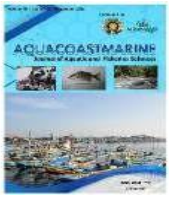
talenta PUBLISHER
AQUACOASTMARINE
Journal of Aquatic and Fisheries Sciences
Journal homepage: https://talenta.usu.ac.id/aquacoastmarine



Kemiripan Komunitas Zooplankton sebagai Dasar Konfirmasi Konektivitas Habitat Pari Manta

Similarity of Zooplankton Communities as a Basis for Confirming Manta Ray Habitat Connectivity

Ferawati Runtuboi[1,2], Dietrietch Geoffrey Bengen[2], I Wayan Nurjaya[2], Nyoman Metta Nyanakumara Natih[2], Daud Irianto Wambrauw[4]

[1]Marine Science Department, Papua University, Jalan Gunung Salju Amban. Manokwari, West Papua Province Indonesia[1]:
[2]Marine Science and Technology, Faculty of Fisheries and Marine Science, IPB
[3]Faculty of Fisheries and Marine Science, University
[4]Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanahan Provinsi Papua Barat di Manokwari
*Corresponding author : f.runtuboi@unipa.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 April 2026
Revised 21 May 2026
Accepted 28 October 2026
Available online 02 November 2026

E-ISSN: 2829-1751

How to cite:
Runtuboi, F., Bengen, G. D., Nurjaya, I W., Natih, N. M. N., Wambrauw, D. I. (2026). Kemiripan Komunitas Zooplankton sebagai Dasar Konfirmasi Konektivitas Habitat Pari Manta. *AQUACOASTMARINE: J.Aquat.Fish.Sci,,* 4(2), 161-171.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
10.32734/jafs.v4i2.22397

ABSTRAK

Kemiripan komposisi komunitas zooplankton pada habitat hotspot pari manta dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan ekologis untuk memahami keterhubungan habitat makan. Pari manta merupakan megafauna laut yang memiliki mobilitas tinggi dan cenderung mengunjungi lokasi dengan ketersediaan makan yang sesuai, terutama dari kelompok zooplankton. Penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi, kelimpahan, keanekaragaman, dan kemiripan komunitas zooplankton pada habitat hotspot pari manta di perairan Raja Ampat, serta mengevaluasi indikasi keterkaitannya dengan kemunculan pari manta dan parameter lingkungan. Penelitian dilakukan pada April-November 2021 di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara. Sampel zooplankton dikumpulkan pada sepuluh hotspot pari manta menggunakan plankton net berdiameter 25 cm yang ditarik dari kedalaman 10 m dan 5 m menuju permukaan. Data dianalisis secara deskriptif melalui kelimpahan total, kelimpahan per hotspot, kelimpahan per region, indeks Shannon-Wiener, analisis Bray-Curtis, dendrogram, network similarity, korelasi, dan generalized linear model. Hasil menunjukkan komunitas zooplankton didominasi oleh Calanoid spp. dengan kelimpahan total 279 individu per sampel gabungan, diikuti oleh *Oithona nana*, *Acartia clausi*, *Calanus helgolandicus*, dan *Oithona brevicornis*. Misool bagian tenggara memiliki kelimpahan total zooplankton lebih tinggi dibandingkan Selat Dampier. Analisis dendrogram berbasis Bray-Curtis menunjukkan pembentukan dua kelompok utama, sedangkan network similarity menunjukkan kemiripan tinggi antara beberapa hotspot, terutama Manta Sandy, Eagle Nest, dan Arborek Barat. Hasil ini mengindikasikan bahwa kesamaan komunitas zooplankton dapat menjadi proxy ekologis awal untuk memahami konektivitas habitat makan pari manta.

Kata kunci: konektivitas habitat, pari manta, Raja Ampat, zooplankton, Bray-Curtis

ABSTRACT

The similarity of zooplankton community composition across manta ray hotspot habitats can be used as an ecological approach to understanding the connectivity of feeding habitats. Manta rays are highly mobile marine megafauna that tend to visit areas with suitable food availability, particularly zooplankton. This study analyzed the composition, abundance, diversity, and similarity of zooplankton communities in manta ray hotspot habitats in Raja Ampat waters and evaluated their association with manta ray occurrence and environmental parameters. The study was conducted from April to November 2021 in the Dampier Strait and

southeastern Misool. Zooplankton samples were collected from ten manta ray hotspots using a 25-cm diameter plankton net hauled vertically from depths of 10 m and 5 m to the surface. Data were analyzed descriptively using total abundance, hotspot abundance, regional abundance, the Shannon-Wiener diversity index, Bray-Curtis analysis, dendrograms, similarity networks, correlation analysis, and a generalized linear model. The results showed the zooplankton community was dominated by Calanoid spp., with a total abundance of 279 individuals in the pooled samples, followed by Oithona nana, Acartia clausi, Calanus helgolandicus, and Oithona brevicornis. Southeastern Misool had higher total zooplankton abundance than the Dampier Strait. Bray-Curtis dendrogram analysis indicated two main groups, while the similarity network showed high similarity among several hotspots, particularly Manta Sandy, Eagle Nest, and Arborek Barat. These findings indicate that zooplankton community similarity can serve as an initial ecological proxy for understanding the connectivity of manta ray feeding habitats. This study provides baseline information for manta ray habitat management based on prey availability in Raja Ampat.

Keywords: *habitat connectivity, manta rays, Raja Ampat, zooplankton, Bray-Curtis*

1. Pendahuluan

Konektivitas habitat merupakan aspek penting dalam konservasi megafauna laut karena pergerakan spesies sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sumber daya, kondisi oseanografi, dan keterhubungan antar habitat. Pada spesies dengan mobilitas tinggi seperti pari manta, pemahaman mengenai konektivitas habitat tidak hanya bergantung pada jarak geografis antar lokasi, tetapi juga pada kesamaan kondisi ekologis yang mendukung aktivitas makan, pembersihan, reproduksi, dan pergerakan antar wilayah (Cowen et al., 2006, 2007; Olds et al., 2013)

Perairan Raja Ampat merupakan salah satu wilayah penting bagi pari manta di Indonesia. Setyawan Edy et al., (2020) melaporkan keberadaan banyak hotspot pari manta pada kawasan konservasi perairan di Bentang Laut Kepala Burung, termasuk di Selat Dampier, Misool, dan beberapa lokasi lain di Raja Ampat. Habitat-habitat tersebut digunakan oleh pari manta untuk berbagai aktivitas, seperti mencari makan, membersihkan diri, berinteraksi, dan bergerak antar lokasi. Oleh karena itu, informasi mengenai faktor ekologis yang mendukung kemunculan pari manta di hotspot tersebut penting untuk memperkuat strategi pengelolaan berbasis habitat.

Zooplankton merupakan sumber pakan utama bagi pari manta dan kelompok Mobulidae lainnya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pari manta memanfaatkan agregasi zooplankton yang terbentuk akibat dinamika pasang surut, arus, produktivitas primer, dan struktur habitat lokal (Armstrong et al., 2021; Couturier et al., 2012, 2013). Di Raja Ampat, kelimpahan zooplankton juga dilaporkan berasosiasi dengan kemunculan pari manta pada beberapa hotspot (Runtuboi et al., 2024; Thovyan et al., 2020). Alhasil, kemiripan komunitas zooplankton antar hotspot berpotensi memberikan gambaran awal mengenai kesamaan habitat pakan dan indikasi konektivitas ekologis antar lokasi.

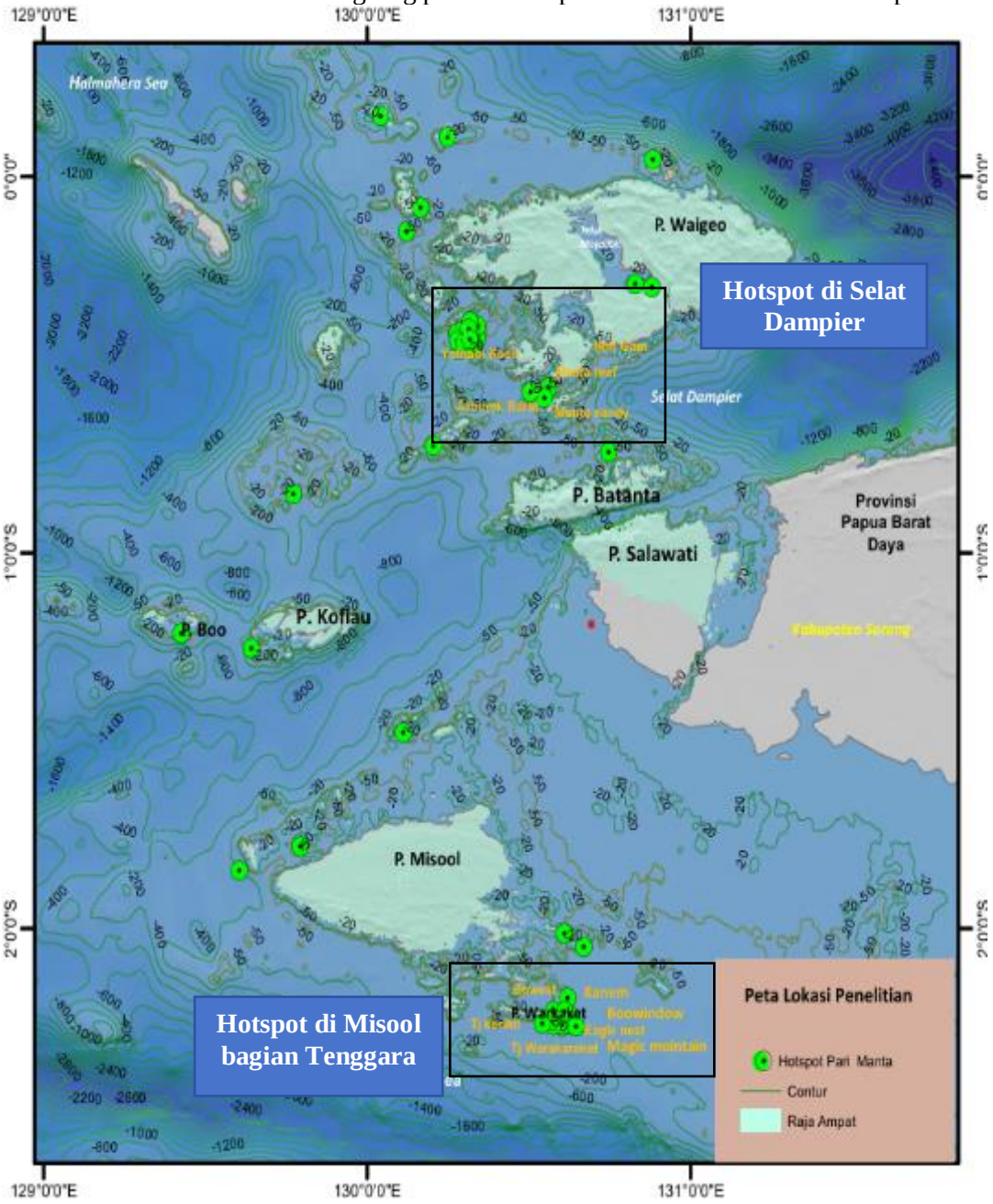
Meskipun studi mengenai pari manta di Raja Ampat telah berkembang, kajian yang secara khusus menghubungkan struktur komunitas zooplankton dengan indikasi konektivitas habitat pakan masih terbatas. Penelitian sebelumnya lebih banyak menyoroti distribusi, pergerakan, atau hubungan kemunculan pari manta dengan parameter lingkungan secara umum. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi, kelimpahan, keanekaragaman, dan kemiripan komunitas zooplankton pada hotspot pari manta di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara, serta mengevaluasi indikasi keterkaitannya dengan kemunculan pari manta dan variabel lingkungan. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah pengelolaan habitat pari manta di Raja Ampat.

2. Metode

2.1 Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada April-November 2021 di perairan Raja Ampat, khususnya pada dua region utama, yaitu Selat Dampier dan Misool bagian tenggara (**Gambar 1**). Sebanyak sepuluh hotspot pari manta digunakan sebagai lokasi pengambilan sampel. Lima hotspot berada di Selat Dampier, yaitu Manta sandy (MS), Manta reef (MR), Arborek brat (AB), Hool Gam (HG), dan Yefnabi kecil (YK). Lima hotspot lainnya berada di Misool bagian tenggara, yaitu Magic mountain (MM), Eagle nest (EN), tanjung

Warakareket (TjW), Kanem (K), dan Boowindows (BW). 10 Hotspot sebagai lokus pengambilan sampel dikarenakan ketika survei berlangsung pada 10 hotspot ini ditemukan kemunculan pari manta.



Gambar 1. Lokasi penelitian pada wilayah Selat Dampier dan Misool bagian tenggara Raja Ampat

2.2 Pengambilan sampel zooplankton

Pengambilan sampel zooplankton dilakukan pada sepuluh hotspot pari manta di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara. Sampel dikumpulkan menggunakan plankton net berdiameter 25 cm yang ditarik secara vertikal dari kedalaman 10 m ke permukaan dan dari kedalaman 5 m ke permukaan. Kedalaman 5 m dan 10 m dipilih untuk mewakili lapisan perairan dangkal hingga menengah yang sering menjadi area aktivitas makan pari manta pada habitat hotspot. Sampel hasil penyaringan dipekatkan hingga volume 10 mL dan diawetkan menggunakan larutan lugol iodine sebanyak 1–2 tetes.

2.3 Pengukuran parameter lingkungan

Parameter lingkungan diukur secara langsung pada setiap hotspot saat pengambilan sampel. Parameter yang diukur meliputi suhu permukaan laut, salinitas permukaan, pH, oksigen terlarut, kecepatan arus permukaan, dan kecepatan angin. Parameter tersebut dipilih karena dapat memengaruhi distribusi zooplankton, proses agregasi plankton, dan peluang kemunculan pari manta pada habitat pakan. Suhu permukaan laut, oksigen terlarut, dan pH diukur menggunakan PCT-407 Portable pH Conductivity TDS

Meter untuk masing membaca nilai pH, suhu perairan, salinitas perairan dan kadar oksigen terlarut (DO). Kecepatan arus diukur menggunakan Current Meter, sedangkan kecepatan angin diukur menggunakan Anemometer Data Logger Air Flow Wind Meter.

2.4 Analisis data

Data zooplankton dan parameter lingkungan dianalisis secara deskriptif dan inferensial. Kelimpahan zooplankton disajikan sebagai jumlah individu per sampel. Jika volume air tersaring tersedia, kelimpahan sebaiknya dikonversi menjadi individu per meter kubik (ind/m3). Kelimpahan total pada hotspot ke-j dihitung dengan rumus

$$Total\ abundance = \sum_{i=1}^{n} Abundance\ i$$

Dimana *Abundancei* adalah jumlah individu zooplankton dari spesies ke-i yang ditemukan di hotspot tertentu, dan nnn adalah jumlah total spesies yang ditemukan di hotspot tersebut.

Kelimpahan rata-rata zooplankton

$$\text{Average abundance} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Abundance\ i}{n}$$

Di mana Abundance *i* adalah jumlah individu zooplankton dari spesies ke-i yang ditemukan di hotspot tertentu, dan n adalah jumlah total spesies yang ditemukan di hotspot tersebut.

Kelimpahan zooplankton per region

$$Abundance\ per\ region = \sum_{j=1}^{n} Total\ Abundance\ i$$

Dimana *Total Abundance i* jumlah total kelimpahan zooplankton di hotspot ke-j dalam region tertentu, dan mmm adalah jumlah total hotspot dalam region tersebut. Zooplankton di hotspot ke-j dalam region tertentu, dan mm adalah jumlah total hotspot dalam region tersebut.

Indeks Keragaman

Indeks Shannon-Wiener (H') digunakan untuk mengukur keanekaragaman spesies dalam suatu komunitas.

$$H' = -\sum (pi \log pi)$$

di mana *pi* adalah proporsi individu dari spesies ke-i terhadap total individu dalam komunitas.

Kemiripan Komunitas Zooplankton

Kemiripan komunitas zooplankton antar-hotspot dianalisis menggunakan indeks Bray-Curtis berdasarkan data kelimpahan takson. Sebelum analisis, data kelimpahan dapat ditransformasi menggunakan log(x+1) atau square-root untuk mengurangi pengaruh takson yang sangat dominan. Indeks Bray-Curtis pada dasarnya mengukur ketidaksamaan atau jarak komposisi komunitas antar-hotspot, dengan rumus:

$$BC\ jk = \frac{\sum i\ |\text{xij} - \text{xik}|}{\sum i\ |\text{xij} + \text{xik}|}$$

di mana BC_{jk} adalah dissimilarity antara hotspot $j$dan k, sedangkan x_{ij}dan x_{ik}merupakan kelimpahan takson ke-i pada masing-masing hotspot. Nilai Bray-Curtis yang semakin kecil menunjukkan komunitas yang semakin mirip, sedangkan nilai yang semakin besar menunjukkan komunitas yang semakin berbeda.

Korelasi dan General linear model dalam prediksi hubungan kemunculan pari manta terhadap kelimpahan zooplankton pada setiap hotspot.

Korelasi Pearson dalam menggunakan metode Pearson, yang mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara dua variabel dengan model matematika:

$$r = \frac{\sum (Xi\text{-}Xiaverage)(Yi\text{-}Yiaverage)}{\sqrt{\sum (Xi\text{-}Xiaverage)^2 \sum (Yi\text{-}Yiaverage)^2}}$$

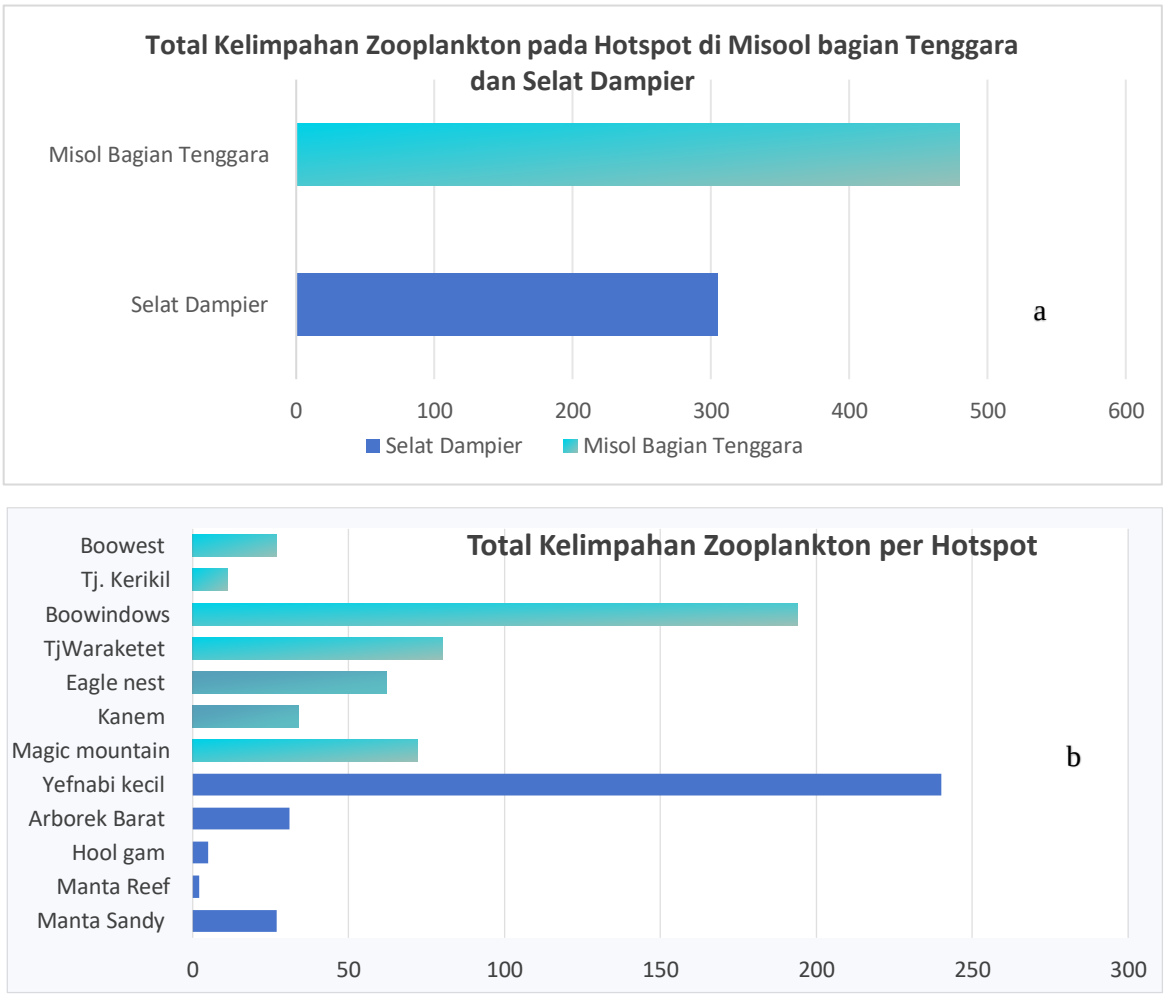
GLM adalah alat statistik yang kuat untuk menganalisis hubungan antara variabel dependen dan satu atau lebih variabel independen. GLM digunakan untuk memahami bagaimana keberadaan zooplankton mempengaruhi kemunculan pari manta. Adapun visualisasi dalam penyajian gambar pada hasil penelitian ini menggunakan WPS Pro dan Chat-GPT-pro.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kelimpahan zooplankton pada habitat hotspot

Komunitas zooplankton pada habitat hotspot pari manta didominasi oleh *Calanoid* spp. dengan kelimpahan total 279 individu per sampel gabungan (**Gambar 2**). Takson lain yang memiliki kelimpahan relatif tinggi adalah *Oithona nana* sebanyak 107 individu, *Acartia clausi* sebanyak 80 individu, *Calanus helgolandicus* sebanyak 75 individu, dan *Oithona brevicornis* sebanyak 72 individu. Pola ini menunjukkan bahwa kelompok copepoda merupakan komponen utama komunitas zooplankton pada hotspot pari manta di Raja Ampat. Dominasi copepoda relevan secara ekologis karena kelompok ini merupakan bagian penting dalam jaring makanan pelagis dan telah dilaporkan sebagai komponen makanan pari manta pada berbagai lokasi (Armstrong et al., 2021; Burgess et al., 2016; Couturier et al., 2013)

Berdasarkan kelimpahan per hotspot, Yefnabi kecil memiliki jumlah zooplankton tertinggi, yaitu 240 individu, diikuti oleh Boowindows sebanyak 205 individu dan Tanjung Warakareket sebanyak 80 individu. Sebaliknya, Manta Reef dan Hool Gam menunjukkan kelimpahan lebih rendah, masing-masing 2 dan 5 individu. Perbedaan kelimpahan tersebut mengindikasikan adanya heterogenitas spasial dalam ketersediaan zooplankton pada hotspot pari manta. Pada tingkat region, Misool bagian tenggara memiliki kelimpahan total zooplankton lebih tinggi dibandingkan Selat Dampier, yaitu 480 individu berbanding 305 individu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pada saat pengambilan sampel, Misool bagian tenggara memiliki ketersediaan zooplankton yang lebih besar dibandingkan Selat Dampier. Pola tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi oseanografi lokal, dinamika arus, proses retensi plankton, dan karakteristik habitat, tetapi faktor-faktor tersebut perlu dianalisis lebih lanjut sebelum dapat dinyatakan sebagai penyebab utama.



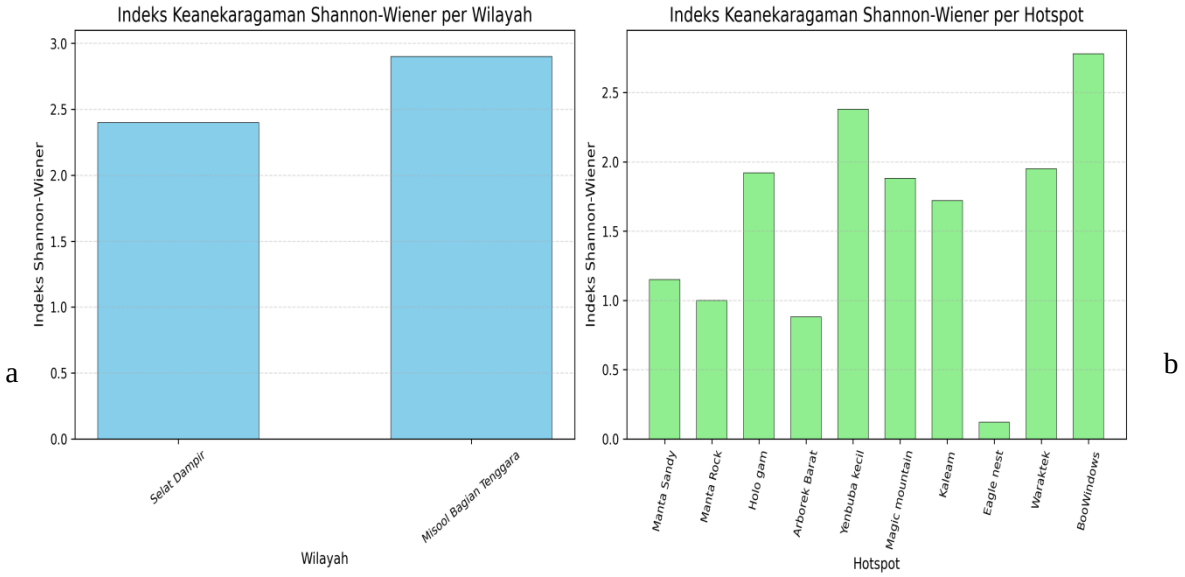
Gambar 2. Totak Kelimpahan Zooplankton a. Pada region dan b. pada masing masing hotspot

3.2 Keanekaragaman zooplankton

Nilai indeks Shannon-Wiener menunjukkan variasi keanekaragaman zooplankton antar hotspot dan antar region (**Gambar 3**). Hotspot Boowindows memiliki nilai H' sekitar 2,68, sedangkan Yefnabi Kecil memiliki nilai sekitar 2,39. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua hotspot memiliki komposisi takson

yang lebih beragam dibandingkan beberapa hotspot lain dalam penelitian ini. Sebaliknya, hotspot seperti Tanjung Kerikil dan Boowest menunjukkan nilai indeks yang mendekati 0, yang mengindikasikan rendahnya jumlah takson atau distribusi individu yang tidak merata pada saat pengambilan sampel.

Pada tingkat region, Misool bagian tenggara memiliki nilai indeks sekitar 2,93, lebih tinggi dibandingkan Selat Dampier yang memiliki nilai sekitar 2,41. Misool bagian tenggara tidak hanya menunjukkan kelimpahan total yang lebih tinggi, tetapi juga keanekaragaman zooplankton yang lebih besar dibandingkan Selat Dampier pada periode sampling.

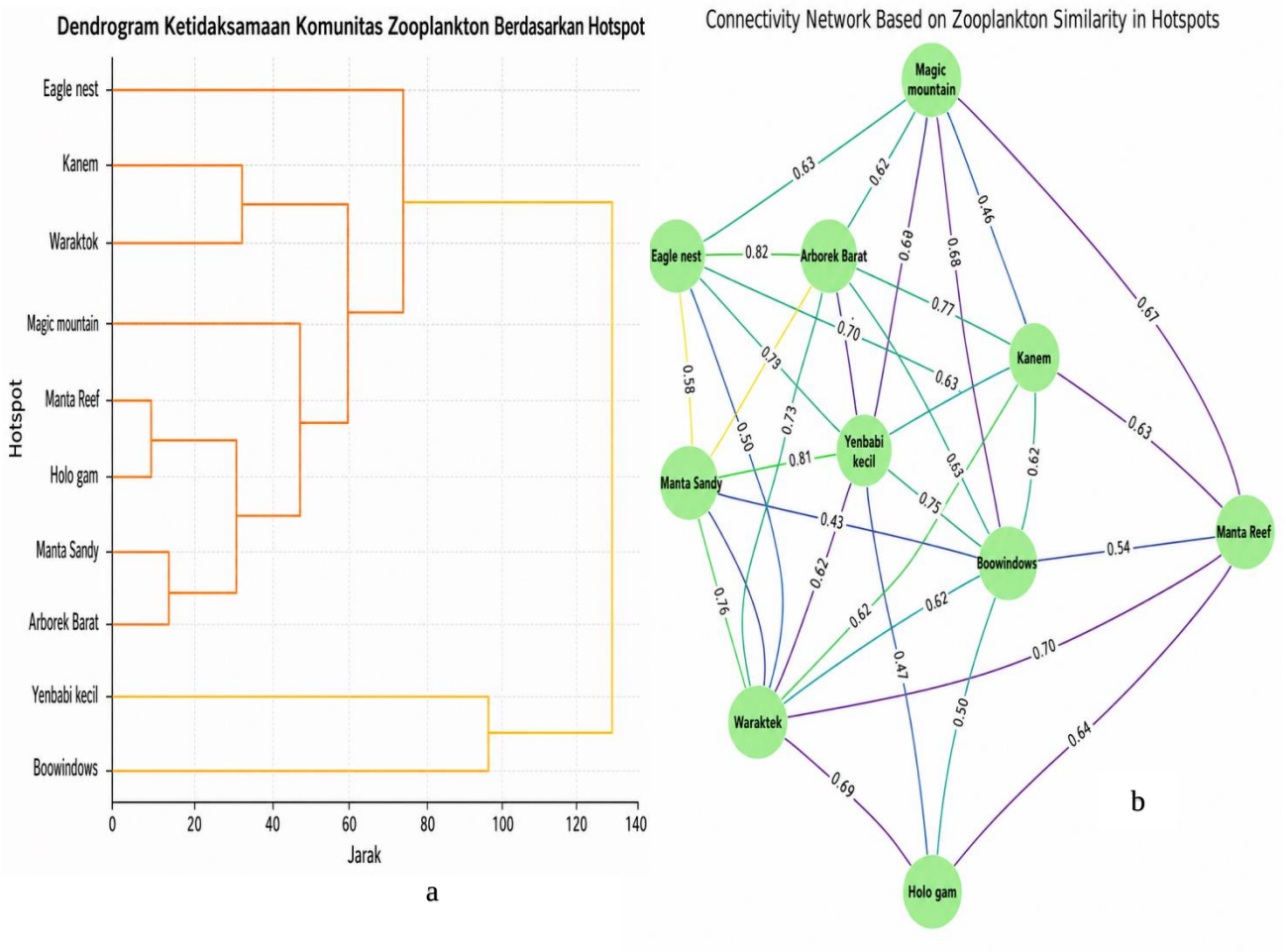


Gambar 3. Keanekaragaman zooplankton berdasarkan habitat hotspot di Selat Dampier dan Misool bagian tenggara a. per region dan b. per hotspot

3.3 Konektivitas berdasarkan kemiripan komunitas zooplankton

Konektivitas ekologis habitat pakan pari manta dalam penelitian ini dievaluasi melalui kemiripan komunitas zooplankton antar hotspot. Analisis dendrogram berbasis Bray-Curtis dissimilarity menunjukkan pemisahan hotspot menjadi dua kelompok utama (**Gambar 4**). Apabila sumbu dendrogram merupakan distance/dissimilarity, nilai 0,65 harus ditafsirkan sebagai jarak atau ketidakmiripan sebesar 65%, bukan kemiripan sebesar 65%. Pada dendrogram ini, sumbu horizontal menunjukkan distance/dissimilarity, sehingga cabang yang bergabung pada jarak rendah menunjukkan kemiripan komunitas yang tinggi. Sebaliknya, hotspot yang bergabung pada jarak besar menunjukkan komunitas zooplankton yang lebih berbeda. Adanya pasangan atau kelompok hotspot seperti Manta reef – Holgam dan Manta sandy – Arborek barat menunjukkan kemiripan yang relatif tinggi karena bergabung pada jarak yang rendah. Sementara itu, Yefnabi kecil dan Boowindows tampak lebih berbeda dari kelompok hotspot lainnya karena baru berada pada jarak yang lebih besar.

Hasil network similarity menunjukkan bahwa beberapa hotspot memiliki kemiripan komunitas zooplankton yang tinggi. Manta Sandy memiliki nilai similarity tinggi dengan Eagle Nest (0,958) dan Arborek Barat (0,865), sedangkan Arborek Barat juga menunjukkan similarity tinggi dengan Eagle Nest (0,903). Yefnabi Kecil menunjukkan similarity cukup tinggi dengan Arborek Barat (0,688) dan Manta Sandy (0,693). Sebaliknya, Manta Reef memiliki similarity rendah dengan sebagian besar hotspot lain, kecuali Boowindows (0,336). Pola tersebut mengindikasikan bahwa sebagian hotspot memiliki komposisi zooplankton yang relatif serupa, sedangkan hotspot lainnya menunjukkan komunitas yang lebih berbeda. Kemiripan komunitas zooplankton antar hotspot dapat mencerminkan kesamaan kondisi ekologis, seperti ketersediaan pakan, proses retensi plankton, pengaruh arus, atau karakteristik habitat lokal. Namun, kemiripan komunitas zooplankton belum dapat dianggap sebagai bukti langsung konektivitas pergerakan pari manta. Untuk mengonfirmasi konektivitas habitat secara kuat, hasil ini perlu dipadukan dengan data foto-identifikasi, tagging, pergerakan individu, atau data oseanografi yang menunjukkan jalur keterhubungan antar hotspot.

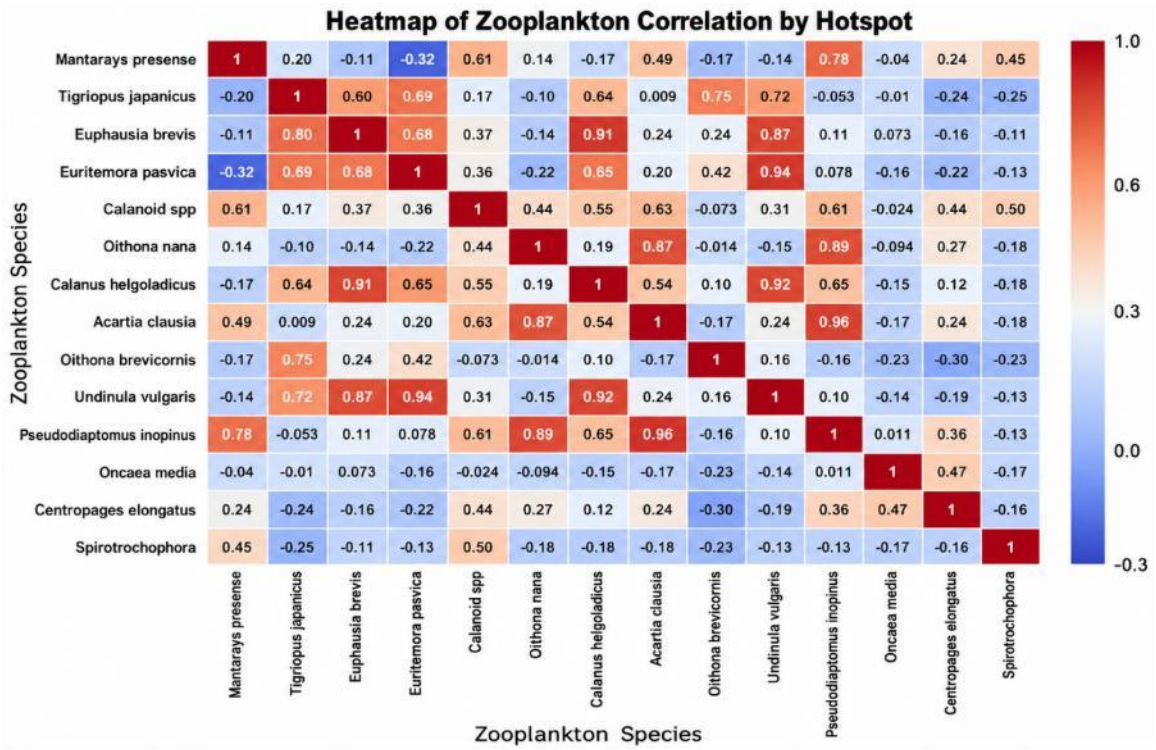


Gambar 4. (a) Dendrogram Kemiripan Komposisi Zooplankton Berdasarkan Jarak Ketidakmiripan antar-Hotspot dan (b) *network similarity* komunitas zooplankton pada hotspot pari manta di perairan Raja Ampat.

3.4 Keterkaitan zooplankton, parameter lingkungan, dan kemunculan pari manta

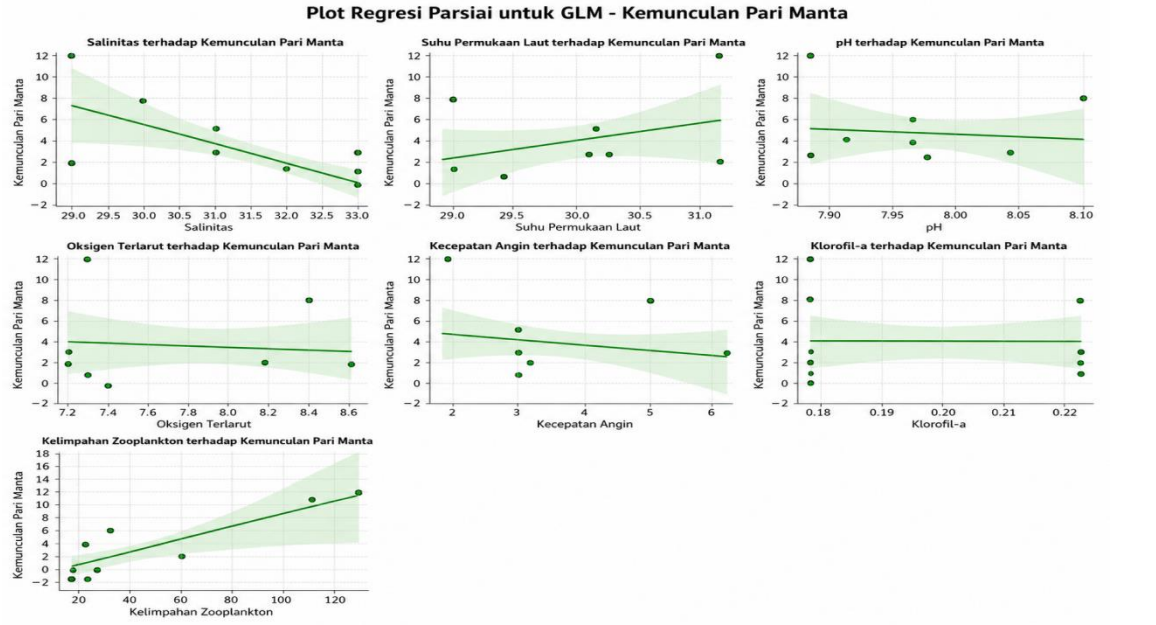
Keterkaitan antara zooplankton dan kemunculan pari manta dianalisis untuk memahami sejauh mana ketersediaan pakan berasosiasi dengan penggunaan hotspot oleh pari manta (**Gambar 5**). Heatmap korelasi menunjukkan bahwa beberapa takson zooplankton memiliki asosiasi positif dengan kemunculan pari manta, terutama Calanoid spp., *Pseudodiaptomus inopinus*, *Oithona nana*, dan *Centropages elongatus*. Sebaliknya, *Tigriopus japonicus* dan *Oithona brevicornis* menunjukkan asosiasi negatif. Pola ini perlu ditafsirkan secara hati-hati karena korelasi tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat, melainkan hanya menggambarkan arah dan kekuatan asosiasi antar variabel pada data yang dianalisis.

Analisis GLM digunakan untuk mengevaluasi asosiasi antara kemunculan pari manta dan beberapa variabel prediktor, termasuk kelimpahan zooplankton serta parameter lingkungan. Berdasarkan hasil yang dilaporkan, kelimpahan zooplankton menunjukkan asosiasi positif dan signifikan dengan kemunculan pari manta ($p < 0,05$). Suhu permukaan laut juga menunjukkan asosiasi positif signifikan ($p < 0,05$), sedangkan salinitas menunjukkan asosiasi negatif signifikan ($p < 0,05$). Kecepatan angin menunjukkan asosiasi positif sangat signifikan ($p < 0,001$), sementara klorofil-a menunjukkan kecenderungan asosiasi positif dengan nilai signifikansi mendekati 0,05. Hasil ini mengindikasikan bahwa kemunculan pari manta kemungkinan berasosiasi dengan kombinasi ketersediaan zooplankton dan dinamika lingkungan, bukan dipengaruhi oleh satu faktor tunggal.



Gambar 5. Heatmap korelasi antara takson zooplankton dan kemunculan pari manta.

Secara ekologis, asosiasi positif antara kelimpahan zooplankton dan kemunculan pari manta mendukung pemahaman bahwa hotspot dengan ketersediaan pakan lebih tinggi berpotensi lebih sering digunakan sebagai habitat makan (**Gambar 6**). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa pari manta memanfaatkan patch zooplankton padat yang terbentuk akibat dinamika pasang surut, arus, atau kondisi oseanografi lokal (Armstrong et al, 2021; Couturier et al., 2013). Namun, karena penelitian ini tidak secara langsung mengukur konsumsi makanan atau lintasan pergerakan individu pari manta, interpretasi hasil telah dibatasi pada asosiasi ekologis, bukan hubungan kausal langsung.



Gambar 6. Hasil generalized linear model (GLM) yang menunjukkan asosiasi variabel lingkungan dan kelimpahan zooplankton terhadap kemunculan pari manta pada habitat hotspot.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komunitas zooplankton pada hotspot pari manta di Raja Ampat memiliki variasi spasial yang cukup jelas, baik dari sisi kelimpahan, keanekaragaman, maupun kemiripan komposisi komunitas. Dominasi kelompok copepoda, terutama *Calanoid* spp., menunjukkan bahwa komunitas zooplankton di lokasi penelitian didominasi oleh kelompok yang secara ekologis penting dalam rantai makanan pelagis dan relevan sebagai sumber pakan bagi pari manta. Pola ini konsisten dengan hasil penelitian di beberapa lokasi agregasi pari manta lain, yang menunjukkan bahwa perilaku makan pari manta

sering berkaitan dengan keberadaan biomassa zooplankton yang tinggi, terutama copepoda dan kelompok krustasea planktonik lainnya (Armstrong et al, 2021; Couturier et al., 2013). Dalam konteks Raja Ampat, temuan ini memperkuat indikasi bahwa hotspot pari manta tidak hanya berfungsi sebagai lokasi kemunculan atau *cleaning station*, tetapi juga berpotensi sebagai habitat makan yang ditentukan oleh ketersediaan zooplankton. Hal ini diperkuat dengan jenis Calanoid spp sebagai takson dominan, adanya perbedaan kelimpahan antar-hotspot, serta asosiasi positif antara kelimpahan zooplankton dan kemunculan pari manta. Perbedaan kelimpahan dan keanekaragaman zooplankton antara Misool bagian tenggara dan Selat Dampier mengindikasikan adanya heterogenitas ekologis antar-region. Misool bagian tenggara yang memiliki kelimpahan dan keanekaragaman zooplankton lebih tinggi diartikan sebagai wilayah dengan ketersediaan makanan yang relatif lebih besar pada periode sampling. Namun, perbedaan ini tidak sebaiknya langsung dianggap sebagai karakter tetap habitat, karena komunitas zooplankton sangat dipengaruhi oleh dinamika temporal seperti musim, arus, pasang surut, suhu, salinitas, dan produktivitas primer. Penelitian di Dampier Strait, Raja Ampat, juga melaporkan bahwa copepoda merupakan kelompok zooplankton dominan dan bahwa variasi musiman arus laut dapat memengaruhi kelimpahan plankton pada habitat pakan *Mobula alfredi* (Thovyan et al., 2020).

Analisis dendrogram berbasis Bray-Curtis dissimilarity memberikan gambaran bahwa beberapa hotspot memiliki komposisi zooplankton yang relatif mirip, sedangkan hotspot lainnya memperlihatkan perbedaan komunitas yang lebih kuat. Hotspot yang bergabung pada jarak rendah, seperti Manta reef - Holgam dan Manta sandy – Arborek barat, dapat diartikan memiliki ketidaksamaan komunitas yang rendah atau kemiripan komposisi yang tinggi. Sebaliknya, penggabungan Yefnabi kecil dan Boowindows pada jarak yang lebih besar menunjukkan bahwa kedua hotspot tersebut memiliki struktur komunitas yang cenderung berbeda dari kelompok hotspot lainnya.

Pola network similarity yang menunjukkan hubungan kuat antara Manta Sandy, Eagle Nest, dan Arborek Barat mengindikasikan bahwa beberapa hotspot di Selat Dampier kemungkinan berbagi karakteristik ekologis yang serupa, terutama dalam hal komposisi zooplankton. Kemiripan komunitas tersebut dapat mencerminkan kesamaan kondisi habitat, misalnya pola retensi plankton, paparan arus, kedalaman, struktur topografi lokal, atau proses oseanografi yang memungkinkan terbentuknya patch zooplankton. Temuan terbaru di Manta sandy, Raja Ampat, juga menunjukkan bahwa komunitas zooplankton di sekitar *cleaning station* didominasi oleh Calanoida, Cyclopoida, dan Harpacticoida, dengan Calanoida mencapai sekitar 93%, sehingga lokasi tersebut diindikasikan memiliki fungsi tambahan sebagai feeding ground pari manta (Widiastuti & Borumei, 2024)

Akan tetapi, kemiripan komunitas zooplankton tidak mutlak sebagai bukti langsung konektivitas pergerakan individu pari manta. Kemiripan komunitas lebih tepat diposisikan sebagai indikator konektivitas ekologis, yaitu kemungkinan bahwa beberapa hotspot memiliki kondisi ketersediaan makanan dan habitat yang sejenis atau saling mendukung dalam jaringan habitat dan atau rantai makanan. Untuk menyatakan konektivitas biologis atau konektivitas pergerakan, diperlukan data tambahan seperti foto-identifikasi, telemetry akustik, satelit tagging, atau pemodelan arus. Penelitian terbaru di Raja Ampat menggunakan 34 receiver akustik dan 72 individu *Mobula alfredi* menunjukkan bahwa pergerakan pari manta lebih sering terkonsentrasi antar-stasiun yang berdekatan, dengan pergerakan jarak jauh antar-region yang lebih terbatas, serta mengindikasikan adanya tiga subpopulasi geografis di Raja Ampat (Setyawan et al., 2024).

Keterkaitan antara kelimpahan zooplankton, parameter lingkungan, dan kemunculan pari manta memperkuat interpretasi bahwa penggunaan hotspot oleh pari manta dipengaruhi oleh kombinasi faktor biologis dan oseanografi. Hasil GLM yang menunjukkan asosiasi positif antara kelimpahan zooplankton dan kemunculan pari manta sejalan dengan studi di Hanifaru Bay, Maladewa, yang menemukan bahwa kejadian makan *Mobula alfredi* berhubungan signifikan dengan biomassa zooplankton tinggi dan dipengaruhi oleh dinamika pasang surut (Armstrong et al., 2021). Studi oseanografi skala kecil di Chagos Archipelago juga menunjukkan bahwa kunjungan pari manta ke lokasi makan dipengaruhi oleh kombinasi cold-water bores, arus dekat permukaan, suhu, dan backscatter sebagai proksi biomassa zooplankton (Harris et al., 2021).

Penelitian yang lebih baru di Seychelles juga menegaskan bahwa perilaku makan *Mobula alfredi* berkaitan erat dengan biomassa plankton dan fase pasang surut. Studi tersebut menunjukkan bahwa informasi mengenai dinamika plankton dan perilaku makan dapat digunakan untuk mengidentifikasi habitat makan penting dan mendukung pengaturan aktivitas manusia di dalam kawasan konservasi laut (Pouponeau et al., 2026). Hasil penelitian ini memiliki dukungan kuat dari studi-studi terkini bahwa habitat pari manta tidak hanya ditentukan oleh keberadaan lokasi pembersihan atau agregasi visual, tetapi juga oleh kondisi oseanografi yang mampu mengonsentrasikan zooplankton sebagai sumber makanan.

Secara ekologis, hasil ini mendukung gagasan bahwa konektivitas habitat pari manta di Raja Ampat dapat dipahami melalui dua lapisan. Lapisan pertama adalah konektivitas ekologis berbasis kesamaan komunitas

zooplankton, yaitu ketika beberapa hotspot memiliki komposisi makanan yang serupa dan kemungkinan menyediakan fungsi habitat yang mirip. Lapisan kedua adalah konektivitas pergerakan individu, yaitu keterhubungan nyata antar-hotspot yang dibuktikan melalui perpindahan pari manta. Dalam artikel ini, pendekatan berbasis kemiripan komunitas zooplankton dapat ditempatkan sebagai dasar awal untuk mengidentifikasi jejaring habitat makan potensial, sedangkan konfirmasi konektivitas penuh masih tetap membutuhkan integrasi dengan data pergerakan individu dan oseanografi.

Implikasi pengelolaan dari hasil ini cukup penting dimana hotspot dengan kelimpahan tinggi, keanekaragaman tinggi, dan kemiripan komunitas zooplankton yang kuat dengan hotspot lain dapat diprioritaskan sebagai lokasi pemantauan jangka panjang. Lokasi seperti Manta sandy, Eagle nest, Arborek barat, Yefnabi kecil, dan Boowindows perlu dipahami bukan hanya sebagai titik kemunculan pari manta, tetapi sebagai bagian dari jaringan habitat yang kualitasnya dipengaruhi oleh dinamika plankton dan lingkungan. Karena pari manta bergantung pada sumber makan yang bersifat patchy, dinamis, dan sering kali sementara, oleh sebabnya pengelolaan kawasan konservasi sebaiknya mempertimbangkan variasi musiman, kondisi arus, produktivitas primer, serta potensi gangguan dari aktivitas wisata dan perahu pada musim makan.

Kemiripan komunitas zooplankton dapat digunakan sebagai dasar ekologis untuk mengonfirmasi kemungkinan keterhubungan fungsi habitat antar-hotspot pari manta di Raja Ampat. Meski demikian, hasil ini perlu ditafsirkan secara proporsional: kemiripan zooplankton menunjukkan kesamaan kondisi habitat makan, bukan bukti langsung bahwa individu pari manta berpindah di antara hotspot tersebut. Integrasi antara data zooplankton, parameter lingkungan, foto-identifikasi, acoustic telemetry, dan pemodelan oseanografi akan menghasilkan pemahaman yang lebih kuat mengenai konektivitas habitat pari manta serta membantu merancang strategi konservasi berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Komunitas zooplankton pada habitat hotspot pari manta di Raja Ampat didominasi oleh kelompok copepoda, terutama Calanoid spp., *Oithona nana*, *Acartia clausi*, *Calanus helgolandicus*, dan *Oithona brevicornis*. Misool bagian tenggara memiliki kelimpahan total dan keanekaragaman zooplankton yang lebih tinggi dibandingkan Selat Dampier pada periode pengambilan sampel. Analisis Bray-Curtis menunjukkan adanya pengelompokan komunitas zooplankton antar hotspot. Network dissimilarity memperlihatkan kemiripan tinggi antara beberapa hotspot, terutama Manta Sandy, Eagle nest, dan Arborek barat, sedangkan Manta reef cenderung memiliki komunitas yang lebih berbeda. Hasil ini mengindikasikan adanya kesamaan habitat makan pada sebagian hotspot pari manta.

Kelimpahan zooplankton dan beberapa parameter lingkungan menunjukkan asosiasi dengan kemunculan pari manta berdasarkan heatmap korelasi dan GLM. Namun, hubungan tersebut perlu ditafsirkan sebagai asosiasi ekologis, bukan bukti sebab-akibat langsung. Konfirmasi konektivitas habitat pari manta masih memerlukan integrasi data tambahan, seperti pergerakan individu, oseanografi, dan pemantauan temporal yang lebih panjang. Kemiripan komunitas zooplankton dapat digunakan sebagai proxy awal untuk memahami indikasi konektivitas habitat makan pari manta di Raja Ampat. Informasi ini dapat mendukung pengelolaan habitat pari manta berbasis ketersediaan makan dan dinamika lingkungan pada kawasan konservasi perairan.

Daftar Pustaka

Armstrong, A. O., & , Guy M W Stevens , Kathy A Townsend , Annie Murray , Michael B Bennett, A. J. A. (2021). Reef manta rays forage on tidally driven, high density zooplankton patches in Hanifaru Bay, Maldives. *PeerJ*. http://hdl.handle.net/10026.1/17380

Armstrong, A. O., Stevens, G. M. W., Townsend, K. A., Murray, A., Bennett, M. B., Armstrong, A. J., Uribe-Palomino, J., Hosegood, P., Dudgeon, C. L., & Richardson, A. J. (2021). Reef manta rays forage on tidally driven, high density zooplankton patches in Hanifaru Bay, Maldives. *PeerJ*, *9*. https://doi.org/10.7717/peerj.11992

Burgess, K. B., Couturier, L. I. E., Marshall, A. D., Richardson, A. J., Weeks, S. J., & Bennett, M. B. (2016). *Manta birostris*, predator of the deep? Insight into the diet of the giant manta ray through stable isotope analysis. *Royal Society Open Science*, *3*(11), 1–10. https://doi.org/10.1098/rsos.160717

Couturier, L. I. E., Marshall, A. D., Jaine, F. R. A., Kashiwagi, T., Pierce, S. J., Townsend, K. A., Weeks, S. J., Bennett, M. B., & Richardson, A. J. (2012). Biology, ecology and conservation of the Mobulidae. *Journal of Fish Biology*, *80*(5), 1075–1119. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03264.x

Couturier, L. I. E., Rohner, C. A., Richardson, A. J., Marshall, A. D., Jaine, F. R. A., Bennett, M. B., Townsend, K. A., Weeks, S. J., & Nichols, P. D. (2013). Stable Isotope and Signature Fatty Acid Analyses Suggest Reef Manta Rays Feed on Demersal Zooplankton. *PLOS ONE*, *8*(10), 1–15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077152

Cowen, R. K., Gawarkiewicz, G., Pineda, J., Thorrold, S. R., & Werner, F. E. (2007). Population connectivity in marine systems: An overview. *Oceanography*. https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.26

Cowen, R. K., Paris, C. B., & Srinivasan, A. (2006). Scaling of Connectivity in Marine Populations. In *Science* (Vol. 311, Issue 5760, pp. 522–527). https://doi.org/10.1126/science.1122039

Harris, J. L., Hosegood, P., Robinson, E., Embling, C. B., Hilbourne, S., & Stevens, G. M. W. (2021). Fine-scale oceanographic drivers of reef manta ray (Mobula alfredi) visitation patterns at a feeding aggregation site. *Ecology and Evolution*, *11*(9), 4588–4604. https://doi.org/10.1002/ece3.7357

Olds, A. D., Albert, S., Maxwell, P. S., Pitt, K. A., & Connolly, R. M. (2013). *Mangrove-reef connectivity promotes the effectiveness of marine reserves across the western Pacific*. 1040–1049.

Pouponeau, D. K., Harris, J. L., Grimmel, H. M. V, Moulinie, E. E., & Bullock, R. W. (2026). Manta munchies: plankton dynamics and feeding behaviour of reef manta rays (Mobula alfredi) around D'Arros Island in the Seychelles. *Frontiers in Marine Science*, *12*, 1645268. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1645268

Runtuboi, F., Bengen, D. G., Nurjaya, I. W., Natih, N. M. N., Zulfikar, A., & Beale, C. S. (2024). Relationship Between Environmental Parameters and Manta Ray Occurrence in Raja Ampat Archipelago , Indonesia. *Indonesian Journal in Marine Science (IJMS)*, *29*(March), 37–47. https://doi.org/10.14710/ik.ijms.29.1.37-47

Setyawan, E., Erdmann, M. V, Mambrasar, R., Ambafen, O., Hasan, A. W., Izuan, M., Mofu, I., Putra, M. I. H., Sianipar, A. B., Constantine, R., Stevenson, B. C., & Jaine, F. R. A. (2024). Spatial connectivity of reef manta rays across the Raja Ampat archipelago, Indonesia. *Royal Society Open Science*, *11*(4), 230895. https://doi.org/10.1098/rsos.230895

Setyawan Edy, Erdmann, M., Lewis, S., Mambrasar, R., Hasan, A., Templeton, S., Beale, C., Sianipar, A., Shidqi, R., Heuschkel, H., Ambafen, O., Izuan, M., Prasetia, M., Azizah, H., Hidayat, I., Pada, D., Muljadi, A., & Pilkington- Vincett, R. (2020). Natural history of manta rays in the Bird's Head Seascape, Indonesia, with an analysis of the demography and spatial ecology of Mobula alfredi (Elasmobranchii: Mobulidae). *Journal of the Ocean Science Foundation*, *36*(January), 49–83. https://doi.org/10.5281/zenodo.4396260

Thovyan, A. I., Tapilatu, R. F., Sabariah, V., & Venables, S. K. (2020). Plankton abundance and community structure in reef manta ray (Mobula alfredi) feeding habitat in the dampier strait, raja ampat, west papua, indonesia. *AACL Bioflux*, *13*(5), 2956–2969.

Widiastuti, & Borumei, D. (2024). Indication of feeding ground inside the Manta Ray's cleaning station by investigation of the zooplankton community composition in Raja Ampat Islands, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, *25*(3), 1239–1245. https://doi.org/10.13057/biodiv/d250340