

**KONEKTIVITAS BIOFISIK, DIFERENSIASI FENOTIPIK, DAN
STRUKTUR GENETIK IKAN NAPOLEON (*Cheilinus undulatus*)
RÜPPELL, 1835: PENDEKATAN INTEGRATIF *SEASCAPE GENETICS* DI
PERAIRAN INDONESIA TIMUR**

YEHIEL HENDRIKSON DASMASELA



**PROGRAM DOKTOR ILMU KELAUTAN
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Konektivitas Biofisik, Diferensiasi Fenotipik, dan Struktur Genetik Ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) Rüppell, 1835: Pendekatan Integratif *Seascape Genetics* di Perairan Indonesia Timur” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Yehiel Hendrikson Dasmase
C561190101

RINGKASAN

YEHIEL HENDRIKSON DASMASELA. Konektivitas Biofisik, Diferensiasi Fenotipik, dan Struktur Genetik Ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) Rüppell, 1835: Pendekatan Integratif *Seascape Genetics* di Perairan Indonesia Timur. Dibimbing oleh DIETRICH GEOFFREY BENGEN, I WAYAN NURJAYA, dan FRENSLY D. HUKOM.

Ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) merupakan spesies ikan karang berumur panjang, bertumbuh lambat, bersifat hermafrodit protogini, serta memiliki nilai ekologis dan ekonomi yang tinggi. Status keterancamannya dipengaruhi oleh eksploitasi selektif, perdagangan, serta degradasi habitat terumbu karang. Di Indonesia Timur, spesies ini menempati bentang laut dengan kondisi oseanografi dan konfigurasi habitat yang sangat heterogen. Meskipun fase larva pelagiknya berpotensi mendukung keterhubungan antarpopulasi, populasi pada habitat yang berbeda dapat memperlihatkan variasi ukuran, kondisi tubuh, dan bentuk yang tidak selalu sejajar dengan pola variasi genetik netral. Ketidakselarasan tersebut menjadi persoalan utama dalam memahami hubungan antara proses fisik laut, kualitas habitat, respons fenotipik, dan struktur genetik populasi.

Penelitian ini bertujuan menganalisis variasi biologis dan struktur genetik *C. undulatus* serta keterkaitannya dengan gradien hidro-oseanografi di Raja Ampat, Teluk Cenderawasih, dan Kepulauan Banggai. Secara khusus, penelitian mengevaluasi: (1) struktur ukuran, indikator kondisi tubuh, serta variasi morfometrik dan meristik; (2) identitas molekuler, keragaman, dan diferensiasi genetik berbasis DNA mitokondria COI dan Control Region; (3) asosiasi nonlinier antara karakter biologis dan variabel lingkungan; (4) kesesuaian habitat relatif; dan (5) hubungan relatif antara jarak geografis, perbedaan lingkungan, variasi fenotipik, dan jarak genetik. Seluruh hasil kemudian disintesis menjadi model konseptual konektivitas biofisik sebagai dasar perumusan implikasi konservasi.

Sebanyak 208 individu diperoleh dari Kepulauan Banggai, Raja Ampat, dan Teluk Cenderawasih dengan jumlah sampel yang tidak seimbang antarlokasi. Karena struktur, ukuran dan fase ontogeni juga berbeda, analisis morfologi dan kondisi biologis ditafsirkan dengan mempertimbangkan potensi pengaruh ukuran, jenis kelamin, tekanan penangkapan, dan komposisi sampel. Analisis morfometrik dilakukan setelah koreksi alometrik, dilanjutkan dengan PCA, CVA, dan pengujian perbedaan multivariat. Analisis genetik menggunakan subset 25 individu dengan penanda COI dan Control Region. Mengingat ukuran sampel genetik kecil dan tidak seimbang, hasil molekuler digunakan terutama untuk konfirmasi identitas spesies dan evaluasi indikatif variasi genetik netral, bukan untuk mengestimasi besaran aliran gen kontemporer.

Hasil menunjukkan adanya perbedaan yang jelas pada distribusi ukuran dan komposisi fase seksual. Individu Raja Ampat secara umum berukuran lebih besar, sedangkan sampel Kepulauan Banggai didominasi oleh individu berukuran lebih kecil. Perbedaan tersebut disertai variasi indikator kondisi serta kecenderungan pemisahan morfometrik dan meristik antarlokasi. Setelah koreksi alometrik, sejumlah karakter kepala, bukaan mulut, badan, dan sirip memberikan kontribusi penting terhadap variasi bentuk. Namun, karena lokasi juga berbeda dalam struktur ukuran, komposisi fase ontogeni, dan intensitas pengambilan sampel, variasi fenotipik tidak dapat secara langsung diatribusikan hanya kepada lingkungan.

Analisis DNA mitokondria mengonfirmasi identitas *C. undulatus* dan menunjukkan variasi genetik intraspesifik yang rendah hingga terbatas pada

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

resolusi penanda yang digunakan. COI memiliki daya pisah rendah untuk struktur populasi halus, sedangkan Control Region memberikan variasi lebih tinggi tetapi tetap dibatasi oleh jumlah sampel yang kecil. Secara keseluruhan, penelitian tidak mendeteksi diferensiasi genetik yang kuat antarlokasi. Pola tersebut konsisten dengan keterhubungan historis atau regional, tetapi tidak dapat dianggap sebagai bukti langsung besarnya aliran gen kontemporer karena keterbatasan marker maternal dan daya uji statistik.

Gradien hidro-oseanografi memperlihatkan perbedaan antarbentang laut. Pemodelan GAM menunjukkan hubungan nonlinier antara beberapa variabel lingkungan dan indikator kondisi atau karakter morfometrik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi biologis berasosiasi dengan kombinasi suhu, salinitas, arus, energi gelombang, batimetri, oksigen terlarut, dan nutrisi. Akan tetapi, karena data bersifat observasional, hubungan tersebut ditafsirkan sebagai asosiasi ekologis dan belum membuktikan plastisitas fenotipik atau adaptasi lokal secara kausal.

Pemodelan MaxEnt menghasilkan peta kesesuaian habitat relatif dengan kemampuan diskriminasi model yang sedang hingga baik berdasarkan data uji. Habitat dengan kesesuaian relatif lebih tinggi terutama tersebar di Raja Ampat dan Teluk Cenderawasih, sedangkan Kepulauan Banggai menunjukkan mosaik kesesuaian sedang hingga rendah dengan beberapa kantong habitat sesuai. Output MaxEnt ditafsirkan sebagai indeks kesesuaian relatif terhadap lingkungan latar dan skema sampling, bukan probabilitas absolut keberadaan. Nilai dan peringkat antarlokasi harus diselaraskan dengan output final yang sama pada seluruh bab.

Uji hubungan matriks menunjukkan bahwa perbedaan lingkungan lebih konsisten berkaitan dengan variasi morfometrik dan indikator kondisi dibandingkan dengan jarak geografis. Sebaliknya, jarak genetik mtDNA tidak menunjukkan hubungan signifikan dengan jarak lingkungan maupun geografis. Dengan demikian, hasil penelitian lebih kuat mendukung adanya diferensiasi fenotipik yang berasosiasi dengan lingkungan daripada “Isolation by Environment” pada struktur genetik. Ketidakselarasan antara variasi fenotipik dan rendahnya sinyal diferensiasi mtDNA dapat dijelaskan oleh kombinasi pengaruh lingkungan selama pertumbuhan, struktur umur dan ukuran, tekanan penangkapan, konektivitas historis, serta keterbatasan resolusi penanda.

Sintesis penelitian menghasilkan model konseptual yang menempatkan dinamika oseanografi sebagai penghubung potensial antarbentang laut, heterogenitas habitat sebagai penyaring ekologis, respons fenotipik sebagai indikator kondisi lokal, dan variasi genetik netral sebagai rekaman proses populasi pada skala waktu yang lebih panjang. Model ini tidak mengestimasi arah atau besaran perpindahan larva secara langsung, tetapi menyediakan kerangka hipotesis yang dapat diuji lebih lanjut dengan pemodelan Lagrangian, penanda genomik, data rekrutmen, dan pemantauan demografi.

Kebaruan penelitian terletak pada integrasi multi-sumber data biologi, morfologi, genetika, oseanografi, dan kesesuaian habitat pada tiga bentang laut penting di Indonesia Timur, serta pada perumusan kerangka konseptual yang menjelaskan ketidakselarasan skala respons fenotipik dan genetik. Kontribusi praktisnya adalah penyediaan dasar untuk memprioritaskan perlindungan habitat berkualitas, memperkuat pengendalian penangkapan berdasarkan ukuran dan fase reproduktif, serta merancang jejaring konservasi yang kelak divalidasi dengan data konektivitas demografis dan genomik.

Kata kunci: *Cheilinus undulatus*; konektivitas biofisik; diferensiasi fenotipik; genetika bentang laut; gradien hidro-oseanografi; kesesuaian habitat.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

YEHIEL HENDRIKSON DASMASELA. Biophysical Connectivity, Phenotypic Differentiation, and Genetic Structure of Napoleon's Fish (*Cheilinus undulatus*) Rüppell, 1835: An Integrative Approach of *Seascape Genetics* in Eastern Indonesian Waters. Supervised by DIETRICH GEOFFREY BENGEN, I WAYAN NURJAYA, and FRENSELY D. HUKOM.

Napoleon fish (*Cheilinus undulatus*) is a long-lived, slow-growing, protogynous hermaphrodite and has high ecological and economic value. Its threatened status is influenced by selective exploitation, trade, and degradation of coral reef habitats. In Eastern Indonesia, this species occupies a seascape with very heterogeneous oceanographic conditions and habitat configuration. Although the larval phase of the pelagic has the potential to support interpopulation connectivity, populations in different habitats may exhibit variations in size, body condition, and shape that do not always align with neutral patterns of genetic variation. This misalignment is a major problem in understanding the relationship between marine physical processes, habitat quality, phenotypic responses, and population genetic structure.

This study aims to analyze the biological variation and genetic structure of *C. undulatus* and its relationship with hydro-oceanographic gradients in Raja Ampat, Cenderawasih Bay, and Banggai Islands. Specifically, the study evaluated: (1) size structure, indicators of body condition, as well as morphometric and meristic variations; (2) molecular identity, diversity, and genetic differentiation based on mitochondrial DNA COI and Control Region; (3) nonlinear associations between biological characters and environmental variables; (4) relative habitat suitability; and (5) the relative relationship between geographic distance, environmental differences, phenotypic variation, and genetic distance. All results are then synthesized into a conceptual model of biophysical connectivity as the basis for the formulation of conservation implications.

A total of 208 individuals were obtained from the Banggai Islands, Raja Ampat, and Cenderawasih Bay, with an unbalanced number of samples between locations. Since the structure, size, and phase of ontogeny are also different, morphological analysis and biological conditions are interpreted taking into account the potential influence of size, sex, capture pressure, and sample composition. Morphometric analysis was performed after allometric correction, followed by PCA, CVA, and multivariate difference testing. Genetic analysis used a subset of 25 individuals with COI and Control Region markers. Given the small and unbalanced size of the genetic sample, the molecular results are used primarily for species identity confirmation and indicative evaluation of neutral genetic variation, rather than to estimate the magnitude of contemporary gene flow.

The results showed a clear difference in the distribution of size and composition of sexual phases. Raja Ampat individuals are generally larger in size, while the Banggai Islands sample is dominated by smaller individuals. These differences are accompanied by variations in condition indicators and the tendency of morphometric and meristic separation between locations. After allometric

correction, several characters of the head, mouth openings, body, and fins make an important contribution to shape variation. However, because locations also differ in size structure, ontogenic phase composition, and sampling intensity, phenotypic variation cannot be directly attributed to the environment alone.

Mitochondrial DNA analysis confirmed the identity of *C. undulatus* and showed low to limited intraspecific genetic variation in the resolution of the markers used. COI has low separability for fine population structures, whereas the Control Region provides higher variation but is still limited by a small sample count. Overall, the study did not detect strong genetic differentiation between locations. The pattern is consistent with historical or regional connections, but cannot be considered direct evidence of the magnitude of contemporary gene flow due to the limitations of maternal markers and statistical test power.

Hydro-oceanographic gradients show the differences between the seascapes. GAM modeling shows a nonlinear relationship between some environmental variables and indicators of morphometric conditions or characters. The results showed that biological variation was associated with a combination of temperature, salinity, current, wave energy, bathymetry, dissolved oxygen, and nutrients. However, because the data are observational, the relationship is interpreted as an ecological association and has not proven phenotypic plasticity or causal local adaptation.

MaxEnt modeling produces a map of relative habitat suitability with moderate to good model discrimination capabilities based on test data. Habitats with higher relative suitability are mainly spread in Raja Ampat and Cenderawasih Bay, while the Banggai Islands show a mosaic of medium to low suitability with several pockets of suitable habitat. The MaxEnt output is interpreted as an index of conformity relative to the background environment and sampling scheme, rather than an absolute probability of existence. Grades and rankings between locations should be aligned with the same final output across all chapters.

The matrix relationship test showed that environmental differences were more consistent with morphometric variation and condition indicators compared to geographic distance. In contrast, mtDNA genetic distance showed no significant association with environmental or geographic distance. Thus, the results of the study strongly support the existence of phenotypic differentiation associated with the environment rather than "Isolation by Environment" in genetic structure. The misalignment between phenotypic variation and low mtDNA differentiation signals can be explained by a combination of environmental influences during growth, age, and size structure, capture pressure, historical connectivity, as well as limitations in marker resolution.

The research synthesis resulted in a conceptual model that places oceanographic dynamics as potential linkages between seascapes, habitat heterogeneity as an ecological filter, phenotypic responses as indicators of local conditions, and neutral genetic variation as a record of population processes on longer time scales. The model does not estimate the direction or magnitude of larval migration directly, but provides a hypothetical framework that can be further tested with Lagrangian modeling, genomic markers, recruitment data, and demographic monitoring.



The novelty of the research lies in the multi-source integration of biological, morphological, genetic, oceanographic, and habitat suitability data on three important seascapes in Eastern Indonesia, as well as in the formulation of a conceptual framework that explains the misalignment of phenotypic and genetic response scales. Its practical contribution is to provide a basis for prioritizing the protection of quality habitats, strengthening capture control based on size and reproductive phase, and designing conservation networks that will later be validated with demographic and genomic connectivity data.

Keywords: *Cheilinus undulatus*; biophysical connectivity; phenotypic differentiation; seascape genetics; hydro-oceanographic gradients; habitat suitability.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



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 2026
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.

**KONEKTIVITAS BIOFISIK, DIFERENSIASI FENOTIPIK, DAN
STRUKTUR GENETIK IKAN NAPOLEON (*Cheilinus undulatus*)
RÜPPELL, 1835: PENDEKATAN INTEGRATIF *SEASCAPE GENETICS* DI
PERAIRAN INDONESIA TIMUR**

YHIEL HENDRIKSON DASMASELA

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
2026**



@Hak cipta milik IPB University

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. Ir. Nyoman Metta Nyanakumara Natih, M. Si

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Disertasi:

1. Prof. Dr. Ir. Ridwan Sala, M. Si
2. Dr. Ir. Nyoman Metta Nyanakumara Natih, M. Si

Judul Disertasi : Konektivitas Biofisik, Diferensiasi Fenotipik, dan Struktur Genetik Ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) Rüppell, 1835: Pendekatan Integratif *Seascape Genetics* di Perairan Indonesia Timur

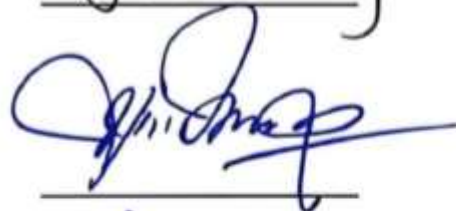
Nama : Yehiel Hendrikson Dasmasele
NIM : C561190101

Disetujui oleh

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



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



Pembimbing 3:
Dr. Ir. Frensy D. Hukom, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Neviaty P. Zamani, M.Sc
NIP. 196410141988032001



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan:
Dr. Beginer Subhan, S.Pi., M.Si
NIP. 198001182005011003



Tanggal Ujian: 31 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyelesaian studi melalui disertasi berjudul “Konektivitas Biofisik, Diferensiasi Fenotipik, dan Struktur Genetik Ikan Napoleon (*Cheilinus undulatus*) Rüppell, 1835: Pendekatan Integratif *Seascape Genetics* di Perairan Indonesia Timur” dapat terwujud. Izinkan penulis menyampaikan penghargaan yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penyusunan disertasi. Rasa hormat dan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Dietrich Geoffrey Bengen, DEA, selaku ketua komisi pembimbing, dan Dr. Ir. I Wayan Nurjaya, M.Sc., serta Dr. Frensy D. Hukom, 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. Ir. Nyoman Metta Nyanakumara Natih, M.Si., 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. Rastina, S.T., M.T., selaku Gugus Kendali Mutu (GKM) yang telah mengoreksi, memperbaiki dan memastikan standar mutu penelitian dan tata tulis naskah disertasi ini.
4. Dr. Ir. Muhammad M. Kamal, M.Sc., selaku penguji luar komisi kualifikasi lisan untuk semua masukan dan saran dalam penyempurnaan proposal dan diskusi terstruktur untuk publikasi dan penyempurnaan disertasi ini.
5. Prof. Dr. Neviati P. Zamani 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.
6. 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. Kepada seluruh staf pengajar Program Studi Pascasarjana Ilmu Kelautan IPB yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan
7. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIRJEN DIKTI) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi S3 melalui beasiswa BPPD 2019.
8. Prof. Dr. Ir. Jacobus Manusawai, M.P. (selaku Rektor Universitas Papua periode 2016-2021), Prof. Dr. Meki Sagrim, S.P., M.Si. (selaku Rektor Universitas Papua periode 2021-2024) dan Prof. Dr. Hugo Warami, S.Pd., M.Hum. (selaku Rektor Universitas Papua periode 2024-2028) yang telah memberikan rekomendasi untuk pengajuan BPPDN 2019 dan perpanjangan tugas belajar.

9. Prof. Dr. Ir. Ridwan Sala, M.Si., selaku Dekan FPIK UNIPA periode 2019-2023 sekaligus sebagai Penguji Luar Komisi, dan Ibu Dr. Selvi Tebay, S.Pi., M.Si., Dekan FPIK, atas semua dukungan bagi penulis.
10. BRIN melalui Proyek Reef Health Monitoring (RHM) di Teluk Cenderawasih yang telah melibatkan penulis dalam pengambilan data bersama.
11. Pemerintah Daerah Provinsi Papua Barat Melalui Dinas Pendidikan yang telah membantu memberikan bantuan biaya penelitian
12. Rekan seperjuangan di IKL angkatan 2019: Dr. Yulianto Suteja, Dr. Anna, Dr. Apriansyah, Dr. Abdul Angkotasari, Dr. Afdal, Dr. Muhammad Abrar, Dr. Ferawati Runtuboi, Dr. Roba Rivai Darus, dan Dr. Ridha Alamsyah, atas bantuan dan berbagi pengalaman bersama saat menempuh studi Doktor Ilmu Kelautan di IPB University.
13. Rekan seperjuangan Tugas Belajar UNIPA atas semua kebersamaan, motivasi, dan dukungan selama studi.
14. Teman-teman seperjuangan BPPDN-IPB Bogor atas semua kebersamaan, motivasi, dan dukungan selama proses studi.
15. Para hamba Tuhan Pdt. Eduard Sireggar, Pdt. Rudolf Nainggolan, Pdt Sabam Manik, Pdt. Harry Selan dan Pdt. Ruru Kanaka yang setia dan selalu mendoakan penulis selama studi
16. Tua-tua Jemaat Pionir Brawijaya Manokwari dan Jemaat Ciampea Bogor yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi selama studi
17. Teman-teman setia yang selalu membantu: Ibu Evageline Kadmaer, Ibu Maryati, Ibu Lenny, Ibu Diana Sawen, selama masa studi.
18. Adinda: Josua Sahulata, Morga Sawaki, M. Sidik Sangadji, yang telah membantu selama penelitian

Rasa hormat penuh cinta dan terima kasih yang tulus, penulis ucapkan kepada teman hidup, sahabat dan istri tercinta Thelam Aluman, S. Pd., dan anak-anakku tersayang: dr. Jhenitha A. M. Dasmase, Johnal Handry Dasmase, dan Jewelry Marico Dasmase, yang dengan sabar mendukung, mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis selama menempuh pendidikan doktor di IPB Bogor.

Terima kasih dan penghargaan yang tulus diucapkan kepada Orang Tua tersayang dan terkasih: Bapak J. H. Dasmase (Alm) dan Ibu A. Maryana Dasfordate (Alm) dan Mertu terkasih Alexander Aluman, B.Sc dan Ibu Cornelia Wongkar, juga kepada Saudara-saudaraku terkasih: Kel Bung Semmy, Kel, Kel Bung Jefta Ditiolebit, Kel Kak Bates Lodarmase, Usi Ellen, Kel Usi Be, Kel Usi Hedy, Kel Usi Tatu (Alm), Kel Bung Deddy (Alm), Kel Usi Wis, Kel Usi Ice (Alm), Kel Marlon Aluman, dan Kel Roberto Aluman serta semua kemenakan

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

Bogor, Agustus 2026

Yehiel Hendrikson Dasmase

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR ISTILAH	xxiii
DAFTAR SIMBOL	xxxiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Urgensi Ilmiah	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Kerangka Pikir Penelitian	6
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
1.6 Kebaruan Penelitian	11
1.7 Benang Merah Kebaruan Penelitian	12
1.8 Tinjauan Ilmiah Mutakhir (State of the Art)	13
II KONEKTIVITAS MORFO-GENETIK DAN STRUKTUR POPULASI IKAN NAPOLEON DI PERAIRAN INDONESIA TIMUR	24
2.1 Latar Belakang	24
2.2 Tujuan Penelitian	25
2.3 Metode Penelitian	25
2.3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	25
2.3.2 Desain Penelitian dan Kerangka Pendekatan	26
2.3.3 Pengumpulan dan Analisis Data	27
2.4 Hasil dan Pembahasan	33
2.4.1 Distribusi Frekuensi Panjang dan Komposisi Jenis Kelamin	33
2.4.2 Hubungan Panjang-panjang	36
2.4.3 Hubungan Panjang-Bobot	37
2.4.4 Faktor Kondisi	39
2.4.5 Variasi Karakter Morfometrik	40
2.4.6 Variasi Karakter Meristik	43
2.4.7 Variasi Molekuler (DNA)	46
2.4.8 Analisis Integrasi Morfo-genetik	49
2.5 Kesimpulan	53
III PENGARUH KARAKTERISTIK HIDROOSEANOGRafi TERHADAP VARIASI MORFO-GENETIK <i>Cheilinus undulatus</i> DI PERAIRAN INDONESIA TIMUR	54
3.1 Latar Belakang	54

3.2	Tujuan Penelitian	55
3.3	Metode Penelitian	56
3.3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	56
3.3.2	Data dan Variabel yang Digunakan	56
3.3.3	Data Hidro-Oseanografi: Akuisisi, Pra-Pemrosesan, dan Validasi Prediktor	56
3.3.4	Pemodelan Nonlinier Lingkungan-Fenotipe Menggunakan Generalized Additive Models (GAM)	60
3.3.5	Pemodelan Kesesuaian Habitat Berbasis Presensi Menggunakan MaxEnt	61
3.3.6	Integrasi Pendekatan GAM-MaxEnt dan Validasi Ekologis Lintas Metode	63
3.4	Hasil dan Pembahasan	63
3.4.1	Karakteristik Hidrooseanografi Lokasi Penelitian	63
3.4.2	Gradien Lingkungan Berdasarkan Analisis PCA	72
3.4.3	Pemodelan non-Linier Hubungan Faktor Hidro-Oseanografi dengan Kondisi dan Pertumbuhan <i>C. undulatus</i> Menggunakan GAM	75
3.4.4	Pemodelan Kesesuaian Habitat Berbasis Presensi Menggunakan MaxEnt	100
3.4.5	Integrasi Respon Biologis, Morfometri, Meristik, dan Genetik dalam Konteks Variabilitas Lingkungan Antarekosistem	106
3.5	Kesimpulan	106
IV MODEL KONEKTIVITAS BIOFISIK DAN REKOMENDASI KONSERVASI		108
4.1	Pendahulaun	108
4.2	Tujuan Penelitian	109
4.3	Metode Penelitian	110
4.3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	110
4.3.2	Data Penelitian	110
4.3.3	Analisis Data	111
4.4	Hasil dan Pembahasan	112
4.4.1	Kerangka Konseptual Konektivitas Biofisik	112
4.4.2	Integrasi Kesesuaian Habitat, Lingkungan Oseanografi, dan Respons Biologi dalam Kerangka Konektivitas Biofisik	113
4.4.3	Gradien Lingkungan dan Variasi Morfo-genetik	121
4.4.4	Mekanisme Isolasi Populasi: Peran Isolation by Environment (IBE) dan Isolation by Distance (IBD) dalam Konektivitas Biofisik	137
4.4.5	Sintesis Spasial: Peta Overlay Gradien Lingkungan sebagai Penghubung Statistik dan Realitas Ekologis	140
4.5	Kesimpulan	142

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

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



V PEMBAHASAN UMUM	144
5.1 Variasi Morfo-genetik sebagai Respons Fenotipik (Karakter Biologi) terhadap Gradien Lingkungan	144
5.2 Peran Gradien Hidro-oseanografi dalam Membentuk Fenotipe	145
5.3 Mekanisme Isolasi Populasi: Dominasi Isolation by Environment (IBE)	146
5.4 Integrasi Habitat, Karakter Biologis, dan Oseanografi dalam Kerangka Konektivitas Biofisik	148
5.5 Implikasi Manajerial & Konservasi dalam Kerangka Konektivitas Biofisik	149
VI KESIMPULAN DAN SARAN	152
6.1 Kesimpulan	152
6.2 Saran	153
6.3 Rekomendasi	154
DAFTAR PUSTAKA	156
LAMPIRAN	175