

SKRIPSI

IDENTIFIKASI KERAGAMAN SPESIES MIKROBA DENGAN TEKNIK METABARCODING BERDASARKAN MARKA 18S RRNA DI PERAIRAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh :

SALDI RADIYANSAH

(M011 19 1126)



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI KERAGAMAN SPESIES MIKROBA DENGAN TEKNIK METABARCODING BERDASARKAN MARKA 18S RRNA DI PERAIRAN HUTAN MANGROVE LANTEBUNG MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

SALDI RADIYANSAH

M011191126

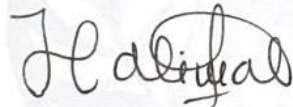
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan Fakultas
Kehutanan Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 2 Agustus 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

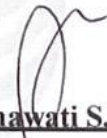
Menyetujui:

Pembimbing Utama





Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng S.P., M.P
NIP. 198202092015042002

Pembimbing Pendamping



Dr. Irmawati S.Pi., M.Si
NIP. 197005161996032002

Ketua Program Studi

Dr. Ir. Siti Nuraeni, M.P
NIP. 19680410199512 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Saldi Radiyansah
NIM : M011191126
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya berjudul

“Identifikasi Keragaman Spesies Mikroba dengan Teknik *Metabarcoding*
Berdasarkan Marka 18S rRNA di Perairan Hutan Mangrove Lantebung
Makassar”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Agustus 2023

Yang menyatakan



Saldi Radiyansah

ABSTRAK

Saldi Radiyansah (M011191126) Identifikasi Keragaman Spesies Mikroba dengan Teknik *Metabarcoding* Berdasarkan Marka 18S rRNA di Perairan Hutan Mangrove Lantebung Makassar di bawah bimbingan Siti Halimah Larekeng dan Irmawati

Mangrove pada setiap daerah salah satunya pada Lantebung Makassar memiliki adaptasi yang berbeda terhadap berbagai macam cekaman biotik dan abiotik. Komposisi spesies dapat berkorelasi dengan kesehatan dan fungsi ekosistem mangrove yang dapat dideteksi dengan pendekatan *metabarcoding*. Penelitian ini mengaplikasikan pendekatan e-DNA *metabarcoding* yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas primer 18S rRNA dalam mendeteksi keragaman spesies yang ada di perairan Mangrove Lantebung Makassar. Penelitian ini dilaksanakan pada Desember 2022-Mei 2023 yang terletak di Kawasan Mangrove Lantebung Makassar, LPPM Puslit Bioteknologi UNHAS, Laboratorium Bioteknologi Fahatan UNHAS, dan PT. Oceanogen Indonesia. Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahapan yaitu : pengambilan dan preparasi sampel, ekstraksi dan amplifikasi DNA, NGS, dan analisis data. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa terdapat 103 spesies mikroba yang terdeteksi pada mangrove Lantebung yang terdiri dari 5 kingdom, 9 filum, 29 kelas, 49 orde, 65 famili, dan 81 genus. Diharapkan hasil dari penelitian ini akan memberikan wawasan baru tentang keragaman mikroba di kawasan mangrove Lantebung Makassar. Temuan ini dapat menjadi dasar penting dalam upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan ekosistem mangrove, serta memberikan kontribusi pada pemahaman global tentang ekologi mikroba dalam ekosistem pesisir.

Kata kunci: Mangrove Lantebung, e-DNA *Metabarcoding*, Spesies Mikroba, Analisis Bioinformatika

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Allah SWT atas berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Keragaman Spesies Mikroba dengan Teknik Metabarcoding Berdasarkan Marka 18S rRNA di Perairan Hutan Mangrove Lantebung Makassar”**. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian juga dalam proses penyusunan skripsi, terutama kepada Ibu **Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P** dan Ibu **Dr. Irmawati, S.Pi., M.Si** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing serta memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.

Ucapan terimakasih yang tiada tara untuk kedua orang tua tercinta, Ayahanda **Syahrir** dan Ibunda tercinta **Harsina** serta saudari saya **Ahrida Syahrir, S.Pd** yang selalu memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, kasih sayang, dukungan serta doa. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Untuk itu sudah selayaknya dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak **Iswanto, S.Hut., M.Si.** dan Bapak **Ir. Nasri, S.Hut., M.Hut. IPM** selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak/ibu **Dosen Fakultas Kehutanan** yang memberikan ilmu dengan penuh rasa tanggung jawab tanpa mengenal lelah serta **Staf Fakultas Kehutanan** yang selalu melayani pengurusan administrasi selama berada di lingkungan Fakultas Kehutanan.
3. Seluruh **Pegawai PT. Oceanogen Baruga Indonesia** yang telah memberikan arahan, meluangkan waktu dan tenaga, dan dengan sabar membantu penulis dalam penyelesaian penelitian.
4. Keluarga besar **KAKEK NUDRIN, DAN KAKEK MANGOLAI**, yang telah memotivasi, mendoakan, mendukung secara finansial sehingga penulis

dapat menyelesaikan tugas dan tanggung jawab sebagai mahasiswa.

5. Sahabat dari maba spesial untuk **Ananda Afrianti, Nur Fadhilah Ahmad Toputri** yang telah mendukung penulis dari awal perkuliahan, menghibur dalam kesedihan, dan menemani penulis hingga dititik ini. Semoga sama-sama dapat dilancarkan sampai akhir perjuangan.
6. Sahabat sekaligus saudara para **AJI PSM** spesial untuk **Fatriasi Amiruddin, Hajrul Farawansya, Willy Agung** yang selalu memberi support, menghibur, dan menemani penulis menyelesaikan skripsi ini.
7. Terima kasih untuk **Muh Dzakwan Fadhil** telah menemani selama penelitian dan senantiasa mendukung penulis.
8. Keluarga Besar berbie berbie **UKM PSM UNHAS** terutama **BURASA 19** yang telah memberikan pengalaman baru dalam minat dan bakat penulis selama perkuliahan.
9. Para **Berbie – Berbie secret Lucky, Farez, Rahmadhani, Mercy, Syefa, Mawahda, Syifa, Asrul, Angela, Mijon, Ian** yang selalu menjadi mood booster dan menghibur penulis pada setiap kesempatan
10. Keluarga besar **Laboratorium Bioteknologi** terutama **Biotek'19** dukungan dan doa yang diberikan.

Dalam penulisan ini tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran untuk membangun kesempurnaan skripsi ini.

Makassar, 27 Juli 2023

Saldi Radiyansah

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Ekosistem Mangrove	4
2.1.1 Deskripsi Mangrove	4
2.1.2 Jenis Mangrove	5
2.1.3 Karakteristik dan Zonasi Hutan Mangrove	6
2.1.4 Fungsi dan Manfaat Hutan Mangrove	7
2.2 Keragaman Spesies Mikroba di Mangrove	11
2.3 <i>Metabarcoding</i> DNA	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
3.3.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel	14
3.3.2 Eksraksi dan Amplifikasi DNA	15
3.3.3 Amplifikasi DNA	15
3.3 Analisa Data	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Efektifitas Primer 18s untuk Mendeteksi Keragaman Spesies Mikroba di Lantebung	18
4.2 Keragaman Spesies Mikroba di Lantebung Menggunakan Primer 18s rRNA	19

4.2.1 Kelimpahan Spesies.....	19
4.2.2 Kelimpahan Individu	25
V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Salah satu tipe zonasi hutan mangrove di Indonesia.....	7
Gambar 2.	Lokasi pengambilan sampel di Kawasan hutan mangrove Lantebung Makassar.....	13
Gambar 3.	Taksa yang teridentifikasi pada tingkat filum pada sampel P1 dan P2.....	20
Gambar 4.	Filogenetik hasil identifikasi organisme perairan hutan mangrove Lantebung berdasarkan <i>sequence 18s</i>	21
Gambar 5.	<i>Pie chart</i> persentasi keragaman spesies pada tingkat kingdom dan filum hutan mangrove Lantebung berdasarkan <i>sequence 18s</i>	22
Gambar 6.	Diagram pie persentasi spesies pada tingkat kelas pada stasiun P1 dan P2 mangrove Lantebung berdasarkan <i>sequens 18s</i>	23
Gambar 7.	Diagram venn distribusi spesies mikroba pada mangrove Lantebung Makassar.....	24
Gambar 8.	Kelimpahan individu yang tergabung dalam 29 kelas berdasarkan bacaan sekuens	28

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Jumlah sekuen 18s yang terdeteksi pada kawasan mangrove Lantebung Makassar	18
Tabel 2.	Kelimpahan individu dan hasil idenitfikasi dari semua sampel diklaisfikasikan kedalam 5 kingdom yaitu: bacteria, protisita, chromista, fungi dan animalia.....	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	<i>Environmental DNA Sampling Sheet</i>	41
Lampiran 2.	<i>Sample Arrival Report</i>	42
Lampiran 3.	Kelimpahan Spesies.....	44
Lampiran 4.	Taksa yang Teridentifikasi pada Sampel P1 dan P2.....	45
Lampiran 4.	<i>Logbook</i> Kegiatan Penelitian.....	4

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan mangrove di Kota Makassar berkisar antara 53.000-133.000 ha, atau sekitar 2 % dari luas total dari daerah yang bermangrove di Indonesia, namun demikian hal tersebut penting bagi masyarakat setempat, dan kecilnya ekosistem tersebut di Kota Makassar itu sendiri merupakan alasan yang baik untuk melindungi dan mengupayakan pemeliharanya (Arief, 2012 ; Riska, 2022). Provinsi Sulawesi Selatan memiliki potensi sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil yang cukup tinggi. Mulai dari terumbu karang, lamun, mangrove, pantai, sungai, dan estuari. Potensi sumber daya alam tersebut sudah ada yang dikembangkan oleh pemerintah kota, seperti wisata bahari di pulau-pulau kecil. Pada tahun 2001, luas mangrove hanya sekitar 50,30 ha dan pada tahun 2015 mengalami penambahan luas sebesar 58,53 ha atau bertambah sekitar 16% (Bando *et al.*, 2017). Saat ini penambahan luas mangrove Lantebung Makassar sendiri sudah mencapai 12 Ha. Hal ini terjadi karena berbagai kegiatan konservasi dan penanaman mangrove di wilayah pesisir utara Kota Makassar telah dilakukan oleh berbagai pihak (Riska, 2022).

Setiap jenis mangrove memiliki adaptasi yang berbeda terhadap berbagai macam cekaman biotik dan abiotik. Koleksi dan komposisi spesies dapat berkorelasi dengan kesehatan dan fungsi ekosistem mangrove yang dapat dideteksi secara biokimiawi dan molekuler. Perkembangan terkini menggunakan teknologi *metabarcoding* DNA lingkungan untuk mengevaluasi keanekaragaman hayati suatu ekosistem (Basyuni *et al.*, 2021).

Metode analisis keanekaragaman hayati dapat dilakukan dengan pendekatan *metabarcoding* yaitu dengan gabungan teknologi taksonomi DNA dan sekuen DNA sehingga memaksimalkan identifikasi tingkat spesies dari sisa-sisa jaringan yang tidak terdeteksi oleh metode konvensional (Appeldoorn, 2016). Pada *metabarcoding*, DNA sampel diisolasi dalam jumlah yang besar, diperkuat dengan gen penanda, dan *sequencing* diikuti perbandingan yang diperoleh dari *database* sehingga memungkinkan untuk pengkajian komunitas yang benar dan mengefisienkan waktu. Kumar & Babu, (2015) melaporkan bahwa DNA

metabarcoding digunakan untuk identifikasi multi spesies dengan menggunakan DNA total atau biasanya diisolasi dari contoh lingkungan atau dari seluruh organisme contoh. Teknik identifikasi multi spesies pada awalnya diterapkan untuk komunitas mikroba atau sering disebut metagenomik, namun sekarang ini sudah mulai diterapkan untuk organisme eukariotik seperti jamur, invertebrata, tanaman dan vertebrata. Oleh karena itu, dapat dikatakan DNA *metabarcoding* sebagai metode terbaru untuk analisis DNA dalam skala besar.

Pengaplikasian metode *Metabarcoding* DNA lingkungan (e-DNA) bertujuan untuk untuk menilai keanekaragaman hayati dimana sampel diambil dari lingkungan melalui sedimen, air, dan udara, termasuk seluruh sel, DNA ekstraseluler, dan berpotensi seluruh spesies. e-DNA dapat berasal dari kulit, lendir, air liur, sperma, sekresi, telur, feses, urine, darah, akar, daun, buah, serbuk sari dan tubuh membusuk organisme yang lebih besar, sedangkan mikroorganisme dapat diperoleh secara keseluruhan. *Metabarcoding* DNA lingkungan akan menunjukkan perbedaan komposisi spesies. Mengembangkan variabel untuk mengevaluasi fungsi ekosistem mangrove dengan *metabarcoding* DNA lingkungan merupakan upaya yang sangat penting (Miya *et al.*, 2015).

Informasi mengenai keberagaman spesies melalui pendekatan *metabarcoding* di wilayah perairan ekosistem hutan mangrove di Lantebung belum dilaporkan. Maka dari itu dalam penelitian ini dilakukan serangkaian kegiatan mengidentifikasi keberagaman spesies mikroba yang ada pada perairan hutan mangrove Lantebung Makassar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat dan pemerintah mengenai keberagaman spesies mikroba yang ada di perairan ekosistem mangrove Lantebung Makassar.

1.2 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi keragaman spesies mikroba pada perairan hutan mangrove Lantebung Makassar dengan menggunakan pendekatan *metabarcoding*, dan mengetahui efektifitas penggunaan primer *18s ribosomal eukaryota* dalam mendeteksi spesies yang ada.

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai sumber informasi kepada masyarakat dan terkhusus kepada pemerintah setempat mengenai keragaman spesies mikroba yang ada pada perairan hutan mangrove Lantebung, Makassar.

Selain itu, e-DNA memiliki andil besar terhadap konservasi biologi dan manajemen biodiversitas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

2.1.1 Deskripsi Mangrove

Istilah 'mangrove' tidak diketahui secara pasti asal usulnya. Ada yang mengatakan bahwa istilah tersebut kemungkinan merupakan kombinasi dari Bahasa Portugis dan Inggris. Bangsa Portugis menyebutkan salah satu jenis pohon mangrove sebagai '*mangue*' dan istilah Inggris '*grove*', bila disatukan akan menjadi '*mangrove*' atau '*mangrave*'. Ada kemungkinan pula berasal dari Bahasa Malay, yang menyebut jenis tanaman ini dengan '*mangi-mangi*' atau '*mangin*'. mangrove adalah tanaman pepohonan atau komunitas tanaman yang hidup di antara laut dan daratan yang dipengaruhi oleh pasang surut. Habitat mangrove sering kali ditemukan di tempat pertemuan muara sungai dan air laut yang kemudian menjadi pelindung daratan dari gelombang laut yang besar. Sungai mengalirkan air tawar untuk mangrove dan pada saat pasang, pohon mangrove dikelilingi oleh air garam atau air payau (Irwanto, 2006).

Hutan mangrove adalah kelompok jenis tumbuhan yang tumbuh di sepanjang garis pantai tropis sampai sub-tropis yang memiliki fungsi istimewa yang di suatu lingkungan yang mengandung garam dan bentuk lahan berupa pantai dengan reaksi tanah anaerob. Secara ringkas hutan mangrove dapat didefinisikan sebagai suatu tipe hutan yang tumbuh di daerah pasang surut (terutama di pantai yang terlindung, laguna, muara sungai) yang tergenang pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya terkadang bertoleransi terhadap garam. Selain itu, ekosistem mangrove termasuk suatu sistem yang terdiri dari atas organisme (tumbuhan dan hewan) yang berinteraksi dengan lingkungannya di dalam suatu habitat mangrove. Mangrove merupakan ekosistem yang unik karena merupakan perpaduan antara ekosistem darat dan ekosistem perairan. Hutan mangrove mempunyai peranan yang sangat penting terutama bagi kehidupan masyarakat sekitarnya dengan memanfaatkan produksi yang di dalamnya, baik sumberdaya kayunya maupun sumberdaya biota air (udang, kepiting, ikan) yang biasanya hidup dan berkembang biak di hutan mangrove (Mutmainnah, 2015).

Hutan mangrove merupakan komunitas vegetasi pantai tropis, yang didominasi oleh beberapa jenis mangrove yang mampu tumbuh dan berkembang pada daerah pasang surut pantai berlumpur (Bengen *et al.*, 2004).

Bengen *et al.*, (2004) melaporkan ciri-ciri hutan mangrove sebagai berikut :

- a. Umumnya tumbuh pada daerah intertidal yang jenis tanahnya berlumpur, berlempung, dan berpasir.
- b. Daerahnya tergenang air laut secara berkala, baik setiap hari maupun yang hanya tergenang pada saat pasang purnama.
- c. Menerima pasokan air tawar yang cukup dari darat.
- d. Terlindung dari gelombang besar dan arus pasang surut yang kuat.
- e. Air yang bersalinitas payau (2-22 per mil) hingga asin (mencapai 38 per mil).

Vegetasi mangrove di Indonesia memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi, dengan jumlah jenis tercatat sebanyak 202 jenis yang 89 di antaranya berjenis pohon. Mangrove di Indonesia terbagi ke dalam empat family yaitu : Rhizophoraceae (*Rhizophora*, *Bruguiera* dan *Ceriops*), Sonneratiaceae (*Sonneratia*), Aviceniaceae (*Avicennia*) dan Meliaceae (*Xylocarpus*) (Bengen *et al.*, 2004).

2.1.2 Jenis Mangrove

Sejauh ini di Indonesia tercatat setidaknya 202 jenis tumbuhan mangrove, meliputi 89 jenis pohon, 5 jenis palma, 19 jenis pemanjat, 44 jenis herba tanah, 44 jenis epifit, dan 1 jenis paku. Dari 202 jenis tersebut, 43 jenis (diantaranya 33 jenis pohon dan beberapa jenis perdu) ditemukan sebagai mangrove sejati (*true mangrove*), sementara jenis lain ditemukan sekitar mangrove yang dikenal sebagai jenis mangrove ikutan (*asociateasociate*) (Noor *et al.*, 1999).

Tomlinson *et al.*, (1986), membagi flora mangrove menjadi tiga kelompok, antara lain :

1. Flora mangrove sejati (Flora mangrove sebenarnya), yakni flora yang hanya tumbuh di habitat mangrove, berkemampuan membentuk tegakan murni dan secara dominan mencirikan struktur komunitas, secara morfologi mempunyai bentuk-bentuk adaptasi khusus (bentuk akar nafas/udara dan viviparitas) terhadap lingkungan mangrove, dan mempunyai mekanisme fisiologi dalam mengontrol garam (mengeluarkan garam untuk menyesuaikan diri dengan

lingkungan). Contohnya adalah jenis-jenis dari genus *Avicennia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Kandelia*, *Sonneratia*, *Lumnitzera* dan *Nypa*.

2. Flora mangrove penunjang (minor), yakni flora mangrove yang tidak mampu membentuk tegakan murni, sehingga secara morfologis tidak berperan dominan dalam struktur komunitas, contohnya adalah dari jenis-jenis dari genus *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Phempis*, *Osbornia*, dan *Pelliciera*.
3. Tumbuhan asosiasi mangrove, yakni flora yang berasosiasi dengan tumbuhan mangrove sejati dan merupakan vegetasi penunjang, contohnya adalah jenis-jenis dari genus *Cerbera*, *Acantus*, *Derris*, *Hibiscus*, *Calamus*, dan lain-lain.

2.1.3 Karakteristik dan Zonasi Hutan Mangrove

Mangrove tumbuh optimal di wilayah pesisir yang memiliki muara sungai yang besar dan delta yang aliran airnya banyak mengandung lumpur. Di wilayah pesisir yang tidak bermuara sungai, pertumbuhan vegetasi mangrove tidak optimal. Mangrove sulit tumbuh di wilayah pesisir yang terjal dan berombak besar dengan arus pasang surut kuat karena kondisi ini tidak memungkinkan terjadinya pengendapan lumpur yang diperlukan sebagai substrat bagi pertumbuhannya (Dahuri, 1996).

Salah satu tipe zonasi hutan mangrove di Indonesia seperti ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu daerah yang paling dekat dengan laut, dengan substrat agak berpasir, sering ditumbuhi oleh *Avicennia* spp. Pada zona ini biasa berasosiasi dengan *Sonneratia* spp yang dominan tumbuh pada lumpur yang dalam yang agak kaya dengan bahan organik. Lebih ke arah darat, hutan mangrove umumnya didominasi oleh *Rhizophora* spp, di zona ini juga dijumpai *Bruguiera* sp dan *Xylocarpus* sp. Zona berikutnya didominasi oleh *Bruguiera* sp. Zona transisi antara hutan mangrove dengan hutan dataran rendah biasa ditumbuhi oleh *Nypa fruticans* dan beberapa spesies palem lainnya (Bengen *et al.*, 2004).

Gambar 1. Salah satu tipe zonasi hutan mangrove di Indonesia (Bengen, 2004)

2.1.4 Fungsi dan Manfaat Hutan Mangrove

Baderan *et al.*, (2017) melaporkan, hutan mangrove memiliki fungsi dan manfaat sebagai berikut :

a) Habitat satwa langka

Hutan mangrove sering menjadi habitat jenis-jenis satwa. Lebih dari 100 jenis burung hidup disini, dan daratan lumpur yang luas berbatasan dengan hutan mangrove merupakan tempat ribuan burung pantai migran, termasuk jenis burung langka Blekok Asia (*Limnodrumus semipalmatus*).

b) Pelindung terhadap bencana alam

Vegetasi hutan mangrove dapat melindungi bangunan, tanaman pertanian atau vegetasi alami dari kerusakan akibat badai atau angin yang bermuatan garam melalui proses filtrasi.

c) Pengendapan lumpur

Sifat fisik tanaman pada hutan mangrove membantu proses pengendapan lumpur. Pengendapan lumpur berhubungan erat dengan penghilangan racun dan unsur hara air, karena bahan-bahan tersebut sering kali terikat pada partikel lumpur. Dengan hutan mangrove, kualitas air laut terjaga dari endapan lumpur erosi.

d) Penambah unsur hara

Sifat fisik hutan mangrove cenderung memperlambat aliran air dan terjadi pengendapan. Seiring dengan proses pengendapan ini terjadi unsur hara yang berasal dari berbagai sumber, termasuk pencucian dari areal pertanian.

e) Penambat racun

Banyak racun yang memasuki ekosistem perairan dalam keadaan terikat pada permukaan lumpur atau terdapat di antara kisi-kisi molekul partikel tanah air.

Beberapa spesies tertentu dalam hutan mangrove bahkan membantu proses penambatan racun secara aktif.

f) Sumber alam dalam kawasan (*in-situ*) dan luar kawasan (*ex-situ*)

Hasil alam *in-situ* mencakup semua fauna dan hasil pertambangan atau mineral yang dapat dimanfaatkan secara langsung di dalam kawasan. Sedangkan sumber alam *eks-situ* meliputi produk-produk alamiah di hutan mangrove dan terangkut/berpindah ke tempat lain yang kemudian digunakan oleh masyarakat di daerah tersebut, menjadi sumber makanan bagi organisme lain atau menyediakan fungsi lain seperti menambah luas pantai karena pemindahan pasir dan lumpur.

g) Transportasi

Pada beberapa hutan mangrove, transportasi melalui air merupakan cara yang paling efisien dan paling sesuai dengan lingkungan Masyarakat yang tinggal di sekitar hutan mangrove memiliki dua jenis kendaraan bila ingin masuk ke dalam wilayah mangrove. Kendaraan tersebut dibagi menjadi dua kondisi wilayah yaitu, kendaraan untuk daratan kering dan kendaraan untuk daerah perairan. Selain dari dua kondisi tersebut, orang yang ingin masuk ke dalam hutan harus berjalan kaki atau bahkan berenang. Pada daerah dengan daratan kering, kendaraan yang sering digunakan adalah sepeda atau sepeda motor. Pada daerah perairan kendaraan yang biasanya digunakan adalah kapal jenis speedboat, kano dan kapal nelayan / kayak.

h) Sumber plasma nutfah

Plasma nutfah dari kehidupan liar sangat besar manfaatnya baik bagi perbaikan jenis-jenis satwa komersial maupun untuk memelihara populasi kehidupan liar itu sendiri.

i) Rekreasi dan pariwisata

Hutan mangrove memiliki nilai estetika, baik dari faktor alamnya maupun dari kehidupan yang ada di dalamnya. Hutan mangrove yang telah dikembangkan menjadi obyek wisata alam lain di Sinjai (Sulawesi Selatan), Muara Angke (DKI), Denpasar (Bali), Blanakan dan Cikeong (Jawa Barat), Cilacap (Jawa Tengah). Hutan mangrove memberikan obyek wisata yang berbeda dengan obyek wisata lainnya. Karakteristik hutannya yang berada di peralihan antara darat dan laut mempunyai keunikan dalam beberapa hal. Para wisatawan juga memperoleh pelajaran tentang lingkungan langsung dari alam.

j) Sarana Pendidikan dan Penelitian

Upaya pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membutuhkan laboratorium lapang yang baik untuk kegiatan penelitian dan pendidikan. Hutan mangrove dapat dijadikan sebagai laboratorium lapang guna menunjang penelitian bagi para mahasiswa maupun peneliti sehingga dapat memberikan data- seperti ekosistem yang ada di dalam Kawasan hutan manrove

k) Memelihara proses-proses dan sistem alami

Hutan mangrove sangat tinggi peranannya dalam mendukung berlangsungnya proses-proses ekologi, geomorfologi, atau geologi di dalamnya karena seperti yang kita ketahui bahwa di dalam hutan mangrove juga terdapat ekosistem yang sangat besar, dan sangat penting peranannya dalam mempertahankan susunan rantai makanan alami.

l) Penyerapan karbon

Proses fotosintesis mengubah karbon anorganik (O_2) menjadi karbon organik dalam bentuk bahan vegetasi. Pada sebagian besar ekosistem, bahan ini membusuk dan melepaskan karbon kembali ke atmosfer sebagai CO_2 . Akan tetapi hutan mangrove justru mengandung sejumlah besar bahan organik yang tidak membusuk. Karena itu, hutan mangrove lebih berfungsi sebagai penyerap karbon dibanding dengan sumber karbon.

m) Memelihara iklim mikro

Terjadinya evapotranspirasi atau penguapan air di dalam hutan mangrove akan dapat menjaga kelembaban data curah hujan yang berada di kawasan tersebut, sehingga iklim pada sekitar daerah lingkungan hutan mangrove akan terjaga iklim mikro yang mana tersebut pergabungan ada beberapa faktor antara lain yaitu suhu, angin, cahaya matahari serta kelembaban. Kondisi tersebut dapat terjadi di perut bumi atau di bawah kanopi pepohonan. Iklim mikro yang terjadi di hutan mangrove dapat juga dipengaruhi oleh faktor angin, topografi bahkan juga vegetasi yang terdapat di dalam hutan mangrove tersebut.

n) Mencegah berkembangnya tanah sulfat masam

Keberadaan hutan mangrove dapat mencegah teroksidasinya lapisan pirit dan menghalangi berkembangnya kondisi alam. Peranan dan manfaat yang beragam, hutan mangrove memiliki kemampuan besar untuk memenuhi berbagai kebutuhan manusia, sehingga potensinya juga besar bagi kepentingan sosial ekonomi masyarakat, tetapi pemanfaatannya yang berlebihan justru malah merugikan

ekosistem hutan mangrove sendiri. Manfaat mangrove beragam, sehingga tingkat laju perekonomian pedesaan yang berada di kawasan pesisir seringkali sangat bergantung pada habitat mangrove yang ada disekitarnya.

Secara garis besar manfaat hutan mangrove dapat dibagi dalam dua bagian yaitu (Iskandar & Tanalsa, 2009):

1. Fungsi ekonomis, yang terdiri atas :
 - a. Hasil berupa kayu (kayu konstruksi, kayu bakar, arang, serpihan kayu, untuk bubur kayu, tiang/pancang).
 - b. Hasil bukan kayu, hasil hutan ikutan (non kayu) dan lahan (Ekowisata dan lahan budi daya). Hasil hutan mangrove non kayu ini sampai dengan sekarang belum banyak dikembangkan di Indonesia. Padahal apabila dikaji dengan baik, potensi sumberdaya hutan mangrove non kayu di Indonesia sangat besar dan dapat mendukung pengelolaan hutan mangrove secara berkelanjutan.
2. Fungsi Ekologi, yang terdiri atas berbagai fungsi perlindungan lingkungan ekosistem daratan dan lautan maupun habitat berbagai jenis fauna, diantaranya:
 - a. Sebagai proteksi dan abrasi/erosi, gelombang atau angin kencang.
 - b. Pengendalian instruksi air laut.
 - c. Habitat berbagai jenis fauna.
 - d. Sebagai tempat mencari, memijah dan berkembang biak berbagai jenis ikan dan udang.
 - e. Pembangunan lahan melalui proses sedimentasi.
 - f. Pengontrol penyakit malaria.

2.2 Keragaman Spesies Mikroba di Mangrove

Keragaman spesies mikroba merujuk pada jumlah dan variasi spesies mikroorganisme yang ada di suatu ekosistem mangrove. Mikroba meliputi berbagai kelompok seperti bakteri, jamur, archaea, dan virus. Keragaman spesies mikroba di mangrove sangat penting karena mereka memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan menjalankan berbagai fungsi ekologis (Alongi, 2014). Beberapa contoh keragaman spesies mikroba di mangrove termasuk (Holguin et al., 2001):

1. Bakteri: Ada berbagai spesies bakteri yang hidup di ekosistem mangrove. Beberapa spesies bakteri yang umum ditemukan meliputi *Rhizophora* spp., *Avicennia* spp., dan *Sonneratia* spp. Bakteri ini memiliki peran dalam proses dekomposisi bahan organik, siklus nutrisi, dan pembentukan senyawa biokimia penting di dalam tanah mangrove.
2. Jamur: Keragaman spesies jamur juga tinggi di ekosistem mangrove. Jamur ini dapat berperan dalam dekomposisi materi organik, pembentukan hubungan simbiotik dengan tumbuhan mangrove, dan menghasilkan enzim yang membantu dalam proses biokimia.
3. Archaea: Meskipun archaea sering kali diabaikan, penelitian terbaru menunjukkan bahwa mereka juga memiliki peran penting dalam keragaman mikroba di mangrove. Beberapa spesies archaea yang umum dijumpai meliputi methanogens, halophiles, dan thermophiles. Mereka berperan dalam siklus nitrogen, siklus karbon, dan menjaga keseimbangan ekosistem.
4. Virus: Keragaman spesies virus juga signifikan di ekosistem mangrove. Virus ini dapat mempengaruhi komunitas mikroba dan organisme lain di dalam mangrove melalui interaksi dan infeksi. Beberapa virus memiliki peran dalam mengontrol populasi bakteri dan alga di ekosistem mangrove.

2.3 Metabarcoding DNA

DNA *barcoding* yang biasanya terdiri dari sekuens DNA pendek yang dapat diamplifikasi dengan bantuan PCR (polymerase chain reaction) kemudian diurutkan untuk dianalisis spesiesnya (Suriya *et al.*, 2018). Identifikasi spesimen menggunakan *barcode* biasanya diperoleh dengan urutan DNA *barcode* dari genom spesies. Kemudian kode batang urutan spesies yang tidak diketahui dibandingkan dengan perpustakaan referensi kode batang urutan spesies yang diketahui. Jika urutan spesies yang tidak diketahui sangat cocok dengan urutan di perpustakaan referensi, suatu spesies diidentifikasi (Basyuni *et al.*, 2021). Urutan barcode baru menyiratkan penemuan spesies baru. DNA barcode memberikan dukungan besar untuk domain ilmiah yang tak terhitung jumlahnya seperti epidemiologi, ekologi, biomedis, biologi evolusioner, biogeografi, dan biologi konservasi serta dalam bio-industri (Ushio *et al.*, 2018).

DNA lingkungan (e-DNA) mengacu pada materi genetik yang ditemukan di ekosistem. e-DNA telah secara signifikan meningkatkan kemampuan kita untuk mengidentifikasi kelompok *metabarcoding* taksonomi beragam (Basyuni *et al.*, 2021). e-DNA tidak hanya memiliki potensi untuk menilai keanekaragaman hayati filogenetik, lebih andal dan cepat dari sebelumnya tetapi juga menyediakan alat yang hemat biaya untuk mengevaluasi struktur komunitas yang relevan dengan fungsi biota di habitatnya (Basyuni *et al.*, 2021). Kemajuan teknik ini juga menghasilkan peluang untuk mengatasi beberapa keterbatasan penelitian ekotoksikologi tradisional, yang berfokus pada dampak merugikan bahan kimia pada organisme individu, dan untuk menilai tanggapan dari individu ke komunitas dan tingkat ekosistem (Basyuni *et al.*, 2021).

Environmental DNA (e-DNA) *metabarcoding* adalah metode yang baik untuk mengidentifikasi ikan karang (Thomsen, 2012). Environmental DNA (e-DNA) *metabarcoding* merupakan pembaruan metode untuk memperkirakan kelimpahan dan keanekaragaman dari organisme seperti ikan dan organisme lain yang susah diidentifikasi dan dideteksi dari kolom perairan dan sedimen (Takahara, 2013). Metode e-DNA juga sangat efektif untuk mendeteksi kehadiran dari organisme seperti ikan tanpa mengisolasi organisme target (Laramie *et al.*, 2015). Hal ini karena organisme seperti ikan umumnya melepaskan banyak materi genetik dalam bentuk sel atau feses yang dapat dipecah menjadi potongan kecil yang dapat dipertahankan di perairan dan kemudian menetap di lingkungan (Takahara, 2013). Material genetik dapat dengan mudah diekstraksi dari sampel air, tanah, bahkan udara (Tringe & Rubin, 2005).