



**KARAKTERISTIK LINGKUNGAN, MANGSA ZOOPLANKTON
DAN KONEKTIVITAS HABITAT HOTSPOT KEMUNCULAN
PARI MANTA (*Mobula alfredi* dan *Mobula birostris*)
DI PERAIRAN KEPULAUAN RAJA AMPAT**

FERAWATI RUNTUBOI



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

- 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

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 dengan judul “**Karakteristik Lingkungan, Mangsa Zooplankton dan Konektivitas Habitat Hotspot Pari Manta (*Mobula alfredi* dan *Mobula birostris*) Di Kepulauan Raja Ampat**” adalah karya saya dengan arahan dari dosen 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 disertasi ini.

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

Bogor, Juni 2024

Ferawati Runtuboi
C561190071

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

Ferawati Runtuboi. Judul Disertasi Karakteristik Lingkungan, Mangsa Zooplankton dan Konektivitas Habitat Hotspot Kemunculan Pari Manta (*Mobula alfredi* *Mobula birostris*) Di Kepulauan Raja Ampat. Dibimbing oleh DIETRIECH GEOFFREY BENGEN, I WAYAN NURJAYA, NYOMAN METTA NYANAKUMARA NATIH.

Konektivitas habitat hotspot merupakan pengembangan konsep konektivitas fungsional yang menyediakan pengetahuan baseline tentang relung ekologi bagi megafauna laut seperti pari manta. Pemahaman tentang konektivitas dalam penelitian ini terkontekstual pada dua komponen utama yakni karakteristik lingkungan dan preferensi sumberdaya zooplankton. Pari manta (*Mobulidae*) terdiri dari dua spesies yakni *Mobula alfredi* atau pari manta karang dan *Mobula birostris* atau pari manta oseanik. Pari manta merupakan kelompok ikan pelagis bersifat planktivora dengan mobilisasi dan pola migrasi yang tinggi. Populasi global pari manta saat ini mengalami penurunan dengan status IUCN *endangered* terhadap pari manta oseanik dan *vulnerable* untuk pari manta karang. Perairan Raja Ampat merupakan salah satu habitat agregasi dan lokasi perkembangbiakan pari manta paling banyak di wilayah Indonesia. Status tersebut membutuhkan berbagai informasi untuk memahami relung ekologi pada habitat hotspot yang terintegrasi dengan karakteristik lingkungan dan ketersediaan sumberdaya zooplankton. Penelitian ini bertujuan mengkaji keterkaitan habitat hotspot pada kedua habitat agregasi di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara berdasarkan karakteristik lingkungan dan ketersediaan sumberdaya zooplankton.

Penelitian ini menerapkan beberapa metode analisis dalam mengkaji karakteristik lingkungan dan struktur zooplankton dengan memanfaatkan data lingkungan dari *Marine Copernicus* 2019-2021 dan verifikasi lapangan pada habitat hotspot tahun 2021. Data pemantauan secara simultan dilakukan ketika observasi lapangan yakni pada 5 hotspot di Selat Dampier yakni hotspot Manta sandy (MS), Manta reef (MR), Arborek sisi barat (AB), Hool Gam (HG) Yefnabi kecil (YK) dan pada 7 hotspot pada perairan Misool bagian tenggara Magic Mountain (MM), Eagle nest (EN), Tanjung Warakareket (TjW), Tanjung kerikil (TjW), Kanem (K), Boowindows (BW) dan Boowest (BWS).

Kemunculan pari manta pada 12 hotspot sebagai data kemunculan yang didominasi oleh pendistribusinya pada *reef* dengan kedalaman 8–30 m serta pada beberapa hool dengan kedalaman yang relatif dangkal. Pada 12 hotspot kemunculan bervariasi dengan kelimpahan yang rendah dari 1-10 individu. Kemunculan paling tinggi terlihat di Yefnabi kecil Selat Dampier dan Eagle Nest Misool bagian tenggara. Variasi karakteristik lingkungan pada setiap hotspot pari manta. Sebaran SPL pada Selat Dampier berkisar 29,9-30,4 °C, Misool bagian tenggara berkisar 28,9-29,0 °C. Salinitas pada kedua wilayah ini menunjukkan nilai sama 34,50-34,95 ppm. Klorofil-a 0,16-0,47 mg-m³ untuk SD dan MS. Arus permukaan di SD berkisar antara 0,09-0,21m/s dan MS berkisar antara 0,09-0,21m/s. Kisaran pH konsisten sama pada kisaran 8,01-8,02. Analisis PCA dari komponen F1 dan komponen F2 mampu menggambarkan kombinasi linear dari parameter lingkungan pada hotspot pari manta sebesar 69,68%. Hotspot K, EN, TjW dicirikan oleh parameter arus permukaan, oksigen terlarut dan kedalaman dengan nilai tinggi.

Salinitas, fitoplankton menjadi penciri pada hotspot MR, MS, MAB dan HG dengan nilai rendah. Parameter pH, klorofil-a, kelimpahan zooplankton menjadi penciri pada hotspot TjK, BW dan MM dengan nilai tinggi. Hotspot YK dan BW dicirikan oleh parameter SPL dengan nilai rendah.

Identifikasi metabarcoding menemukan 32 jenis zooplankton pada tiga filum: Krustasea, Chaetognatha dan Cnidaria. Jenis-jenis tersebut dominan di sembilan titik yang terletak di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara. Metrik keanekaragaman alfa, termasuk taksa yang diamati, Chao1, dan indeks Shannon, menunjukkan perbedaan yang signifikan antara titik api dan dua wilayah, yang dikonfirmasi oleh uji ANOVA ($p = 0,0029$ untuk taksa yang diamati, $p = 0,0029$ untuk Chao1, $p = 0,0021$ untuk Shannon). Selain itu, uji keanekaragaman alfa menunjukkan bahwa Misool bagian tenggara memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan Selat Dampier ($p < 0,01$). Sebaliknya, keanekaragaman yang diamati di dalam wilayah yang berbeda relatif rendah, dengan tidak ada perbedaan berdasarkan nilai *p-value* ANOVA sebesar 0,37. Keanekaragaman beta, yang dinilai melalui ANOSIM (dengan 999 permutasi), memberikan hasil yang mengindikasikan bahwa tidak ada kemiripan yang signifikan dalam struktur komunitas zooplankton ($R = 0,225$, $p = 0,078$). Plot nMDS menunjukkan bahwa komunitas zooplankton di Selat Dampier dan Misool Tenggara mengelompok secara terpisah. Secara khusus, komunitas ditiga hotspot EN, TJW, dan K menunjukkan struktur taksonomi yang sama, dari tingkat ordo hingga spesies, sebagaimana *overlay* pada diagram Venn.

Variasi parameter lingkungan pada hotspot kemunculan pari manta. Analisis PCA membentuk tiga kelompok utama sebagai penciri antar hotspot. Kelompok pertama menunjukkan parameter kedalaman, Do, arus permukaan merupakan penciri dari hotspot EN, TjW, TjK dan BWS dengan nilai tinggi. Kelompok kedua pada hotspot MM, BW, BWS dicirikan oleh parameter pH, pari manta karang, kelimpahan zooplankton, dan klorofil-a dengan nilai yang tinggi. Kluster ketiga dengan parameter penciri adalah SPL pada hotspot MR. Kluster keempat yang terbentuk dari analisis ini dengan parameter pencirinya adalah salinitas dan fitoplankton dengan nilai tinggi pada hotspot MS, MAB dan HG. Keterkaitan karakteristik lingkungan terhadap kemunculan pari manta didorong oleh kelimpahan zooplankton yang menunjukkan signifikansi yang kuat di sekitar hotspot dengan nilai korelasi 0.82. Pemodelan habitat pari manta di Perairan Raja Ampat mengkonfirmasi habitat hotspot potensial yang berpotensi dikunjungi pari manta berdasarkan karakteristik lingkungan. Hasil permodelan habitat dalam penelitian model nilai AUC sebesar 0,978 sehingga model dapat dianggap baik atau kepercayaan tinggi terhadap kesesuaian habitat pari manta. Keterhubungan habitat hotspot MM di Misool bagian tenggara terkoneksi dengan hotspot EN dan MR di Selat Dampier. Hotspot EN terhubung dengan K, HG, TjW. Secara keseluruhan kemunculan pari manta di sejumlah hotspot sangat dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan sebagai pendorong struktur dan sebaran zooplankton yang merupakan makanan pari manta. Konektivitas habitat hotspot pari manta menunjukkan tersedia sejumlah habitat potensial yang mendukung keberlanjutan populasi pari manta di Raja Ampat dari komponen karakteristik lingkungan dan sumberdaya zooplankton.

Kata kunci : *hotspot, habitat, karakteristik, konektivitas, pari manta, raja ampas, zooplankton*

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.



SUMMARY

Ferawati Runtuboi. Dissertation Title Environmental Characteristics, Zooplankton Prey and Habitat Connectivity of Manta Ray Occurrence Hotspots Manta (*Mobula alfredi* *Mobula birostris*) in the Raja Ampat Islands” Supervised DIETRIECH GEOFFREY BENGEN, I WAYAN NURJAYA², AND NYOMAN METTA NYANAKUMARA NATIH.

Hotspot habitat connectivity is an extension of the functional connectivity concept that provides baseline knowledge of ecological niches for marine megafauna, such as manta rays. The understanding of connectivity in this study is contextualized by two main components: environmental characteristics and zooplankton resource preferences. Manta rays (Mobulidae) consist of two species: *Mobula alfredi* or coral manta rays and *Mobula birostris* or oceanic manta rays. Manta rays are a planktivorous pelagic fish group with high mobilization and migration patterns. The global population of manta rays is currently declining with the IUCN status of endangered oceanic manta rays, and is vulnerable to coral manta rays. Raja Ampat waters are one of the most aggregated habitats and breeding sites for manta rays in Indonesia. This status requires information to understand the ecological niches in hotspot habitats that are integrated with environmental characteristics and the availability of zooplankton resources. This study aimed to assess the relationship between hotspot habitats in both aggregation habitats in the Dampier Strait and southeastern Misool based on environmental characteristics and the availability of zooplankton resources.

This study applied several analytical methods to assess environmental characteristics and zooplankton structure by utilizing environmental data from marine copernicus 2019-2021 and field verification in hotspot habitats in 2021. Monitoring data is simultaneously carried out during field observations, namely at 5 hotspots in the Dampier Strait is Manta sandy (MS), Manta reef (MR), Arborek west side (AB), Hool Gam (HG) Yefnabi kecil (YK) and at 7 hotspots in southeastern Misool is Magic mountain (MM), Eagle nest (EN), Tanjung Warakareket (TjW), Tanjung Kerikil (TjW), Kanem (K), Boowindows (BW) and Boowest (BWS).

The appearance of manta rays in 12 hotspots as occurrence data was dominated by their distribution in reefs with depths of 8-30 m and in several holes with relatively shallow depths. In the 12 hotspots, occurrence varied with low abundance from to 1-10 individuals. The highest occurrence was observed in the small Yefnabi Dampier Strait and Eagle Nest Misool in the southeastern region. Variations in environmental characteristics in each manta ray hotspot. The SST distribution in the Dampier Strait (SD) ranges from 29.9-30.4⁰C, southeastern Misool (MS) ranges from 28.9-29.0⁰C. Salinity in these two areas showed the same value of 34.50-34.95 ppm. Chlorophyll-a 0.16-0.47 mg-m³ for SD and MS. Surface currents at SD range between 0.09-0.21 m/s and MS range between 0.09-0.21 m/s. The pH range was consistent in the range of 8.01-8.02. PCA of the F1 and F2 components was able to describe a linear combination of environmental parameters in the manta ray hotspot of 69.68%. Hotspots RK, EN, TjW are characterized by surface current, dissolved oxygen and depth parameters with high values. Salinity and phytoplankton were characteristics of MR, MS, MAB, and HG hotspots with

low values. The parameters pH, chlorophyll-a, and zooplankton abundance were characteristics of the TjK, BW, and MM hotspots with high values. Hotspots YK and BW are characterized by SPL parameters with low values.

Metabarcoding identified 32 types of zooplankton in three phyla: Crustaceans, Chaetognatha, and Cnidaria. These types are dominant at nine points located in the Dampier Strait and southeastern Misool. Alpha diversity metrics, including observed taxa, Chao1, and Shannon index, showed significant differences between hotspots and two regions, which was confirmed by ANOVA tests ($p = 0.0029$ for observed taxa, $p = 0.0029$ for Chao1, and $p = 0.0021$ for Shannon). In addition, the alpha diversity test showed that the southeastern Misool had significantly higher diversity than the Dampier Strait ($p < 0.01$). In contrast, the observed diversity within the different regions was relatively low, with no differences based on an ANOVA p-value of 0.37. Beta diversity, assessed via ANOSIM (with 999 permutations), indicated that there was no significant similarity in the zooplankton community structure ($R = 0.225$, $p = 0.078$). The nMDS plot shows the zooplankton communities in the Dampier and Southeast Misool clusters.

Variations in environmental parameters in manta ray emergence hotspots. PCA analysis formed three main groups of characteristics between the hotspots. The first group shows that the depth parameter Do and surface currents are characteristic of hotspots EN, TjW, TjK, and BWS with high values. The second group in the MM, BW, and BWS hotspots was characterized by high values of pH parameters, reef manta rays, zooplankton abundance, and chlorophyll-a. The third cluster with characteristic parameters is the SPL at the MR hotspot. The fourth cluster formed from this analysis with its characteristic parameters was salinity and phytoplankton with high values in the MS, MAB, and HG hotspots. The relationship between environmental characteristics and the emergence of manta rays was driven by the abundance of zooplankton, which showed strong significance around the hotspot with a correlation value of 0.82. Modelling of manta ray habitats in Raja Ampat waters confirms the potential hotspot habitat that manta rays have the potential to visit based on environmental characteristics. The results of habitat modelling in this study have an AUC value of 0.978, so the model can be considered good or has high confidence in the suitability of the manta ray habitat. The habitat connectivity of the MM hotspot in southeastern Misool was connected to the EN and MR hotspots in the Dampier Strait. The hotspot EN is connected to K, HG, and TjW. Overall, the appearance of manta rays in a number of hotspots is strongly influenced by environmental characteristics as a driver of the structure and distribution of zooplankton, which are the food of manta rays. The connectivity of the manta ray hotspot habitat shows that there are several potential habitats available that support the sustainability of the manta ray population in Raja Ampat from the components of environmental characteristics and zooplankton resources.

Keywords: *connectivity characteristics, hotspot, habitat, manta rays, Raja Ampat, zooplankton.*



@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.



**KARAKTERISTIK LINGKUNGAN, MANGSA ZOOPLANKTON
DAN KONEKTIVITAS HABITAT HOTSPOT KEMUNCULAN
PARI MANTA (*Mobula alfredi* dan *Mobula birostris*)
DI PERAIRAN KEPULAUAN RAJA AMPAT**

FERAWATI RUNTUBOI

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
2024**

- 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

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. Roni Bawole, M.Si
- 2 Dr. Adriani, S.Pi, M.Si

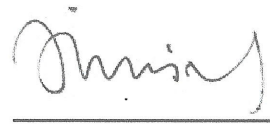
Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Disertasi:

- 1 Dr. Adriani, S.Pi, M.Si
- 2 Dr. Selvi Tebay S.Pi, M.Si

Judul Disertasi : Karakteristik Lingkungan, Mangsa Zooplankton dan Konektivitas Habitat Hotspot Pari Manta (Mobula alfredi Mobula birostris) di Perairan Kepulauan Raja Ampat
Nama : Ferawati Runtuboi
NIM : C561190071

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Dietriech Geoffrey Bengen, D.E.A



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



Pembimbing 3:
Dr. Ir. Nyoman Metta N Natih, M.Si

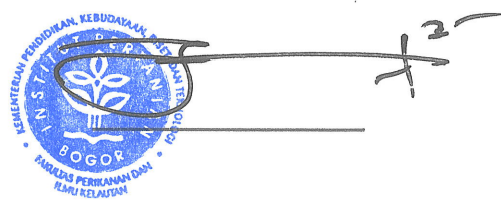


Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si
NIP. 196607121991032003



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc
NIP. 196307311988031002



Tanggal Ujian: 3 Juni 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Bapa, Tuhan Yesus Kristus dan Roh Kudus atas KaruniaNya sehingga penyelesaian studi melalui disertasi berjudul Karakteristik Lingkungan, Mangsa Zooplankton dan Konektivitas Habitat Hotspot Pari Manta di Perairan Kepulauan Raja Ampat (*Mobula afredi* dan *Mobula birostris*) di Kepulauan Raja Ampat dapat terwujud. Izinkan penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya penyusunan disertasi. Rasa hormat dan terimakasih penulis ucapkan kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Dietrich Geoffrey Bengen, DEA, selaku ketua komisi pembimbing, Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc, dan Dr. Ir. Nyoman Metta Nyanakumara Natih, M.Si selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, memotivasi dan mendorong penulis hingga dapat menyelesaikan penulisan disertasi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Roni bawole, M.Si, Dr. Adriani dan Dr. Selvi Tebay, S.Pi, M.Si selaku penguji luar komisi yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan naskah disertasi ini.
3. Dr. Ir. Muhammad M Kamal, M.Sc selaku penguji luar komisi kualifikasi lisan untuk semua masukan, saran dalam penyempurnaan proposal dan diskusi terstruktur untuk publikasi dan penyempurnaan disertasi ini.
4. Dr. Ir. Yuli Naulita, M.Si selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Ilmu Kelautan beserta seluruh staf yang telah membantu mengarahkan penulis dalam menyiapkan berbagai kelengkapan administrasi hingga segala proses studi dapat terselesaikan dengan baik.
5. Rektor, Dekan Sekolah Pascasarjana, dan Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan program Doktor pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB.
6. Kepada seluruh staf pengajar Program Studi Pascasarjana Ilmu Kelautan IPB yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan
7. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIRJEN DIKTI) Kementerian Pendidikan Nasional, Kebudayaan dan Ristek Dikti yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi S3 dan Kementerian keuangan melalui beasiswa BUDI-DN 2019.
8. Prof. Dr. Ir. Jacobus Manusawai, MP (selaku Rektor Universitas Papua periode 2016-2021) dan Dr. Meki Sagrim, SP, M.Si selaku Rektor Universitas Papua periode 2021-2024) yang telah memberikan rekomendasi untuk pengajuan BUDI-DN 2019 dan perpanjangan tugas belajar.
9. Prof. Dr.Ir. Ridwan Sala, M,Si selaku Dekan FPIK UNIPA periode 2019-2023, dan Ibu Dr. Selvi Tebay, S.Pi, M.Si Dekan FPIK atas semua dukungan bagi penulis.
10. Dr. Jonni Marwa, S.Hut, M.Si yang terus membantu memfasilitasi dan mengikutsertakan penulis dalam berbagai kegiatan KLHS yang secara tidak langsung menopang penulis selama studi.
11. Dr. Anton Sinery, S.Hut, M.P atas semua diskusi yang terstruktur dalam penyempurnaan disertasi.

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.

12. Tim KLHS Fahutan UNIPA untuk semua doa, bantuan dan dukungan kepada penulis selama studi.
13. Prof. Roni Bawole dan Ibu Mudjirahayu untuk setiap doa dan dukungan bagi penulis.
14. Rekan seperjuangan di IKL angkatan 2019 : Dr. Yulianto Suteja, Dr. Anna, Dr. Apriansyah, Dr. Abdul Angkotasana, Pak Afdal, Pak Muhammad Abrar, Pak Hendrik Dasmasele, Roba Rivai Darus, dan Pak Ridha Alamsyah, atas bantuan dan berbagi pengalaman bersama saat menempuh studi Doktor Ilmu Kelautan di IPB University.
15. Bapak Dr. Andi Zulfikar yang telah banyak membantu penulis dalam proses analisis data disertasi.
16. Rekan Seperjuangan Tugas Belajar UNIPA atas semua kebersamaan, motivasi, dukung selama studi.
17. Teman teman seperjuangan BUDI-DN- IPB Bogor atas atas semua kebersamaan, motivasi, dukung selama proses studi.
18. Calvin Beale sebagai teman diskusi dan sangat membantu selama proses publikasi;
19. Teman-teman Kos PCH dan teman setia seperjuangan *BESTIE PCH* : Ibu Diana Sawen, Ibu Evageline Kadmaer, Ibu Lenny, Ibu Ramla, Ibu Lili, Ibu Andi Tenri untuk semua kebersamaan selama studi

Rasa hormat penuh cinta dan terima kasih yang tulus, penulis ucapkan kepada Teman hidup, Sahabat dan Suami tercinta Daud Irianto Wambrau, S.Si dan Anak tersayang : Keiko Easter, yang dengan sabar mendukung dan mendoakan penulis selama menempuh pendidikan Doktor di IPB Bogor. Terimakasih kepada Orang Tua tersayang : Papa Drs. Ones Runtuboi, M.Si dan Mama Alm. Aplena Numberi, S.Pd, juga kepada Saudara-saudaraku terkasih: Dr. Dirk Runtuboi, S.Pd, M.Si, Dr. Yubeline Runtuboi, S.Hut, M.Si, Milano Runtuboi ST, M.Si, dr. Frank Don Exparanza, Andre Runtuboi, ST dan Aksamina Runtuboi, S.Far, atas doa dan dukungannya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan terutama bagi masyarakat di Tanah Papua tercinta.

Bogor, Juni 2024

Ferawati Runtuboi

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Kerangka Pemikiran Penelitian	6
1.4 Tujuan	7
1.5 Manfaat	7
1.6 <i>State of the Art</i>	7
1.7 Kebaruan	12
II VARIASI KARAKTERISTIK LINGKUNGAN PERMUKAAN DI HABITAT HOTSPOT DI PERAIRAN RAJA AMPAT	13
2.1 Latar belakang	13
2.2 Tujuan	14
2.3 Metode Penelitian	14
2.4 Hasil dan Pembahasan	17
2.5 Simpulan	38
III STRUKTUR DAN KONEKTIVITAS ZOOPLANKTON SEBAGAI MAKANAN PADA HABITAT HOSTPOT	39
3.1 Latar belakang	39
3.2 Tujuan	40
3.3 Metode penelitian	40
3.4 Hasil dan Pembahasan	43
3.5 Simpulan	55
IV KETERKAITAN KARAKTERISTIK LINGKUNGAN TERHADAP KEMUNCULAN PARI MANTA DALAM MENDESAIN KESESUAIAN EKOLOGI HABITAT HOTSPOT	56
4.1 Latar belakang	56
4.2 Tujuan	57
4.3 Metode	57
4.4 Hasil dan pembahasan	65
4.5 Simpulan	80
V PEMBAHASAN UMUM	81
5.1 Populasi dan Musim Pari Manta di Perairan Raja Ampat	81
5.2 Karakteristik Lingkungan Fisik Kimia dan Biologi Habitat Hotspot Pari Manta.	82
5.3 Pengembangan Konsep Konektivitas Habitat Hotspot berdasarkan Kemiripan Zooplankton	83
5.4 Keterkaitan Karakteristik Lingkungan dan Keberadaan Pari Manta	85
5.5 Kesesuaian Alokasi Ruang Laut Raja Ampat terhadap Habitat Hotspot Pari Manta	86

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.



5.6	Proyeksi Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Keberadaan Habitat Hotspot di Masa Depan.	88
VI	SIMPULAN DAN SARAN	92
6.1	Simpulan	92
6.2	Saran	92
	DAFTAR PUSTAKA	94
	LAMPIRAN	103
	RIWAYAT HIDUP	112

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

No	Hal
Tabel 1	4
Tabel 2	10
Tabel 3	15
Tabel 4	33
Tabel 5	53
Tabel 6	59
Tabel 7	60
Tabel 8	61
Tabel 9	63
Tabel 10	63
Tabel 11	64
Tabel 12	65
Tabel 13	69
Tabel 14	76
Tabel 15	80
Tabel 16	87



DAFTAR GAMBAR

No	Hal
Gambar 1. Analisis bibliometrik dengan Vosviewer untuk penelitian pari manta dengan kata kunci <i>Mobulidae</i> , <i>Population</i> and <i>Ecology</i>	8
Gambar 2. Diagram alir penelitian “Karakteristik Lingkungan Mangsa Zooplankton dan Konektivitas Habitat Hotspot Pari Manta Di Perairan Kepulauan Raja Ampat”	9
Gambar 3. Lokasi penelitian pada wilayah Selat Dampier dan Misool bagian tenggara Raja Ampat.	16
Gambar 4. Alur pengolahan dataset karakteristik lingkungan pada habitat hotspot pari manta di Perairan Raja Ampat	17
Gambar 5. Pola sebaran dan kecepatan angin 15 Desember, 15 Maret, 15 Juni dan 15 September di Perairan Papua	18
Gambar 6. (a) Kecepatan arus non pasut komponen u dan v hasil pemodelan perairan kepulauan Misool pada musim selatan, (b) Kecepatan arus non pasut komponen u dan v hasil pemodelan perairan kepulauan Misool pada musim barat(Suhaemi <i>et al.</i> 2022)	19
Gambar 7. Arus permukaan pada hotspot pari manta di Perairan Raja Ampat (Pola arus pada a.monsun timur laut dan b. monsun tenggara)	21
Gambar 8. Rerata suhu permukaan laut (SPL) berdasarkan musim selama periode 2019-2021	22
Gambar 9. Sebaran SPL pada hotspot pari manta di perairan Raja Ampat	23
Gambar 10. Rerata salinitas (ppt) perairan Raja Ampat berdasarkan periode musim 2019-2021	24
Gambar 11. Sebaran salinitas permukaan berdasarkan musim periode 2019-2021	25
Gambar 12. Kandungan klorofil-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^3$) berdasarkan musim selama periode 2019-2021 pada habitat hotspot	26
Gambar 13. Sebaran kandungan klorofil-a ($\text{mg}\cdot\text{m}^3$) di hotspot pari manta di Perairan Raja Ampat.	27
Gambar 14. Kandungan fitoplankton ($\text{mg}\cdot\text{m}^3$) per musim di perairan Raja Ampat	28
Gambar 15. Sebaran kandungan fitoplankton pada hotspot pari manta di perairan Raja Ampat.	29
Gambar 16. Derajat keasaman pH berdasarkan musim di perairan Raja Ampat.	30
Gambar 17. Sebaran pH pada hotspot pari manta di perairan Raja Ampat	31
Gambar 18. Kadar oksigen pada Hotspot Pari Manta di Perairan Raja Ampat	32
Gambar 19. (a) Jenis zooplankton berdasarkan spesies dan (b) total di perairan Selat Dampier dan Misool bagian tenggara.	34
Gambar 20. Scree plot F1 dan F2 karakteristik lingkungan pada habitat hotspot	35
Gambar 21. Grafik analisis komponen utama dan dendogram terhadap variasi lingkungan permukaan pada habitat hotspot (a)Biplot	

	sebaran spasial karakteristik lingkungan di habitat hotspot; (b). Dendrogram pengelompokan variabel lingkungan (c).Dendrogram variasi lingkungan terhadap habitat hotspot.	37
Gambar 22.	Peta lokasi pengambilan sampel air di Selat Dampier (SD) dan Misool bagian tenggara (MS)	42
Gambar 23.	Persentase zooplankton berdasarkan kelas pada hotspot pari manta	43
Gambar 24.	Kelimpahan zooplankton berdasarkan kelas pada hotspot pari manta	44
Gambar 25.	Kelimpahan zooplankton berdasarkan famili pada hotspot pari manta	45
Gambar 26.	Keanekaragaman alfa zooplankton yang terdeteksi, berdasarkan taxa observasi, Chao1 dan indeks Shannon antara Selat Dampier dan wilayah Misool bagian tenggara Raja Ampat	48
Gambar 27.	Plot non-metrik multidimensional scaling (nMDS) berdasarkan matriks kemiripan Bray-Curtis untuk kelimpahan semua taksa zooplankton pada hotspot pari manta di Raja Ampat.	49
Gambar 28.	Diagram Venn yang menunjukkan jumlah taksa yang <i>overlapping</i> pada tingkat kelas, ordo, famili, genus, dan spesies zooplankton pada tiga hotspot yaitu di Eagle nest (EN), Kanem (K), dan Tanjung Warakareket (TjW)	50
Gambar 29.	Pohon Dendrogram klasifikasi hierarki kemiripan zooplankton pada habitat hotspot pari manta.	52
Gambar 30.	Konektivitas zooplankton berdasarkan kemiripan zooplankton di habitat hotspot perairan Raja Ampat.	53
Gambar 31.	Visualisasi habitat hotspot pari manta sebagai representasi dari selat Dampier YK(a) dan EN di Misool bagian tenggara	54
Gambar 32.	Alur pengolahan data-set lingkungan dengan pendekatan maximum entropy (MaxEnt)	62
Gambar 33.	Alir metode tumpang susun (<i>overlay</i>) untuk kesesuaian ekologi habitat hotspot	65
Gambar 34.	Nilai Komponen Utama (PCA) karakteristik lingkungan terhadap kemunculan pari manta karang (RM) pada habitat hotspot	67
Gambar 35.	Nilai Komponen Utama (PCA) parameter lingkungan dan jumlah kemunculan pari manta oseanik (OM) di setiap hotspot	68
Gambar 36.	Plot model aditif umum (GAM) yang menunjukkan efek parsial dari variabel prediktor terpilih terhadap kemunculan pari manta di habitat hotspot. Sumbu x sebagai titik diamati dan sumbu y mewakili efek parsial dari setiap variabel. Area yang diarsir menunjukkan interval kepercayaan 95%.	70
Gambar 37.	Matrik korelasi keterkaitan parameter lingkungan terhadap kemunculan pari manta.	71
Gambar 38.	Kurva AUC Model GAM-6 untuk Sebaran Pari Manta di Perairan Raja Ampat	73
Gambar 39.	(a) Kontribusi variabel lingkungan terhadap Model dan (b) Jackknife AUC dari model MaxEnt untuk prediksi Habitat Hotspot Pari Manta di Perairan Raja Ampat.	74



Gambar 40. Prediksi Kesesuaian Habitat Hotspot Pari Manta di Perairan Raja Ampat	75
Gambar 41. Kesesuaian ekologi habitat hotspot pari manta di Perairan Raja Ampat	79
Gambar 42. Kesesuaian habitat hotspot terhadap kebijakan ruang RTRW-P Papua barat 2022-2045	89

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 LAMPIRAN

Lampiran 1 Rata-rata nilai parameter karakteristik lingkungan pada habitat hotspot	104
Lampiran 2 Cosinus kuadrat parameter karakteristik lingkungan pada habitat hotspot	105
Lampiran 3 Cosinus kuadrat parameter karakteristik lingkungan berdasarkan habitat hotspot	105
Lampiran 4 Identifikasi taxa zooplanktom secara keseluruhan di habitat hotspot pari manta	106
Lampiran 5 Hasil analisis Model GAM dalam menjelaskan keterkaitan karakteristik lingkungan terhadap kemunculan pari manta di habitat hotspot	108
Lampiran 6 Kemunculan pari manta beberapa hotspot selama sampling tahun 2021	109
Lampiran 7 Identifikasi keberadaan <i>Mobula birostris</i> (Oceanic Manta) taxa dari eDNA metabarcoding (+ = presence, - = absence)	110
Lampiran 8 Jenis zooplankton yang ditemukan pada hotspot di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara	110
Lampiran 9 Percat diagram struktur dan komposisi zooplanktom per hotspot hasil identifikasi dna metabarcoding.	111

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

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.