

Struktur dan Komposisi Hutan Mangrove di Negeri Kamarian Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat, Maluku

Creysmen Ginesio Pentury¹, Irwanto Irwanto^{2*}, Moda Talaohu³

^{1,2,3}Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

Email: ¹creysmenginesio@gmail.com, ^{2*}irwantoshut@gmail.com, ³modatalaohu@gmail.com

Abstract

*Mangrove forests represent one of the most ecologically and economically significant coastal ecosystems. Ecologically, well-structured mangrove vegetation functions as a natural buffer protecting coastlines from erosion, saltwater intrusion, and tidal wave impacts. This research aims to determine the structure and composition of mangrove forests and identify mangrove growth habitats in Kamarian. The vegetation analysis employed the line plot method with measurement plots of 20 m × 20 m for all growth stages (seedling, sapling, and tree), consisting of two blocks: Block A with 36 plots covering 1.44 ha, and Block B with 25 plots covering 1.00 ha. Results indicate that mangrove forests in Kamarian can be classified into four strata according to tree height: Stratum A (20-28 m), Stratum B (5-20 m), Stratum C (1-5 m), and Stratum D (0-1 m). Tree diameter variations ranged from 10 to 148 cm, with heights reaching 5-28 meters. Block A contained four mangrove species: *Sonneratia alba*, *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata*, and *Sonneratia caseolaris*, while Block B contained only two species: *Aegiceras corniculatum* and *Sonneratia alba*. The Shannon-Wiener species diversity index for all growth stages in Kamarian's mangrove forests ranged from 0.20 to 0.81, categorized as low diversity.*

Keywords: Mangrove Structure, Mangrove Forest, Profile Diagram, Mangrove Habitat, Negeri Kamarian.

Abstrak

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki peran ekologis dan ekonomis yang sangat penting. Secara ekologis dengan struktur vegetasi yang baik ekosistem Mangrove berfungsi sebagai penyangga alami yang melindungi garis pantai dari abrasi, intrusi air laut, dan dampak gelombang pasang. Penelitian ini bertujuan mengetahui struktur dan komposisi hutan mangrove serta mengidentifikasi habitat pertumbuhan mangrove di Negeri Kamarian. Metode analisis vegetasi yang digunakan adalah metode garis berpetak dengan luas petak ukur untuk semua tingkat pertumbuhan semai, pancang, dan pohon adalah 20 m x 20 m, terdiri dari dua blok: Blok A dengan 36 petak seluas 1,44 ha, dan Blok B dengan 25 petak seluas 1,00 ha. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hutan mangrove di Negeri Kamarian dapat diklasifikasikan menjadi empat strata menurut tinggi pohon, yaitu Strata A (20 m-28 m), Strata B (5 m-20 m), Strata C (1 m-5 m), dan Strata D (0 m-1 m). Variasi diameter pohon berkisar antara 10 - 148 cm, dengan tinggi pohon mencapai 5 - 28 meter. Pada blok A ditemukan empat spesies mangrove, yaitu *Sonneratia alba*, *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata* dan *Sonneratia caseolaris*, sementara blok B hanya ditemukan dua spesies, yaitu *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*. Indeks keanekaragaman spesies Shannon-wiener hutan mangrove di Negeri Kamarian seluruh tingkat pertumbuhan hanya berkisar 0,20-0,81 yang masuk dalam kategori rendah.

Kata Kunci: Struktur Mangrove, Hutan Mangrove, Diagram Profil, Habitat Mangrove, Negeri Kamarian.

1. PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki peran ekologis dan ekonomis yang sangat penting. Secara ekologis, ekosistem ini berfungsi sebagai penyangga alami yang melindungi garis pantai dari abrasi, intrusi air laut, dan dampak gelombang pasang (Decker *et al.*, 2022). Selain itu, mangrove juga berperan

dalam menyerap karbon, menyediakan habitat bagi berbagai jenis biota laut dan darat, serta mendukung siklus nutrien di lingkungan pesisir (Alongi, 2021). Secara ekonomis, hutan mangrove memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar, seperti hasil kayu, bahan baku industri, dan sebagai daerah pemijahan serta pembesaran berbagai jenis ikan, udang, dan kepiting yang memiliki nilai ekonomi tinggi (De Silva & Amarasinghe, 2023; Sun *et al.*, 2024).

Namun, ekosistem mangrove di berbagai wilayah mengalami degradasi akibat tekanan antropogenik, seperti alih fungsi lahan, eksplorasi sumber daya secara berlebihan, serta pencemaran lingkungan. Berkurangnya luas hutan mangrove dapat menyebabkan hilangnya fungsi ekologisnya, termasuk menurunnya keanekaragaman hayati serta terganggunya keseimbangan ekosistem pesisir (Barbanera *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pemantauan terhadap kondisi ekosistem mangrove, terutama melalui analisis struktur dan komposisi vegetasi, menjadi langkah penting dalam upaya konservasi dan pengelolaan berkelanjutan (Bathmann *et al.*, 2021; De Silva & Amarasinghe, 2023).

Negeri Kamarian di Kecamatan Kairatu, memiliki kawasan mangrove yang mengalami degradasi namun masih memiliki potensi ekologis yang dapat diharapkan. Garis pantai Negeri Kamarian sepanjang 12,980 meter namun hanya 504 meter pada Blok A dan 456 meter pada Blok B yang masih terlindungi mangrove ini berarti hanya 7,39% pantai yang terlindung oleh mangrove. Keberadaan hutan mangrove di wilayah ini berperan penting dalam menjaga kestabilan lingkungan pesisir serta menjadi sumber daya bagi masyarakat sekitar. Namun, belum terdapat penelitian yang mengkaji secara spesifik struktur dan komposisi vegetasi hutan mangrove di wilayah ini.

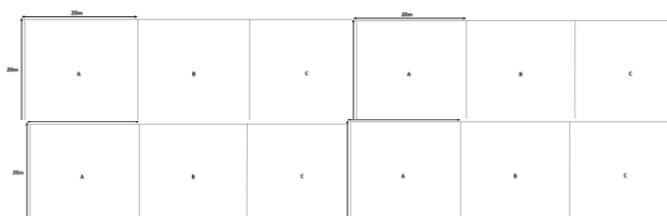
Kajian struktur dan komposisi vegetasi dalam ekosistem mangrove sangat penting untuk mendukung pengelolaan yang berkelanjutan. Struktur vegetasi, seperti kerapatan, tinggi tajuk, dan diameter batang, mencerminkan kondisi kesehatan ekosistem, sementara komposisi vegetasi menunjukkan keanekaragaman hayati yang ada (Bathmann *et al.*, 2021; Quadros *et al.*, 2021). Struktur vegetasi yang baik akan memengaruhi berbagai fungsi ekologis, seperti efisiensi penyerapan karbon, kestabilan tanah, dan kemampuan ekosistem dalam meredam energi gelombang, sehingga memberikan perlindungan terhadap abrasi pantai. Informasi ini menjadi dasar dalam merancang strategi rehabilitasi berbasis spesies lokal, menentukan area prioritas konservasi, serta mendukung pengelolaan berbasis ekosistem untuk memaksimalkan fungsi ekologis seperti perlindungan pantai dan penyimpanan karbon.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

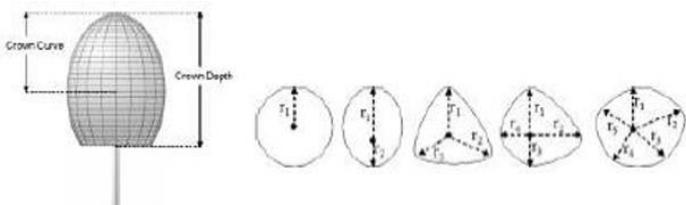
Tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan petak ukur 20m x 20m untuk semua tingkat pertumbuhan (semai, pancang, dan pohon) dan dilakukan inventarisasi 100% (Sensus) menggunakan petak berukuran. Bentuk dan ukuran petak ukur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk dan Ukuran Petak di Lapangan

2. Mengidentifikasi semua spesies mangrove yang terdapat dalam petak pengamatan dan mencatat jumlah individu dari setiap spesies yang dalam petak serta pengukuran tinggi dan diameter batang (dbh) dari semua pohon yang ada dalam petak.
3. Selanjutnya Pengukuran Parameter Lingkungan yaitu pengukuran salinitas, pH dan tekstur tanah dilakukan pada beberapa titik yaitu sudut-sudut dan tengah petak. Sedangkan suhu, kelembaban, dan cahaya dilakukan di dalam hutan mangrove pada pagi hari, siang hari dan sore hari.
4. Pembuatan diagram profil secara vertikal dan horizontal (40mx60m), dari vegetasi pohon dan pancang. Pohon dan pancang yang diamati dan dimasukkan ke dalam gambar. Pengamatan dan pengukuran yang dilakukan meliputi identifikasi jenis pohon, tinggi pohon, diameter pohon, letak pohon terhadap pohon lainnya (Habdiansyah *et al.*, 2015) serta pengukuran tajuk, lebar tajuk dari keempat sisi (Gambar 2).

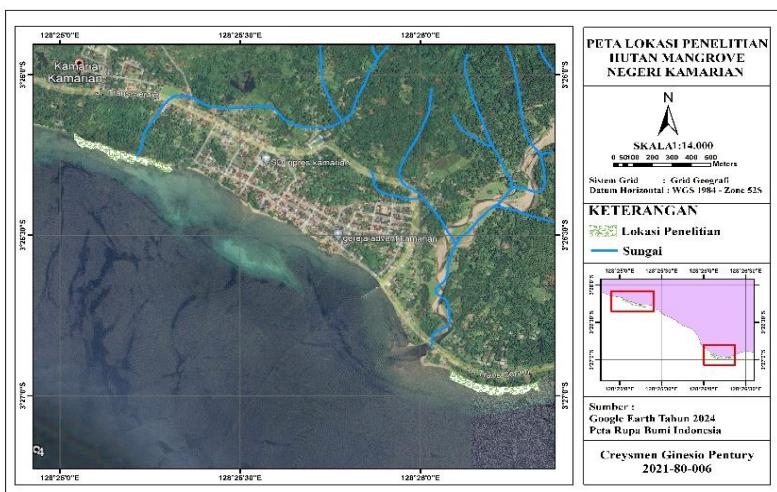


(Vincent & Harja, 2008)

Gambar 2 Cara Mengukur Tajuk Vertikal dan Horizontal

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian Struktur dan Komposisi Hutan Mangrove ini dilakukan pada Hutan Mangrove Negeri Kamarian, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku. Waktu penelitian selama 3 bulan yaitu dari Januari – Maret 2025. Lokasi penelitian di Negeri Kamarian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian Hutan Mangrove Negeri Kamarian

2.3 Alat dan Objek

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: kompas (Suunto), GPS (Garmin V), Phiband (Yamayo), Hagameter (Haga), tali dan meteran (Krisbow), kamera digital (Canon), alat tulis menulis dan lembar tally sheet, buku panduan pengenalan spesies mangrove Indonesia (Noor, 2006), refraktometer (ATC), termometer digital Krisbow, luxmeter (AS803), higrometer (digital fy-12), pH meter digital (ATC),

perangkat lunak Microsoft Excel 2010 untuk tabulasi, pengolahan, dan analisis data, serta ArcGIS 10.8 untuk pemetaan dan analisis spasial. Sedangkan yang menjadi objek penelitian adalah Hutan Mangrove di Negeri Kamarian Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat yang terdiri dari 2 Blok.

2.4 Metodologi Penelitian

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode berpetak dengan melakukan inventarisasi 100% (sensus) dengan jalur pengamatan sepanjang pesisir yang terdapat vegetasi mangrove kemudian dibuat petak-petak pengamatan. Identifikasi spesies mangrove pada petak pengamatan tersebut menurut kriteria tingkat tegakan:

- Semai: permudaan mulai dari kecambah sampai anakan setinggi < 1,5 m.
- Pancang: permudaan tinggi 1,5 m sampai berdiameter < 10 cm.
- Pohon: pohon dengan diameter ≥10 cm.

2.5 Metode Analisis data

Data vegetasi yang diperoleh kemudian dianalisis dengan cara menghitung nilai Kerapatan (K), Kerapatan Relatif (KR), frekuensi (F), Frekuensi Relatif (FR), Dominansi (D), Dominansi Relatif (DR), dan Indeks Nilai Penting (INP) (Kusmana, 1997; Ludwig & Reynolds, 1988; Soerianegara & Indrawan, 1998).

1. Kerapatan

- Kerapatan spesies (K) (Ind/Ha):

$$K = \frac{\sum \text{Individu suatu jenis}}{\text{Luas petak}} \quad (1)$$

- Kerapatan relatif (KR) (%) :

$$KR = \frac{K \text{ suatu spesies}}{K \text{ seluruh spesies}} \times 100 \quad (2)$$

2. Frekuensi

- Frekuensi spesies (F) :

$$F = \frac{\sum \text{petak ditemukan suatu jenis}}{\sum \text{seluruh petak}} \quad (3)$$

- Frekuensi relatif (FR) (%) :

$$FR = \frac{F \text{ suatu spesies}}{F \text{ seluruh spesies}} \times 100 \quad (4)$$

3. Luas Bidang Dasar

$$LBD = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (5)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} LBDS &= \text{Luas Bidang Dasar} \\ \pi &= \text{Konstanta (3,14)} \\ D &= \text{Diameter pohon} \end{aligned}$$

4. Domiansi

- Dominansi suatu spesies (D) (m^2/ha). D hanya dihitung untuk kategori pohon :

$$D = \frac{\text{Luas Bidang dasar suatu spesies}}{\text{Luas Petak}} \quad (6)$$

- Dominansi relatif (DR) (%). DR hanya dihitung untuk kategori pohon :

$$DR = \frac{D \text{ suatu spesies}}{D \text{ seluruh spesies}} \times 100$$

5. Indeks Nila Penting (INP)

- $INP = KR + FR + DR$ (pohon) (7)

- $INP = KR + FR$ (semai dan pancang) (8)

6. Indeks Keanekaragaman spesies

Untuk menentukan tingkat Keanekaragaman spesies vegetasi mangrove menggunakan analisis indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (Ludwig & Reynolds, 1988; Omayio *et al.*, 2019):

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) \ln p_i \quad (9)$$

Keterangan :

- H' = Indeks Keragaman Spesies
- p_i = n/N
- n = Nilai Kerapatan Spesies ke i
- N = Jumlah Nilai Kerapatan Semua Spesies

Kriteria nilai indeks keanekaragaman adalah sebagai berikut:

- $H' < 1$ = Tingkat keanekaragaman spesies rendah
- $H' 1-3$ = Tingkat keanekaragaman spesies sedang
- $H' > 3$ = Tingkat keanekaragaman spesies tinggi

7. Indeks Kesamaan dan Indeks Ketidaksamaan Spesies

Untuk mengetahui kesamaan spesies vegetasi pada 2 blok yang dibandingkan dengan menggunakan rumus Sorensen (Ellenberg & Mueller-Dombois, 1974; Soerianegara & Indrawan, 1998) sebagai berikut:

$$IS = \frac{2W}{a+b} \times 100 \quad (10)$$

Keterangan :

IS : *Indeks Similarity*.

W = Jumlah Nilai Penting Terkecil dari spesies yang terdapat pada kedua blok yang dibandingkan.

a = Jumlah nilai semua spesies pada salah satu blok.

b = Jumlah nilai semua spesies pada blok lainnya.

Sedangkan pola komunitas yang menunjukkan ketidaksamaan spesies dinyatakan dalam Indeks *Dissimilarity*:

$$ID = 100 - IS \quad (11)$$

Keterangan :

ID : *Indeks Dissimilarity*.

IS : *Indeks Similarity*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Struktur Hutan Mangrove Negeri Kamarian

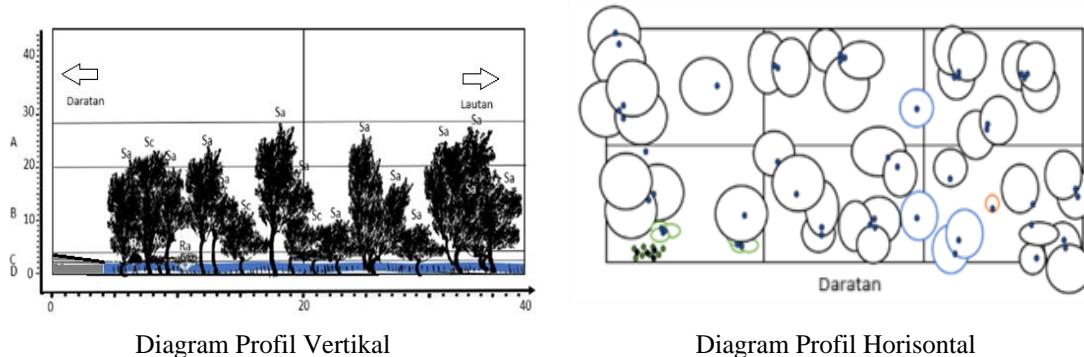
Negeri Kamarian termasuk dalam wilayah Kecamatan Kairatu, terletak pada pesisir Pantai Selatan Pulau Seram Kabupaten Seram Bagian Barat. Di Negeri Kamarian terdapat beberapa tipe hutan di antaranya hutan mangrove. Hutan mangrove Negeri Kamarian terdapat pada 2 lokasi yaitu Blok A dengan luas 1,44 ha dan blok B dengan luas 1,00 ha sedangkan jarak kedua hutan mangrove ini adalah 2 km. Pengamatan terhadap struktur komunitas vegetasi mangrove dilakukan pada strata pohon, pancang, dan semai.

Pada Blok A ditemukan 4 spesies mangrove yang tergolong dalam 3 famili yaitu Primulaceae, Rhizophoraceae, Lythraceae, sedangkan pada blok B terdapat 2 spesies mangrove yang termasuk dalam 2 famili yaitu Primulaceae dan Lythraceae. Diameter (dbh) pohon mangrove di kedua area ini bervariasi antara 10 s.d 148 cm, sementara tinggi pohon dapat mencapai antara 5 s.d 28 m. Stratifikasi dan diagram profil hutan Mangrove di Negeri Kamarian dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Stratifikasi Hutan Mangrove di Negeri Kamarian

Staratifikasi	Tinggi Vegetasi	Nama Spesies	Nama lokal
A	20 – 28 m	<i>Sonneratia alba</i> <i>Sonneratia caseolaris</i>	Mange-mange Mange-mange
B	5 – 20 m	<i>Sonneratia alba</i> <i>Sonneratia caseolaris</i>	Mange-mange Mange-mange
C	1 – 5 m	<i>Rhizophora apiculata</i> <i>Aegiceras corniculatum</i> <i>Sonneratia caseolaris</i> <i>Sonneratia alba</i>	Tongke-tongke Mangrove Buah Cili Mange-mange Mange-mange
D	0 – 1 m	<i>Rhizophora apiculata</i> <i>Aegiceras corniculatum</i> <i>Sonneratia caseolaris</i> <i>Sonneratia alba</i>	Tongke-tongke Mangrove Buah Cili Mange-mange Mange-mange

Hutan mangrove di Negeri Kamarian dapat diklasifikasikan menjadi 4 (empat) strata. Strata A, yang mencakup pohon dengan tinggi 20-28 meter, spesies yang mendominasi seperti *Sonneratia alba* dan *Sonneratia caseolaris*. Stratum B terdiri dari pohon-pohon dengan tinggi antara 5 hingga 20 meter, didominasi oleh spesies-spesies seperti, *Sonneratia caseolaris* dan *Sonneratia alba*. Stratum C terdiri antara 1 hingga 5 meter, didominasi oleh anakan dari tingkat semai hingga sapihan yaitu *Rhizophora apiculata*, *Aegiceras corniculatum*, *Sonneratia caseolaris* dan *Sonneratia alba*. Stratum D (0-1 meter) terdiri dari anakan dari tingkat semai yaitu; *Rhizophora apiculata*, *Aegiceras corniculatum*, *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*.



Keterangan :

- Lingkaran hitam : *Sonneratia alba* (Sa)
- Lingkaran orange : *Rhizophora apiculata* (Ra)
- Lingkaran hijau : *Aegiceras corniculatum* (Ac)
- Lingkaran Biru : *Sonneratia caseolaris* (Sc)

Gambar 4. Diagram Profil Hutan Mangrove Negeri Kamarian secara Vertikal dan Horizontal

3.2 Komposisi Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Komposisi spesies mangrove di Negeri Kamarian berdasarkan hasil penelitian di dua blok ditemukan 4 spesies mangrove yaitu, *Aegiceras corniculatum* (mangrove buah cili), *Rhizophora apiculata* (Tongke-tongke), *Sonneratia alba* (Mange-mange) dan *Sonneratia caseolaris* (Mange-mange). Untuk lebih jelas nama spesies dan famili mangrove Negeri Kamarian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nama Spesies dan Famili Mangrove Negeri Kamarian Pada Blok A

No	Nama lokal	Nama Spesies	Famili	Σ Tingkat Pohon	Σ Tingkat Pancang	Σ Tingkat Semai
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	<i>Primulaceae</i>	-	121	387
2.	Tongke-tongke	<i>Rhizophora apiculata</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	9	7	3
3.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	<i>Lythraceae</i>	231	347	546
4.	Mange-mange	<i>Sonneratia caseolaris</i>	<i>Lythraceae</i>	11	32	30
<i>Jumlah</i>				251	507	966

Tabel 3. Nama Spesies dan Famili Mangrove Negeri Kamarian Pada Blok B

No	Nama lokal	Nama Spesies	Famili	Σ Tingkat Pohon	Σ Tingkat Pancang	Σ Tingkat Semai
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	<i>Primulaceae</i>	9	36	57
2.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	<i>Lythraceae</i>	179	227	383
<i>Jumlah</i>				188	263	440

Spesies-spesies mangrove yang ditemukan pada Blok A adalah *Aegiceras corniculatum* (121 pancang, 387 semai), *Rhizophora apiculata* (9 pohon, 7 pancang, 3 semai), *Sonneratia alba* (231 pohon, 347 pancang, 546 semai), dan *Sonneratia caseolaris* (11 pohon, 32 pancang, 30 semai). Sementara itu, di Blok B hanya ditemukan dua spesies mangrove, yaitu *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*. *Aegiceras corniculatum* ditemukan sebanyak 9 pohon, 36 pancang, dan 57 semai, sedangkan *Sonneratia alba* memiliki 179 pohon, 227 pancang, dan 383 semai. *Sonneratia alba* kembali menjadi spesies dominan, dengan jumlah individu yang lebih tinggi dibandingkan *Aegiceras corniculatum* di semua tingkat pertumbuhan. Hal ini menunjukkan bahwa *Sonneratia alba* memiliki daya adaptasi yang baik terhadap kondisi lingkungan di Blok B dan mampu berkembang dengan lebih optimal dibandingkan spesies lainnya (Kusmana *et al.*, 2009).

Perbedaan komposisi dan dominansi spesies mangrove antara Blok A dan Blok B disebabkan oleh kombinasi faktor lingkungan (salinitas, pasang surut, substrat), faktor biotik (kompetisi, regenerasi), dan pengaruh antropogenik. Dominansi *Sonneratia alba* di kedua lokasi mengindikasikan daya adaptasinya yang superior (Liu *et al.*, 2025), sedangkan ketidakhadiran *Rhizophora apiculata* di Blok B menunjukkan keterbatasan ekologisnya di luar habitat ideal (Duarte *et al.*, 1998).

3.2.1 Analisis Vegetasi Tingkat Pohon

Analisis vegetasi tingkat pohon pada Blok A dan Blok B menunjukkan perbedaan dalam komposisi dan dominasi spesies. Blok A memiliki tiga spesies pohon, yaitu *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Sonneratia caseolaris*. Hasil analisis vegetasi tingkat pohon secara lengkap pada blok A dan Blok B dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4 Analisis Vegetasi Tingkat Pohon Pada Blok A

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	D	DR	INP	H'
1.	Tongke-tongke	<i>Rhizophora apiculata</i>	6	3,59	19	14,00	0,07	0,19	17,77	0,12
2.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	160	92,03	100	72,00	34,17	97,87	261,90	0,08
3.	Mange-mange	<i>Sonneratia caseolaris</i>	8	3,38	19	14,00	0,68	1,94	20,32	0,14
<i>Jumlah</i>			174	100	138	100	34,91	100	300	0,33

Keterangan: K= Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F= Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, Dominansi (ind/ha) DR = Dominasi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H'=Indeks keanekaragaman.

Tabel 5 Analisis Vegetasi Tingkat Pohon Pada Blok B

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	D	DR	INP	H'
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	9	4,79	12	10,71	0,16	0,34	15,84	0,15
2.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	179	95,21	100	89,29	45,62	99,66	284,16	0,05
<i>Jumlah</i>			188	100	112	100	45,78	100	300	0,20

Keterangan: K = Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F = Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, Dominansi (ind/ha) DR = Dominasi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H' = Indeks keanekaragaman

Tabel 5 menunjukkan bahwa Blok B hanya memiliki dua spesies pohon, yaitu *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*. Sama seperti di Blok A, *Sonneratia alba* menjadi spesies yang paling dominan dengan kerapatan yang lebih tinggi, yaitu 179 individu per hektar, serta INP sebesar 284,16. Hal ini menunjukkan bahwa spesies ini sangat mendominasi ekosistem di Blok B. Indeks keanekaragaman di Blok B lebih rendah dibandingkan Blok A, yakni 0,20, yang menunjukkan bahwa vegetasi di blok ini lebih homogen.

Indeks keanekaragaman (H') yang lebih tinggi di Blok A menunjukkan bahwa komunitas vegetasi di sana lebih beragam. Sebaliknya, Blok B memiliki nilai H' yang lebih rendah, yang berarti struktur komunitasnya lebih didominasi oleh satu spesies, yaitu *Sonneratia alba*. Faktor lingkungan seperti ketersediaan nutrisi, kondisi tanah, dan pengaruh pasang surut dapat berkontribusi terhadap perbedaan ini (Islam *et al.*, 2022).

3.2.2 Analisis Vegetasi Tingkat Pancang

Analisis vegetasi tingkat pancang pada Blok A dan Blok B menunjukkan perbedaan dalam jumlah spesies dan tingkat dominasi spesies tertentu. Blok A memiliki empat spesies, yaitu *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Sonneratia caseolaris*. Sementara itu, Blok B hanya memiliki dua spesies, yaitu *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*. Keanekaragaman spesies yang lebih tinggi di Blok A menunjukkan bahwa ekosistemnya lebih kompleks dibandingkan Blok B yang lebih homogen. Hasil analisis vegetasi tingkat pancang secara lengkap pada Blok A dan Blok B dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6 Analisis Vegetasi Tingkat Pancang Pada Blok A

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	INP	H'
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	84	23,87	19	13,46	37,33	0,34
2.	Tongke-tongke	<i>Rhizophora apiculata</i>	5	1,38	6	3,85	5,23	0,06
3.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	241	68,44	100	69,23	137,67	0,26
4.	Mange-mange	<i>Sonneratia caseolaris</i>	22	6,31	19	13,46	19,77	0,17
<i>Jumlah</i>			352	100	144	100	200	0,83

Keterangan: K = Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F = Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H' = Indeks keanekaragaman

Tabel 7 Analisis Vegetasi Tingkat Pancang Pada Blok B

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	INP	H'
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	36	13,69	12	11,54	25,23	0,27
2.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	227	86,31	92	88,46	174,77	0,13
<i>Jumlah</i>			263	100	104	100	200	0,40

Keterangan: K = Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F = Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H' = Indeks keanekaragaman

Di Blok A, *Sonneratia alba* menjadi spesies yang paling dominan dengan kerapatan mencapai 241 individu per hektar dan frekuensi 100%. Spesies ini juga memiliki INP tertinggi sebesar 137,67, menandakan peranannya yang sangat penting dalam struktur komunitas vegetasi. Sementara itu, spesies lain seperti *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata*, dan *Sonneratia caseolaris* memiliki nilai kerapatan dan INP yang lebih rendah, tetapi tetap berkontribusi terhadap keberagaman ekosistem di Blok A. Indeks keanekaragaman (H') pada Blok A adalah 0,83, menunjukkan tingkat keanekaragaman yang cukup tinggi.

Di sisi lain, Blok B menunjukkan komposisi vegetasi yang lebih sederhana dengan hanya dua spesies. *Sonneratia alba* tetap mendominasi dengan kerapatan 227 individu per hektar dan frekuensi 92%. Spesies ini juga memiliki INP sebesar 174,77, yang lebih tinggi dibandingkan di Blok A. Sementara itu, *Aegiceras corniculatum* memiliki nilai kerapatan dan INP yang jauh lebih rendah, menandakan bahwa spesies ini tidak terlalu dominan dalam komunitas vegetasi Blok B. Indeks keanekaragaman (H') di Blok B adalah 0,40, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan Blok A.

3.2.3 Analisis Vegetasi Tingkat semai

Analisis vegetasi tingkat semai di Blok A dan Blok B menunjukkan perbedaan dalam jumlah spesies, kerapatan individu, serta indeks keanekaragaman. Blok A memiliki empat spesies, yaitu *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Sonneratia caseolaris*. Sementara itu, Blok B hanya memiliki dua spesies, yaitu *Aegiceras corniculatum* dan *Sonneratia alba*. Perbedaan jumlah spesies ini menunjukkan bahwa Blok A memiliki keanekaragaman yang lebih tinggi dibandingkan Blok B. Hasil analisis vegetasi tingkat semai secara lengkap pada Blok A dan Blok B Hutan Mangrove Kamarian dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8 Analisis Vegetasi Tingkat Semai Pada Blok A

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	INP	H'
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	269	40,06	22	15,38	55,45	0,37
2.	Tongke-tongke	<i>Rhizophora apiculata</i>	2	0,31	6	3,85	4,16	0,02
3.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	379	56,52	97	67,31	123,83	0,32
4.	Mange-mange	<i>Sonneratia caseolaris</i>	21	3,11	19	13,46	16,57	0,11
Jumlah			671	100	144	100	200	0,81

Keterangan: K = Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F = Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H' = Indeks keanekaragaman

Tabel 9 Analisis Vegetasi Tingkat Semai Pada Blok B

No	Nama lokal	Nama Spesies	K	KR	F	FR	INP	H'
1.	Mangrove Buah Cili	<i>Aegiceras corniculatum</i>	57	12,35	20	17,86	30,81	0,26
2.	Mange-mange	<i>Sonneratia alba</i>	383	87,05	92	82,14	169,19	0,12
Jumlah			440	100	112	100	200	0,39

Keterangan: K = Kerapatan (Ind/ha), KR = Kerapatan Relatif, F = Frekuensi (%), FR = Frekuensi Relatif, INP = Indeks Nilai Penting, H' = Indeks keanekaragaman

Di Blok A, spesies yang paling dominan adalah *Sonneratia alba* dengan kerapatan 379 individu per hektar, frekuensi 67,31%, serta indeks nilai penting (INP) tertinggi sebesar 123,83. Spesies lain seperti *Aegiceras corniculatum* memiliki kerapatan 269 individu per hektar dan INP 55,45, sementara *Rhizophora apiculata* dan *Sonneratia caseolaris* memiliki kerapatan dan INP yang lebih rendah. Indeks keanekaragaman (H') di Blok A adalah 0,81, yang menunjukkan komunitas vegetasi yang lebih beragam dibandingkan dengan Blok B.

Sementara itu, di Blok B, *Sonneratia alba* juga menjadi spesies yang paling dominan dengan kerapatan 383 individu per hektar, frekuensi 82,14%, serta INP tertinggi sebesar 169,19. *Aegiceras corniculatum* hadir dengan kerapatan 57 individu per hektar dan INP 30,81, yang menunjukkan bahwa spesies ini memiliki peran yang jauh lebih kecil dalam struktur komunitas dibandingkan dengan *Sonneratia alba*. Indeks keanekaragaman (H') di Blok B lebih rendah dibandingkan dengan Blok A, yakni hanya 0,39, yang menunjukkan dominasi spesies *Sonneratia alba* yang sangat kuat (Liu *et al.*, 2025).

3.2.4 Kesamaan dan Ketidaksamaan Spesies Antara Blok A dan Blok B.

Hasil analisis Indeks Similaritas dan Indeks Disimilaritas Spesies antara Blok A dan Blok B menunjukkan bahwa tingkat kesamaan vegetasi antar kedua blok cukup tinggi di semua tingkatan. Indeks Similaritas (IS) tertinggi ditemukan pada tingkat pohon (87,30%), diikuti oleh tingkat pancang (81,45%) dan tingkat semai (77,32%). Ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan jumlah spesies di setiap tingkatan, komunitas vegetasi di Blok A dan Blok B masih memiliki banyak kesamaan. Namun, Indeks Disimilaritas (ID) juga menunjukkan bahwa ada perbedaan yang semakin besar di tingkat semai (22,68%) dibandingkan dengan tingkat pohon (12,71%), yang mengindikasikan bahwa regenerasi spesies di kedua blok mulai menunjukkan perbedaan yang lebih jelas (Tabel 10).

Tabel 2 Indeks Kesamaan dan ketidaksamaan Spesies antara Blok A dan Blok B

Tingkat Pohon		ID (%)	
IS (%)	Blok A	Blok B	
Blok A		12,71	
Blok B	87,30		
Tingkat Pancang		ID (%)	
IS (%)	Blok A	Blok B	
Blok A		18,55	
Blok B	81,45		
Tingkat Semai		ID (%)	
IS (%)	Blok A	Blok B	
Blok A		22,68	
Blok B	77,32		

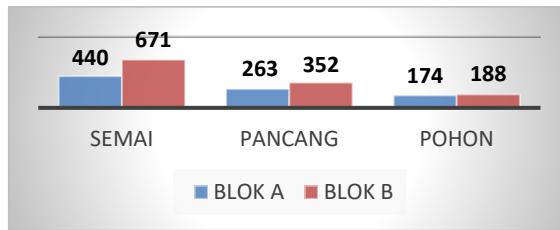
Keterangan: IS=Indeks Similaritas, ID=Indeks Disimilaritas

Blok A memiliki keanekaragaman spesies yang lebih tinggi dibandingkan Blok B di semua tingkatan vegetasi. Blok B cenderung lebih homogen dan lebih didominasi oleh *Sonneratia alba*. Meskipun tingkat kesamaan antara kedua blok cukup tinggi, perbedaan semakin terasa di tingkat semai, yang dapat berimplikasi pada perbedaan komposisi vegetasi di masa depan. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh faktor lingkungan seperti ketersediaan nutrisi, salinitas, serta tingkat gangguan manusia (Liu *et al.*, 2025).

3.3 Kerapatan, Frekuensi, Dominansi dan Keanekaragaman Spesies

3.3.1 Kerapatan Spesies Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Berdasarkan hasil penelitian kerapatan vegetasi (Individu/hektar) pada hutan mangrove di Negeri Kamarian menunjukkan bahwa, Blok B memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan Blok A pada setiap tingkatan vegetasi, yaitu semai, pancang, dan pohon. Pada tingkat semai, Blok B mencatat 671 individu/ha, lebih tinggi dibandingkan Blok A yang hanya 440 individu/ha. Kerapatan spesies tingkat semai secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Kerapatan Spesies (N/ha) pada Blok A dan Blok B

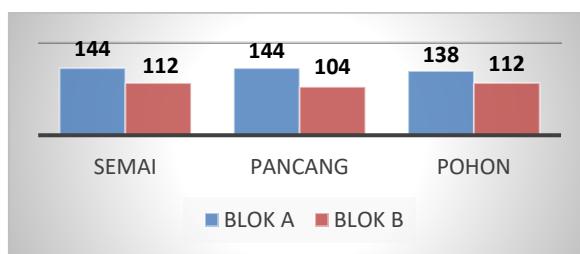
Pada tingkat pancang, Blok B masih menunjukkan kerapatan lebih tinggi dengan 352 individu/ha, dibandingkan Blok A yang hanya 263 individu/ha. Menurut Barbour et al. (1987), tingginya kerapatan pancang menunjukkan adanya peluang besar bagi individu muda untuk bertahan dan berkembang ke fase berikutnya. Namun, pada tingkat pohon, perbedaan kerapatan antara kedua blok lebih kecil, dengan Blok B memiliki 188 individu/ha, sedikit lebih tinggi dari Blok A yang mencapai 174 individu/ha. Penurunan kerapatan dari tingkat semai ke pohon ini sesuai dengan teori struktur komunitas hutan yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkatan vegetasi, kerapatannya cenderung menurun akibat kompetisi dan seleksi alami (Soerianegara & Indrawan, 2005).

Jika dibandingkan dengan kerapatan spesies hutan mangrove di tempat lain di Maluku yaitu Mangrove Negeri Hatusua di Pulau Seram (Rante *et al.*, 2024) dan Magrove Negeri Tial di Pulau Ambon (Renwarin *et al.*, 2024), terlihat bahwa Negeri Hatusua memiliki kerapatan tingkat pohon tertinggi, yaitu 415 individu/ha, sedangkan Negeri Tial mencatat kerapatan terendah dengan 112 individu/ha. Sementara itu, Blok A dan Blok B memiliki kerapatan yang relatif seimbang, masing-masing 174 individu/ha dan 188 individu/ha.

Pada tingkat pancang, Negeri Hatusua kembali menunjukkan kerapatan tertinggi sebesar 610 individu/ha, sedangkan Blok B mencatat kerapatan terendah, yaitu 263 individu/ha. Blok A dan Negeri Tial memiliki nilai yang cukup tinggi, masing-masing 352 individu/ha dan 455 individu/ha. Sedangkan untuk tingkat semai, perbedaan kerapatan semakin mencolok. Negeri Hatusua mencatat kerapatan tertinggi dengan 4087 individu/ha, yang mencerminkan proses regenerasi yang sangat baik. Sementara itu, Negeri Tial memiliki kerapatan semai terendah, yaitu hanya 178 individu/ha, yang mengindikasikan adanya hambatan lingkungan yang mengganggu pertumbuhan bibit mangrove (Renwarin *et al.*, 2024).

3.3.2 Frekuensi Kehadiran Spesies pada Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Frekuensi kehadiran spesies vegetasi hutan mangrove di Negeri Kamarian menunjukkan perbedaan signifikan antara Blok A dan Blok B pada setiap tingkatan vegetasi, yaitu semai, pancang, dan pohon. Blok A memiliki frekuensi vegetasi yang lebih tinggi dibandingkan Blok B, yang menunjukkan bahwa penyebaran individu mangrove di Blok A lebih luas dan merata. Untuk lebih jelas frekuensi kehadiran spesies (%) pada Blok A dan Blok B dapat dilihat pada Gambar 6.



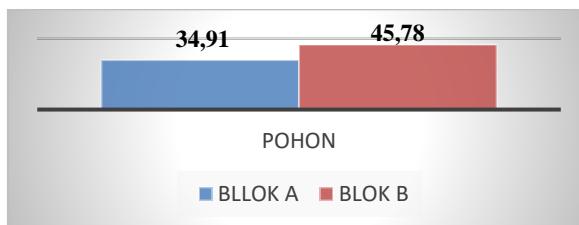
Gambar 6. Frekuensi Kehadiran Spesies (%) pada Blok A dan Blok B

Pada tingkat pancang, Blok A tetap menunjukkan frekuensi yang lebih tinggi, yaitu 144%, sementara Blok B hanya 104%. Frekuensi pancang yang tinggi menunjukkan bahwa individu muda lebih banyak dan tersebar lebih merata di Blok A dibandingkan Blok B. Pada tingkat pohon, frekuensi di Blok A sedikit menurun menjadi 138%, tetapi masih lebih tinggi dibandingkan Blok B yang hanya 112%. Penurunan frekuensi dari tingkat semai ke pohon mencerminkan adanya seleksi alami, di mana hanya individu yang mampu bertahan hidup dan bersaing yang dapat mencapai fase pohon.

Jika dibandingkan dengan mangrove di Negeri Hatusua (Rante *et al.*, 2024) dan Negeri Tial (Renwarin *et al.*, 2024), terlihat bahwa frekuensi vegetasi di Negeri Hatusua jauh lebih tinggi. Pada tingkat pohon, Negeri Hatusua memiliki frekuensi tertinggi sebesar 352,17%, diikuti oleh Negeri Tial dengan 257%, Blok A dengan 138%, dan Blok B dengan 112%. Frekuensi yang tinggi di Negeri Hatusua menunjukkan bahwa pohon mangrove tersebar lebih merata, menandakan kondisi habitat yang lebih mendukung bagi pertumbuhan dan perkembangan vegetasi mangrove dibandingkan lokasi Hutan Mangrove Kamarian.

3.3.3 Dominansi Spesies pada Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Analisis dominansi vegetasi hutan mangrove di Negeri Kamarian menunjukkan perbedaan signifikan antara Blok A dan Blok B. Blok A memiliki nilai dominansi pohon sebesar 34,91 m²/ha, dengan Sonneratia alba sebagai spesies yang mendominasi, yaitu 34,17 m²/ha. Sementara itu, Blok B memiliki nilai dominansi yang lebih tinggi, yaitu 45,78 m²/ha. Tingginya dominansi di Blok B menunjukkan bahwa pohon-pohon di area ini memiliki ukuran yang lebih besar atau luas bidang dasar yang lebih besar dibandingkan dengan Blok A, sehingga mampu mendominasi ruang lebih luas dalam ekosistem mangrove. Perbandingan dominansi spesies mangrove (m²/ha) pada Blok A dan Blok B Hutan Mangrove Negeri Kamarian dapat lihat pada Gambar 7.



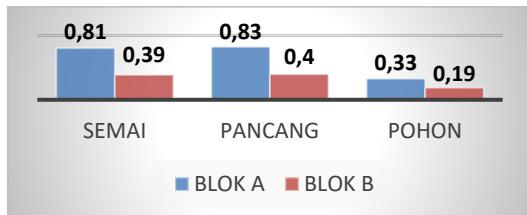
Gambar 7. Dominansi Spesies Mangrove (m²/ha) pada Blok A dan Blok B

Jika dibandingkan dengan hutan mangrove di Negeri Hatusua dan Negeri Tial, terlihat bahwa dominansi di Negeri Hatusua hanya 15,13 m²/ha, jauh lebih rendah dibandingkan dengan Blok A dan Blok B. Dengan demikian, dominansi di Hutan Mangrove Kamarian, terutama di Blok B, lebih tinggi dibandingkan wilayah lain, meskipun jumlah pohon di sana lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran pohon di Blok B lebih besar, yang berkontribusi terhadap nilai dominansi yang lebih tinggi.

Perbedaan nilai dominansi ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti usia pohon, spesies yang mendominasi, dan kondisi lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan mangrove. Blok B yang memiliki dominansi tertinggi kemungkinan terdiri dari pohon-pohon yang telah berumur tua dengan diameter batang yang lebih besar, sehingga luas area yang ditutupi lebih tinggi. Sebaliknya, Negeri Tial, yang memiliki dominansi terendah, mungkin didominasi oleh pohon-pohon muda atau menghadapi kondisi lingkungan yang kurang optimal bagi pertumbuhan mangrove (Edwin *et al.*, 2021; Islam *et al.*, 2022).

3.3.4 Keanekaragaman Spesies Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Analisis indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') menunjukkan adanya variasi dalam tingkat keanekaragaman vegetasi hutan mangrove di Negeri Kamarian antara Blok A dan Blok B pada setiap tingkatan pertumbuhan, yaitu semai, pancang, dan pohon. Pada tingkat semai, Blok A memiliki indeks keanekaragaman 0,81, lebih tinggi dibandingkan Blok B yang hanya 0,39. Nilai yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa Blok A memiliki variasi spesies semai yang lebih banyak dan lebih merata, yang mencerminkan potensi regenerasi yang lebih baik. Keanekaragaman yang lebih tinggi di tingkat semai mengindikasikan bahwa berbagai spesies mampu bertahan dan berkembang, yang dapat meningkatkan stabilitas ekosistem.



Gambar 8 Diagram Keragaman Spesies(H') pada Blok A dan Blok B

Pada tingkat pancang, pola yang sama masih terlihat, di mana Blok A memiliki indeks keanekaragaman 0,83, sementara Blok B hanya 0,40. Keanekaragaman yang lebih tinggi di Blok A menandakan bahwa lebih banyak spesies yang berhasil bertahan dan tumbuh ke tahap berikutnya, sehingga meningkatkan keberagaman struktural dalam ekosistem mangrove. Keanekaragaman yang lebih rendah di Blok B dapat mengindikasikan adanya dominasi oleh beberapa spesies tertentu yang membatasi keberlanjutan spesies lain dalam ekosistem.

Jika dibandingkan dengan hutan mangrove di Negeri Hatusua dan Negeri Tial, terlihat bahwa keanekaragaman tingkat pohon tertinggi ditemukan di Negeri Hatusua dengan indeks 1,36, menandakan distribusi spesies yang lebih merata dan jumlah spesies yang lebih banyak. Sebaliknya, Blok B Hutan Mangrove Negeri Kamarian memiliki indeks keanekaragaman terendah, yaitu 0,20, yang menunjukkan dominasi spesies tertentu dalam ekosistem yaitu *Sonneratia alba*. Negeri Tial memiliki indeks 1,16, sedangkan Blok A hanya 0,33, menunjukkan bahwa keberagaman spesies di kedua blok tersebut masih lebih rendah dibandingkan dengan Hatusua dan Tial.

3.3.5 Habitat Pertumbuhan Hutan Mangrove Negeri Kamarian

Pertumbuhan hutan mangrove sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fisik dan kimia di sekitarnya. Di pesisir Negeri Kamarian, jenis tanah yang mendominasi adalah Loamy Sand, dengan komposisi 65% pasir, 24% debu, dan 11% liat. Tanah jenis ini menyediakan drainase yang baik namun masih mempertahankan kelembaban dan nutrien yang cukup, sehingga mendukung pertumbuhan spesies mangrove seperti *Sonneratia alba* dan *S. caseolaris* (Iswahyudi *et al.*, 2019). Struktur tanah ini juga memungkinkan akar mangrove berkembang dengan baik, yang pada akhirnya memperkuat struktur tegakan vegetasi.

Faktor salinitas juga memainkan peran penting dalam ekosistem mangrove. Salinitas air di kawasan ini berkisar antara 20‰ hingga 30‰, yang masih berada dalam rentang toleransi optimal bagi sebagian besar spesies mangrove, seperti *Rhizophora apiculata* dan *Aegiceras corniculatum* (Ahmed *et al.*, 2022; Perri *et al.*, 2023). Kondisi salinitas yang stabil ini memungkinkan berbagai spesies untuk tumbuh berdampingan, sehingga memperkaya komposisi vegetasi dan menunjang regenerasi alami, sebagaimana ditunjukkan oleh tingginya jumlah semai dan pancang yang ditemukan.

Selain itu, nilai pH air berkisar antara 7,45 hingga 7,73, yang menunjukkan kondisi netral hingga sedikit basa. Kisaran pH ini dikategorikan sebagai sangat produktif dan ideal bagi pertumbuhan vegetasi mangrove (Khamis *et al.*, 2023; Wijayanti, 2017). Kombinasi pH netral, ketersediaan nutrien, serta aktivitas mikroorganisme tanah yang optimal akan meningkatkan kemampuan tanaman mangrove dalam menyerap unsur hara penting untuk pertumbuhannya.

Suhu dan kelembaban udara juga berperan penting dalam mendukung keberlangsungan ekosistem mangrove. Di Negeri Kamarian, suhu berkisar antara 27°C hingga 31°C, masih dalam rentang toleransi spesies mangrove secara umum yaitu 19°–40°C (Martuti *et al.*, 2019; Quadros *et al.*, 2021). Kelembaban udara berkisar 52%–80%, yang turut mempengaruhi laju transpirasi dan metabolisme tanaman. Sementara itu, intensitas cahaya antara 1119 hingga 4951 lux cukup untuk memenuhi kebutuhan fotosintesis, yang berkontribusi terhadap pertumbuhan vegetasi yang sehat dan regenerasi yang baik (De Silva & Amarasinghe, 2023).

4. KESIMPULAN

Hutan mangrove di Negeri Kamarian ditemukan empat spesies mangrove, yaitu *Aegiceras corniculatum* (*Mangrove Buah Cili*), *Rhizophora apiculata* (*Tongke-tongke*), *Sonneratia alba* (*Mange-mange*) dan *Sonneratia caseolaris* (*Mange-mange*), yang terbagi dalam empat strata berdasarkan ketinggian pohon yaitu Strata A (28-20m), Strata B (5-20m), Strata C (1-5m) dan Strata D (0-1m). Hutan Mangrove ini terbagi menjadi dua blok, yaitu Blok A (1,44 ha) dan Blok B (1,00 ha), dengan kerapatan pohon dan dominansi lebih tinggi di Blok B. Meskipun demikian, keanekaragaman spesies lebih tinggi di Blok A, terutama pada tingkat semai dan pancang namun kedua Blok memiliki indeks keanekaragaman Shannon-Wiener yang rendah. Kondisi lingkungan, termasuk tekstur tanah, salinitas, pH air, suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya, cukup mendukung pertumbuhan mangrove, terutama spesies *Sonneratia* sp. Hal ini menunjukkan bahwa ekosistem mangrove di Kamarian perlu mendapat perhatian khusus untuk mendukung keberlanjutan dan regenerasi hutan mangrove.

REFERENCES

- Ahmed, S., Sarker, S. K., Friess, D. A., Kamruzzaman, M., Jacobs, M., Islam, M. A., . . . Dey, T. (2022). Salinity reduces site quality and mangrove forest functions. From monitoring to understanding. *Science of The Total Environment*, 853, 158662. <https://doi.org/10.1111/geb.13720>
- Alongi, D. M. (2021). Macro-and micronutrient cycling and crucial linkages to geochemical processes in mangrove ecosystems. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 456. <https://doi.org/10.3390/jmse9050456>
- Barbanera, A., Markesteijn, L., Kairo, J., Juma, G. A., Karythis, S., & Skov, M. W. (2022). Functional responses of mangrove fauna to forest degradation. *Marine and Freshwater Research*, 73(6), 762-773. <https://doi.org/10.1071/MF21257>
- Bathmann, J., Peters, R., Reef, R., Berger, U., Walther, M., & Lovelock, C. E. (2021). Modelling mangrove forest structure and species composition over tidal inundation gradients: The feedback between plant water use and porewater salinity in an arid mangrove ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 308, 108547. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108547>
- De Silva, W., & Amarasinghe, M. D. (2023). Coastal protection function of mangrove ecosystems: a case study from Sri Lanka. *Journal of Coastal Conservation*, 27(6), 59. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-00990-8>

- Decker, V., Gee, C. T., Schucht, P. J., Lindauer, S., & Hoffmann, G. (2022). Life on the edge: a powerful tsunami overwhelmed indian ocean mangroves one millennium ago. *Forests*, 13(6), 922. <https://doi.org/10.3390/f13060922>
- Duarte, C. M., Geertz-Hansen, O., Thampanya, U., Terrados, J., Fortes, M. D., Kamp-Nielsen, L., . . . Boromthanarath, S. (1998). Relationship between sediment conditions and mangrove Rhizophora apiculata seedling growth and nutrient status. *Marine Ecology Progress Series*, 175, 277-283. <https://doi.org/10.3354/meps175277>
- Edwin, M., Sulistyorini, I. S., Poedjirahajoe, E., Faida, L. R. W., & Purwanto, R. H. (2021). Structure and dominance of species in mangrove forest on Kutai National Park, East Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 27(1), 59-59. <https://doi.org/10.7226/jtfm.27.1.59>
- Ellenberg, D., & Mueller-Dombois, D. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology* (Vol. 547): Wiley New York.
- Habdiansyah, P., Lovadi, I., & Linda, R. (2015). Profil vegetasi mangrove desa sebubus kecamatan paloh kabupaten sambas. *Protobiont*, 4(2). <https://doi.org/10.26418/protobiont.v4i2.10842>
- Islam, M. A., Ahmed, S., Dey, T., Biswas, R., Kamruzzaman, M., Partho, S. H., & Das, B. C. (2022). Dominant species losing functions to salinity in the Sundarbans Mangrove Forest, Bangladesh. *Regional Studies in Marine Science*, 55, 102589. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102589>
- Iswhayudi, I., Kusmana, C., Hidayat, A., & Noorachmat, B. P. (2019). Evaluasi kesesuaian lahan untuk rehabilitasi hutan mangrove Kota Langsa Aceh. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi*, 20(1), 45-56.
- Khamis, F., Hegab, H. M., Banat, F., Arafat, H. A., & Hasan, S. W. (2023). Development of sustainable pH-responsive adsorptive modified mangrove-based polylactic acid ultrafiltration membrane for the removal of heavy metals from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 474, 145471. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145471>
- Kusmana, C. (1997). *Metode survey vegetasi*: Pt. Penerbit Insitut Pertanian.
- Kusmana, C., Saharjo, B. H., Sumawinata, B., & Kato, T. (2009). Komposisi jenis dan struktur hutan hujan tropika dataran rendah di Taman Nasional Danau Sentarum, Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 14(3), 149-157.
- Liu, C., Zhang, L., Shi, X., Tang, Y., Wang, M., & Wang, W. (2025). Element contents changes during the propagule development of two Sonneratia species. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1430782. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1430782>
- Ludwig, J. A., & Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: a primer in methods and computing* (Vol. 1): John Wiley & Sons.
- Martuti, N. K. T., Setyowati, D. L., & Nugraha, S. (2019). Ekosistem mangrove (keanekaragaman, fitoremediasi, stok karbon, peran dan pengelolaan). *Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Negeri Semarang. Indonesia*.
- Noor, Y. R. (2006). Panduan Mengenal Mangrove di Indonesia, Ditjen. *PHKA-Wetlands International Indonesia Programme*, Bogor.
- Omayio, D., Mzungu, E., & Kakamega, K. (2019). Modification of shannon-wiener diversity index towards quantitative estimation of environmental wellness and biodiversity levels under a non-comparative Scenario. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(9), 46-57. <https://doi.org/10.7176/JEES/9-9-06>
- Perri, S., Detto, M., Porporato, A., & Molini, A. (2023). Salinity-induced limits to mangrove canopy height. *Global Ecology and Biogeography*, 32(9), 1561-1574. <https://doi.org/10.1111/geb.13720>

- Quadros, A. F., Helfer, V., Nordhaus, I., Reuter, H., & Zimmer, M. (2021). Functional traits of terrestrial plants in the intertidal: A review on mangrove trees. *The Biological Bulletin*, 241(2), 123-139. <https://doi.org/10.1086/716510>
- Rante, Q. A. D., Sahupala, A., & Komul, Y. (2024). Struktur dan Komposisi Hutan Mangrove di Negeri Hatusua Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat. *MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(3), 185-204. <https://doi.org/10.69840/marsegu/1.3.2024.185-204>
- Renwarin, N. M., Irwanto, I., & Talaohu, M. (2024). IDENTIFIKASI JENIS DAN KERUSAKAN TUMBUHAN MANGROVE DI WILAYAH PESISIR PANTAI DESA TIAL KECAMATAN SALAHUTU. *MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(5), 467-479. <https://doi.org/10.69840/marsegu/1.5.2024.467-479>
- Soerianegara, I., & Indrawan, A. (1998). Ekologi Hutan Indonesia, Laboratorium Ekologi Hutan. *Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor*.
- Sun, D., Huang, Y., Wang, Z., Tang, X., Ye, W., Cao, H., & Shen, H. (2024). Soil microbial community structure, function and network along a mangrove forest restoration chronosequence. *Science of The Total Environment*, 913, 169704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169704>
- Vincent, G., & Harja, D. (2008). Exploring ecological significance of tree crown plasticity through three-dimensional modelling. *Annals of Botany*, 101(8), 1221-1231. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm189>
- Wijayanti, D. (2017). Karya Tulis Ilmiah Kawasan Ekoeduwisata Konservasi Mangrove Di Baros, Tirohargo, Kretek, Bantul. *Jurnal Pemberdayaan: Publikasi Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 193-198.