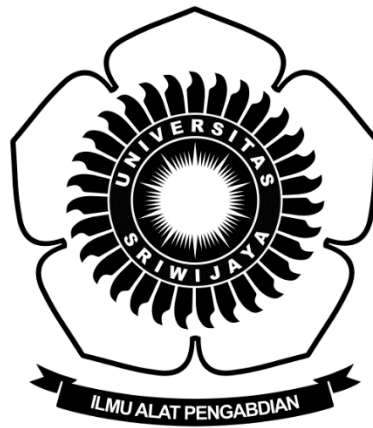


**DETEKSI DINI SPESIES *NON-INDIGENOUS* DENGAN  
METABARCODING DNA SEDIMEN DI PERAIRAN PULAU  
ENGGANO**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana  
di Bidang Ilmu Kelautan Fakultas MIPA*



Oleh :

**ANGELINE**

**08051282025066**

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA  
2024**

**DETEKSI DINI SPESIES *NON-INDIGENOUS* DENGAN  
METABARCODING DNA SEDIMEN DI PERAIRAN PULAU  
ENGGANO**

**SKRIPSI**

**Oleh :**

**ANGELINE**

**08051282025066**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang  
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DETEKSI DINI SPESIES *NON-INDIGENOUS* DENGAN  
METABARCODING DNA SEDIMEN DI PERAIRAN PULAU ENGGANO**

**SKRIPSI**

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana di  
Bidang Ilmu Kelautan*

Oleh :

**ANGELINE  
08051282025066**


**Indralaya, 17 Juli 2024**

**Pembimbing II**

**Pembimbing I**

 **PT ELEKTRONIK**

**Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si  
NIP. 197704122005021001**

  
**Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc  
NIP. 197905212008011009**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan**

  
**Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc  
NIP. 197905212008011009**

**Tanggal Pengesahan : 17 Juli 2024**



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Angeline  
NIM : 08051282025066  
Jurusan : Ilmu Kelautan  
Judul Skripsi : Deteksi Dini Spesies Non-Indigenous dengan Metabarcoding  
DNA Sedimen di Perairan Pulau Enggano

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

### DEWAN PENGUJI

Ketua	: Dr. Rozirwan, S.Pi., M. Sc. NIP. 197905212008011009	(.....)
Anggota	: Dr. Apon Zaenal Mustopa, M. Si. NIP. 197704122005021001	(.....)
Anggota	: Dr. Melki, S.Pi., M. Si. NIP. 198002252002121004	(.....)
Anggota	: Prof. Dr. Fauziah, S.Pi. NIP. 197512312001122003	(.....)

Ditetapkan di : Indralaya  
Tanggal : 17 Juli 2024

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya **Angeline, NIM. 08051282025066** menyatakan bahwa Karya Ilmiah/Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan Karya Ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun Perguruan Tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam Karya Ilmiah/Skripsi ini yang berasal dari penulis lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua Karya Ilmiah/Skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis

Indralaya, 17 Juli 2024



**Angeline**  
**NIM. 08051282025066**

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Angeline  
NIM : 08051282025066  
Jurusan : Ilmu Kelautan  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Deteksi Dini Spesies *Non-Indigenous* dengan Metabarcoding DNA Sedimen di Perairan Pulau Enggano”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pertama/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 12 Juli 2024

Yang Menyatakan,



**Angeline**  
NIM. 08051282025066

## ABSTRAK

**ANGELINE. 08051282025066. Deteksi Dini Spesies Non-Indigenous dengan Metabarcoding DNA Sedimen di Perairan Pulau Enggano. (Pembimbing: Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si)**

Deteksi dini spesies *non-indigenous* atau spesies pendatang merupakan salah satu upaya penting yang perlu dilakukan sebagai mitigasi terhadap bencana invasi oleh spesies invasif. Di era digital saat ini, revolusi teknologi informatika membuka peluang terhadap metode baru dalam mendeteksi organisme di suatu lingkungan dengan cepat dan efisien yaitu metabarcoding eDNA. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi spesies *non-indigenous* yang terdapat di Perairan Pulau Enggano dengan metabarcoding DNA sedimen. Penelitian dilakukan di Laboratorium Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Cibinong, Bogor, Jawa Barat pada bulan September 2023 – April 2024. Tahapan penelitian terdiri dari pengukuran parameter lingkungan, pengambilan sampel sedimen, ekstraksi DNA, uji kuantitatif dan kualitatif DNA, validasi gen COI dengan amplifikasi DNA, elektroforesis, *next generation sequencing*, dan analisa data. Analisa data terdiri dari identifikasi spesies *non-indigenous* dan analisis filogenetik metode *neighbor joining*. Berdasarkan hasil yang diperoleh didapati dua dari enam sampel DNA sedimen memenuhi nilai optimal kemurnian. Dari kedua sampel yang mewakili masing-masing lokasi didapati 26 spesies termasuk kategori spesies *non-indigenous*. Filum yang mendominasi pada sampel S2L (Pulau Dua) yaitu Filum Bacillariophyta (222 sekuens) sedangkan S4L (Desa Banjarsari) yaitu Filum Gastrotricha (431 sekuens).

**Kata kunci: eDNA, Filogenetik, Metabarcoding, Pulau Enggano, Spesies Non-Indigenous**

Pembimbing II

Indralaya, 17 Juli 2024  
Pembimbing I



**Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si**  
NIP. 197704122005021001

**Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc**  
NIP. 197905212008011009

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan



## ABSTRACT

**ANGELINE. 08051282025066. *Early Detection of Non-Indigenous Species by Metabarcoding Sediment DNA in Enggano Island Waters. (Supervisor: Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc and Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si)***

*Early detection of non-indigenous species or introduced species is one of the important efforts that need to be done as a mitigation against invasion disasters by invasive species. In the current digital era, the informatics technology revolution opens up opportunities for new methods in detecting organisms in an environment quickly and efficiently, namely DNA metabarcoding. The purpose of this study was to detect non-indigenous species found in Enggano Island Waters by metabarcoding sediment DNA. The research was conducted at the National Research and Innovation Agency (BRIN) Laboratory, Cibinong, Bogor, West Java in September 2023 - April 2024. The research stages consisted of measuring environmental parameters, sediment sampling, DNA extraction, DNA quantitative and qualitative tests, COI gene validation with DNA amplification, electrophoresis, next generation sequencing, and data analysis. Data analysis consists of identification of non-indigenous species and phylogenetic analysis of neighbor joining methods. Based on the results obtained, two of the six sediment DNA samples met the optimal value of purity. Of the two samples representing each location, 26 species were found to be categorized as non-indigenous species. The dominating phylum in sample S2L (Pulau Dua) is the Bacillariophyta phylum (222 sequences) while S4L (Banjarsari Village) is the Gastrotricha phylum (431 sequences).*

**Keywords:** *eDNA, , Enggano Island, Metabarcoding, Non-Indigenous Species, Phylogenetic*

**Supervisor II**



**Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si**  
NIP. 197704122005021001

**Indralaya, 17 July 2024**  
**Supervisor I**

**Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc**  
NIP. 197905212008011009

**Acknowledge,**  
**Head of Marine Science Department**





## RINGKASAN

**ANGELINE. 08051282025066. Deteksi Dini Spesies *Non-Indigenous* dengan Metabarcoding DNA Sedimen di Perairan Pulau Enggano. (Pembimbing: Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si)**

Spesies pendatang atau *Non-Indigenous Species* (NIS) disebut sebagai salah satu ancaman utama bagi keanekaragaman hayati global karena dapat berpotensi sebagai spesies invasif. Deteksi dini diperlukan dalam penanganan spesies pendatang guna mitigasi kerugian yang mungkin disebabkan oleh spesies tersebut. Pulau Enggano merupakan salah satu pulau terluar di Indonesia yang berlokasi di Samudra Hindia. Ekosistem perairan Pulau Enggano sangat penting bagi masyarakat pulau tersebut sehingga perlu dilestarikan salah satunya dengan deteksi spesies *non-indigenous*. Metode yang terbukti efektif dalam melakukan deteksi dini spesies *non-indigenous* adalah metabarcoding DNA.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2023 sampai dengan April 2024 dengan tahapan pengambilan sampel sedimen di Perairan Pulau Enggano yang terbagi menjadi dua lokasi yaitu Pulau Dua dan Desa Banjarsari. Masing-masing lokasi terdiri dari 3 stasiun sehingga terdapat 6 titik stasiun atau sampel yang diambil. Sampel kemudian diekstraksi DNA dan dilakukan uji kuantitatif dan kualitatif di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Bogor, Jawa Barat. Dari 6 sampel yang diekstraksi, diperoleh 2 sampel yang memenuhi nilai kemurnian yang optimal yaitu S2L (1,8) dengan konsentrasi DNA 7,1 ng/ $\mu$ l dan S4L (1,95) dengan konsentrasi DNA S4L 13,2 ng/ $\mu$ l. Kedua sampel tersebut kemudian dikirim untuk dilakukan *Next Generation Sequencing* (NGS) di 1st Base.

Analisis data dilakukan dengan mengidentifikasi habitat dari spesies yang dideteksi menggunakan laman *Global Biodiversity Information Facility* yaitu <https://www.gbif.org/>. Selain, analisis kelimpahan juga dilakukan analisis filogenetik untuk melihat kekerabatan antar spesies yang ditemukan dengan menggunakan BLAST. Analisis filogenetik dilakukan dengan metode *neighbor joining*. Persentase replikasi pohon pada taksa yang berkaitan diklaster bersama dalam uji *bootstrap* (1000 ulangan). Jarak evolusi dihitung menggunakan metode *Maximum Composite Likelihood* dan dalam satuan jumlah substitusi basa per

lokasi. Analisis ini melibatkan 22 urutan nukleotida yang dipilih berdasarkan hasil BLAST.

Hasil NGS menunjukkan terdapat 22 filum, 34 kelas, 58 ordo, 70 famili, 66 genus, dan 47 spesies. Dari keseluruhan data spesies didapati termasuk non-*indigenous* atau spesies pendatang perairan yaitu sebanyak 26 spesies. Filum Bacillariophyta didapati menjadi filum yang paling melimpah pada stasiun S2L (222 sekuens), sedangkan Filum Gastrotricha merupakan filum yang didapati paling dominan pada sampel S4L (431 sekuens).

*Neochromadora poecilosomoides* (dari filum Nematoda) membentuk cabang monofiletik *out grouped* dengan *Aricidea rubra* dan *Scoloplos armiger* (dari filum Annelida). Sementara taksa lain memiliki cabang tersendiri yang saling berkaitan satu sama lainnya. Klad 1 terdiri dari 7 taksa dan 7 ASV dengan nilai *bootstrap* 94% terdiri dari *Pseudo-paramoeba garorimi*, *Squamamoeba japonica*, *Calliblepharis fimbriata*, *Garveia annulata*, *Sarsia bella*, *Pinnularia subanglica* dan *Pseudo-nitzschia caciantha*. Sementara klad 2 terdiri dari 1 taksa yaitu *Rhizothrix minuta*.

Sampel S2L yang berlokasi di Pulau Dua didapati keanekaragaman yang lebih sedikit meskipun jumlah sekuens yang didapati lebih banyak dari pada S4L yang berlokasi di Pulau Dua. Dari 11 sekuens yang paling spesifik dalam penentuan taksa berdasarkan BLAST, hanya 2 sekuens dari S2L yang dapat divisualisasi dalam analisis filogenetik. Keanekaragaman yang sedikit pada perairan di sekitar Desa Banjarsari dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Walaupun secara lokasi perairan tersebut berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, keanekaragaman spesies yang didapati lebih sedikit diperkirakan karena arus laut yang kuat, protokol ekstraksi yang hanya menggunakan 2 gram sampel sedimen.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Terima kasih dan apresiasi tertinggi diucapkan kepada pihak-pihak yang disebutkan maupun tidak disebutkan dalam halaman persembahan ini yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyusunan skripsi ini. Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus yang telah mempertemukan/ menempatkan orang-orang yang sangat berharga, peduli, dan tulus bagi penulis. Setiap pertemuan diizinkan terjadi untuk kebaikan dan memang benar adanya, setiap pertemuan dengan orang-orang ini menciptakan kenangan penuh makna dan sangat teramat baik. Jatuh bangun dihadapi, tidak ada yang sempurna, tetapi semuanya itu baik.

Mami ~ untuk Ibu terbaik di dunia, terima kasih Mami jadi sosok yang selalu mendoakan Angel, doa Mami buat Angel bisa bertahan sampai akhir, bisa selamat setiap kali pulang-pergi Indralaya. Angel sering lupa sama Mami, tapi Mami gak pernah lupa sama Angel. Saat terlelah Mami pun masih mikirin anak Mami dan selalu berusaha untuk gak menyusahkan, gak mengekang, bisa nikmatin masa muda tanpa harus susah payah masak, selalu berusaha bangun suasana terbaik pas lagi ulang tahun meski kita jauh. Hal yang gak ada, diusahakan ada untuk kebutuhan kita, anak Mami. Kiranya Tuhan selalu sertai dan cukupkan Mami.

Papi ~ terima kasih sudah berani buat mau ketemu Angel dan Jimmy, berusaha anter Angel sehabis lomba juga. Terima kasih buat doa Papi yang selalu yakin anak-anaknya pasti sukses. Walaupun harapan itu sebenarnya jadi beban juga buat kami, tapi juga kasih motivasi untuk yakin sama diri sendiri juga. Terima kasih Papi selalu ada di masa kritis, khususnya ketika anak-anak Papi hampir terhilang. Tuhan berkati dan jamah Papi selalu.

Apak Rudy ~ tidaklah berlebihan jika disebut seperti malaikat, seorang paman yang sudah seperti seorang Ayah. Jika semua keluarga punya satu orang seperti Apak, tidak akan ada kemiskinan, kelaparan, kebodohan di dunia ini. Cukup satu orang yang selalu peduli dan memastikan keluarganya cukup, bukan hanya memfasilitasi dalam ekonomi tetapi juga memastikan anak tidak-sedarahnya mendapatkan pendidikan terbaik. Angel mengucapkan syukur kepada Tuhan atas Apak Rudy. *Thanks for always supporting us. God bless you and Pak Mei abundantly <3*

dr. Maydelin ~ Cece selalu berusaha kasih yang terbaik untuk adik-adiknya. Terima kasih sudah bertahan dan jadi teladan bagi Angel. Banyak banget hal yang Angel dapetin dari Cece, yang buat Angel jadi terlihat lebih bijaksana dan berpengalaman dari teman-teman lain, semuanya karena Angel belajar dari Cece. Tuhan buat Cece jadi dokter terhebat di Indonesia. Sengaja kasih gelar, mau pamer “kakak aku dokter” hehe.

Ama ~ terima kasih Ama selalu mikirin Angel, khawatirin Angel gak makan, maaf selama ini Angel banyak ngelakuin kesalahan. Terima kasih Ama sudah jadi sosok yang lebih baik dari sebelumnya, sudah mulai berdamai dengan keadaan. Tuhan beri Ama panjang umur dan semoga bisa sembuh dari sakit Ama.

Kucik Andi & Yuk Shiren ~ terima kasih untuk segala dukungan yang Kucik kasih, bukan hanya dalam fasilitas tempat tinggal Angel, Kucik juga selalu berusaha kasih motivasi buat kami bisa sukses, tanpa Kucik dan Yuk Shiren mungkin gaakan secepat ini Angel selesai kuliah (meskipun ini sudah pas waktunya 4 tahun).

Jimmy ~ kepada adik yang tidak menganggap aku sebagai kakak (mentang-mentang aku baik): terima kasih sudah meminjamkan laptop disaat laptop aku rusak, terima kasih sudah menutupi peran aku di rumah saat aku berangkat penelitian, dan lainnya. Semangat kuliah dan merantau, selalu andalkan Tuhan dan semoga ditemukan dengan orang-orang baik dan benar.

Segenap keluarga besar dari Mak: Ii Titis & Om Dedek, Ku Hawer & Wak Yani, Ku Dapit & Wak Lima, Akim & Ku Akiau, serta Ii Nana & Om Ahmad juga segenap persepupuan ~ terima kasih untuk dukungan (terutama THR), perhatian dan khawatir kalian, semoga semuanya semakin sukses.

Segenap keluarga besar dari Bapak: Phopho, Apak Rudy, Kuku Eni, Susuk Apen & Simsim Rita, serta persepupuan (Ko Maikel, Calvin, Sophie dan Stephen) ~ terima kasih untuk motivasi, perhatian, dukungan dan inspirasi yang kalian beri. Walaupun jauh, jarang ketemu, tapi tetap *care*.

Ce Heny ~ terima kasih Cece sudah jadi orang tua Angel yang selalu peduli dan selalu mendoakan. Terima kasih tetap menyayangi Angel meski sudah banyak mengecewakan Cece. Terima kasih untuk dukungan, kepercayaan dan motivasi yang Cece kasih. *God bless you abundantly <3*

Keluarga rohaniku: Ce Tin, Angelia, Pipin, Irine, Sisil & Ko Ahan, Ce Cindy, Ce Bani, Ko Mario, Ko Rendi, Kak Devi, Bang Polo, Ko Acel dan lainnya ~ Terima kasih sudah menjadi teman dan tempat berkeluh kesah, terima kasih sudah mendoakan keberhasilan penelitian dan sidangku. Gbu gais <3

Seluruh bestie: Sherin, Michael, Menik, CA, Hong-Hong, Ratna, Dodo ~ Terima kasih untuk kalian yang meski sudah banyak kesibukan tapi tetap menyempatkan buat ngumpul dan main bareng jadi ada masa *refreshing*. Semoga sukses untuk kita semua <3

Keluarga Besar Kelompok Penelitian Riset Genetika di BRIN: Bapak Apon, Mba Ica, Ibu Nur, Ibu Ai, Dok Ella, Ibu Fatimah, Pak Herman, Pak Baso, Pak Jendri, Ilma, Febri, Corri, Kak Sheila, Kak Lulu, Tatenda, Kak Dicky, Kak Intan, Kak Alda ~ serta staff dan mahasiswa lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, saya ucapkan banyak Terima Kasih dan Apresiasi setinggi mungkin untuk bimbingan, bantuan, kepedulian, ilmu dan keterampilan yang sangat berharga, serta pengalaman tak terlupakan sehingga saya dapat melakukan penelitian di BRIN Cibinong. Semoga semakin menginspirasi dan sukses selalu <3

Keluarga Pollux ~ Terima kasih sudah saling menyemangati, peduli, kehidupan keras kelautan sudah dilewati bersama dengan penuh tantangan, rintangan, drama yang menguji mental. Semoga sukses semua gais <3

Asisten Laboratorium Bioekologi: Bang Zalfa, Kak Nabila, Kak Wulan, Kak Debora, Bang Rakan, Kak Purwa, Kak Nadya AF | Kinan, Raja, Kipe, Lala, Ester, Syarif, dan Byanata | Yoga, Bina, Aura, Tari, Ale, Agus, Lukik, dan Jek ~ Terima kasih untuk ilmu, pengalaman yang seharusnya menstreskan malah jadi sangat menyenangkan untuk jadi asisten di Lab Bioeko. Semoga kekeluargaan Lab ini tetap terjaga dan semakin maju <3

Enggano Team: Bang Redho, Mba Dev, Vivi, Nopri, Abil, Ica, Lala, Syifa, Ceri, Kipe, Raja, Qinthar, Ajay, Attar dan Yunus ~ Terima kasih sudah menjadi tim yang responsif, suportif, saling mendahulukan, saling mengingat dan memperhatikan satu sama lain meski ada drama *moulting*. The best sih kata gueh..

Keluarga Besar Ilmu Kelautan: Pak Zia, Pak Rozirwan, Pak Melki, Ibu Fauziyah, Ibu Riris, Ibu Ellis, Ibu Anna, Ibu Iis, Ibu Wike, Ibu Fitri, Pak Beta, Pak Heron, Pak Hendri, Pak Gusti, Pak Hartoni, Pak Nur, Pak Redho, Mba Novi, Babe

Marsai, Pak Yudhi, Kak Edi, dan Pak Min ~ kepada Bapak/Ibu Dosen yang sudah dengan sabar mengajar sepenuh hati bagi Program Studi Ilmu Kelautan saya ucapkan Terima Kasih dan Apresiasi setinggi-tinggi mungkin atas pelayanan yang diberikan bagi kami melalui pengajaran di kelas maupun di lapangan. Terima kasih juga saya ucapkan kepada segenap Staff Ilmu Kelautan yang bukan hanya memegang jabatan atau pekerjaan tetapi juga menjadi keluarga yang memperhatikan, menegur, dan mendidik kami (Pollux).

HIMAIKEL ~ Terima kasih pernah menjadi tempat saya bertumbuh senang dapat mengenal setiap teman, adik, serta kakak abang semua.

----- Terkhusus untuk sahabat-sahabatku yang sudah seperti saudara sendiri-----  
Nopriani ~ Terima kasih Nop sudah sangat baik, perhatian dan peduli dari awal perkuliahan. Inget banget pertama kali ketemu secara langsung, yang sebelumnya cuma tau dari layar laptop, kesan pertama Nopri ke aku selalu terekam jelas (di pinggir jalan pas mau makrab Nopri heboh bilang “ih Angel kecil nian, aku kiro gemuk”. Tidak terasa sudah mau lulus, empat tahun kayak cepet banget kalo diinget-inget lagi. Terima kasih sudah minjemin koper, dibolehin nebeng dan nginep di rumah Nopri <3

Vivi Yuriska ~ Vivi orang paling *care* yang aku temui di Ilkel, terima kasih Pi sudah ngurusin aku, selalu jadi orang yang bisa diandelin, gak pernah nolak atau jawab “dak tau, dak biso”, Vivi selalu bisa kasih arahan dan selalu totalitas nolongin aku. Walaupun aku buat Vivi kecewa, Vivi masih mau temenan sama aku, bahkan lebih dari itu sudah serasa jadi saudara. Ketika aku lagi susah Vivi berusaha untuk bantu aku. Terima kasih sudah bersedia dan selalu jadi tempat aku menginap di layo. Lop yu Pipi <3

Rinanda Salsabilla ~ Abil, terima kasih sudah kasih banyak warna di perkuliahan yang super duper hehtik dan menstreskan jadi menyenangkan. Walau awal pertemanan kita sering “ga jelas”, di-akhir sepertinya kita sering sependapat dan sejauh ini Abil yang paling paham maksud omongan aku dan menjelaskan kembali kepada Nopri dan Vivi. Terima kasih Abil sudah bersedia ditumpangi/ditebengi, padahal sebenarnya bisa gantian nyetirnya loh hehe. Terima kasih juga Abil selalu mentraktir di hari-hari spesial Abil <3

## **MOTTO**

Permulaan hikmat adalah takut akan TUHAN, dan mengenal Yang Mahakudus  
adalah pengertian.

-Amsal 9 : 10-

Karena TUHANlah yang memberikan hikmat, dari mulut-Nya datang  
pengetahuan dan kepandaian.

-Amsal 2 : 6-

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas hikmat, penyertaan, dan berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Deteksi Dini Spesies *Non-Indigenous* dengan Metabarcoding DNA Sedimen di Perairan Pulau Enggano”** sedemikian rupa. Penelitian ini didanai oleh **hibah Riset Inovasi Indonesia Maju (RIIM), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Gelombang 3 Tahun 2023**. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc dan Bapak Dr. Apon Zaenal Mustopa, M.Si, atas didikan, bimbingan, masukan dan arahan selama proses penelitian sehingga penulisan skripsi dapat berjalan dengan lancar dan terstruktur.

Penulis mendapatkan banyak pengalaman baru sekaligus berharga dalam pengerjaan penelitian ini, mulai dari perjalanan ke Pulau Enggano sampai dengan melakukan riset di Pusat Riset Rekayasa Genetika, BRIN Cibinong. Meskipun dalam pembuatan skripsi masih banyak keterbatasan dalam kemampuan, pengetahuan, maupun keterampilan untuk meneliti topik yang masih dapat dikatakan “baru” dan jarang diteliti khususnya di Indonesia terkait spesies non-indigenous dan metabarcoding DNA. Hal tersebut tidak dapat dijadikan alasan jika terdapat kekurangan dalam skripsi ini, tetapi dengan kondisi tersebut penulis sangat bersyukur proses pembelajaran dan pengalaman yang didapati.

Penulis berharap dengan adanya skripsi ini, dapat menjadi referensi dan inspirasi bagi pembaca. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi baik terhadap penelitian terkait maupun secara pribadi dari penulisan dan lain sebagainya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Jurusan Ilmu Kelautan dan pembaca lainnya. Terima kasih atas inisiatif dan semangat pembaca untuk skripsi ini.

Indralaya, 17 Juli 2024



Angeline



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>MOTTO</b> .....	xiv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Perairan Pulau Enggano .....	5
2.2 Spesies <i>Non-indigenous</i> .....	6
2.3 Metabarcoding DNA .....	8
2.3.1 eDNA ( <i>environment DNA</i> ).....	8
2.3.2 NGS ( <i>Next Generation Sequencing</i> ) .....	9
2.4 Analisis Filogenetik.....	10
<b>III METODOLOGI</b> .....	12
3.1 Waktu dan Tempat .....	12
3.2 Alat dan Bahan .....	13
3.3 Metode Penelitian.....	15
3.3.1 Pengukuran Parameter Lingkungan .....	15
3.3.2 Pengambilan Sampel.....	16
3.3.3 Ekstraksi DNA .....	16
3.3.4 Uji Kuantitatif dan Kualitatif .....	17

3.3.5 Validasi dengan Amplifikasi DNA .....	18
3.3.6 <i>Next Generation Sequencing</i> .....	19
3.4 Analisa Data .....	19
3.4.1 Analisis Metabarcoding DNA .....	19
3.4.2 Analisis Spesies Non-Indigenous.....	19
3.4.3 Analisis Filogenetik .....	20
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	22
4.1 Kondisi Perairan Pulau Enggano.....	22
4.2 Uji Kuantitatif dan Kualitatif DNA.....	25
4.3 Amplifikasi DNA sebagai Validasi Marker COI .....	26
4.4 Analisis Metabarcoding DNA .....	27
4.4.1 Kualitas Data <i>Next Generation Sequencing</i> .....	27
4.4.2 Data Hasil <i>Next Generation Sequencing</i> .....	28
4.5 Hasil Identifikasi Spesies <i>Non-Indigenous</i> .....	30
4.6 Analisis Filogenetik.....	37
<b>V KESIMPULAN</b> .....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	40
<b>LAMPIRAN</b> .....	49
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	107

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Kerangka Penelitian	3
2. Perkembangan Teknologi Sekuensing	9
3. Struktur Pohon Filogenetik Secara Umum	10
4. Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen	12
5. Skema Penelitian	15
6. Pembagian Wilayah Laut Dunia	20
7. Perairan Pulau Enggano	22
8. Hasil Elektroforesis Produk Amplifikasi PCR Sampel S2L (berlokasi di Pulau Dua) dan S4L (berlokasi di Desa Banjarsari) dengan DNA Ladder 100 bp	26
9. <i>Heatmap</i> Kelimpahan per Filum Sampel S2L (Pulau Dua) dan S4L (Desa Banjarsari) dianalisis dengan RStudio R version 4.2.3	28
10. Analisis Filogenetik Spesies <i>Non-Indigenous</i> dengan Metode <i>Neighbor Joining</i> pada Sampel S2L (Pulau Dua) dan S4L (Desa Banjarsari)	37

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Definisi Spesies Pendatang	6
2. Titik Koordinat Pengambilan Sampel	13
3. Alat di Lapangan	13
4. Alat di Laboratorium	13
5. Bahan di Lapangan	14
6. Bahan di Laboratorium	14
7. Parameter Kualitas Perairan Pulau Enggano	23
8. Konsentrasi dan Kemurnian DNA Sedimen	25
9. Statistik Umum Kualitas DNA Genom	27
10. Hasil Identifikasi 47 Spesies Berdasarkan <i>Website</i> GBIF	31
11. Kelimpahan Sekuens <i>Spesies Non-Indigenous</i>	35

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Dokumentasi Kegiatan	44
2. Parameter Kualitas Perairan	47
3. Analisis Kualitas Sampel Metabarcoding DNA dengan MultiQC	48
4. Hasil Identifikasi Taksonomi ASV	52
5. Pengaturan Analisis Filogenetik dengan Software MEGA11	94

# I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Spesies *non-indigenous* atau spesies pendatang mempunyai potensi untuk mentransformasi ekosistem lokal dengan mengubah struktur komunitas, mengubah proses-proses fundamental ekosistem atau lingkungan fisik yang memiliki konsekuensi besar terhadap lingkungan dan ekonomi. Spesies pendatang atau *Non-Indigenous Species* (NIS) disebut sebagai salah satu ancaman utama bagi keanekaragaman hayati global (Mazor *et al.* 2018 dalam Fernandez *et al.* 2021).

Spesies *non-indigenous* merupakan taksa yang ditemukan berada diluar jangkauan alaminya baik dulu maupun sekarang dan di luar potensi penyebaran alaminya. Walaupun tidak semua spesies pendatang menjadi ancaman, tetapi spesies *non-indigenous* memiliki potensi invasif yang memberikan dampak buruk bagi keanekaragaman hayati, fungsi ekosistem, nilai sosial-ekonomi dan kesehatan manusia di wilayah yang diinvasi dapat disebut sebagai spesies asing invasif atau *Invasive Alien Species* (IAS) (Kuhlenkamp dan Kind, 2018). Spesies invasif dapat menyebabkan kerugian sebesar \$120 miliar per tahunnya di Amerika Serikat (Pimentel *et al.* 2005) dan diestimasikan kerugian sebesar \$138 juta per tahunnya di *North American Great Lakes* (Rothlisberger *et al.* 2012).

Deteksi dini spesies *non-indigenous* yang dilakukan dengan mengidentifikasi kehadiran spesies asing pada suatu ekosistem diperlukan sebagai mitigasi atau pencegahan terhadap ancaman yang disebabkan oleh spesies invasif yang juga termasuk dalam kategori spesies *non-indigenous* (Vander Zanden *et al.* 2010). Pendeteksian terhadap spesies pendatang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk melakukan tindakan preventif yang bertujuan mengurangi dampak kerugian yang disebabkan oleh NIS yang secara invasif hidup di daerah tersebut. Marfua *et al.* (2021) menyatakan deteksi dini spesies pendatang penting dilakukan sebagai bahan pertimbangan untuk strategi konservasi yang bertujuan untuk mempertahankan spesies asli daerah tersebut.

Metabarcoding DNA telah banyak digunakan dan terbukti efektif dalam mendeteksi spesies *non-indigenous* (Van den Heuvel-Greve *et al.* 2021). Penelitian tentang identifikasi spesies asing tepatnya ikan-ikan asing telah dilakukan beserta

analisis resikonya dengan teknik *sampling* menggunakan jaring insang (Sentosa *et al.* 2022) dimana metode tersebut menampilkan informasi spesies yang didapati saat itu (*present*). Purnama *et al.* (2022) melakukan analisis rekam jejak baru spesies asing invasif dengan observasi langsung di lapangan. Penelitian terkait deteksi spesies *non-indigenous* menggunakan metabarcoding DNA sedimen saat ini belum pernah dilakukan di Indonesia.

Metabarcoding DNA merupakan metode baru untuk menilai keanekaragaman hayati dengan sampel yang diambil dari lingkungan (e-DNA), kemudian DNA diekstraksi, lalu diamplifikasi menggunakan primer umum atau universal dalam reaksi berantai polimerase dan disekuensing dengan *next generation sequencing* (NGS) untuk menghasilkan ribuan hingga jutaan bacaan (Ruppert *et al.* 2019). Meskipun metode ini baru, tetapi pemanfaatan dari teknologi ini dapat lebih efektif khususnya dalam hal pengambilan sampel tidak memerlukan peralatan dan usaha berlebih. DNA lingkungan dapat berasal dari seluruh organisme, atau dari kotoran, lendir, sel kulit, organel, gamet, atau bahkan DNA ekstraseluler (Zhang *et al.* 2018).

e-DNA yang akan diteliti pada penelitian kali ini menggunakan DNA sedimen. Dalam sedimen, DNA dapat tetap terdeteksi untuk jangka waktu yang lebih lama, dari satu tahun hingga beberapa tahun, dan bahkan jutaan tahun. Beberapa penelitian terkait DNA purba sedimen laut (*sedaDNA*) pernah dilakukan untuk mengidentifikasi pola keanekaragaman hayati masa lalu dari spesies yang punah, dan diprediksi penyebab kepunahan tersebut disebabkan oleh adanya spesies invasif (Ellegaard *et al.* 2020; Armbrrecht, 2020). Sifat sedimen yang berasal dari partikel-partikel yang tersuspensi kemudian mengendap menjadikan sedimen menyimpan banyak informasi terkait sisa-sisa organisme terdahulu sehingga dapat dimanfaatkan untuk pendeteksian spesies pendatang.

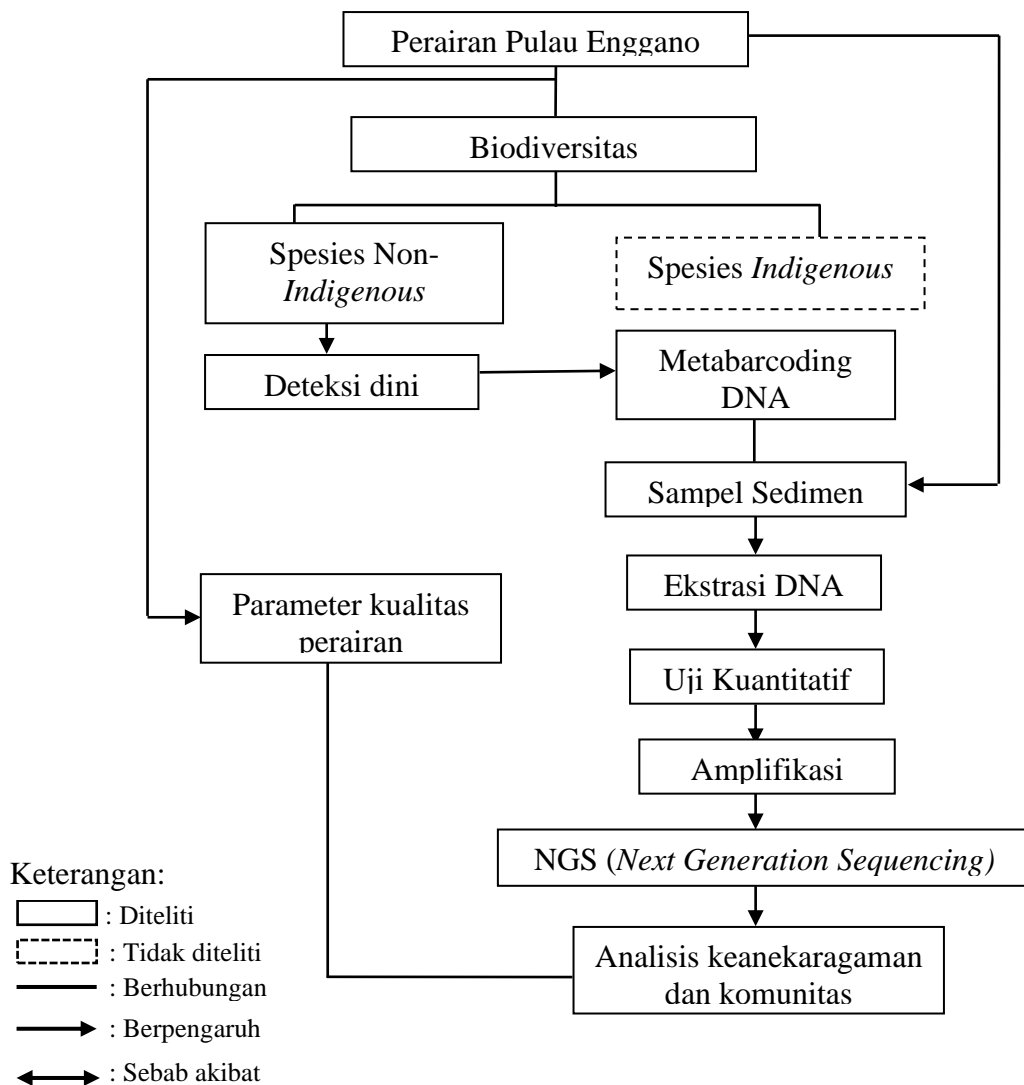
Sampel sedimen yang akan diteliti pada penelitian kali ini berasal dari perairan Pulau Enggano di sekitar ekosistem terumbu karang. Eksploitasi sumberdaya yang ada di sekitar ekosistem terumbu karang Pulau Enggano meningkat dari waktu ke waktu (Zamdial *et al.* 2020). Namun, analisis biodiversitas khususnya tentang deteksi spesies asing belum pernah dilakukan di Perairan Pulau Enggano. Deteksi dini spesies *non-indigenous* perlu dilakukan untuk menjaga keanekaragaman hayati di wilayah tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian terkait spesies *non-indigenous* (NIS) belum banyak dilakukan khususnya di Indonesia. Seebens *et al.* (2017) menyatakan selama beberapa abad terakhir, frekuensi aktivitas manusia memfasilitasi perpindahan spesies ke habitat di luar habitat aslinya. Rumusan masalah pada penelitian ini berdasarkan uraian yang telah dijabarkan sebelumnya yaitu perlu pengkajian terhadap:

1. Bagaimana kualitas ekstrak DNA sedimen di Perairan Pulau Enggano?
2. Apa saja spesies non-indigenous yang terdeteksi dengan metabarcoding DNA sedimen?

Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini:



Gambar 1. Kerangka Penelitian



### **1.3 Tujuan**

Tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Mengekstraksi DNA lingkungan dari sampel sedimen perairan Pulau Enggano
2. Menganalisis spesies *non-indigenous* diantara daftar spesies yang teridentifikasi dari *Next Generation Sequencing*

### **1.4 Manfaat**

Manfaat penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Sumber informasi mengenai spesies *non-indigenous* di perairan Pulau Enggano.
2. Sebagai referensi dalam mendeteksi spesies menggunakan metode metabarcoding DNA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abaza SM. 2020. What is and why do we have to know the phylogenetic tree?. *Parasitologists United Journal* Vol. 13 (2) : 68-71
- Adamowicz SJ, Boatwright JS, Chain F, Fisher BI, Hogg ID, Leese F, Lijtmaer DA, Mwale M, Naaum AM, Pochon X, Steinke D, Wilson JJ, Wood S, Xu J, Xu S, Zhou X, van der Bank M. 2019. Trends in DNA barcoding and metabarcoding. *Genome* Vol. 62 : 5-8
- Ariasari A, Sugara A, Nabiu NLM, Mahfudz AA. 2022. Karakteristik padang lamun perairan dangkal di Teluk Merpas, Pulau Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Kelautan dan Perikanan Tahun 2022*. Bengkulu: UNIB
- Armbrecht LH. 2020. The potential of sedimentary ancient DNA to reconstruct past ocean ecosystems. *Oceanography* Vol. 33: 116–123
- Barus BS, Munthe RY, Bernando M. 2020. Kandungan karbon organik total dan fosfat pada sedimen di perairan muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* Vol. 12 (2) : 395-406
- Bellisario B, Fais M, Duarte S, Viera PE, Canchaya C, Costa FO. 2021. The network structure of intertidal meiofaunal communities from environmental DNA metabarcoding surveys in Northwest Iberia. *Aquatic Sciences* Vol. 83 : 1-14
- Bohlin J. 2022. A simple stochastic model describing the evolution of genomic GC content in asexually reproducing organisms. *Scientific Reports* Vol. 12 (1) : 18569
- Byers JE, Reichard S, Randall JM, Parker IM, Smith CS, Lonsdale WM, Atkinson IAE, Seastedt TR, Williamson M, Chornesky E, Hayes D. 2002. Directing Research to Reduce the Impacts of Nonindigenous Species\nDirección de la Investigación para Reducir los Efectos de Especies Exóticas. *Conservation Biology* Vol. 16(3) : 630–640.
- Capo E, Giguet-Covex C, Rouillard A, Nota K, Heintzman PD, Vuillemin A, Ariztegui D, Bigler C, Bindler R, Brown AG, Clarke CL, Crump SE, Debross D, Englund G, Ficetola GF, Garner RE, Gauthier J, Gregory-Eaves I, Heinecke L, Herzsuh U, Ibrahim A, Kisand V, Kjær KH, Lammers Y, Littlefair J, Messenger E, Monchamp M-E, Olajos F, Orsi W, Pedersen MW, Rijal DP, Rydberg J, Spanbauer T, Stoof-Leichsenring KR, Taberlet P, Talas L, Thomas C, Walsh DA, Wang Y, Willerslev E, van Woerkom A, Zimmerman HH, Coolen MJL, Epp LS, Domaizon I, Alsos IG, Parducci L. 2021. Lake sedimentary DNA research on past terrestrial and aquatic biodiversity: overview and recommendations. *Quaternary* Vol. 4 (1) : 1-58

- Chen W, Wang H. 2022. Phylogenetic tree selection by testing substitution number in clade. *Diversity* Vol. 14 (543) : 1-13
- Couton M, Comtet T, Le Cam S, Corre E, Viard F. 2019. Metabarcoding on planktonic larval stages: An efficient approach for detecting and investigating life cycle dynamics of benthic aliens. *Management of Biological Invasions* Vol. 10 (4) : 657-689
- Daeng RA, Tangke U. 2023. Hubungan suhu permukaan laut dan hasil tangkapan ikan teri di Perairan Teluk Dodinga. *Agrikan* Vol. 16 (1) : 199-206
- Deshpande AS, Fahrenfeld NL. 2022. Abundance, diversity, and host assignment of total, intracellular, and extracellular antibiotic resistance genes in riverbed sediments. *Water Research* Vol. 217
- Ellegaard M, Clokie MRJ, Czypionka T, Frisch D, Godhe A, Kremp A, Letarov A, McGenity TJ, Ribeiro S, Anderson NJ. 2020. Dead or alive: Sediment DNA archives as tools for tracking aquatic evolution and adaptation. *Communications Biology* Vol. 3 (169)
- Erfiana NF dan Romadhon A. 2021. Analisa kesesuaian pantai untuk ekowisata pantai di Pulau Sasiil Kabupaten Sapeken. *Juvenil* Vol. 2 (1)
- Fatimah F, Mustopa AZ, Fauziyah, Purwiyanto AIS, Priyanto L, Sari NP, Agustriani F, Rozirwan R. 2023. COI gene analysis of asian horseshoe crab in Banyuasin Waters, Sumatra, Indonesia. *Hayati* Vol. 30 (3) : 567-575
- Felsenstein J. 1985. Confidence limits on phylogenies: An approach using the bootstrap. *Evolution* 39:783-791
- Fernandez S, Miller DL, Holman LE, Gittenberger A, Ardura A, Rius M, Mirimin L. 2021. Environmental DNA sampling protocols for the surveillance of marine non-indigenous species in Irish coastal waters. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 172
- Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* Vol. 3: 294–299
- Fonseca VG, Davison PI, Creach V, Stone D, Bass D, Tidbury HJ. 2023. Review: The application of eDNA for monitoring aquatic non-indigenous species: practical and policy considerations. *Diversity* Vol. 15 (631) : 1-17
- Gladstone NS, Bordeau TA, Leppanen C, McKinney ML. 2020. Spatiotemporal patterns of non-native terrestrial gastropods in the contiguous United States. *NeoBiota* 57 : 133-152

- Geller J, Meyer C, Parker M, Hawk H. 2013. Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys. *Molecular Ecology Resources* Vol. 13 (5) : 851-861
- Godini R, Fallahi H. 2019. A brief overview of the concepts, methods and computational tools used in phylogenetic tree construction and gene prediction. *Meta Gene* Vol. 21 (2019) : 1-11
- Gupta MK, Gouda G, Sabarinathan S, Donde R, Rajesh N, Pati P, Rathore SK, Behera L, Vadde R. 2021. Phylogenetic analysis. In *Bioinformatics in Rice Research: Theories and Techniques*. Springer: Singapore
- Handayani F, Wijayaningsih RA, Ristiyanto, Gasem MH, Wibawa T. 2020. Comparison of DNA extraction methods for molecular identification of pathogenic *Leptospira* in the urine samples. *Health Science Journal of Indonesia* Vol. 11 (2) : 77-84
- Hassan S, Sabreena, Poczai P, Ganai BA, Almalki WH, Gafur A, Sayyed RZ. 2022. Environmental DNA Metabarcoding: A Novel Contrivance for Documenting Terrestrial Biodiversity. *Biology* Vol. 11(9)
- Hebert PD, Cywinska A, Ball SL, deWaard JR. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Biological Sciences* Vol. 270 (1512) : 313–321
- Holman LE, De Bruyn M, Creer S, Carvalho G, Robidart J, Rius M. 2019. Detection of introduced and resident marine species using environmental DNA metabarcoding of sediment and water. *Scientific Reports* Vol. 9 (1) : 11559
- Hu T, Chitnis N, Monos D, Dinh A. 2021. Next-generation sequencing technologies: An overview. *Human Immunology* Vol. 82(11) : 801–811.
- Iturbe-Espinoza P, Brandt BW, Braster M, Bonte M, Brown DM, van Spanning RJM. 2021. Effects of DNA preservation solution and DNA extraction methods on microbial community profiling of soil. *Folia Microbiologica* Vol. 66 : 597-606
- Kaliky N, Wally P. 2023. Karakteristik fisik dan kimia perairan Pantai Mamala di kawasan pesisir Desa Mamala Malteng. *Jurnal Biology Science & Education* Vol. 12 (1) : 54-60
- KMNLH. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*. Jakarta: Menteri Negara Lingkungan Hidup
- Kuhlenkamp R, Kind B. 2018. Introduction of Non-indigenous Species. *Handbook on Marine Environment Protection* : 487–516

- Kurata S, Mano S, Nakahama N, Hirota SK, Suyama Y, Ito M. 2024. Development of mitochondrial DNA cytochrome c oxidase subunit I primer sets to construct DNA barcoding library using next-generation sequencing. *Biodiversity Data Journal* Vol. 12
- Laroche O, Kersten O, Smith CR, Goetze E. 2020. From sea surface to seafloor: A benthic allochthonous eDNA survey for the abyssal ocean. *Frontiers in Marine Science* Vol. 7 : 682
- Lee KH, Yoo JR, Kim YR, Heo ST. 2020. Phylogenetic analysis for the origin of typhoid fever outbreak on Jeju Island, Korea, in 2017. *Infection & Chemotherapy* Vol. 59 (3) : 421-426
- Leray M, Yang JY, Meyer CP, Mills SC, Agudelo N, Ranwez V, Boehm JT, Machida RJ. 2013. A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in Zoology* Vol. 10 (1) : 1-14
- Liu M, Clarke LJ, Baker SC, Jordan GJ, BurrIDGE CP. 2020. A practical guide to DNA metabarcoding for entomological ecologists. *Ecological Entomology* Vol. 45(3) : 373–385.
- Lubis AM, Lestari R, Saputra R, Hasanudin M, Kusmanto E. 2022. Studi arus sejajar pantai dan variasi arus laut terhadap kedalaman di daerah Perairan Pantai Pasar Palik, Bengkulu Utara. *Jurnal Kelautan Nasional* Vol. 17 (1) : 27-36
- Marfuah S, Kolondam BJ, Tallet TE. 2021. Potensial *environmental DNA* (e-DNA) untuk pemantauan dan konservasi keanekaragaman hayati. *Bioslogos* Vol. 11 (1) : 75-81
- McCullough EL, Verdeflor L, Weinsztok A, Wiles JR, Dorus S. 2020. Exploratory activities for understanding evolutionary relationships depicted by phylogenetic trees: united but diverse. *The American Biology Teacher* Vol. 82 (5) : 333-337
- Moira VS, Luthfi OM, Isdianto A. 2020. Analisis hubungan kondisi oseanografi kimia terhadap ekosistem terumbu karang di Perairan Damas, Trenggalek, Jawa Timur. *Journal of Marine and Coastal Science* Vol. 9 (3) : 113-126
- Muqsit OA, Purnama D, Ta'alidin Z. 2016. Struktur komunitas terumbu karang di Pulau Dua Kecamatan Enggano Kabupaten Bengkulu Utara. *Jurnal Enggano* Vol. 1(1) : 75–87.

- Natania T, Herliany NE, Kusuma AB. 2017. Struktur komunitas kepiting biola (*Uca* spp.) di ekosistem mangrove Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano* Vol. 2(1) : 11–24
- Nguyen BN, Shen EW, Seeman J, Correa AMS, O'Donnell JL, Altieri AH, Leray M. 2020. Environmental DNA survey captures patterns of fish and invertebrate diversity across a tropical seascape. *Scientific Reports* Vol. 10 (1) : 1–14
- Noor RJ, Isman M, Lapong MI, Fathuddin. 2024. Analisis laju dan kandungan nutrisi pada sedimen di instalasi transplantasi karang metode vertikal Pulau Samalona Kota Makassar. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik* Vol. 8 (1) : 11-22
- Occhipinti-Ambrogi A. 2021. Review: Biopollution by Invasive Marine Non-Indigenous Species: A Review of Potential Adverse Ecological Effects in a Changing Climate. *International Journal of Environmental Research and Public Health* Vol. 18 : 1–20
- Oktamalia O, Purnama D, Hartono D. 2016. Studi Jenis Dan Kelimpahan Teripang (Holothuroidea) Di Ekosistem Padang Lamun Perairan Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano* Vol. 1(2) : 56–63
- Opilah BS, Karyadi B, Johan H. 2023. Analisis Pengintegrasian Pendidikan Mitigasi Bencana pada Pembelajaran Fisika di Pulau Enggano. *Jurnal Pendidikan Tambusai* Vol. 7(1) : 1795–1799
- Öztürk B. 2021. Non-indigenous species in the Mediterranean and the Black Sea. *Studies and Reviews No. 87* (General Fisheries Commission for the Mediterranean). Rome: FAO.
- Patty SI, Yalindua FY, Ibrahim PS. 2021. Analisis kualitas Perairan Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara berdasarkan parameter fisika-kimia air laut. *Jurnal Kelautan Tropis* Vol. 24 (1) : 113-122
- Pawloski J, Apothéloz-Perret-Gentil L, Altermatt F. 2020. Environmental (e)DNA: what's behind the term? Clarifying the terminology and recommendations for its future use in biomonitoring. *Molecular Ecology* Vol. 29 (22) : 4258-4264
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Lampiran VIII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 2021
- Pervez MT, ul Hasnain MJ, Abbas SH, Moustafa MF, Aslam N, Shah SSM. 2022. Review article: A comprehensive review of performance of next generation sequencing platforms. *BioMed Research International* Vol. 2022

- Pimentel D, Zuniga R, Morrison D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* Vol. 52 (3) : 273-288
- Purnama MF, Sirza LOM, Salwiyah. 2022. Rekam jejak baru spesies asing invasif (SAI) *Tarebia granifera* Lamarck (1822) di area air terjun Tumburano (Kabupaten Konawe Kepulauan Sulawesi Tenggara). *Perikanan* Vol. 12 (1) : 109-118
- Prakoso B E, Widianingsih W, Sunaryo S. 2020. Bakteri pendegradasi solar dari sedimen perairan dalam skala laboratorium (in vitro). *Journal of Marine Research* Vol. 9 (4) : 453-463
- Pratomo A, Bengen DG, Zamani NP, Lane C, Humphries AT, Borbee E, Subhan B, Maddupa H. 2022. Diversity and distribution of Symbiodiniaceae detected on coral reefs of Lombok, Indonesia using environmental DNA metabarcoding. *Aquatic Biology* Vol. 10
- Rayyis A, Suryono, Supriyantini E. 2021. Pengaruh nitrat dan fosfat dalam sedimen terhadap kerapatan lamun di Jepara. *Journal of Marine Research* Vol. 10 (2) : 259-266
- Rothlisberger JD, Finnoff DC, Cooke RM, Lodge DM. 2012. Ship-borne nonindigenous species diminish Great Lakes ecosystem services. *Ecosystems* Vol. 15 : 1-15
- Rozirwan R, Bahrudin I, Barus BS, Nugroho RY, Khotimah NR. 2023. First assessment of coral mussidae in Kelagian Island waters, Lampung. *AIP Conf. Proc: 28 Desember 2023, Universitas Sriwijaya, Palembang*.
- Ruppert KM, Kline RJ, Rahman MS. 2019. Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation* Vol. 17
- Saitou N, Nei M. 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4:406-425.
- Satam H, Joshi K, Mangrolia U, Waghoo S, Zaidi G, Rawool S, Thakare RP, Banday S, Mishra AK, Das G, Malonia SK. 2023. Review: Next generation sequencing technology: current trends and advancements. *Biology* Vol. 12 (997) : 1-25
- Schreiber S, Hanisak MD, Perricone CS, Fonnegra AC, Sullivan J, McFarland M. Pseudo-nitzschia species, toxicity, and dynamics in the southern Indian River Lagoon, FL. *Harmful Algae* Vol. 126

- Seebens H, Blackburn TM, Dyer EE, Genovesi P, Hulme PE, Jeschke JM, Pagad S, Pyšek P, Winter M, Arianoutsou M, Bacher S, Blasius B, Brundu G, Capinha C, Celesti-Grapow L, Dawson W, Dullinger S, Fuentes N, Jäger H, Kartesz J, Kenis H, Kreft H, Kühn I, Lenzer B, Liebhold A, Mosena A, Moser D, Nishino M, Pearman D, Pergl J, Rabitsch W, Rojas-Sandoval J, Roques A, Rorke S, Rossinelli S, Roy HE, Scalera R, Schindler S, Štajerová K, Tokarska-Guzik B, van Kleunen M, Walker K, Weigelt P, Yamanaka T, Essi F. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications* Vol. 8 (14435)
- Sentosa AA, Yuliana E, Astuti LP. 2022. Kajian risiko ikan-ikan asing di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Bawal Widya Riset Perikanan Tangkap* Vol. 14 (2) : 105-118
- Setiyowati D, Mustofa A. 2024. Kualitas perairan Pantai Seribu Ranting Jepara. *Jurnal Disprotek* Vol. 15 (1) : 81-86
- Sharma P, Kobayashi T. 2014. Are "universal" DNA primers really universal? *Animal Genetics* Vol. 55 : 485-496
- Shrader-Frechette K. 2001. Nonindigenous Species: Ecological Explanation. *Biology and Philosophy* Vol. 16(1) : 507-519
- Siregar SH, Oktaviani S, Fauzi R, Reflis, Utama SP. 2023. Manfaat ekonomi kelangsungan ekosistem terumbu karang di Perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu: sebuah telaah pustaka. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 2 (6): 1111-1117
- Sophian A. 2021. Short Communication: Analysis of purity and concentration of extracted DNA on salted fish processed food products. *Asian Journal of Natural Product Biochemistry* Vol. 19 (1)
- Stat M, Hugget MJ, Bernasconi R, DiBattista JD, Berry TE, Newman SJ, Bunce M. 2017. Ecosystem biomonitoring with eDNA: metabarcoding across the tree of life in a tropical marine environment. *Scientific Reports* Vol. 7 (1) : 12240
- Stoeck T, Bass D, Nebel M, Christen R, Jones MD, Breiner HW, Richards TA. 2010. Multiple marker parallel tag environmental DNA sequencing reveals a highly complex eukaryotic community in marine anoxic water. *Molecular Ecology* Vol. 19:21-31
- Subari A, Razak A, Sumarmin R. 2021. Phylogenetic analysis of *Rasbora* spp. based on the mitochondrial DNA COI gene in Harapan Forest. *Jurnal Biologi Tropis* Vol. 21 (1) : 89-94
- Sutton TT, Clark MR, Dunn DC, Halpin PN, Rogers AD, Guinotte J, Bograd SJ, Angel MV, Perez JA, Wishner K, Haedrich RL, Lindsay DJ, Drazen JC, Vereshchaka A, Piatkowski U, Morato T, Samolyk KB, Robinson BH,



- Gjerde KM, Bults AP, Bernal P, Reygondeau G, Heino M. 2017. A global biogeographic classification of the mesopelagic zone. *Deep-Sea Research Part I* Vol. 126 : 85-102
- Tamura K, Nei M, Kumar S. 2004. Prospects for inferring very large phylogenies by using the neighbor-joining method. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 101:11030-11035
- Tamura K, Stecher G, Kumar S. 2021. MEGA 11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Molecular Biology and Evolution* <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
- Thomsen PF, Willerslev E. 2015. Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation* Vol. 183 : 4–18
- Todaro MA, Sibaja-Cordero JA, Segura-Bermúdez OA, Coto-Delgado G, Goebel-Otárola N, Barquero JD, Cullell-Delgado M, Zotto MD. 2019. An introduction to the study of Gastrotricha, with a taxonomic key to families and genera of the group. *Diversity* Vol.11 (7)
- Van den Heuvel-Greve MJ, Van den Brink AM, Glorius ST, De Groot GA, Laros I, Renaud PE, Pettersen R, Węśławski JM, Kuklinski P, Murk AJ. 2021. Early detection of marine non-indigenous species on Svalbard by DNA metabarcoding of sediment. *Polar Biology* Vol. 44 : 653-665.
- Vander Zanden MJ, Hansen GJ, Higgins SN, Kornis MS. 2010. A pound of prevention, plus a pound of cure: early detection and eradication of invasive species in the Laurentian Great Lakes. *Great Lakes Research* Vol. 36 (1) : 199-205
- Vertiana EV, Oksari AA, Hariri MR. 2023. Studi perbandingan kode batang DNA inti dan kloroplas pada *Heliconia in silico*. *Bio Sains: Jurnal Ilmiah Biologi* Vol. 2 (2) : 39-47
- Vina A, Hamidun MS, Ibrahim M. 2021. Kondisi terumbu karang di Perairan Desa Olele. *Jambura Edu Biosfer Journal* Vol. 3 (2) : 74-81
- Wangka M, Wullur S, Angkouw ED, Mamujaja JM, Tumbol RA, Ginting EL. 2020. Analisis komunitas bakteri pada sedimen dari Pulau Bangka Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax* Vol. 8 (2) : 196-203
- Ware C, Berge J, Sundet JII, Kirkpatrick JB, Coutts ADM, Jelmert A, Olsen SM, Floerl O, Wisz MS, Alsos IG. 2014. Climate change, non-indigenous species and shipping: assessing the risk of species introduction to a high-Arctic archipelago. *Diversity and Distributions* Vol. 20 : 10-19
- Weisberg SB, Bednarsek N, Feely RA, Chan F, Boehm AB, Sutula M, Ruesink JL,

- Hales B, Largie JI, Newton JA. 2016. Water quality criteria for an acidifying ocean: Challenges and opportunities for improvement. *Ocean & Coastal Management* Vol. 126 : 31-41
- Wilopo MD, Utami MAF, Harefa F, Santoso H, Vandana E, Permanda EE, Rahman ZA. 2022. Identifikasi Jenis Ikan Terumbu Pada Ekosistem Terumbu Karang Di Perairan Desa Malakoni Pulau Enggano. *Enggano* Vol. 7 : 1
- Wulandari U, Simbolon D, Wahyu RI. 2017. Analisis daerah penangkapan ikan potensial di Pulau Enggano, Bengkulu Utara. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* Vol. 23 (4) : 253-260
- Zamdial, Bakhtiar D, Anggoro A, Hartono D, Muqsit A. 2020. Rencana pengelolaan dan zonasi kawasan konservasi perairan Pulau Enggano Provinsi Bengkulu. *Enggano* Vol. 5 (1) : 23-29
- Zamdial Z, Hartono D, Anggoro A, Muqsit A. 2019. Valuasi Ekonomi Ekosistem Terumbu Karang Di Pulau Enggano, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. *Jurnal Enggano* Vol. 4 (2) : 160–173
- Zhang X, Xia P, Wang P, Yang j, Baird DJ. 2018. Omics advances in ecotoxicology. *Environmental Science and Technology* Vol. 52: 3842-3851
- Zou Y, Zhang Z, Zeng Y, Hu H, Hao Y, Huang S. 2024. Common methods for phylogenetic tree construction and their implementation in R. *Bioengineering* Vol. 11 (480) : 1-22