

Analisis keanekaragaman jenis mangrove pada salah satu kawasan ekosistem mangrove Luwu Utara

Fitri Ramadani¹, Kurnia Makmur^{1*}, Rusmadi Rukmana¹, Aswar Rustam¹,
Hajrah¹

¹Program Studi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. 92118

*E-mail: kurnia.makmur@uin-alauddin.ac.id

Abstrak: Mangrove merupakan sekelompok tumbuhan yang tumbuh dipesisir pantai. Sekelompok tumbuhan ini memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung kehidupan manusia dan organisme lain yang ada di sekitarnya. Mangrove menjadi habitat berbagai jenis ikan, udang dan biota laut lainnya. Ekosistem mangrove dijadikan sebagai tangkapan nelayan lokal. Selain itu tumbuhan mangrove juga dimanfaatkan oleh masyarakat daerah pesisir pantai sebagai sumber bahan baku kerajinan tangan dalam membuat anyaman. Sedangkan nilai penting dari mangrove sendiri itu adalah sebagai pelindung alami dari abrasi pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis dan pemanfaatan mangrove di Desa Pao Kab. Luwu Utara. Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober sampai November tahun 2024 di Desa Pao Kec. Malangke Barat Kab. Luwu Utara. penelitian ini merupakan penelitian deskriptif, untuk mengetahui keanekaragaman jenis mangrove pada ekosistem mangrove yang terdapat di Desa Pao Kec, Malangke Barat Kab, Luwu Utara. Dari Hasil penelitian ditemukan 3 jenis mangrove pada kawasan mangrove tersebut yaitu *Rhizophora mangle*, *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia caseolaris* pada ketiga spesies ini yang paling dominan yaitu *Rhizophora mucronata*. Adapun persentase jumlah individu pada masing-masing spesies secara berturut-turut adalah 36%, 49%, dan 15%. Spesies yang dominan memiliki persentase sebanyak 49%. Nilai H' (keanekaragaman) adalah 0,9926, karena $H' < 1,0$ maka keanekaragam dalam kategori rendah, nilai E (keseragaman) 0,9035 karena nilai E mendekati 1 maka keseragaman dalam kategori tinggi, dan nilai C (Dominansi) yaitu 0,3893, karena C berada ditengah antara 0 dan 1 maka dominansi dalam kategori sedang.

Kata Kunci: Ekosistem mangrove, keanekaragaman mangrove, komposisi spesies, Luwu Utara

Abstract: Mangroves are a group of plants that grow in coastal areas. This group of vegetation plays a very important role in supporting the lives of humans and other organisms in the surrounding environment. Mangroves serve as habitats for various species of fish, shrimp, and other marine organisms. The mangrove ecosystem is also utilized as a fishing ground by local fishermen. In addition, mangrove plants are used by coastal communities as raw materials for handicrafts, particularly for weaving. Importantly, mangroves also function as natural protection against coastal abrasion. This study aimed to identify the species and utilization of mangroves in Pao Village, North Luwu Regency. The research was conducted from October to November 2024 in Pao Village, West Malangke District, North Luwu Regency. This study employed a descriptive approach to determine the diversity of mangrove species within the mangrove ecosystem in the study area. The results showed that three mangrove species were found in the area, namely *Rhizophora mangle*, *Rhizophora mucronata*, and *Sonneratia caseolaris*. Among these, *Rhizophora mucronata* was the most dominant species. The percentage of individuals for each species was 36%, 49%, and 15%, respectively. The dominant species accounted for 49% of the total individuals. The diversity index (H') was 0.9926, indicating low diversity ($H' < 1.0$). The evenness index (E) was 0.9035, indicating high evenness as the value approaches 1. The dominance index (C) was 0.3893, indicating a moderate level of dominance as the value lies between 0 and 1.

Keywords: mangrove ecosystem, biodiversity of mangroves, species composition, Luwu Utara

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai sekitar 70 jenis mangrove tersebar di sepanjang pantainya, menjadikannya salah satu bangsa bersama keanekaragaman mangrove terbesar di dunia. Mangrove di Indonesia tumbuh subur di daerah beriklim tropis, khususnya di pesisir Sumatera, Kalimantan, Papua, dan Jawa. Beberapa bentuk mangrove untuk paling umum ditemukan antara lain *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, dan *Sonneratia alba*. Mangrove mempunyai kegunaan ekologis untuk sangat penting, selain melindungi pantai dari erosi, menyediakan habitat bagi berbagai bentuk laut, dan menyerap karbon dioksida untuk berkontribusi terhadap misi perubahan iklim. Keberadaan mangrove di Indonesia tidak hanya penting bagi keseimbangan lingkungan, tetapi juga mendukung kehidupan warga pesisir untuk bergantung pada sumber daya alam tersebut (Dinilhuda et al., 2020).

Tumbuhan mangrove memiliki peran penting dalam menjaga kesehatan ekosistem pesisir secara global, serta mendukung kelangsungan hidup berbagai jenis burung, tumbuhan dan fauna. Ekosistem mangrove juga berfungsi sebagai penghalang alami terhadap berbagai bencana alam, seperti abrasi pantaidan badai, serta memiliki kapasitas penyerapan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis vegetasi lainnya. Selain itu, tumbuhan mangrove menyediakan berbagai layanan ekologi, sosial, dan ekonomi yang sangat penting bagi masyarakat pesisir. Ekosistem ini juga dikenal sebagai salah satu ekosistem paling produktif di dunia karena menyediakan habitat bagi beragam jenis flora dan fauna (Janwar et al., 2015).

Ekosistem mangrove merupakan komponen penting dalam jaring makanan di ekosistem pesisir karena berperan sebagai produsen primer. Selain mempunyai produktivitas tinggi untuk menyediakan cukup makanan bagi berbagai bentuk hewan laut, mangrove juga berfungsi sebagai tempat berkembang biak, bertelur, dan membesarkan anak bagi sejumlah bentuk ikan, karang, kepiting, dan udang. Keberadaan lingkungan mangrove sangat penting bagi kehidupan manusia, meskipun pengaruhnya bersifat tidak langsung (Zega et al., 2024).

Hutan mangrove merupakan salah satu unit fungsional utama dalam ekologi karena tersusun atas komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi. Interaksi tersebut membentuk suatu sistem yang berperan penting dalam menjaga keberlangsungan kehidupan serta mempertahankan stabilitas, keseimbangan, dan keharmonisan lingkungan. Sebagaimana ekosistem lainnya di Bumi, hutan mangrove berfungsi melalui hubungan saling ketergantungan dan interaksi sebab-akibat antarkomponen penyusunnya sehingga membentuk suatu unit fungsional yang utuh (Zega et al., 2024).

Ekosistem mangrove sangat rentan terhadap berbagai ancaman yang disebabkan oleh perubahan lingkungan dan aktivitas manusia. Keberlangsungan ekosistem mangrove bergantung pada kondisi lingkungan yang stabil terutama proses sedimentasi dan dinamika peairan, yang berperan penting dalam menjaga pertumbuhan, struktur, dan fungsi ekosistem tersebut. Penyesuaian kecil pada faktor-faktor seperti pasang surut, salinitas air, dan sifat tanah dapat memengaruhi keseimbangan lingkungan mangrove. Setiap gangguan pada keseimbangan ini dapat menyebabkan modifikasi bertahap dalam jaringan mangrove (Janwar et al., 2015) Jika modifikasi muncul secara perlahan, maka penyesuaian lambat dalam struktur atau suksesi lingkungan mangrove dapat terlihat (Vidalia et al., 2023).

Selain berfungsi sebagai penghasil pangan, mangrove juga mempunyai fungsi fisik yang penting bagi pesisir. Mangrove menjaga pantai dari gelombang dan angin kencang, mengurangi abrasi, menyerap air hujan agar mencegah banjir, dan menyerap limbah untuk mencemari perairan (Janwar *et al.*, 2015). Mangrove di Desa Pao, Kecamatan Malangke Barat, Kabupaten Luwu Utara memiliki berbagai fungsi ekologis yang penting, antara lain sebagai penyedia unsur hara, penghasil detritus dan bahan organik yang terbawa oleh arus laut menuju ekosistem lamun, serta berperan dalam mengurangi risiko banjir. Selain itu mangrove juga memberikan manfaat bagi ekosistem di sekitarnya, termasuk melindungi tambak dari hempasan gelombang laut. Proses tersebut mengangkut unsur hara dan detritus ke perairan pesisir sehingga berperan penting dalam meningkatkan produktivitas primer dan mendukung kesuburan perairan disekitar kawasan mangrove. Daun, ranting, bunga, buah dan bagian tanaman mangrove yang telah gugur dimanfaatkan oleh makrofauna seperti kepiting, kemudian diuraikan oleh berbagai jenis mikroorganisme yang hidup di substrat mangrove. Proses dekomposisi tersebut membentuk detritus, yang menjadi dasar rantai makanan di ekosistem mangrove. Selanjutnya detritus dimanfaatkan oleh berbagai organisme perairan pada tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti bivalvia, gastropoda, berbagai jenis ikan dan udang muda serta kepiting.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis mangrove beserta pemanfaatannya di Desa Pao, Kecamatan Malangke Barat, Kabupaten Luwu Utara (Janwar *et al.*, 2015). Informasi mengenai Jenis-jenis mangrove dan manfaatnya yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi masyarakat setempat sehingga mendorong upaya pelestarian ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober sampai November tahun 2024. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif eksploratif yaitu untuk mengetahui tingkat keanekaragaman jenis-jenis mangrove pada ekosistem. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan observasi langsung dan survei langsung. alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: tali rafia, kamera, alat tulis, meteran rol dan patok. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu: mangrove sebagai sampel penelitian dan buku identifikasi untuk mengidentifikasi jenis mangrove.

Prosedur kerja meliputi 3 tahap, pertama persiapan yaitu dilakukan observasi dan penentuan lokasi penelitian dan lokasi pengamatan serta penempatan zona, kedua, eksplorasi tumbuhan yaitu mengumpulkan informasi tentang tumbuhan mangrove di daerah tersebut. Metode ini melibatkan aktivitas Masyarakat sekitaran mangrove sesuai kebutuhan. Pengamatan terhadap tanaman dilakukan secara langsung di lapangan, dimana untuk beberapa jenis spesies mangrove yang sulit diidentifikasi di tempat. ketiga Adalah tahap identifikasi yaitu pengukuran dengan menggunakan metode Kuadran transek, yaitu teknik pengukuran dan pengamatan yang dilakukan pada sepanjang jalur yang dibuat dengan diberi jarak antar petak ukur. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode transek dan kuadrat. Tahap pertama dilakukan dengan menarik tali transek sepanjang 100 m pada lokasi penelitian. Selanjutnya, pada sepanjang jalur transek dibuat petak contoh (kuadrat) berukuran 20 m x 20 m pada lokasi yang telah ditentukan dengan tiga pengulangan. Pada setiap petak pengamatan dilakukan identifikasi dan pencatatan seluruh jenis tumbuhan mangrove yang dijumpai, serta menghitung jumlah individu dari masing-masing jenis. Data hasil penelitian selanjutnya dianalisis

menggunakan indeks Shannon–Wiener untuk menentukan tingkat keanekaragaman spesies. Berdasarkan nilai indeks keanekaragaman yang diperoleh, kemudian dihitung indeks keseragaman (Evenness) dan indeks dominansi (Simpson) untuk menggambarkan tingkat pemerataan individu antarspesies serta tingkat dominansi spesies dalam komunitas. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Indeks Keanekaragaman Shannon–Wiener (H')

$$H' = -\sum (p_i \ln p_i)$$

$$p_i = n_i/N$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman

p_i = Proporsi individu spesies ke- i

n_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu

2. Indeks Keseragaman (E)

$$E = H' / \ln(S)$$

Keterangan:

E = Indeks keseragaman

H' = Indeks keanekaragaman

S = Jumlah spesies

3. Indeks Dominansi Simpson (C)

$$C = \sum (n_i/N)^2 = \sum p_i^2$$

Keterangan:

C = Indeks dominansi

n_i = Jumlah individu spesies ke- i

N = Jumlah total individu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Jenis Mangrove

Hasil pengamatan terhadap spesies mangrove disajikan pada Tabel 1. Data tersebut menunjukkan jumlah individu masing-masing spesies yang ditemukan di kawasan mangrove Desa Pao, Kecamatan Malangke Barat, Kabupaten Luwu Utara.

Tabel 1. Jumlah spesies yang ditemukan pada plot pengamatan

No	Jenis Spesies	Plot			Jumlah
		1	2	3	
1	<i>Rhizophora mangle</i>	32	15	3	50
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	30	33	5	68
3	<i>Sonneratia caseolaris</i>	0	2	18	20
Jumlah Total Akses		62	50	26	138

Berdasarkan data pada Tabel 1, penelitian ini berhasil mengidentifikasi beberapa spesies dari genus *Rhizophora* yaitu *Rhizophora mangle* dan *Rhizophora mucronata*. *R. mangle* dikenal dengan sebutan bakau merah, spesies ini banyak ditemukan di daerah pesisir tropis, terutama di Amerika dan Asia Tenggara. Secara umum, *R. mangle* merupakan tumbuhan berkayu yang tumbuh di daerah berlumpur dan tergenang air asin, seperti muara sungai dan hutan mangrove. Ciri khas utamanya adalah akar tunjang besar yang mencuat dari batang dan menjulang ke tanah, yang membantu menopang pohon serta memfasilitasi pertukaran oksigen di lingkungan yang miskin udara. Spesies ini juga

memiliki buah vivipar, yaitu biji yang berkecambah saat masih tergantung di pohon induknya. Keberadaan *R. mangle* sangat penting dalam ekosistem pesisir karena mampu mencegah abrasi pantai, menyerap karbon, menyaring air, dan menyediakan habitat bagi berbagai jenis ikan, udang, dan burung (Sriwahjuningsih et al., 2022). Selanjutnya *Rizophora mucronata*, spesies ini banyak ditemukan di wilayah pesisir tropis, terutama di kawasan Asia dan Afrika Timur. Secara umum, *R. mucronata* merupakan tumbuhan berkayu yang tumbuh di habitat berlumpur atau tergenang air asin, seperti muara sungai dan hutan mangrove. Tumbuhan ini dikenal dengan akar tunjangnya yang besar dan menyebar, yang berfungsi sebagai penopang serta membantu pertukaran oksigen di tanah yang tergenang. Selain itu, *R. mucronata* memiliki daun berwarna hijau tua yang tebal dan buah vivipar, yaitu bijinya sudah berkecambah saat masih menempel di pohon induk. Spesies ini sangat penting bagi ekosistem pesisir karena mampu mencegah abrasi pantai, menyerap karbon, serta menjadi habitat bagi berbagai organisme laut dan darat, sehingga keberadaannya perlu dijaga dan dilestarikan (Marwati et al., 2021).

Hasil identifikasi spesies yang lain berasal dari genus *Sonneratia*. Yaitu *Sonneratia caseolaris*, atau yang sering disebut pidada atau mangrove apel. Spesies ini merupakan salah satu jenis mangrove sejati yang tumbuh di daerah pesisir, terutama di muara sungai dan perairan payau. Tumbuhan ini memiliki ciri khas berupa akar pneumatofor yang tegak dan menonjol dari permukaan tanah, yang berfungsi untuk membantu pertukaran oksigen di lingkungan yang tergenang. Daunnya berbentuk bulat telur dan berwarna hijau mengkilap, sementara buahnya berbentuk bulat dan dapat dikonsumsi, meskipun rasanya asam. *S. caseolaris* memiliki peran penting dalam ekosistem pesisir karena membantu menahan sedimen, mencegah erosi pantai, serta menjadi tempat hidup bagi berbagai jenis ikan, burung, dan organisme air lainnya. Selain nilai ekologisnya, tumbuhan ini juga dimanfaatkan oleh masyarakat lokal untuk berbagai keperluan, seperti bahan makanan, obat tradisional, dan kayu bakar (Pambudi et al., 2025).

Indeks Ekologi Mangrove

Pengukuran indeks ekologi dilakukan untuk mengetahui tingkat keanekaragaman, keseragaman, dan dominasi dalam suatu kawasan hutan mangrove (Tabel 2).

Tabel 2. Indeks ekologi mangrove

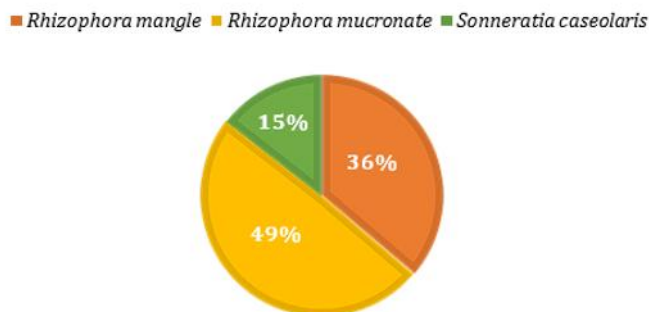
No	ni	s	Ln.S	$P_i = \frac{n_i}{N}$	Ln. P_i	$P_i * P_i$	$P_i * \text{Ln}.P_i$	Indeks Ekologi		
								H'	E	C
1	50			0,36	-1,0217	0,1296	-0,367794			
2	68	3	1,09861	0,49	-0,7133	0,2401	-0,349541	0,99259	0,9035	0,3893
3	20			0,14	-1,9661	0,0196	-0,275256			

Jumlah Spesies: 138

Keterangan: H' = Keanekaragaman; E = Keseragaman; C = Dominansi

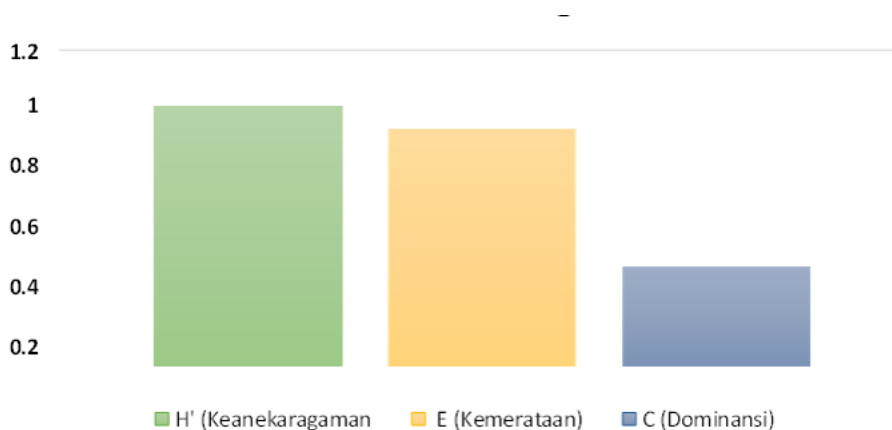
Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai H' (keanekaragaman) adalah 0,992, karena $H' < 1,0$ maka keanekaragaman dalam kategori rendah. Nilai E (keseragaman) 0,903 karena nilai E mendekati 1 maka keseragaman dalam kategori tinggi, dan nilai C (Dominansi) yaitu 0,389, karena C berada ditengah antara 0 dan 1 maka dominansi dalam kategori sedang. Selanjutnya persentasi setiap spesies mangrove yang ditemukan dapat dilihat dalam diagram pie (Gambar 1).

Persentase 3 Spesies mangrove yang ditemukan



Gambar 1. Persentase spesies mangrove

Persentase jumlah individu pada masing-masing spesies secara berturut-turut adalah 36%, 49%, dan 15%. Spesies yang paling banyak ditemukan adalah *R. mangle* dengan persentase sebanyak 49% (Gambar 1). Nilai Keanekaragaman (H') dengan nilai 0,99, kemerataan (E) dengan nilai 0,9, dan Dominansi (C) dengan nilai 0,38. (Tabel 2).



Gambar 2. Indeks ekologi mangrove meliputi H' (Keanekaragaman), E (Kemerataan), dan C (Dominansi)

Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 2), diperoleh nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') sebesar 0,992, yang menunjukkan keanekaragaman rendah. Indeks keseragaman (E) sebesar 0,903 yang mengindikasikan bahwa distribusi individu antar spesies cukup merata. Sementara itu, indeks dominansi (C) sebesar 0,389 menunjukkan bahwa ada spesies yang lebih mendominasi dibandingkan yang dengan spesies lainnya.

Nilai indeks keanekaragaman yang rendah dalam ekosistem mangrove ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti adaptasi, yang dapat mengakibatkan spesies lain tidak mampu bertahan dan tidak dapat tumbuh pada lokasi tersebut. Menurut (Hasibuan et al., 2023). Menyatakan bahwa salah satu daerah yang ditumbuhi oleh tumbuhan mangrove adalah daerah Kabupaten Luwu Utara salah satunya berada di Kecamatan Malange Barat Desa Pao. Daerah ini merupakan daerah yang memiliki area pantai yang masih asri. Selain itu, daerah ini merupakan daerah pariwisata setiap tahunnya oleh masyarakat sekitar, sehingga kelestarian lingkungan yang ada perlu dijaga keberadaannya. Selain memiliki fungsi ekologis, tumbuhan mangrove juga memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia. Secara fisik, ekosistem mangrove berperan sebagai pelindung alami pantai dengan meredam energi gelombang, menahan abrasi,

serta mengurangi intrusi air laut. Selain itu, proses dekomposisi serasah mangrove menghasilkan bahan organik yang menjadi sumber nutrisi dan mendukung keberlangsungan berbagai organisme, seperti ikan, kepiting, dan biota laut lainnya.

Nilai keseragaman 0,903 menunjukkan bahwa spesies dalam komunitas ini tersebar cukup merata, meskipun jumlah spesiesnya yang tidak banyak. Dalam ekosistem mangrove, pola penyebaran spesies dapat dipengaruhi oleh faktor ekologi. Nilai keseragaman yang tinggi menunjukkan bahwa tidak ada satu spesies yang benar-benar mendominasi sehingga ekosistem mangrove pada Desa Pao, Kec. Malangke, Kab. Luwu Utara masih dalam kondisi yang seimbang. Menurut penelitian (Burgess et al., 2000) menyatakan bahwa mangrove hidup pada ekosistem wilayah Kab. Luwu Utara kec. Malangke Barat Desa Pao, berinteraksi antara perairan payau, sungai, laut, dan terestial. Interaksi ini menjadikan ekosistem mangrove mempunyai keanekaragaman hayati yang tinggi sehingga menjadi lahan basah yang paling produktif di dunia termasuk Indonesia, Struktur komunitas vegetasi menjadi aspek penting guna mengetahui kondisi ekosistem pesisir dan peranan ekosistem mangrove terhadap lingkungan khususnya di kawasan pesisir pantai Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kondisi struktur komunitas vegetasi mangrove di pesisir pantai Kepulauan Karimunjawa, sebagai bahan pertimbangan upaya pengelolaan kawasan mangrove yang berkelanjutan.

Nilai indeks dominansi sebesar 0,3893 menunjukkan bahwa terdapat spesies mangrove yang lebih dominan dibandingkan spesies lainnya, namun tingkat dominasinya masih tergolong sedang dan belum menunjukkan adanya penguasaan komunitas oleh satu spesies tertentu. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun beberapa spesies memiliki daya kompetisi yang lebih tinggi, komunitas mangrove masih memiliki tingkat keanekaragaman yang cukup untuk menjaga stabilitas ekosistem. Indeks keseragaman memiliki nilai rendah diduga spesies yang sedikit, semakin kecil nilai keseragaman jenis maka semakin kecil pula nilai keseragaman komunitas perairan tersebut. Artinya penyebaran jenis dan jumlah individu tidak sama dan ada kecenderungan suatu komunitas didominasi oleh jenis tertentu. Secara keseluruhan nilai keseragaman yang didapatkan dari hasil penelitian menunjukkan nilai yang bervariasi. Suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi distribusi suatu organisme. Dari hasil pengukuran suhu di ekosistem mangrove Desa Tireman suhu perairan menunjukkan nilai kisaran 24 – 28 °C. Nilai rata-rata Indeks Dominansi pada TR I (0,45) dan TR III (0,33) tidak ada spesies yang mendominasi (Ariani et al., 2019).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Harefa *et al.*, 2023), yang melaporkan bahwa indeks keanekaragaman mangrove asosiasi di kawasan mangrove Desa Langge, Kecamatan Anggrek, Kabupaten Gorontalo Utara termasuk dalam kategori sedang. Kategori tersebut didasarkan pada nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') yang berada pada rentang $1 \leq H' \leq 3$. Menurut (Hasan & Nurmiati, 2022), nilai H' digunakan untuk menggambarkan tingkat keanekaragaman spesies dalam suatu komunitas. Nilai $H' < 1$ menunjukkan keanekaragaman rendah, nilai $1 \leq H' \leq 3$ menunjukkan keanekaragaman sedang, sedangkan nilai $H' > 3$ menunjukkan keanekaragaman tinggi. Dengan demikian, nilai indeks keanekaragaman yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa komunitas mangrove memiliki tingkat keanekaragaman yang sedang.

Dengan hasil indeks keanekaragaman yang didapatkan maka dapat dikatakan kawasan hutan mangrove di Desa Langge Kecamatan Anggrek Kabupaten Gorontalo Utara ini masih dalam kondisi yang baik artinya bahwa ekosistem mangrove tersebut

memiliki produktifitas yang cukup, tekanan ekologis sedang serta kondisi ekosistem cukup seimbang dimana komponen-komponen ekosistem tersedia dalam jumlah yang cukup dan berfungsi sesuai karakteristik masing-masing ekosistem, baik itu komponen biotik dan komponen abiotik. Keadaan lingkungan pada lokasi penelitian baik suhu, salinitas, dan pH masih dapat mendukung adanya pertumbuhan mangrove pada kawasan ini, walaupun sebagian area kawasan mangrove di wilayah ini masih terlihat adanya pembukaan lahan untuk pembangunan pemukiman di beberapa areal kawasan mangrove yang dikarenakan campur tangan manusia yang bersifat merusak mangrove dan menurunnya jumlah individu dari suatu spesies mangrove asosiasi.

Keanekaragaman jenis mangrove tergolong rendah yang mana disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain kondisi lingkungan yang kurang mendukung untuk pertumbuhan jenis tertentu atau di karenakan pemanfaatan yang berlebihan. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Baderan et al. (2020), yang menemukan bahwa tingkat keanekaragaman hutan mangrove tergolong rendah akibat adanya berbagai aktivitas manusia. Aktivitas tersebut menyebabkan perubahan kondisi lingkungan yang berdampak pada struktur dan komposisi vegetasi mangrove. Beberapa faktor yang memengaruhi rendahnya keanekaragaman ekosistem mangrove meliputi aktivitas manusia, seperti pembangunan lahan, penebangan hutan, dan urbanisasi menghancurkan area mangrove, mengurangi ruang bagi spesies untuk tumbuh. Polusi limbah dari industri dan pemukiman dapat mencemari air dan tanah di ekosistem mangrove, yang berdampak negatif pada kesehatan tanaman dan hewan.

Rendahnya keanekaragaman mangrove dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain perubahan iklim, penangkapan ikan yang berlebihan, keberadaan spesies invasif, serta pengelolaan ekosistem yang belum optimal. Perubahan iklim, seperti peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan, dapat mengubah kondisi lingkungan sehingga menghambat kemampuan adaptasi beberapa spesies. Praktik penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem dan menurunkan populasi biota yang bergantung pada habitat mangrove. Selain itu, keberadaan spesies invasif dapat meningkatkan kompetisi dengan spesies lokal sehingga mengurangi keanekaragaman hayati. Minimnya upaya konservasi dan pengelolaan yang efektif juga dapat mempercepat eksploitasi sumber daya secara tidak berkelanjutan. Secara keseluruhan, kombinasi faktor-faktor tersebut mengancam keberlanjutan ekosistem mangrove dan menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati.

Berdasarkan hasil analisis, nilai indeks keseragaman pada lokasi penelitian tergolong tinggi. Tingginya nilai indeks keseragaman menunjukkan bahwa distribusi individu antarspesies relatif merata sehingga tidak terdapat spesies yang mendominasi secara berlebihan. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah jumlah spesies yang ditemukan pada lokasi penelitian. Menurut Sriwahjuningsih et al. (2022), indeks keseragaman dipengaruhi oleh jumlah spesies dan kelimpahan individu dari masing-masing spesies dalam suatu komunitas. Semakin merata jumlah individu pada setiap spesies, maka nilai indeks keseragaman akan semakin tinggi. Sebaliknya, apabila jumlah spesies sedikit atau terdapat satu hingga beberapa spesies yang memiliki jumlah individu jauh lebih besar dibandingkan spesies lainnya, maka nilai keseragaman akan menurun. Kondisi tersebut umumnya diikuti oleh rendahnya keanekaragaman spesies, terutama pada komunitas yang berada di bawah tekanan faktor fisik maupun biologis atau pada ekosistem yang mengalami gangguan.

Keseragaman dalam ekosistem mangrove dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling terkait. Salah satu faktor utama adalah kondisi lingkungan, termasuk variasi

salinitas dan kualitas tanah, yang dapat membatasi pertumbuhan spesies tertentu. Kerusakan habitat akibat konversi lahan untuk pembangunan, pertanian, dan urbanisasi juga berkontribusi pada rendahnya keseragaman, karena mengurangi luas area yang dapat dihuni oleh mangrove. Selain itu, polusi dari limbah industri dan domestik dapat mencemari tanah dan air, mengganggu kesehatan spesies mangrove. Perubahan iklim, termasuk kenaikan suhu dan permukaan laut, membuat kondisi habitat menjadi tidak stabil, sehingga menghambat keberagaman spesies. Eksploitasi berlebihan, seperti penebangan hutan dan penangkapan ikan yang tidak berkelanjutan, juga dapat mengurangi keragaman hayati di ekosistem mangrove. Kehadiran spesies invasif yang bersaing dengan spesies lokal lebih lanjut memperburuk situasi ini. Kurangnya pengelolaan yang efektif dan kesadaran masyarakat tentang pentingnya ekosistem mangrove dapat menghambat upaya konservasi, sehingga mempengaruhi keseragaman dalam ekosistem tersebut (Vidalia et al., 2023).

Nilai indeks dominansi pada stasiun-1 yaitu 0,241, nilai ini menunjukkan bahwa jenis mangrove yang menempati wilayah tersebut memiliki dominansi rendah (Ariani et al., 2019). Salah satu faktor yang mempengaruhi rendahnya indeks dominansi pada transek pengamatan 1, 2 dan 3 yaitu masih ditemukannya beberapa spesies mangrove yang berbeda dengan jumlah tertentu. Kategori tersebut mengindikasikan bahwa pada transek 1, 2 dan 3 tidak terdapat spesies mangrove yang mendominasi secara berarti, sehingga komunitas masih dalam kondisi yang baik dan cukup stabil. Jika komunitas tertentu didominasi oleh suatu spesies, maka nilai indeks dominansi akan mendekati 1. Sebaliknya, jika suatu komunitas tidak didominasi oleh spesies tertentu, maka nilai indeks dominansi akan mendekati 0 (Sunardi et al., 2015).

Berdasarkan hasil analisis vegetasi mangrove di Desa Pao, Kecamatan Malangke Barat, Kabupaten Luwu Utara, diketahui bahwa dominansi spesies dan jumlah individu berpengaruh terhadap persentase tutupan kanopi. Rendahnya persentase tutupan kanopi pada lokasi penelitian diduga berkaitan dengan dominannya spesies *Avicennia marina*. Meskipun spesies ini memiliki jumlah individu yang tinggi, *A. marina* umumnya memiliki ukuran daun yang relatif lebih kecil dibandingkan beberapa spesies mangrove lainnya sehingga menghasilkan tutupan tajuk yang tidak terlalu rapat. Menurut (Dinilhuda et al., 2020) rendahnya persentase tutupan kanopi dapat dipengaruhi oleh kondisi vegetasi mangrove yang heterogen. Komposisi jenis yang beragam dalam suatu komunitas menyebabkan variasi bentuk tajuk, ukuran daun, dan pola percabangan sehingga memengaruhi tingkat penutupan kanopi. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Kassagi et al., 2024), yang menyatakan bahwa semakin luas permukaan daun suatu spesies, semakin besar kemampuan tajuknya dalam membentuk tutupan kanopi yang rapat. Dengan demikian, perbedaan karakteristik morfologi antar spesies, khususnya ukuran daun dan bentuk tajuk, turut memengaruhi besarnya persentase tutupan kanopi pada ekosistem mangrove. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa jumlah individu yang tinggi tidak selalu diikuti oleh tingginya persentase tutupan kanopi. Selain dipengaruhi oleh kelimpahan individu, tutupan kanopi juga ditentukan oleh karakter morfologi setiap spesies, seperti ukuran daun, arsitektur tajuk, dan tingkat percabangan. Oleh karena itu, struktur vegetasi dan komposisi spesies menjadi faktor penting yang menentukan kondisi tutupan kanopi pada ekosistem mangrove.

Rendahnya dominansi mangrove dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan maupun aktivitas antropogenik. Perubahan salinitas akibat pasang surut dan curah hujan dapat memengaruhi pertumbuhan mangrove, karena setiap spesies memiliki tingkat toleransi salinitas yang berbeda. Spesies tertentu mungkin tidak mampu

beradaptasi terhadap fluktuasi salinitas sehingga pertumbuhannya menjadi terhambat. Selain itu, keberadaan spesies non-asli yang bersifat lebih kompetitif dapat meningkatkan persaingan dalam memperoleh sumber daya, seperti cahaya, air, ruang tumbuh, dan unsur hara. Aktivitas manusia, seperti penebangan untuk pembangunan, pertanian, maupun eksploitasi sumber daya lainnya, juga dapat mengurangi luas kawasan mangrove sehingga berdampak pada menurunnya dominansi spesies mangrove. Di sisi lain, perubahan iklim berpotensi mengubah kondisi habitat mangrove sehingga menjadi kurang sesuai bagi pertumbuhan spesies tertentu. Kondisi tanah yang mengalami degradasi atau pencemaran turut memengaruhi kemampuan mangrove untuk tumbuh dan berkembang secara optimal. Selain faktor-faktor tersebut, minimnya upaya konservasi dan pengelolaan ekosistem mangrove yang efektif juga dapat menyebabkan penurunan populasi serta dominansi mangrove dalam suatu ekosistem (Taher, 2021).

Parameter Lingkungan

Data pengukuran parameter lingkungan pada setiap plot pengamatan disajikan pada Tabel 3. Pengukuran parameter lingkungan dilakukan untuk menggambarkan kondisi habitat pada kawasan mangrove di Desa Pao, Kecamatan Malangke Barat, Kabupaten Luwu Utara.

Tabel 3. Parameter lingkungan

Plot	Kebisingan (dBA)	Kecepatan angin (m/s)	Cahaya (Lux)	pH tanah	pH air
1	74,1	4,4	5.607	7,0	7,23
2	81,1	3,4	5.001	4,3	7,39
3	71,5	4,8	1.309	5,5	7,33

pH tanah merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kesuburan tanah dan kemampuan tanaman untuk menyerap unsur hara. Berdasarkan data yang diperoleh dari tiga lokasi tanah di kawasan mangrove, dapat dilihat adanya variasi pH tanah yang cukup signifikan. Lokasi pertama memiliki pH 5,5, yang termasuk dalam kategori tanah sedikit asam. Lokasi kedua memiliki pH 4,3, yang tergolong sangat asam, sementara lokasi ketiga memiliki pH 7,0, yang tergolong netral.

Tanah dengan pH 5,5 pada lokasi pertama masih dalam kisaran yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman mangrove, meskipun ketersediaan beberapa unsur hara seperti kalsium dan fosfor mungkin sedikit terhambat. Pada lokasi kedua dengan pH 4,3, yang tergolong sangat asam, ketersediaan unsur hara penting bisa sangat terganggu, dan tanaman mangrove mungkin mengalami kesulitan dalam menyerap nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya. Tanah yang sangat asam ini juga dapat mengurangi aktivitas mikroorganisme tanah yang membantu proses dekomposisi bahan organik. Sementara itu, lokasi ketiga dengan pH 7,0, yang tergolong netral, merupakan pH ideal bagi sebagian besar tanaman, termasuk mangrove, karena ketersediaan unsur hara lebih seimbang dan dapat diserap dengan baik oleh tanaman (Taher, 2021).

Meskipun tanaman mangrove memiliki toleransi terhadap kondisi tanah yang asam, pH tanah yang sangat rendah seperti pada lokasi kedua (pH 4,3) mungkin memerlukan perbaikan agar tanaman dapat tumbuh lebih optimal. Salah satu cara untuk meningkatkan pH tanah yang sangat asam adalah dengan menambahkan kapur pertanian, yang dapat menetralkan keasaman tanah dan memperbaiki ketersediaan unsur hara. Pemantauan pH tanah secara rutin dan penyesuaian pH yang diperlukan sangat penting untuk memastikan keberlanjutan ekosistem mangrove yang sehat di kawasan ini. Menurut (Zuhri Multazam, 2023). Salah satu parameter penting yang memengaruhi kualitas tanah adalah nilai pH.

Nilai pH tanah sangat penting karena memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman mangrove, sehingga perubahan pH tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

Hasil pengukuran pH air pada tiga lokasi yang dianalisis menunjukkan hasil yang cukup konsisten. Untuk lokasi pertama, nilai pH air tercatat sebesar 7,32, yang menunjukkan bahwa air tersebut memiliki tingkat keasaman yang rendah. Pada lokasi kedua, nilai pH yang diperoleh adalah 7,39, yang sedikit lebih tinggi, menunjukkan bahwa air cenderung lebih mendekati kondisi netral. Sedangkan pada lokasi ketiga, nilai pH yang tercatat adalah 7,33, yang juga menunjukkan tingkat keasaman yang rendah. Secara keseluruhan, nilai pH air dari ketiga lokasi ini berada dalam kisaran yang serupa, mengindikasikan bahwa air tersebut memiliki kualitas yang relatif seimbang dan tidak terlalu asam atau basa (Badu et al., 2022).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh data tingkat kebisingan pada pengulangan pertama sebesar 74,1 desibel, pengulangan kedua sebesar 81,1 desibel, dan pengulangan ketiga sebesar 71,5 desibel. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat kebisingan di lokasi penelitian cenderung tinggi dan berfluktuasi. Kebisingan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres pada satwa liar, mengganggu komunikasi antar hewan, serta mendorong perubahan perilaku atau migrasi ke habitat yang lebih tenang. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan kebisingan menjadi penting dalam menjaga kualitas lingkungan dan keberlanjutan ekosistem alami, khususnya di kawasan yang menjadi tempat hidup berbagai spesies sensitif terhadap suara. Menurut jurnal (Hasan & Nurmiati, 2022). Menyatakan bahwa Kebisingan yang ditimbulkan dari aktivitas manusia memberikan pengaruh negatif terhadap proses komunikasi serangga yang berdampak pada rendahnya jumlah individu (Putra, 2022).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh data kecepatan angin pada pengulangan pertama sebesar 4,4 meter per detik, pengulangan kedua sebesar 3,4 meter per detik, dan pengulangan ketiga sebesar 4,8 meter per detik. Variasi kecepatan angin ini menunjukkan bahwa kondisi angin di lokasi penelitian cukup dinamis, namun masih berada dalam kisaran sedang yang mendukung proses ekologi alami, seperti penyebaran benih oleh angin (anemokori) dan keseimbangan suhu mikro di habitat sekitar. Nilai-nilai ini juga memberikan gambaran bahwa lingkungan tersebut memiliki potensi ekologi yang stabil, yang penting untuk keberlangsungan spesies tumbuhan dan hewan yang bergantung pada sirkulasi udara alami. Data ini menjadi dasar yang berguna untuk memahami interaksi antara angin dan komponen lingkungan lainnya dalam ekosistem. Menurut jurnal penelitian (Hasan & Nurmiati, 2022). Kecepatan angin di sekitar lokasi panel surya sangat mempengaruhi efisiensi panel surya, hal ini bisa membantu menjaga suhu kaca pada sel surya tetap rendah sehingga suhu kerja pada sel surya tetap optimal. Daya output yang dihasilkan pada panel surya tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari saja, akan tetapi juga dipengaruhi oleh cuaca, seperti kecepatan angin, suhu serta kelembaban. Apabila suhu pada panel naik melebihi suhu standarnya maka akan menimbulkan turunnya daya yang dihasilkan, dikarenakan efisiensi panel nya juga menurun.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, tercatat bahwa intensitas cahaya pada pengulangan pertama mencapai 5.607 lux, pada pengulangan kedua sebesar 5.001 lux, dan pada pengulangan ketiga turun menjadi 1.309 lux. Perbedaan nilai ini menunjukkan adanya variasi pencahayaan yang cukup signifikan, kemungkinan disebabkan oleh kondisi cuaca, waktu pengukuran, atau tutupan vegetasi di sekitar lokasi. Cahaya yang cukup sangat dibutuhkan bagi ekosistem, terutama di daerah pesisir atau hutan mangrove,

untuk menunjang pertumbuhan tumbuhan yang menjadi dasar rantai makanan. Oleh karena itu, pemantauan terhadap intensitas cahaya penting dilakukan guna memahami keseimbangan ekosistem dan mendukung upaya konservasi yang berkelanjutan Menurut (Hartawan & Sarjono, 2016). ilmuwan penelitian menyatakan bahwa ekologi juga berdampak terhadap intensitas cahaya, dimana pada langit dataran tinggi banyak terdapat awan yang akan mengurangi intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman. Pengaruh cahaya bukan hanya bergantung kepada intensitas cahaya saja, namun ada faktor lain yang terdapat pada cahaya, yaitu berkaitan dengan panjang gelombangnya (Sriwahjuningsih et al., 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ditemukan tiga jenis mangrove di kawasan ekosistem mangrove Luwu Utara, yaitu *Rhizophora mangle*, *R. mucronata*, dan *Sonneratia caseolaris*. Dari ketiganya, spesies yang paling dominan adalah *R. mucronata* dengan jumlah total 138 aksesi. Nilai keanekaragaman (H') sebesar 0,99 menunjukkan tingkat keanekaragaman yang rendah pada lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, N. M. D., Swasta, I. B. J., & Adnyana, P. B. (2019). Studi tentang keanekaragaman dan kelimpahan mollusca bentik serta faktor-faktor ekologis yang mempengaruhinya di Pantai Mengening, Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(3), 146–157. <https://doi.org/10.23887/jjpb.v6i3.21986>.
- Baderan, D. W. K., Hamidun, M. S., Ahmad, J., Kandowanko, N. Y., Lamangantjo, C. J., Dama, L., Ibrahim, M., Kumaji, S. S., Retnowati, Y., Nusantara, E., Mamu, H., Dahlan, S. A., Angio, M. H., & Husain, I. H. (2020). *Pemanfaatan keanekaragaman hayati dan ekosistem hutan dengan kearifan lokal Tumba Tamaila Utara Kabupaten Gorontalo*. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Gorontalo.
- Badu, M. M. S., Sospelisa, F., & Sahupala, A. (2022). Analisis faktor ekologis vegetasi mangrove di Negeri Eti Teluk Piru Kabupaten Sbb. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 6(1), 44–56. <https://doi.org/10.30598/10.30598.jhppk.2022.6.1.44>.
- Burgess, M., Enzle, M. E., & Morry, M. (2000). The social psychological power of photography: Can the image-freezing machine make something of nothing? *European Journal of Social Psychology*, 30, 613–630. [https://doi.org/10.1002/1099-0992\(200009/10\)30:53.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1099-0992(200009/10)30:53.0.CO;2-S).
- Dinilhuda, A., Akbar, A. A., Jumiati, & Herawati, H. (2020). Potentials of mangrove ecosystem as storage of carbon for global warming mitigation. *Biodiversitas*, 21(11), 5353–5362. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211141>.
- Harefa, M. S., Pasaribu, P., Alfatha, R. R., Benny, X., & Irfani, Y. (2023). Identifikasi pemanfaatan hutan mangrove oleh masyarakat (studi kasus Kecamatan Teluk Mengkudu Kabupaten Serdang Bedagai). *Journal of Laguna Geography*, 2(1), 9–15. <https://doi.org/10.52562/joulage.v2i1.649>.
- Hartawan, R., & Sarjono, A. (2016). Karakterisasi fisik dan produksi kelapa dalam (*Cocos nucifera* L.) di berbagai ekologi lahan. *Jurnal Media Pertanian*, 1(2), 45–54. <https://doi.org/10.33087/jagro.v1i2.15>.
- Hasan, P. A., & Nurmia, N. (2022). Keanekaragaman serangga pengunjung bunga mangrove di Gonda Mangrove Park Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 19(1), 33–41. <https://doi.org/10.5994/jei.19.1.33>.
- Hasibuan, A., Oktawirana, D. S., Asia, E. S. N., & Kesogihen, M. (2023). Analisis dampak limbah rumah tangga pencemaran lingkungan di Desa Tigapanah, Kecamatan Tigapanah, Kabupaten Karo. *Journal Institut Agama Islam Sultan Muhammad Syafiuddin Sambas*, 6(2), 1190–1196.
- Janwar, Z. (2015). Biodiversitas mangrove di Desa Bontolebang Kabupaten Kepulauan Selayar. [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Kassagi, M. F. A., Ario, R., & Soenardjo, N. (2024). Kajian persentaseutupan kanopi mangrove menggunakan metode hemispherical photography di Desa Sambiroto dan Desa Keboromo, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 13(1), 51–59. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i1.35424>.
- Marwati, A. D., Yulianto, A. N., & Setiyabudi, L. (2021). Formulasi dan evaluasi sifat fisik tablet hisap

- kombinasi ekstrak daun bakau hitam (*Rhizophora mucronata*) dan vitamin c sebagai antioksidan. *Jurnal Ilmiah JOPHUS: Journal Of Pharmacy UMUS*, 2(01), 21–27. <https://doi.org/10.46772/jophus.v2i01.270>.
- Multazam, Z. (2023). Kajian Nilai pH tanah pada berbagai toposekuen dan kelas lereng yang berbeda pada lahan perkebunan karet rakyat di Kecamatan Pelepat Ilir, Kabupaten Bungo, Jambi. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 179–188. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i2.2709>.
- Pambudi, D. B., Rahmatullah, S., Santika, K., & Nafisa, I. (2025). Antioxidant activity of red pidada leaf extract (*Sonneratia caseolaris* Engl.) ABTS method (2,2 azinobis (3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid). *The 6th BIS-STE 2024 in conjunction with The 2nd INTERCONNECTS 2024* 2, 2–8. <https://doi.org/10.31603/bishes.288>.
- Putra, W. D. (2022). Analisis perubahan sosial, tinjauan ekonomi dan ekologis akibat beroperasinya jalan layang tol Andi Pangerang Pettarani. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 7(1), 57–65. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v7i1.542>.
- Sriwahjuningsih, Hudi Hernawan, dan Nurul Fitri. (2022). Indeks ekologi gastropoda sebagai bioindikator pencemaran air di ekowisata Situ Bagendit Kecamatan Banyuresmi Kabupaten Garut. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 3(1), 33–43. <https://doi.org/10.36312/jcm.v3i1.554>.
- Sunardi, Prasadja, M. E., Sembiring, F. (2015). Sintesis ferri klorida dari scrap besi bengkel bubut. *Ekosains*, 7(2), 117–120.
- Taher, Y. A. (2021). Dampak pupuk organik dan anorganik terhadap perubahan sifat kimia tanah dan produksi tanaman padi (*Oriza sativa* L.). *Jurnal Menara Ilmu*, 15(2), 67–76. <https://doi.org/10.31869/mi.v15i2.2314>.
- Vidalia, C., Angelina, E., Hans, J., Field, L. H., Santo, N. C., & Rukmini, E. (2023). Eco-enzyme as disinfectant: a systematic literature review. *International Journal of Public Health Science*, 12(3), 1171–1180. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v12i3.22131>.
- Zega, A., Susanti, N. M., Tillah, R., Laoli, D., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., Dawolo, J., Zebua, O., & Gea, A. S. A. (2024). Strategi inovatif dalam menghadapi degradasi ekosistem: Kajian terbaru tentang peran vital hutan mangrove dalam konservasi lingkungan. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2), 71–83. <https://doi.org/10.62951/zoologi.v2i2.65>.