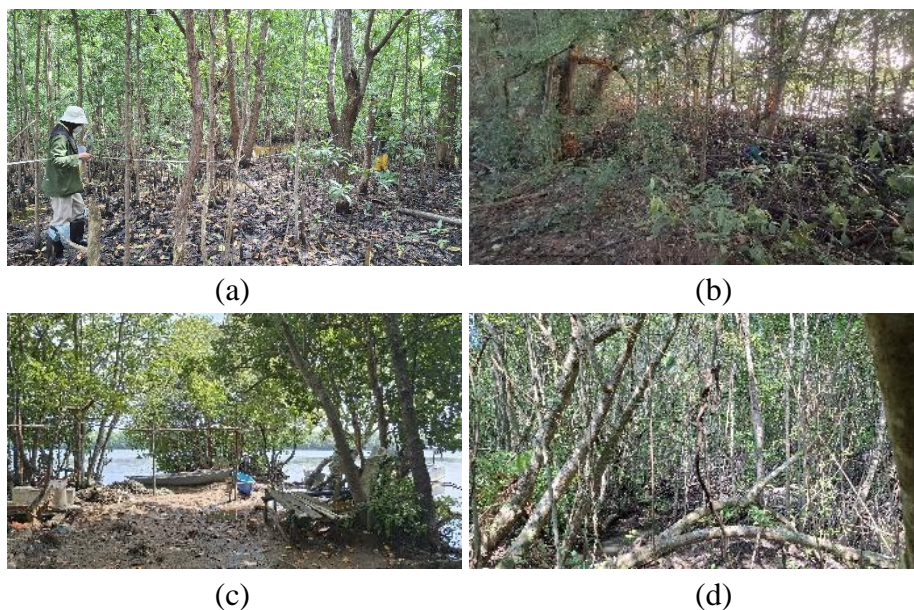


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kerapatan Jenis Mangrove

Pulau Kemujan merupakan salah satu pulau yang berada di bagian utara Kepulauan Karimunjawa. Sebaran mangrove di Pulau Kemujan umumnya terdapat pada wilayah pesisir, terutama pada area teluk, laguna, dan tepi perairan dangkal. Dalam penelitian ini, lokasi pengamatan dibagi menjadi empat stasiun yang dipilih untuk mewakili variasi kondisi mangrove berdasarkan posisi lokasi, karakter vegetasi, kondisi substrat secara visual, dan tingkat aktivitas antropogenik di sekitar kawasan mangrove. Stasiun penelitian dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Stasiun Penelitian (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 2, (c) Stasiun 3, dan (d) Stasiun 4 (Dokumentasi Pribadi, 2025)

Perbedaan kondisi lingkungan pada setiap stasiun dan zona diduga turut memengaruhi struktur vegetasi mangrove serta variasi biomassa dan cadangan karbon yang terestimasi pada lokasi penelitian. Parameter lingkungan yang diamati meliputi dissolved oxygen (DO), salinitas, pH, dan suhu perairan. Berdasarkan hasil

pengukuran, salinitas pada seluruh lokasi penelitian berkisar antara 29–33‰ dengan suhu perairan berkisar antara 29,8–31,8°C, sedangkan nilai pH menunjukkan kondisi perairan yang relatif netral hingga basa, yaitu berkisar antara 7,5–8,4. Nilai dissolved oxygen (DO) pada lokasi penelitian berkisar antara 4,43–7,54 mg/L dengan variasi nilai yang berbeda pada setiap stasiun dan zona pengamatan. Perbedaan parameter lingkungan tersebut diduga berkaitan dengan karakter habitat, kondisi substrat, serta tingkat kerapatan vegetasi mangrove pada masing-masing lokasi penelitian. Data lengkap parameter fisika-kimia lingkungan perairan disajikan pada **Lampiran 4**.

Berdasarkan hasil pengamatan di stasiun penelitian dapat ditemukan 15 jenis mangrove, yaitu *Excoecaria agallocha*, *Rhizophora apiculata*, *Ceriops tagal*, *Xylocarpus granatum*, *Lumnitzera racemosa*, *Rhizophora mucronata*, *Pongamia pinnata*, *Sonneratia ovata*, *Lanea coromandelica*, *Xylocarpus moluccensis*, *Bruguiera cylindrica*, *Pandanus tectorius*, *Heritiera littoralis*, *Sonneratia alba*, dan *Thespesia populnea*. Nilai kerapatan menunjukkan jumlah individu per satuan luas dan menggambarkan perbedaan struktur tegakan antar lokasi penelitian. Kerapatan jenis mangrove setiap stasiun disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kerapatan Jenis Mangrove berdasarkan Stasiun dan Zona di Pulau Kemujan, Kepulauan Karimunjawa

Jenis Mangrove	Stasiun 1			Stasiun 2			Stasiun 3			Stasiun 4		
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C	Zona A	Zona B	Zona C
<i>Bruguera silindrica</i>	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-	-	-
<i>Ceriops tagal</i>	-	700	100	-	700	100	200	200	-	100	-	-
<i>Excoecaria agallocha</i>	-	-	100	600	-	300	1.400	400	-	-	1.200	700
<i>Heritiera littoralis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
<i>Lanea coromandelica</i>	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lumnitzera racemosa</i>	-	400	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pandanus tectorius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100
<i>Pongamia pinata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400
<i>Rhizophora apiculata</i>	300	-	-	400	200	100	1.300	600	-	700	100	-
<i>Rhizophora mucronata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500	-	-
<i>Sonneratia alba</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
<i>Sonneratia ovata</i>	-	-	200	-	-	200	-	-	-	-	-	-
<i>Thespesia populnea</i>	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-
<i>Xylocarpus granatum</i>	-	-	-	-	-	1.300	300	-	-	-	-	-
<i>Xylocarpus moluccensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300
Total		867			1.433			1.500			1.467	

Keterangan:

Total stasiun = keseluruhan dibagi 3 (terdapat 3 zona) dan total zona = keseluruhan dibagi 4 (terdapat 4 stasiun)

Zona A = 1.525 ind/ha

Zona B = 1.200 ind/ha

Zona C = 1.225 ind/ha

Tabel 3. menunjukkan adanya variasi kerapatan jenis mangrove antarstasiun. Kerapatan mangrove dapat diklasifikasikan berdasarkan Kepmen LH Nomor 201 Tahun 2004, yaitu kategori jarang, padat, dan sangat padat. Variasi kerapatan antarstasiun menunjukkan bahwa setiap lokasi memiliki struktur tegakan yang berbeda sesuai dengan posisi terhadap perairan, karakter substrat, kondisi vegetasi, dan tingkat aktivitas antropogenik di sekitarnya. Jenis dominan pada setiap stasiun juga berbeda, sehingga komposisi vegetasi dapat digunakan untuk menggambarkan karakter habitat mangrove pada masing-masing lokasi pengamatan..

Stasiun 1 didominasi oleh *Lumnitzera racemosa* dengan nilai kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan jenis lainnya. Dominansi *Lumnitzera racemosa* diduga berkaitan dengan kondisi lokasi yang relatif terlindung dan berada lebih dekat dengan daratan. Jenis ini umumnya tumbuh pada zona belakang mangrove dengan frekuensi genangan lebih rendah dan substrat yang lebih stabil. Mughofar *et al.* (2018) menyatakan bahwa *Lumnitzera racemosa* memiliki toleransi yang baik terhadap kondisi salinitas yang lebih rendah dibandingkan jenis mangrove pionir di zona depan. Selain itu, lokasi stasiun 1 yang berada di sekitar jalur wisata mangrove menunjukkan adanya pengaruh aktivitas antropogenik terhadap struktur vegetasi. Winata dan Rusdiyanto (2016) melaporkan bahwa *Lumnitzera racemosa*, *Ceriops tagal*, dan *Rhizophora apiculata* merupakan jenis penting pada area tracking mangrove Pulau Kemujan.

Stasiun 2 menunjukkan dominansi *Xylocarpus granatum* dengan kerapatan tegakan yang relatif tinggi. Kondisi substrat berlumpur dan lokasi yang relatif alami diduga mendukung pertumbuhan jenis ini. *Xylocarpus granatum* umumnya tumbuh

baik pada substrat lumpur yang stabil dengan kandungan bahan organik tinggi. Jenis ini memiliki diameter batang yang besar dan struktur batang yang kokoh sehingga berkontribusi terhadap tingginya biomassa pada stasiun 2. Kusuma *et al.* (2024) menjelaskan bahwa tegakan mangrove dengan diameter batang besar cenderung memiliki biomassa dan cadangan karbon lebih tinggi dibandingkan tegakan dengan diameter kecil. Dominansi *Xylocarpus granatum* juga menunjukkan bahwa stasiun 2 memiliki kondisi habitat yang relatif stabil dan mendukung pertumbuhan pohon.

Stasiun 3 didominasi oleh *Rhizophora apiculata* yang tumbuh di sekitar area laguna dengan substrat berlumpur dan kondisi perairan yang relatif tenang. *Rhizophora apiculata* merupakan jenis mangrove yang umum ditemukan pada zona depan hingga zona tengah karena memiliki akar tunjang yang mampu menopang batang pada substrat lunak dan tergenang. Menurut Ngidu *et al.* (2023), *Rhizophora* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi pada area dengan intensitas genangan besar dan sedimen berlumpur.

Stasiun 4 didominasi oleh *Excoecaria agallocha* dengan kondisi habitat yang lebih terbuka ke arah laut serta substrat campuran pasir dan pecahan karang. *Excoecaria agallocha* diketahui mampu tumbuh pada kondisi substrat yang lebih kering dan memiliki toleransi terhadap variasi salinitas yang cukup tinggi. Menurut Ulyah *et al.* (2022), *Excoecaria agallocha* sering ditemukan pada zona transisi antara mangrove dan vegetasi daratan.

Setelah kerapatan jenis mangrove dianalisis pada tingkat stasiun, analisis dilanjutkan pada tingkat zona. Pengelompokan berdasarkan zona depan, tengah, dan belakang dilakukan untuk melihat variasi kerapatan jenis mangrove yang

dipengaruhi oleh perbedaan kondisi lingkungan di setiap zona. Setiap zona memiliki karakteristik lingkungan yang berbeda, seperti frekuensi genangan, intensitas pasang surut, kestabilan substrat, serta ketersediaan nutrisi. Perbedaan faktor-faktor tersebut memengaruhi kemampuan adaptasi, pertumbuhan, dan sebaran setiap jenis mangrove.

Kerapatan jenis per zona dihitung berdasarkan data dari plot yang mewakili zona yang sama pada seluruh stasiun. Dengan demikian, nilai kerapatan pada zona A berasal dari seluruh plot zona depan, nilai kerapatan pada zona B berasal dari seluruh plot zona tengah, dan nilai kerapatan pada zona C berasal dari seluruh plot zona belakang.

Berdasarkan zona pengamatan, zona A didominasi oleh *Rhizophora apiculata*. Dominansi jenis ini berkaitan dengan kemampuan adaptasi akar tunjang *Rhizophora* terhadap kondisi substrat berlumpur dan frekuensi genangan yang tinggi pada area dekat perairan. *Rhizophora apiculata* umumnya tumbuh optimal pada zona depan mangrove yang langsung berhadapan dengan pasang surut laut. Sistem akar tunjang yang dimiliki membantu menopang batang pada substrat lunak serta meningkatkan kemampuan bertahan terhadap arus dan gelombang. Rahman *et al.* (2019) menyatakan bahwa *Rhizophora apiculata* termasuk jenis yang ditemukan pada *fringing zone* atau zona tepi mangrove yang berdekatan dengan perairan.

Zona B didominasi oleh *Excoecaria agallocha*. Zona ini merupakan area transisi antara wilayah dekat laut dan bagian daratan sehingga memiliki kondisi lingkungan yang lebih bervariasi. *Excoecaria agallocha* diketahui mampu tumbuh pada kondisi salinitas yang fluktuatif dan genangan sedang. Selain itu, jenis ini

memiliki toleransi yang cukup baik terhadap perubahan kondisi lingkungan sehingga mampu berkembang pada zona tengah mangrove. Ulyah *et al.* (2022) melaporkan bahwa *Excoecaria agallocha* banyak ditemukan pada kawasan mangrove Karimunjawa yang memiliki kondisi habitat transisi.

Zona C didominasi oleh *Xylocarpus granatum*. Dominansi jenis ini diduga dipengaruhi kondisi substrat yang lebih stabil serta frekuensi genangan yang lebih rendah dibandingkan zona dekat perairan. *Xylocarpus granatum* umumnya tumbuh pada zona belakang mangrove dengan kondisi tanah yang kaya bahan organik dan relatif terlindung dari arus laut langsung. Jenis ini memiliki batang berdiameter besar dan pertumbuhan tegakan yang cukup rapat sehingga berkontribusi terhadap tingginya biomassa pada zona belakang. Pola distribusi jenis pada setiap zona tersebut sesuai dengan konsep zonasi mangrove yang dijelaskan oleh Mughofar *et al.* (2018), bahwa distribusi vegetasi mangrove dipengaruhi oleh gradien lingkungan dari arah laut menuju daratan.

Variasi kerapatan dipengaruhi oleh gradien keterbukaan terhadap laut, intensitas pertukaran air, tipe substrat, serta tingkat aktivitas manusia. Struktur komunitas pada masing-masing stasiun merupakan hasil interaksi antara dinamika hidrologi pesisir dan kemampuan adaptif jenis mangrove dominan terhadap kondisi mikrohabitat setempat. Menurut Sreelekshmi *et al.* (2018), perbedaan kondisi lokasi dan zonasi dapat memicu pergeseran jenis dominan, lalu mengubah pola kerapatan antar titik pengamatan.

4.2 Biomassa, Nekromassa, dan Cadangan Karbon Berdasarkan Stasiun

Nilai biomassa dipengaruhi oleh ukuran pohon dan karakteristik kayu karena pohon dengan diameter lebih besar umumnya memiliki volume jaringan yang lebih besar dan mampu menyimpan bahan organik lebih banyak. Selain itu, salah satu parameter dalam perhitungan biomassa adalah berat jenis kayu, yaitu parameter yang menggambarkan kerapatan jaringan kayu pada setiap jenis mangrove. Jenis mangrove dengan berat jenis kayu yang lebih tinggi cenderung memiliki kandungan biomassa yang lebih besar dibandingkan jenis dengan berat jenis rendah, meskipun memiliki ukuran diameter yang relatif sama. Oleh karena itu, biomassa mangrove tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran vegetasi, tetapi juga oleh sifat fisik kayunya, sehingga penggunaan nilai berat jenis yang sesuai untuk setiap jenis mangrove.

Selain berat jenis, diameter batang setinggi dada (DBH) merupakan parameter dalam penentuan biomassa mangrove karena secara langsung merepresentasikan ukuran dan akumulasi pertumbuhan pohon. Nilai DBH mencerminkan peningkatan diameter batang yang terjadi seiring bertambahnya umur dan kemampuan vegetasi dalam menyimpan bahan organik. Semakin besar nilai DBH, semakin besar volume batang yang terbentuk sehingga jumlah biomassa yang tersimpan juga meningkat. Menurut Komiyama *et al.* (2008), perhitungan biomassa mangrove umumnya menggunakan persamaan alometrik yang mengaitkan DBH dengan berat jenis kayu dalam mengestimasi biomassa di atas permukaan.

Tabel 4. Jumlah Individu, Rata-rata DBH, dan Biomassa Mangrove per Stasiun

Stasiun	Jenis Mangrove	Jumlah Individu	Rata-rata DBH (cm)	Biomassa Total (kg)
1	<i>Lumnitzera racemosa</i>	11	14,90	1.733
	<i>Ceriops tagal</i>	8	8,51	336,40
	<i>Sonneratia ovata</i>	2	19,74	285,36
	<i>Rhizophora apiculata</i>	3	7,00	25,41
	<i>Excoecaria agallocha</i>	1	8,28	18,63
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	1	6,37	17,16
2	<i>Excoecaria agallocha</i>	9	23,94	6.053
	<i>Rhizophora apiculata</i>	7	28,60	2.399
	<i>Xylocarpus granatum</i>	13	18,12	1.906
	<i>Ceriops tagal</i>	8	15,04	1.467
	<i>Lanea coromandelica</i>	3	20,58	908,89
	<i>Sonneratia ovata</i>	2	23,24	452,04
3	<i>Thespesia populnea</i>	1	20,69	238,26
	<i>Rhizophora apiculata</i>	19	27,59	5.120
	<i>Excoecaria agallocha</i>	18	21,19	3.930
	<i>Ceriops tagal</i>	4	19,66	1.106
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	1	17,19	197,56
4	<i>Xylocarpus granatum</i>	3	11,88	135,34
	<i>Rhizophora mucronata</i>	5	28,01	3.772
	<i>Rhizophora apiculata</i>	8	26,10	1.920
	<i>Excoecaria agallocha</i>	19	10,87	1.186
	<i>Heritiera littoralis</i>	1	17,51	241,13
	<i>Pandanus tectorius</i>	2	17,51	211,30
	<i>Pongamia pinnata</i>	4	7,24	76,01
	<i>Sonneratia alba</i>	1	15,92	60,47
	<i>Ceriops tagal</i>	1	10,50	47,59
<i>Xylocarpus moluccensis</i>	3	6,05	30,27	

Tabel 4. menunjukkan jumlah individu, rata-rata DBH, dan total biomassa mangrove berdasarkan jenis pada setiap stasiun. Data tersebut digunakan untuk mengetahui jenis mangrove yang memberikan kontribusi biomassa terbesar di masing-masing stasiun. Secara umum, total biomassa tidak hanya ditentukan oleh jumlah individu, tetapi juga oleh ukuran diameter batang. Jenis dengan jumlah

individu banyak dapat menghasilkan biomassa tinggi apabila didukung oleh rata-rata DBH yang besar. Sebaliknya, jenis dengan jumlah individu sedikit juga dapat memberikan kontribusi biomassa besar apabila memiliki diameter batang yang lebih besar. Komiyama *et al.* (2008) menjelaskan bahwa DBH digunakan sebagai variabel utama dalam persamaan alometrik karena berkaitan langsung dengan ukuran pohon dan akumulasi biomassa.

Pada stasiun 1, total biomassa tertinggi berasal dari *Lumnitzera racemosa*. Hal ini berkaitan dengan jumlah individu yang paling banyak serta rata-rata DBH yang lebih besar dibandingkan sebagian besar jenis lain pada stasiun tersebut. Pada stasiun 2, total biomassa tertinggi berasal dari *Excoecaria agallocha*. Nilai ini dipengaruhi oleh keberadaan individu dengan diameter batang besar, sehingga kontribusi biomasanya lebih tinggi dibandingkan jenis lain. Pada stasiun 3, total biomassa tertinggi berasal dari *Rhizophora apiculata*. Jenis ini memiliki jumlah individu tinggi dan rata-rata DBH yang besar, sehingga menjadi penyumbang utama biomassa pada stasiun tersebut. Pada stasiun 4, total biomassa tertinggi berasal dari *Rhizophora mucronata*. Meskipun jumlah individunya lebih sedikit dibandingkan *Excoecaria agallocha*, rata-rata DBH *Rhizophora mucronata* lebih besar sehingga total biomasanya lebih tinggi.

Berdasarkan hubungan tersebut, variasi nilai DBH pada setiap stasiun akan berpengaruh langsung terhadap besarnya biomassa dan nekromassa yang dihasilkan. Stasiun dengan nilai DBH yang lebih tinggi cenderung memiliki biomassa yang lebih besar. Sedangkan perbedaan kondisi tegakan juga mempengaruhi jumlah nekromassa yang terbentuk dari bagian vegetasi yang mati. Nilai biomassa dan nekromassa

mangrove pada setiap stasiun menunjukkan adanya variasi yang mencerminkan perbedaan struktur dan kondisi ekosistem pada masing-masing lokasi pengamatan. Nilai tersebut merupakan hasil rata-rata keseluruhan pada setiap stasiun yang diperoleh berdasarkan data perhitungan, dan selanjutnya disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5. Biomassa Mangrove per Stasiun dan per Zona (ton/ha)

Stasiun	Zona A	Zona B	Zona C	Rata-rata
1	2,54	130,5	108,56	80,534
2	219	868,39	255,23	447,54
3	679,88	369,21	0	349,69
4	537,54	58,47	158,6	251,53
Rata-rata	359,74	356,64	130,59	282,32

Tabel 6. Nekromassa Mangrove per Stasiun dan per Zona (ton/ha)

Stasiun	Zona A	Zona B	Zona C	Rata-rata
1	0	0,96	0,58	0,51
2	0,21	0,33	1,73	0,75
3	0	0	0,74	0,24
4	1,56	0	0	0,52
Rata-rata	0,44	0,32	0,76	0,51

Stasiun 1 memiliki biomassa yang jauh lebih rendah dibandingkan stasiun lain. Nilai biomassa pada stasiun ini hanya sebesar 80,53 ton/ha. Sedangkan stasiun 2, 3, dan 4 memiliki biomassa lebih dari 250 ton/ha. Perbedaan yang cukup besar ini dapat dikaitkan dengan kerapatan total stasiun 1 yang juga paling rendah, yaitu 867 ind/ha. Stasiun 1 didominasi oleh *Lumnitzera racemosa*. Meskipun *Lumnitzera racemosa* menjadi penyumbang biomassa terbesar pada stasiun ini, jumlah individu dan ukuran diameter batang pada stasiun 1 tidak cukup besar untuk menghasilkan biomassa

setinggi stasiun lain. Rata-rata DBH stasiun 1 juga lebih rendah dibandingkan stasiun lain, sehingga akumulasi biomassa tegakan menjadi lebih kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur tegakan pada stasiun 1 relatif lebih sederhana dengan dominasi individu berukuran kecil sampai sedang. Selain itu, stasiun 1 berada dekat kawasan wisata Menara Pandang Hutan Mangrove Karimunjawa, sehingga area ini lebih mudah diakses dan berpotensi mengalami tekanan aktivitas antropogenik. Aktivitas manusia di sekitar jalur wisata dapat memengaruhi regenerasi, pemadatan substrat, kerusakan semai, atau gangguan ringan pada tegakan muda. Faktor tersebut dapat menyebabkan pertumbuhan tegakan tidak seoptimal stasiun yang lebih alami.

Stasiun 2 dan stasiun 3 menunjukkan nilai biomassa yang relatif tinggi dan memiliki pola yang hampir mirip. Stasiun 2 memiliki biomassa sebesar 447,54 ton/ha. Sedangkan stasiun 3 sebesar 349,69 ton/ha. Kedua stasiun ini memiliki kerapatan tinggi, yaitu 1.433 ind/ha pada stasiun 2 dan 1.500 ind/ha pada stasiun 3. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kedua stasiun memiliki struktur tegakan yang lebih berkembang dibandingkan stasiun 1. Pada stasiun 2, jenis dominan berdasarkan kerapatan adalah *Xylocarpus granatum* dan jenis kodominannya adalah *Excoecaria agallocha*. Namun, kontribusi biomassa terbesar justru berasal dari *Excoecaria agallocha* karena terdapat individu dengan diameter batang besar. Pada stasiun 3, jenis dominan adalah *Rhizophora apiculata* dan jenis kodominannya adalah *Excoecaria agallocha*. Biomassa yang tinggi pada stasiun 3 berkaitan dengan jumlah individu *Rhizophora apiculata* yang tinggi serta rata-rata DBH yang besar. Kesamaan stasiun 2 dan stasiun 3 terletak pada kerapatan yang tinggi, keberadaan individu berdiameter besar, serta posisi lokasi yang relatif mendukung pertumbuhan

mangrove. Stasiun 2 berada pada bagian utara dengan aktivitas antropogenik rendah, sedangkan stasiun 3 berada dekat laguna dan perairan dangkal dengan substrat berlumpur. Kondisi tersebut memungkinkan tegakan mangrove berkembang lebih baik, sehingga biomassa yang dihasilkan juga tinggi.

Stasiun 4 memiliki biomassa sebesar 251,53 ton/ha. Nilai ini lebih rendah dibandingkan stasiun 2 dan stasiun 3, meskipun kerapatan totalnya juga tinggi, yaitu 1.467 ind/ha. Kondisi ini menunjukkan bahwa kerapatan yang tinggi tidak selalu menghasilkan biomassa yang paling besar. Pada stasiun 4, jenis dominan berdasarkan kerapatan adalah *Excoecaria agallocha*. Namun, kontribusi biomassa terbesar berasal dari *Rhizophora mucronata* karena rata-rata DBH jenis ini lebih besar dibandingkan jenis lain. Biomassa stasiun 4 lebih kecil dibandingkan stasiun 2 dan stasiun 3 karena sebagian besar individu penyusun tegakan memiliki ukuran diameter yang lebih kecil. Selain itu, stasiun 4 berada pada bagian barat laut Pulau Kemujan yang lebih terbuka ke arah laut, dengan substrat berpasir dan bercampur pecahan karang. Kondisi substrat seperti ini diduga kurang mendukung perkembangan tegakan berdiameter besar secara merata dibandingkan substrat berlumpur yang terdapat pada stasiun 2 dan stasiun 3.

Secara keseluruhan, perbedaan biomassa antarstasiun menunjukkan bahwa struktur tegakan mangrove di Pulau Kemujan tidak seragam. Stasiun 1 memiliki biomassa paling rendah karena kerapatan dan rata-rata DBH lebih kecil serta berada dekat aktivitas wisata. Stasiun 2 dan stasiun 3 memiliki biomassa tinggi karena didukung kerapatan tinggi dan keberadaan individu berdiameter besar. Stasiun 4 memiliki kerapatan tinggi, tetapi biomasanya lebih rendah dibandingkan stasiun 2

dan stasiun 3 karena banyak individu berdiameter lebih kecil serta substratnya lebih berpasir dan bercampur pecahan karang. Pola ini menunjukkan bahwa biomassa mangrove dipengaruhi oleh kombinasi kerapatan, diameter batang, komposisi jenis, dan karakter habitat.

Berbeda dengan biomassa, nekromassa menunjukkan akumulasi material mati berkayu yang masih tersisa di dalam ekosistem. Nilai nekromassa pada penelitian ini jauh lebih rendah dibandingkan biomassa hidup, yang menunjukkan bahwa cadangan karbon di atas permukaan pada mangrove Pulau Kemujan masih didominasi oleh tegakan hidup. Rendahnya nekromassa diduga dipengaruhi oleh dinamika pasang surut yang menyebabkan material mati mudah terbawa arus, terfragmentasi, atau berpindah ke bagian perairan lain sebelum terakumulasi di dalam tegakan. Meskipun demikian, nekromassa tetap penting karena berperan dalam siklus hara, penyediaan mikrohabitat, dan regenerasi vegetasi. Mugi *et al.* (2022) menyatakan bahwa dead wood pada ekosistem mangrove berperan dalam nutrient cycling dan seedling recruitment, serta stoknya dipengaruhi oleh keseimbangan antara input material mati, laju dekomposisi, dan ekspor material oleh proses hidrodinamik.

Nekromassa tertinggi terdapat pada stasiun 2 sebesar 0,75 ton/ha yang berkaitan dengan tingginya biomassa hidup, kerapatan tegakan, dan kemampuan habitat menahan material mati di dalam koridor vegetasi. Nekromassa pada stasiun 4 sebesar 0,52 ton/ha yang menunjukkan bahwa lokasi yang lebih terbuka dengan substrat keras masih dapat mengakumulasi material mati ketika sebagian kayu tertahan oleh struktur vegetasi.

Nekromassa pada stasiun 1 sebesar 0,51 ton/ha, yang diduga dipengaruhi oleh

kondisi teluk yang lebih terlindung, sehingga material mati tidak mudah terangkut keluar meskipun biomassa hidupnya rendah. Nekromassa terendah terdapat pada stasiun 3 sebesar 0,24 ton/ha. Rendahnya nilai ini berkaitan dengan kondisi lokasi yang lebih terbuka dan pertukaran air yang tinggi, sehingga material mati lebih mudah terbawa arus dan tidak banyak terakumulasi di dalam area pengamatan.

Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata cadangan karbon biomassa adalah 132,69 ton C/ha. Sedangkan rata-rata cadangan karbon pada nekromassa sebesar 0,24 ton C/ha. Perbandingan cadangan karbon biomassa dan cadangan karbon nekromassa mangrove per stasiun disajikan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**.

Tabel 7. Cadangan Karbon Biomassa Mangrove per Stasiun dan per Zona (ton C/ha)

Stasiun	Zona A	Zona B	Zona C	Rata-rata
1	1,19	61,34	51,02	37,85
2	102,93	408,14	119,96	210,34
3	319,54	173,53	0	164,35
4	252,64	27,48	74,54	118,22
Rata-rata	169,07	167,62	61,38	132,69

Tabel 8. Cadangan Karbon Nekromassa Mangrove per Stasiun dan per Zona (ton C/ha)

Stasiun	Zona A	Zona B	Zona C	Rata-rata
1	0	0,45	0,27	0,24
2	0,10	0,15	0,81	0,35
3	0	0	0,34	0,11
4	0,73	0	0	0,24
Rata-rata	0,20	0,15	0,36	0,24

Secara umum, hasil penelitian ini berada pada kisaran yang sebanding dengan penelitian terdahulu di kawasan Pulau Kemujan dan sekitarnya. Cahyaningrum et al. (2014) melaporkan total biomassa atas permukaan mangrove di Pulau Kemujan

sebesar 182,4 ton/ha dengan simpanan karbon sebesar 91,2 ton C/ha. Selanjutnya, Wirasatriya et al. (2022) melaporkan bahwa biomassa atas permukaan mangrove di kawasan Karimunjawa-Kemujan berkisar antara 8 sampai 328 Mg/ha. Asadi et al. (2024) juga melaporkan total biomassa tegakan mangrove di Pulau Kemujan sebesar 295,04 Mg/ha dengan *Rhizophora apiculata* sebagai penyumbang biomassa terbesar. Perbedaan hasil antar penelitian diduga dipengaruhi oleh perbedaan lokasi pengamatan, komposisi jenis mangrove, struktur tegakan, serta metode dan skala analisis biomassa yang digunakan.

Nilai cadangan karbon nekromassa pada penelitian ini tergolong rendah, yaitu 0,11 sampai 0,35 ton C/ha. Nilai ini lebih rendah dibandingkan penelitian Kusuma et al. (2022) pada ekosistem mangrove Register 15, Lampung Timur, yang melaporkan karbon nekromassa sebesar 0,02 sampai 0,65 kg C/m² atau setara dengan 0,2 sampai 6,5 ton C/ha. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh variasi jumlah pohon mati, volume kayu mati, struktur tegakan, komposisi jenis, serta kondisi lingkungan pada masing-masing lokasi penelitian. Kristensen et al. (2008) menjelaskan dekomposisi dan transformasi bahan organik di mangrove berlangsung intens, ekspor karbon terlarut atau partikel ke perairan pesisir dapat terjadi melalui proses pasang surut. Pola tersebut relevan untuk Pulau Kemujan karena variasi cadangan karbon antar stasiun umumnya lebih kuat ditentukan oleh biomassa tegakan hidup daripada stok material mati di permukaan.

Secara keseluruhan, pola cadangan karbon biomassa dan cadangan karbon nekromassa pada penelitian ini menunjukkan bahwa cadangan karbon biomassa lebih dipengaruhi oleh dominasi jenis mangrove, kerapatan, dan kondisi habitat yang

mendukung pertumbuhan tegakan, sedangkan cadangan karbon nekromassa lebih dipengaruhi oleh kemampuan habitat dalam menahan material mati di tengah dinamika pasang surut. Dengan demikian, analisis kedua komponen tersebut memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai kondisi ekosistem mangrove di Pulau Kemujan.

Berdasarkan hasil analisis uji Friedman, cadangan karbon biomassa antarstasiun tidak menunjukkan perbedaan karena signifikansi lebih dari 0,05. Hasil yang sama juga diperoleh pada cadangan karbon nekromassa, yang menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antarstasiun. Dengan demikian, cadangan karbon biomassa dan nekromassa pada seluruh stasiun pengamatan relatif tidak berbeda secara statistik.

4.3 Biomassa, Nekromassa, dan Cadangan Karbon Berdasarkan Zona

Nilai biomassa dan nekromassa mangrove pada setiap zona pengamatan dipengaruhi oleh struktur tegakan yang terbentuk pada masing-masing zona, yaitu zona depan (A), zona tengah (B), dan zona belakang (C). Perbedaan kondisi lingkungan pada setiap zona menyebabkan variasi pertumbuhan vegetasi yang tercermin pada ukuran diameter batang. Diameter batang setinggi dada (DBH) digunakan sebagai parameter utama untuk menggambarkan struktur ukuran pohon pada setiap zona, karena berkaitan langsung dengan kemampuan vegetasi dalam menyimpan biomassa. Semakin besar nilai DBH, semakin besar potensi biomassa dan nekromassa yang dihasilkan. Oleh karena itu, sebelum menganalisis nilai biomassa dan nekromassa, perlu diketahui terlebih dahulu kondisi DBH pada

masing-masing zona yang disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Jumlah Individu, Rata-rata DBH, dan Biomassa Mangrove per Zona

Zona	Jenis Mangrove	Jumlah Individu	Rata-rata DBH (cm)	Biomassa Total (kg)
A	<i>Rhizophora apiculata</i>	27	24,46	6.044
	<i>Rhizophora mucronata</i>	5	28,01	3.772
	<i>Excoecaria agallocha</i>	20	18,56	3.320
	<i>Lansea coromandelica</i>	3	20,58	908,89
	<i>Ceriops tagal</i>	3	11,99	206,91
	<i>Xylocarpus granatum</i>	3	11,88	135,34
B	<i>Excoecaria agallocha</i>	16	16,05	6.828
	<i>Rhizophora apiculata</i>	9	30,03	3.246
	<i>Ceriops tagal</i>	16	14,50	2.731
	<i>Lumnitzera racemosa</i>	4	18,22	969,65
	<i>Thespesia populnea</i>	1	20,69	238,26
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	1	17,19	197,56
	<i>Pandanus tectorius</i>	1	14,01	53,91
C	<i>Xylocarpus granatum</i>	13	18,12	1.906
	<i>Excoecaria agallocha</i>	8	16,95	1.039
	<i>Lumnitzera racemosa</i>	7	13,01	763,40
	<i>Sonneratia ovata</i>	4	21,49	737,40
	<i>Heritiera littoralis</i>	1	17,51	241,13
	<i>Rhizophora apiculata</i>	1	23,55	174,60
	<i>Pandanus tectorius</i>	1	21,01	157,39
	<i>Pongamia pinnata</i>	4	7,24	76,02
	<i>Sonneratia alba</i>	1	15,92	60,47
	<i>Xylocarpus moluccensis</i>	3	6,05	30,27
	<i>Ceriops tagal</i>	2	4,78	20,54
	<i>Bruguiera cylindrica</i>	1	6,37	17,16

Pada zona A, total biomassa tertinggi berasal dari *Rhizophora apiculata* sebesar 6.044 kg. Nilai ini berkaitan dengan jumlah individu yang paling banyak pada zona A, yaitu 27 individu, serta rata-rata DBH sebesar 24,46 cm. Pada zona B, total biomassa tertinggi berasal dari *Excoecaria agallocha* sebesar 6.828 kg. Jenis ini

memiliki jumlah individu paling banyak pada zona B, yaitu 19 individu, dengan rata-rata DBH 16,05 cm. Pada zona C, total biomassa tertinggi berasal dari *Xylocarpus granatum* sebesar 1.906 kg. Nilai ini berkaitan dengan jumlah individu yang paling banyak pada zona C, yaitu 13 individu, serta rata-rata DBH sebesar 18,12 cm.

Berdasarkan hubungan tersebut, nilai biomassa dan nekromassa pada masing-masing zona menunjukkan pola yang mengikuti variasi struktur tegakan yang telah terbentuk. Nilai biomassa dan nekromassa mangrove per zona diperoleh dari data plot yang mewakili zona yang sama pada seluruh stasiun penelitian. Zona A dihitung berdasarkan plot yang ditempatkan pada zona depan di setiap stasiun, zona B berdasarkan plot pada zona tengah, dan zona C berdasarkan plot pada zona belakang. Nilai pada masing-masing zona selanjutnya disajikan sebagai hasil penggabungan atau rata-rata dari plot-plot tersebut sesuai dengan metode analisis yang digunakan. Nilai biomassa dan nekromassa mangrove per zona disajikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Biomassa tertinggi pada zona A menunjukkan bahwa zona depan memiliki kondisi habitat yang paling mendukung pertumbuhan tegakan mangrove. Letaknya yang paling dekat dengan perairan pantai menyebabkan zona A menerima pengaruh pasang surut secara langsung, sehingga pertukaran air, suplai sedimen, dan unsur hara berlangsung lebih intensif. Biomassa zona B yang nilainya sebesar 356,64 menunjukkan bahwa zona tengah juga masih memiliki kondisi habitat yang cukup mendukung, meskipun terdapat variasi lokal pada diameter batang, komposisi jenis, dan kondisi mikrohabitat.

Zona C memiliki biomassa terendah menunjukkan bahwa tegakan hidup di

zona belakang cenderung lebih kecil atau kurang berkembang dibandingkan zona depan dan tengah. Nilai ini juga dipengaruhi oleh tidak ditemukannya mangrove pada zona C di stasiun 4, sehingga biomassa pada bagian tersebut bernilai nol dan menurunkan rata-rata biomassa zona C secara keseluruhan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pada bagian belakang, vegetasi telah bertransisi ke vegetasi daratan sehingga akumulasi biomassa mangrove menjadi lebih rendah.

Berbeda dengan biomassa, nekromassa tertinggi terdapat pada zona C sebesar 0,76 ton/ha. Sedangkan nilai terendah terdapat pada zona B sebesar 0,32 ton/ha. Pola ini menunjukkan bahwa zona belakang memiliki kemampuan lebih besar dalam menahan material mati berkayu, seperti batang rebah, cabang patah, dan kayu mati. Pada zona yang lebih dekat dengan perairan terbuka, material mati cenderung lebih mudah terbawa arus pasang surut, terfragmentasi, atau berpindah ke lokasi lain sebelum sempat terakumulasi. Mugi *et al.* (2022) menyatakan bahwa stok nekromassa mangrove dipengaruhi oleh keseimbangan antara material mati, laju dekomposisi, dan perpindahan material oleh proses hidrodinamik.

Nilai cadangan karbon biomassa dan cadangan karbon nekromassa disajikan pada setiap zona. Perbandingan cadangan karbon biomassa dan cadangan karbon nekromassa mangrove per zona disajikan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**.

Cadangan karbon biomassa lebih tinggi dibandingkan cadangan karbon nekromassa pada seluruh zona. Hasil tersebut menunjukkan komponen biomassa menjadi penentu utama variasi cadangan karbon antar zona. Cadangan karbon biomassa pada zona A sebesar 169,07 ton C/ha dan zona B sebesar 167,62 ton C/ha menunjukkan nilai yang relatif sebanding. Nilai cadangan karbon biomassa pada

zona C sebesar 61,38 ton C/ha. Pola tersebut menempatkan zona A sebagai zona dengan cadangan karbon biomassa tertinggi. Sedangkan zona C sebagai yang terendah. Zona dengan tegakan lebih berkembang cenderung menghasilkan biomassa kering lebih besar, sehingga cadangan karbon biomassa juga lebih tinggi.

Cadangan karbon nekromassa berada pada kisaran 0,15 sampai 0,36 ton C/ha. Nilai terendah terdapat pada zona B sebesar 0,15 ton C/ha, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada zona C sebesar 0,36 ton C/ha. Zona A memiliki nilai sebesar 0,20 ton C/ha. Pola tersebut menunjukkan zona C memiliki cadangan karbon biomassa terendah, tetapi menunjukkan kontribusi nekromassa tertinggi dibanding zona lain. Kondisi tersebut dapat mengindikasikan akumulasi material mati yang lebih banyak pada saat pengamatan atau adanya kondisi setempat yang memungkinkan material mati lebih bertahan.

Secara umum, pola cadangan karbon biomassa dan cadangan karbon nekromassa antarzona menunjukkan bahwa cadangan karbon biomassa lebih dipengaruhi oleh struktur tegakan dan kondisi habitat yang mendukung pertumbuhan mangrove, sedangkan cadangan karbon nekromassa lebih dipengaruhi oleh kemampuan masing-masing zona dalam menahan material mati. Dengan demikian, zona A dan zona B cenderung menjadi area utama akumulasi biomassa hidup, sedangkan Zona C lebih berperan sebagai area retensi nekromassa.

Berdasarkan hasil analisis uji Friedman, cadangan karbon biomassa tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antarzona karena nilainya lebih dari 0,05. Hasil yang sama juga diperoleh pada cadangan karbon nekromassa, yang menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antarstasiun. Dengan demikian,

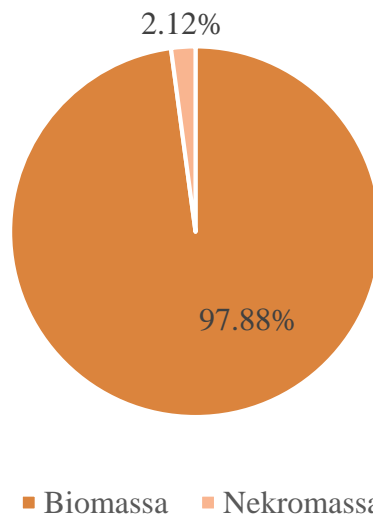
cadangan karbon biomassa dan nekromassa pada seluruh stasiun pengamatan relatif tidak berbeda secara statistik.

4.4 Rata-rata Cadangan Karbon Total

Zona dapat dilakukan pada nekromassa berkayu, yaitu kayu mati dan pohon mati. Rata-rata cadangan karbon total di atas permukaan merupakan hasil akumulasi simpanan karbon pada biomassa tegakan dan nekromassa yang berasal dari pohon mati serta kayu mati. Hasil perhitungan total cadangan karbon di atas permukaan di Pulau Kemujan, Kepulauan Karimunjawa disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Rata-rata Cadangan Karbon Total

No	Komponen	Rata-rata Cadangan Karbon (ton C/ha)	Rata-rata Cadangan Karbon Total (ton C/ha)
1.	Biomassa tegakan	132,69	135,57
2.	Nekromassa berkayu	2,88	



Gambar 8. Diagram Lingkaran Rata-rata Cadangan Karbon Total

Berdasarkan hasil perhitungan, cadangan karbon biomassa tegakan sebesar

132,69 ton C/ha dan cadangan karbon nekromassa berkayu sebesar 2,88 ton C/ha, sehingga cadangan karbon total mencapai 135,57 ton C/ha. Klasifikasi cadangan karbon menurut Bappenas Kemenhut (2010) terbagi menjadi tiga tingkatan utama berdasarkan besaran simpanannya per hektar. Suatu kawasan dinyatakan memiliki cadangan karbon tinggi jika totalnya melebihi 100 ton C/ha, kategori sedang untuk rentang 35–100 ton C/ha, dan dikategorikan rendah apabila total simpanannya kurang dari 35 ton C/ha. Mengacu pada pembagian ini, hasil penelitian di Pulau Kemujan yang menunjukkan angka 135,57 ton C/ha secara otomatis masuk dalam kategori tinggi. Hasil tersebut lebih tinggi dibandingkan rata-rata cadangan karbon atas permukaan mangrove Karimunjawa-Kemujan yang dilaporkan oleh Wirasatriya *et al.* (2022), yaitu 69,72 ton C/ha. Cadangan karbon di lokasi penelitian didominasi oleh biomassa tegakan hidup dengan kontribusi 97,88%, sedangkan nekromassa hanya menyumbang 2,12%.

Dominasi biomassa menunjukkan bahwa stok karbon di atas permukaan terutama ditentukan oleh struktur tegakan mangrove, seperti diameter batang, tinggi pohon, dan luas bidang dasar. Zaman *et al.* (2023) menyatakan bahwa DBH, tinggi pohon, dan basal area berhubungan kuat dengan stok karbon, sedangkan kontribusi kayu mati umumnya lebih kecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa biomassa tegakan menjadi komponen utama penyusun cadangan karbon.

Berdasarkan nilai tersebut, mangrove Pulau Kemujan memiliki potensi simpanan karbon yang besar pada komponen di atas permukaan. Meskipun kontribusi nekromassa relatif kecil, komponen ini tetap penting karena

mencerminkan dinamika kematian pohon dan proses dekomposisi. Hasil ini memperkuat peran mangrove Pulau Kemujan sebagai ekosistem blue carbon yang penting untuk dipertahankan melalui perlindungan tegakan, pengendalian gangguan, dan rehabilitasi pada area yang mengalami penurunan tutupan mangrove.