

OPTIMALISASI PENETAPAN ZONA INTI KAWASAN KONSERVASI PESISIR DAN PULAU-PULAU KECIL TAPANULI TENGAH BERDASARKAN KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI

ZULHAM APANDY HARAHAHAP



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



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Optimalisasi Penetapan Zona Inti Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Tapanuli Tengah Berdasarkan Karakteristik Oseanografi” 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, Oktober 2025

Zulham Apandy Harahap
NIM. C5601221004



RINGKASAN

ZULHAM APANDY HARAHAHAP. Optimalisasi Penetapan Zona Inti Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Tapanuli Tengah Berdasarkan Karakteristik Oseanografi. Dibimbing oleh DIETRIECH G. BENGEN, I WAYAN NURJAYA, SYAMSUL BAHRI AGUS dan YULI NAULITA.

Keanekaragaman hayati laut mengalami penurunan yang mengkhawatirkan secara global akibat penangkapan ikan berlebih, pencemaran, degradasi habitat, dan perubahan iklim. Kawasan Konservasi Perairan (KKP) telah diakui sebagai salah satu instrumen pengelolaan paling efektif untuk melindungi ekosistem laut dan memulihkan stok ikan. Namun, efektivitas KKP sangat bergantung pada perancangan zonasi yang tepat serta pelaksanaan pengawasan yang ketat. Di Indonesia, sebagian besar penetapan zonasi konservasi masih didasarkan pada kriteria ekologi dan sosial ekonomi, sementara faktor oseanografi dan hidrodinamika belum banyak diperhitungkan. Untuk menjawab kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan data biologi, geomorfologi, dan oseanografi guna mengoptimalkan penetapan zona inti atau *no-take zone* (NTZ) di kawasan konservasi perairan.

Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Tapanuli Tengah, Sumatera Utara, yang telah ditetapkan secara resmi melalui Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 87 Tahun 2020. Meskipun kawasan ini dibentuk untuk melindungi ekosistem terumbu karang, padang lamun, dan mangrove, penilaian terhadap efektivitas zona larang tangkap (zona inti) belum pernah dilakukan berdasarkan parameter habitat dan oseanografi yang terintegrasi. Tujuan penelitian ini meliputi empat aspek utama: (1) memetakan habitat dasar perairan di kawasan konservasi, (2) menganalisis karakteristik geomorfologi dan oseanografi seperti suhu, salinitas, arus, pH, konsentrasi nutrisi, dan oksigen terlarut, (3) menilai hubungan antara parameter-parameter tersebut dengan pertumbuhan karang dan komunitas ikan karang, serta (4) mengevaluasi efektivitas ekologis dari zona inti yang telah ditetapkan. Pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Mei 2024 di lokasi yang mencakup area zona inti dan area di luar zona inti. Data terumbu dan ikan karang dikumpulkan menggunakan metode fotografi bawah air. Citra satelit SPOT-6/7 dianalisis dengan dua pendekatan, yaitu *Object-Based Image Analysis* (OBIA) dan *Google Earth Engine* (GEE), yang selanjutnya dibandingkan tingkat akurasi dan ketelitiannya dalam pemetaan habitat benthik. Sedangkan data oseanografi dikumpulkan melalui situs *marine copernicus* yang divalidasi dengan data observasi langsung di lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode OBIA memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan GEE dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan habitat dasar yang kompleks seperti karang hidup, karang mati, padang lamun, pecahan karang (*rubble*) dan pasir. Proses segmentasi bertingkat pada OBIA mampu membedakan habitat benthik lebih presisi, sehingga menghasilkan batas habitat yang lebih akurat. Sebaliknya, pendekatan berbasis piksel pada GEE cenderung menghasilkan klasifikasi yang lebih kasar. Dengan demikian, OBIA dinilai lebih tepat digunakan dalam perencanaan spasial

konservasi laut karena mampu memberikan representasi ekosistem dasar perairan yang lebih realistis.

Analisis oseanografi memperlihatkan variasi spasial dan temporal yang signifikan terhadap kesehatan ekosistem terumbu karang dan distribusi ikan karang. Selama periode 2011–2021, suhu permukaan laut berkisar antara 27,5°C hingga 31,8°C dengan tren peningkatan suhu yang berasosiasi dengan kejadian pemutihan karang (*coral bleaching*), terutama pada tahun 2016–2020. Nilai salinitas dan pH relatif stabil dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan karang. Konsentrasi nutrisi (nitrat dan fosfat) berfluktuasi secara musiman, sementara kadar oksigen terlarut lebih tinggi di zona inti, yang menunjukkan kondisi perairan yang lebih sehat dan produktif. Pola arus serta topografi dasar laut yang kompleks berperan penting dalam menjaga keanekaragaman hayati melalui pengaruhnya terhadap penyebaran larva, transportasi sedimen, dan ketersediaan nutrisi.

Analisis statistik multivariat *Principal Component Analysis* (PCA), menunjukkan hubungan yang kuat antara stabilitas oseanografi dengan kondisi ekosistem terumbu karang. Zona inti yang memiliki suhu sedang, kadar oksigen tinggi, dan konsentrasi nutrisi rendah menunjukkan tutupan karang keras dan keanekaragaman karang yang lebih tinggi dibandingkan area di luar zona inti. Sebaliknya, area di luar zona inti menunjukkan konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi, dominasi makroalga, serta penurunan tutupan karang hidup, yang mengindikasikan tekanan ekologis akibat aktivitas manusia dan sedimentasi.

Hasil analisis komunitas ikan karang juga memperkuat manfaat ekologis dari zona inti. NTZ memiliki kekayaan jenis, kelimpahan, dan biomassa ikan karang yang lebih tinggi dibandingkan area yang diperbolehkan untuk penangkapan. Hal ini menunjukkan bahwa NTZ berfungsi efektif sebagai area pemijahan dan pembesaran (*nursery grounds*), yang berkontribusi terhadap pemulihan populasi ikan di seluruh kawasan konservasi.

Hasil analisis dari penelitian ini merekomendasikan penerapan pendekatan adaptif *co-management* yang mengintegrasikan pengetahuan lokal, pemantauan ilmiah, serta evaluasi periodik zonasi untuk memastikan keberlanjutan manfaat ekologis dan sosial ekonomi dalam jangka panjang.

Penelitian ini telah membuktikan bahwa integrasi data penginderaan jauh, survei ekologi dan analisis oseanografi dapat memperkuat dasar ilmiah dalam perencanaan ruang laut. Metode OBIA terbukti lebih unggul untuk pemetaan habitat dasar berskala rinci pada lingkungan pesisir yang heterogen. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa zona inti yang dirancang dan dikelola dengan baik memberikan manfaat nyata terhadap kelestarian biota laut. Revisi zonasi ke depan sebaiknya mempertimbangkan aspek konektivitas oseanografi, kontinuitas habitat, dan prinsip pengelolaan adaptif dalam menghadapi perubahan iklim. Dengan mengintegrasikan dimensi fisik, biologis, dan sosial, penelitian ini menawarkan kerangka kerja berbasis data untuk pengelolaan konservasi laut yang dinamis dan berkelanjutan di Indonesia, beralih dari konsep pemetaan statis menuju paradigma pengelolaan ekosistem yang adaptif dan berbasis ilmiah.

Kata kunci: Biodiversitas, Kawasan Konservasi Perairan, Tapanuli Tengah, Zona inti.

SUMMARY

ZULHAM APANDY HARAHAHAP. Optimization of No-Take Zone Delineation for Coastal and Small Island Conservation Areas in Tapanuli Tengah Based on Oceanographic Characteristics. Supervised by DIETRICH G BENGEN, I WAYAN NURJAYA, SYAMSUL BAHRI AGUS, and YULI NAULITA.

Marine biodiversity is experiencing a rapid global decline, primarily driven by overfishing, pollution, habitat degradation, and climate change. Marine Protected Areas (MPAs) have emerged as one of the most effective management tools for conserving marine ecosystems and restoring depleted fish stocks. However, the effectiveness of MPAs is highly dependent on appropriate zoning design and rigorous enforcement. In Indonesia, previous zoning schemes have largely relied on ecological and socio-economic indicators, while oceanographic and hydrodynamic parameters have received limited consideration. Addressing this gap, the present study proposes an integrated approach that combines biological, geomorphological, and oceanographic data to optimize the delineation of the no-take zone (NTZ) within a marine protected area.

The research was conducted in the Tapanuli Tengah Coastal and Small Islands Conservation Area, North Sumatra, which was formally designated under the Ministry of Marine Affairs and Fisheries Decree No. 87/2020. Although the area was established to conserve coral reef, seagrass, and mangrove ecosystems, its NTZ configuration had not previously been evaluated using integrated physical and biological parameters. The objectives of this study were fourfold: (1) to map benthic habitats within the conservation area, (2) to analyze geomorphological and oceanographic characteristics including temperature, salinity, pH, nutrient concentrations, and dissolved oxygen, (3) to assess the relationship between these parameters and coral as well as reef fish communities, and (4) to evaluate the ecological effectiveness of the designated NTZs. Field surveys were carried out in May 2024 across both NTZ and adjacent non-NTZ sites. Coral and fish community data were collected using the Underwater Photo Transect (UPT) and Underwater Visual Census (UVC) methods. Satellite imagery from SPOT-6/7 and Sentinel-2 was analyzed using Object-Based Image Analysis (OBIA) and Google Earth Engine (GEE) techniques to produce benthic habitat maps, and the performance of both approaches was compared. Meanwhile, oceanographic data were obtained from the Marine Copernicus portal and validated with in situ field observations.

Results indicate that OBIA outperformed GEE in terms of classification accuracy and spatial detail. The hierarchical segmentation process of OBIA effectively differentiated shallow and deep areas, reef flats, slopes, and lagoonal zones, allowing precise delineation of benthic habitats such as live and dead coral, seagrass, rubble, and sand. In contrast, GEE's pixel-based classification tended to overestimate certain substrate types and produced coarser habitat boundaries. The superior accuracy of OBIA supports its use in spatial planning for MPAs, providing a robust foundation for ecologically meaningful zoning.

Oceanographic analyses revealed spatio-temporal variations that significantly influence coral reef health and fish community structure. Between 2011 and 2021, sea surface temperature ranged from 27.5°C to 31.8°C, with a discernible warming

sea surface temperature ranged from 27.5°C to 31.8°C, with a discernible warming trend associated with local coral bleaching events, particularly during 2016–2020. Salinity and pH values remained within the optimal range for coral growth but exhibited early indications of acidification. Seasonal fluctuations were observed in nutrient concentrations (nitrate and phosphate), whereas dissolved oxygen and levels were higher in NTZs, reflecting superior water quality and productivity. The region's complex hydrodynamics and seabed topography, extending to depths of over 140 meters, play a critical role in maintaining biodiversity through their influence on larval dispersal, sediment transport, and nutrient cycling.

Multivariate analyses, including Principal Component Analysis (PCA), demonstrated strong correlations between oceanographic stability and coral ecosystem health. NTZs characterized by moderate temperatures, high oxygen concentrations, and low nutrient levels exhibited significantly higher live coral cover and coral diversity than areas outside the NTZs. In contrast, non-NTZ areas showed elevated nutrient levels, increased macroalgal abundance, and reduced coral cover, suggesting eutrophication and anthropogenic stress.

Reef fish community assessments further substantiated the ecological benefits of no-take protection. NTZs supported higher species richness, abundance, and biomass of reef-associated fishes compared to adjacent fished areas. These findings highlight the role of NTZs as effective spawning and nursery habitats that enhance larval recruitment and contribute to spillover benefits across the broader seascape. Nevertheless, spatial discrepancies were identified between the existing zonation boundaries and the ecologically significant areas delineated from integrated oceanographic and habitat data, indicating the need for spatial realignment of NTZs to better encompass critical habitats.

The study also underscores the importance of participatory governance in achieving sustainable conservation outcomes. Despite the area's formal designation, community participation in monitoring and enforcement remains limited, which may potentially undermine compliance and management effectiveness. Therefore, the study recommends implementing adaptive co-management strategies that integrate local ecological knowledge, scientific monitoring, and periodic evaluation of zoning effectiveness to ensure long-term ecological and socio-economic resilience.

In conclusion, this research demonstrates that the integration of remote sensing, in situ ecological surveys, and oceanographic analyses significantly strengthens the scientific basis for marine spatial planning. The OBIA method offers a high-resolution and reliable approach for mapping benthic habitats in complex coastal systems. Empirical evidence confirms that well-designed and effectively enforced NTZs can sustain coral reef health and fish community structure. Future revisions of the zoning plan should incorporate oceanographic connectivity, habitat continuity, and adaptive management principles to enhance resilience to climate-driven changes. By integrating physical, biological, and social dimensions, this study develops a data-driven framework for dynamic and sustainable marine conservation in Indonesia, shifting from static spatial delineation to an adaptive, ecosystem-based management paradigm.

Keywords: Biodiversity, Marine Protected Area, No-Take Zone, Tapanuli Tengah.



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 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.

OPTIMALISASI PENETAPAN ZONA INTI KAWASAN KONSERVASI PESISIR DAN PULAU-PULAU KECIL TAPANULI TENGAH BERDASARKAN KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI

ZULHAM APANDY HARAHAHAP

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

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



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 Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA
- 2 Dr. Beginer Subhan, S.Pi, M.Si

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA
- 2 Dr. Beginer Subhan, S.Pi, M.Si

Judul Disertasi : Optimalisasi Penetapan Zona Inti Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Tapanuli Tengah Berdasarkan Karakteristik Oseanografi

Nama : Zulham Apandy Harahap

NIM : C5601221004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Dietrieck G. Bengen, DEA



Pembimbing 2:
Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc



Pembimbing 3:
Dr. Syamsul Bahri Agus, S.Pi, M.Si



Pembimbing 4:
Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Neviaty Putri Zamani, M.Sc
NIP. 196410141988032001



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc
NIP. 196408131991031001



Tanggal Ujian: 10 September 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. Penelitian dengan judul “Optimalisasi Penetapan Zona Inti Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Tapanuli Tengah Berdasarkan Karakteristik Oseanografi”.

Ucapan Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Dietrich G. Bengen, DEA., Bapak Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Si., Bapak Dr. Syamsul Bahri Agus, S.Pi, M.Si dan Ibu Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si. sebagai promotor yang telah membimbing, mengarahkan dan banyak memberi saran dalam penulisan disertasi ini
2. Penguji luar komisi pembimbing Bapak Prof. Dr. Ir. Dedi Soedharma, DEA. dan Bapak Dr. Beginer Subhan, S.Pi, M.Si. yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan disertasi beserta para staf laboratorium dan seterusnya yang telah membantu selama proses pengumpulan dan pengolahan data.
3. Bapak Dekan FPIK IPB, Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc., ketua Program Studi IKL, Prof. Dr. Ir. Neviaty Zamani, M.Sc., Ketua Departemen ITK, Bapak/Ibu dosen pengampu mata kuliah dan tenaga administrasi di lingkungan Program Studi Ilmu Kelautan atas semua ilmu yang telah diberikan dan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama perkuliahan.
4. LAPAN, DKP Provinsi Sumatera Utara, DKP Tapanuli Tengah yang telah membantu menyediakan peralatan survei dan data.
5. Teman-teman S3 IKL 2022, Rustam Effendi, M. Agung Nugraha, Agus Kusnadi, Rikoh M Siringoringo, Insaniah Rahimah, Putri Mudlika, Tri Handayani, Camelia Tito atas segala bantuan dan dukungannya selama perkuliahan dan penyusunan disertasi.
6. Seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya sehingga penulisan disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

Bogor, Oktober 2025

Zulham Apandy Harahap



DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	iii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Ruang Lingkup	6
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	8
INTEGRASI DATA PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMETAAN HABITAT BENTIK DALAM PENGELOLAAN KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN	9
2.1 Pendahuluan	9
2.2 Metode Penelitian	10
2.2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	10
2.2.2 Pengumpulan Data Lapangan	10
2.2.3 Pengolahan Data Satelit	11
2.2.4 Prosedur Penelitian	12
2.2.5 Uji Akurasi	13
2.3 Hasil dan Pembahasan	16
2.3.1 Klasifikasi Habitat Benthik	16
2.3.2 Distribusi Habitat Benthik	18
2.3.3 Uji Akurasi	23
2.3.4 Meningkatkan Akurasi Klasifikasi di Kawasan Konservasi Perairan	25
2.3.5 Tantangan dan Prospek Klasifikasi Habitat di Kawasan Konservasi Perairan	27
2.4 Kesimpulan	29
III SEBARAN DAN VARIASI OSEANOGRAFI TERHADAP PERTUMBUHAN TERUMBU KARANG DI KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN	30
3.1 Pendahuluan	30
3.2 Metode Penelitian	32
3.2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	32
3.2.2 Pengumpulan Data Lapangan	33
3.2.3 Parameter Oseanografi	33
3.2.4 Data Habitat Benthik	35
3.2.5 Analisis Komponen Utama	36
3.3 Hasil Dan Pembahasan	36
3.3.1 Pengukuran <i>in situ</i>	36
3.3.2 Parameter oseanografi	37
3.3.3 Habitat Benthik	45

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.

3.3.4 Analisis Komponen Utama (PCA) Parameter Oseanografi dan Tutupan Karang Keras	46
3.4 Kesimpulan	47
IV KONTRIBUSI KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN TERHADAP TUTUPAN KARANG DAN IKAN TERUMBU BERDASARKAN KARAKTERISTIK OSEANOGRAFI	49
4.1 Pendahuluan	49
4.2 Metode Penelitian	51
4.2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	51
4.2.2 Pengamatan Terumbu Karang	52
4.2.3 Ikan Terumbu Karang	53
4.2.4 Struktur Komunitas Ikan Terumbu Karang	53
4.2.5 Analisis Statistik	55
4.3 Hasil dan Pembahasan	56
4.3.1 Tutupan Karang	56
4.3.2 Komunitas Ikan Terumbu Karang	58
4.3.3 Keanekaragaman Ikan Karang di Kawasan Konservasi Perairan dan Area Sekitarnya	61
4.3.4 Indeks Keanekaragaman Ekologi	63
4.3.5 Hubungan antara Tutupan Karang dan Ikan Terumbu Karang	64
4.4 Kesimpulan	68
V PEMBAHASAN UMUM	69
5.1 Pemetaan Sebaran Habitat Benthik	69
5.2 Peran Kawasan Konservasi dalam Meningkatkan Tutupan Terumbu Karang dan Komunitas Ikan Karang	70
5.3 Pengaruh Oseanografi Terhadap Pertumbuhan Terumbu Karang	70
5.4 Implikasi Kawasan Konservasi Perairan	71
VI KESIMPULAN DAN SARAN UMUM	72
6.1 Kesimpulan	72
6.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	92
RIWAYAT HIDUP	96



DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alur pikir penelitian optimalisasi zona inti KKP Tapanuli Tengah	5
2	Peta lokasi penelitian di kawasan konservasi pesisir dan pulau-pulau kecil Tapanuli Tengah	11
3	Diagram alir yang mengilustrasikan penerapan metode OBIA (eCognition) dan berbasis piksel (GEE) untuk menghasilkan peta habitat bentik	15
4	Klasifikasi habitat bentik di KKP Tapanuli Tengah	17
5	Segmentasi OBIA (a) Level 1 (perairan dangkal, laut dalam, daratan) (b) Level 2 geomorfologi (reef crest, reef flat, slope, lagoon)	19
6	Klasifikasi habitat bentik (Level 3 OBIA)	21
7	Klasifikasi habitat bentik menggunakan Google Earth Engine	21
8	Peta lokasi pengumpulan data parameter oseanografi di KKP Tapanuli Tengah	32
9	Peta batimetri kawasan konservasi perairan Tapanuli Tengah	38
10	Fluktuasi suhu permukaan laut (SPL) di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	39
11	Grafik variabilitas salinitas di KKP Tapanuli Tengah (2011-2022)	40
12	Distribusi pola arah dan kecepatan arus (<i>stickplot</i>) di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	41
13	Grafik oksigen terlarut di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	42
14	Grafik nilai pH di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	43
15	Grafik konsentrasi nitrat di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	44
16	Grafik konsentrasi fosfat di KKP Tapanuli Tengah (2011-2021)	44
17	Hasil PCA hubungan parameter oseanografi dengan variasi lokasi sampling di KKP Tapanuli Tengah	47
18	Peta lokasi pengumpulan data terumbu dan ikan karang	52
19	Perbandingan persentase <i>lifeform</i> karang di dalam dan luar zona inti	57
20	Perbandingan jumlah ikan terumbu karang di dalam zona inti dan di luar zona inti (a) Famili (b) Jumlah total spesies (c) Kelimpahan ikan (individu/ha)	60
21	Perbandingan kelimpahan famili ikan [a] NTZ dan [b] diluar NTZ	62
22	Grafik biplot analisis korespondensi ikan terumbu karang dan bentuk pertumbuhan (<i>lifeform</i>) terumbu karang	65
23	Analisis korespondensi kelimpahan ikan karang dengan tutupan karang keras di zona inti	66

@Hak cipta milik IPB University



DAFTAR TABEL

1	Penelitian terkait penetapan kawasan konservasi perairan	7
2	Spesifikasi satelit SPOT 6/7	12
3	Luas habitat bentik menggunakan OBIA dan GEE	22
4	Uji akurasi klasifikasi habitat menggunakan OBIA	23
5	Uji akurasi klasifikasi habitat menggunakan GEE	24
6	Perbandingan beberapa penelitian klasifikasi habitat bentik	26
7	Data sekunder atau reanalisis data fisika-kimia air laut	34
8	Daftar bentuk pertumbuhan karang dan masing-masing kode	35
9	Perbandingan data observasi dengan data satelit di perairan Tapanuli Tengah	37
10	Persentase tutupan habitat bentik di dalam dan di luar zona inti	45
11	Indeks keanekaragaman ekologi ikan terumbu karang di dalam dan luar zona inti KKP Tapanuli Tengah	64

DAFTAR LAMPIRAN

1	Dokumentasi kegiatan pengumpulan data	92
2	Data ikan karang di lokasi zona inti KKP Tapanuli Tengah	93