 m, ekosistem terumbu karang <i>lower</i> mesofotik pada 60–150 m, dan ekosistem terumbu karang rarifotik pada kisaran 150–300 m. Garis biru menunjukkan rentang kedalaman yang secara umum diterima untuk ekosistem terumbu karang mesofotik, yaitu antara 30–150 m (Lesser <i>et al.</i> 2009).	4
2. Identifikasi massa air Selat Lombok menggunakan T-S Diagram.	6
3. Bidang penelitian dengan beberapa di area ekosistem karang mesofotik http://www.mesophotic.org	8
4. Lokasi penelitian ekosistem karang mesofotik beberapa negara (Hinderstein <i>et al.</i> 2010) dalam UNEP (Baker <i>et al.</i> 2016) dan http://www.mesophotic.org	9
5. Kerangka pemikiran	10
6. Peta Lokasi Penelitian di Bali dan Lombok	14
7. Diagram Alur Tahapan Penelitian	15
8. Survei bentik dengan teknik penyelaman dalam (<i>Deep Diving</i>), alat bantu ukur Transek Kuadran serta kamera	17
9. Pengumpulan informasi dan data bentik hasil foto transek, dengan titik sampel pengamatan sebanyak 100 titik pengmatan dalam satu transek	18
10. Area Kajian Oseanografi massa air di Perairan Bali-Lombok untuk parameter suhu(a), dan salinitas(b)	19
11. Persen coverage komunitas bentik pada lokasi Bali dari kedalaman 10 m hingga 50 m. HC (<i>Hard coral</i>), SC (<i>Soft Coral</i>), SP (<i>Sponge</i>), Alga dan lainnya	23
12. Persen coverage komunitas bentik pada lokasi Lombok dari kedalaman 10 m hingga 50 m. HC (<i>Hard coral</i>), SC (<i>Soft Coral</i>), SP (<i>Sponge</i>), Alga dan lainnya	24
13. Pola sebaran dilihat dari kedalaman pada komunitas bentik karang mesofotik berdasarkan analisis PERMDISP. A. Bali, B. Lombok. (Lampiran 2).	25
14. Pola <i>Non-metric multidimensional scaling</i> (nMDS) dari komunitas bentik berdasarkan kedalaman A: Bali, B: Lombok.	26
15. Komunitas bentik di lokasi (A) Bali (biota lain, Spon dan Alga) dan (B) Lombok (biota lain, Karang keras dan Spon)	30
16. Validasi model reanalisis dengan data CTD pada Stasiun 1 di Perairan Bali-Lombok untuk parameter (a) suhu dan (b) salinitas	35
17. Lokasi pengambilan data analisis karakter air	36
18. T-S Diagram dari data CTD di perairan Bali-Lombok pada tanggal 19–20 Januari 2022	37
19. T-S Diagram: Identifikasi TSW dan NPSW, dari data CTD dengan satelit Bali– Lombok pada tanggal 19–20 Januari 2022	38

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.

20. T-S Diagram: Identifikasi TSW dan NPSW dari data CTD dan satelit Bali– Lombok pada bulan Januari (A) dan September (B) pada tahun 2022. 39
21. Distribusi spasial suhu permukaan laut pada musim barat (a) dan musim timur (b) di Perairan Bali-Lombok (tahun 2022) 42
22. Distribusi vertikal suhu pada musim Barat (a) dan musim Timur (b) di Perairan Bali-Lombok pada area karang mesofotik yaitu bagian atas (*upper*), bagian tengah (*middle*) dan bagian bawah (*lower*) (Tahun 2022). 43
23. Distribusi spasial salinitas pada musim barat (a) dan musim timur (b) di Perairan Bali-Lombok pada area karang mesofotik yaitu bagian atas (*upper*), bagian tengah (*middle*) dan bagian bawah (*lower*) (Tahun 2022). 45
24. Distribusi vertikal salinitas pada musim Barat (a) dan musim Timur (b) di Perairan Bali-Lombok pada area karang mesofotik yaitu bagian atas (*upper*), bagian tengah (*middle*) dan bagian bawah (*lower*) (Tahun 2022). 45
25. variabilitas suhu pada beberapa tingkatan kedalaman di Perairan Bali-Lombok (Tahun 2021 - 2022). 47
26. variabilitas salinitas pada beberapa tingkatan kedalaman di Perairan Bali-Lombok (Tahun 2022). 48
27. Distribusi genus *hardcoral* berdasarkan zona dan kedalaman. (Keterangan: Zona pengamatan dibagi menjadi dua yaitu Perairan Bali dan Lombok) 53
28. Kontribusi Kumulatif dari Genera Karang Berdasarkan Analisis SIMPER. Grafik batang menggambarkan kontribusi kumulatif genera karang diantara lokasi pengambilan sampel, yaitu Bali dan Lombok. (lampiran 5). 55
29. Hasil analisis keanekaragaman genus *hardcoral* di Bali dan Lombok. Analisis dibagi menjadi tiga, yaitu *richness*, *shannonn* dan *evenness*. 56
30. *Heatmap Bray-Curtis Dissimilarity dengan Hierarchical Clustering*: Visualisasi tingkat perbedaan antar sampel berdasarkan matriks dissimilarity Bray-Curtis. Warna lebih terang menunjukkan kemiripan tinggi (*dissimilarity* rendah), sedangkan warna lebih gelap menunjukkan perbedaan yang lebih signifikan. Dendrogram di kiri dan atas menunjukkan pengelompokan hierarkis, mengidentifikasi dua cluster utama dengan hubungan antar sampel. 56
31. *PERMDISP Plot* Karang Keras (HC) yang merepresentasikan heterogenitas dispersi menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar kedalaman di A. **Bali**, B. **Lombok**. 58
32. *Non-metric multidimensional scaling* (nMDS) dari komunitas bentik (karang keras) berdasarkan kedalaman di dua lokasi, A: **Bali**, B: **Lombok**. Setiap titik pada grafik mewakili satu sampel, dan warna yang berbeda menunjukkan kelompok yang berbeda. Jarak antar titik menggambarkan tingkat perbedaan antar sampel. Nilai stress di bawah 0,2 menunjukkan bahwa analisis NMDS dapat diandalkan.

- Semakin dekat posisi sampel dalam grafik, semakin tinggi tingkat kemiripannya. 59
33. Distribusi dominansi genus karang keras (*hard coral*) di lokasi **Bali** berdasarkan kedalaman. 60
34. Distribusi dominansi genus karang keras (*hard coral*) di lokasi **Lombok** berdasarkan kedalaman. 61
35. *Boxplots* yang menunjukkan variasi kekayaan spesies karang keras, indeks keanekaragaman Shannon (H'), dan Kemerataan *Pielou* (E) pada berbagai kedalaman untuk tiga lokasi (A, B, dan C) di **Bali**. *Boxplot* diberi kode warna berdasarkan lokasi: merah (A), hijau (B), dan biru (C). Titik-titik mewakili pengamatan data individual, sementara kotak menunjukkan rentang interkuartil, dan garis *whisker* menunjukkan variasi data di luar kuartil. 64
36. *Boxplot* yang menunjukkan variasi kekayaan spesies karang keras, indeks keanekaragaman *Shannon* (H'), dan Kemerataan *Pielou* (E) pada berbagai kedalaman untuk tiga lokasi (A, B, dan C) di **Lombok**. *Boxplot* diberi kode warna berdasarkan lokasi: merah (A), hijau (B), dan biru (C). Titik-titik mewakili pengamatan data individual, sementara kotak menunjukkan rentang interkuartil, dan garis *whisker* menunjukkan variasi data di luar kuartil. 66
37. Distribusi genus *spons* berdasarkan zona dan kedalaman. Zona pengamatan dibagi menjadi dua, yaitu Bali dan Lombok. 68
38. Kontribusi Kumulatif dari Genera *Spons* Berdasarkan Analisis SIMPER. Grafik batang menggambarkan kontribusi kumulatif genera karang diantara lokasi pengambilan sampel, yaitu **Bali** dan **Lombok**. 69
39. Hasil analisis keanekaragaman genus *spons* di **Bali** dan **Lombok**. Analisis dibagi menjadi tiga, yaitu *richness*, *shannonn* dan *Evenness* (Lampiran 15). 69
40. *Heatmap Bray-Curtis Dissimilarity* dengan *Hierarchical Clustering*: Visualisasi tingkat perbedaan antar sampel di 2 lokasi berdasarkan matriks dissimil 70
41. PERMDISP Plot *Spons* yang merepresentasikan heterogenitas dispersi menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar kedalaman di A. **Bali**, B. **Lombok**. 71
42. *Non-metric multidimensional scaling* (nMDS) dari komunitas bentik (*Spons*) berdasarkan kedalaman di dua lokasi, A: **Bali**, B: **Lombok**. Setiap titik pada grafik mewakili satu sampel, dan warna yang berbeda menunjukkan kelompok yang berbeda. Jarak antar titik menggambarkan tingkat perbedaan antar sampel. Nilai *stress* di bawah 0,2 menunjukkan bahwa analisis NMDS dapat diandalkan. Semakin dekat posisi sampel dalam grafik, semakin tinggi tingkat kemiripannya. 71
43. Distribusi dominansi genus *spons* (*sponge*) di lokasi **Bali** berdasarkan kedalaman. 72
44. Distribusi dominansi genus *spons* (*sponge*) di lokasi **Lombok** berdasarkan kedalaman. 73

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.

45. *Boxplot* yang menunjukkan variasi kekayaan spesies spons, indeks keanekaragaman *Shannon* (H'), dan Kemerataan *Pielou* (E) pada berbagai kedalaman untuk tiga lokasi (A, B, dan C) di **Bali**. *Boxplot* diberi kode warna berdasarkan lokasi: merah (A), hijau (B), dan biru (C). Titik-titik mewakili pengamatan data individual, sementara kotak menunjukkan rentang interkuartil, dan garis *whisker* menunjukkan variasi data di luar kuartil. 75
46. *Boxplot* yang menunjukkan variasi kekayaan spesies spons, indeks keanekaragaman *Shannon* (H'), dan Kemerataan *Pielou* (E) pada berbagai kedalaman untuk tiga lokasi (A, B, dan C) di Lombok. *Boxplot* diberi kode warna berdasarkan lokasi: merah (A), hijau (B), dan biru (C). Titik-titik mewakili pengamatan data individual, sementara kotak menunjukkan rentang interkuartil, dan garis *whisker* menunjukkan variasi data di luar kuartil. 76
47. Distribusi genus karang lunak (*softcoral*) berdasarkan zona dan kedalaman. Zona pengamatan dibagi menjadi dua, yaitu Bali dan Lombok. 77
48. *Heatmap Bray-Curtis Dissimilarity spons* dengan *Hierarchical Clustering*: Visualisasi tingkat perbedaan antar sampel berdasarkan matriks *dissimilarity*. 78
49. Hasil analisis keanekaragaman genuskarang lunak (*soft coral*) di **Bali** dan **Lombok**. Analisis dibagi menjadi tiga, yaitu *richness*, *shannonn* dan *Evenness* 79
50. Hasil Analisis PCA zona dangkal (10-20 m) dengan zona karang mesofotik (30-50m), terhadap karakteristik oseanografi yaitu dari parameter Suhu, Salinitas, DO, Klorofil, pH, NO₃, PO₄, dan Fluks terhadap komposisi dan kelimpahan bentik. 80
51. Matrik kontribusi kelimpahan genus, tutan bentik dan faktor biogeokimia (oceanografi) 83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis statistika dispersi (PERMDISP) bahwa ada perbedaan nyata yang signifikan antara faktor kedalaman dengan variasi komposisi didalam komunitas bentik pada kedua Lokasi	102
Lampiran 2 Data pola sebaran data dilihat berdasarkan kedalaman pada komunitas bentik MCEs berdasarkan analisis PERMDISP. (Bali dan Lombok)	103
Lampiran 3 Analisis <i>Permutation test for homogeneity of multivariate dispersions</i> PERMANOVA (Bali)	104
Lampiran 4 Analisis <i>Permutation test for homogeneity of multivariate dispersions</i> PERMANOVA (Lombok)	105
Lampiran 5 Analisis SIMPER karang keras berdasarkan lokasi	106
Lampiran 6 Analisis Biodiversitas karang keras berdasarkan lokasi	107
Lampiran 7 <i>Permutation test for adonis under reduced model</i> (PERMANOVA) berdasarkan kedalaman	109
Lampiran 8 Analisis PERMDISP berdasarkan kedalaman	110
Lampiran 9 Analisis SIMPER <i>Hardcoral</i> berdasarkan kedalaman di Bali	111
Lampiran 10 Analisis SIMPER karang keras berdasarkan kedalaman di Lombok	112
Lampiran 11 Analisis Diversitas karang keras berdasarkan kedalaman Bali	114
Lampiran 12 Analisis Diversitas karang keras berdasarkan kedalaman Lombok	116
Lampiran 13 Analisis <i>Permutation test for adonis under reduced model</i> (PERMANOVA) spons Berdasarkan Lokasi	117
Lampiran 14 Analisis SIMPER spons berdasarkan lokasi	118
Lampiran 15 Analisis Biodiversitas spons berdasarkan Lokasi	119
Lampiran 16 <i>Permutation test for adonis under reduced model</i> (PERMANOVA) berdasarkan kedalaman	121
Lampiran 17 Analisis PERMDISP spons berdasarkan kedalaman	122
Lampiran 18 Analisis SIMPER spons berdasarkan kedalaman di Bali	123
Lampiran 19 Analisis SIMPER spons berdasarkan kedalaman di Lombok	125
Lampiran 20 Analisis Diversitas spons berdasarkan kedalaman Bali	126
Lampiran 21 Analisis Diversitas <i>spons</i> berdasarkan kedalaman Lombok	128
Lampiran 22 Analisis <i>Permutation test for adonis under reduced model</i> (PERMANOVA) Softcoral berdasarkan lokasi	130
Lampiran 23 Analisis Diversitas <i>softcoral</i> berdasarkan Lokasi	131
Lampiran 24 Analisis <i>Permutation test for adonis under reduced model</i> (PERMANOVA) <i>Softcoral</i> berdasarkan berdasarkan kedalaman	133
Lampiran 25 Analisis <i>Diversitas softcoral</i> berdasarkan kedalaman di Bali	134
Lampiran 26 Analisis Diversitas <i>softcoral</i> berdasarkan kedalaman di Lombok	136
Lampiran 27. Tabel PC1, PC2, variable PCA	138
Lampiran 28 Sebaran kontribusi massa air Bulan September 2022	139
Lampiran 29 Sebaran kontribusi massa air Bulan Januari 2022	142

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.