

VARIASI BIOMASSA EMPAT SPESIES MANGROVE BERDASARKAN STRUKTUR DIAMETER BATANG DI KAWASAN PESISIR WOR, SULAWESI UTARA

Angel Spengki Lomba¹, Adnan S. Wantasen, Unstain N. W. J. Rembet, Rene Charles Kepel, Khristin Fisye Ivone Kondoy, Stephanus Vianny Mandagi

Mahasiswa Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115

Staf Pengajar Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115

Email korespondensi: angellomba051@student.unsrat.ac.id

ABSTRAK

Biomassa mangrove merupakan parameter penting dalam menilai kapasitas penyimpanan karbon ekosistem pesisir. Studi ini bertujuan untuk menganalisis variasi biomassa empat spesies mangrove berdasarkan struktur diameter batang (DBH) di wilayah pesisir Desa Wori. Metode non-destruktif dengan pendekatan alometrik digunakan dengan mengukur DBH pada tiga petak berukuran 10 m × 10 m yang didistribusikan mengikuti zonasi mangrove. Biomassa di atas permukaan tanah (AGB) dan biomassa akar (BGB) dihitung menggunakan persamaan Komiyama dkk. (2005) dengan memanfaatkan data DBH dan kerapatan kayu dari Global Wood Density Database. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan empat spesies, yaitu *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Bruguiera gymnorhiza*. *Sonneratia alba* memiliki biomassa tertinggi (AGB: 1.559,65 kg/pohon; BGB: 526,71 kg/pohon) dengan DBH berkisar antara 26,46 hingga 58,92 cm, sedangkan *Rhizophora apiculata* menunjukkan biomassa terendah (AGB: 83,90 kg/pohon; BGB: 37,62 kg/pohon) dengan DBH sebagian besar <25 cm. Analisis regresi menunjukkan korelasi positif yang kuat ($r^2 = 0,89$) antara DBH dan biomassa total. Rasio AGB:BGB berkisar antara 2,8 hingga 3,2, menunjukkan alokasi biomassa yang lebih besar ke struktur di atas permukaan tanah. Studi ini menunjukkan bahwa struktur diameter batang merupakan penentu utama variasi biomassa mangrove, dengan spesies berdiameter besar (>40 cm) menyumbang 62% dari total biomassa meskipun hanya mewakili 14% dari total jumlah individu. Temuan ini memberikan data dasar untuk strategi konservasi berdasarkan struktur populasi mangrove di daerah pesisir Sulawesi Utara.

Kata kunci: biomassa mangrove, DBH, persamaan alometrik, zonasi mangrove, Desa Wori

ABSTRACT

Biomass Variation of Four Mangrove Species Based on Trunk Diameter Structure in Wori Coastal Area, North Sulawesi

Mangrove biomass is an important parameter in assessing the carbon storage capacity of coastal ecosystems. This study aims to analyze the biomass variations of four mangrove species based on their stem diameter (DBH) structure in the coastal area of Wori Village. A non-destructive method with an allometric approach was used by measuring DBH in three 10 m × 10 m plots spread across the mangrove zone. Aboveground biomass (AGB) and

belowground biomass (BGB) were calculated using the equation of Komiyama et al. (2005) by utilizing DBH and wood density data from the Global Wood Density Database. The results showed that four species were found: *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, and *Bruguiera gymnorrhiza*. *Sonneratia alba* had the highest biomass (AGB: 1,559.65 kg/tree; BGB: 526.71 kg/tree) with a DBH ranging from 26.46 to 58.92 cm, while *Rhizophora apiculata* showed the lowest biomass (AGB: 83.90 kg/tree; BGB: 37.62 kg/tree) with a DBH predominantly <25 cm. Regression analysis showed a strong positive correlation ($r^2 = 0.89$) between DBH and total biomass. The AGB:BGB ratio ranged from 2.8 to 3.2, indicating greater biomass allocation to aboveground structures. This study demonstrated that stem diameter structure is a major determinant of mangrove biomass variation, with large-diameter species (>40 cm) contributing 62% of the total biomass despite representing only 14% of individuals. These findings provide baseline data for conservation strategies based on mangrove population structure in coastal areas of North Sulawesi. **Keywords:** mangrove biomass, DBH, allometric equation, mangrove zonation, Wori Village

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem pesisir dengan produktivitas tinggi dan memainkan peran penting dalam siklus biogeokimia daerah pesisir (Djamaluddin, 2018). Sebagai ekosistem transisi antara darat dan laut, mangrove memiliki kemampuan unik untuk berkembang dalam kondisi lingkungan ekstrem seperti salinitas tinggi, genangan periodik, dan substrat anaerobik (Babo dkk., 2020). Kemampuan adaptasi ini menjadikan mangrove sebagai komponen vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan menyediakan berbagai jasa ekosistem bagi masyarakat pesisir. Biomassa mangrove merupakan parameter penting dalam menilai produktivitas dan kapasitas penyimpanan karbon suatu ekosistem. Brown (1997) mendefinisikan biomassa sebagai total materi organik hidup yang dinyatakan sebagai berat kering per satuan luas. Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, biomassa mangrove merupakan indikator kunci karena kemampuannya menyimpan karbon hingga lima kali lebih banyak daripada hutan darat (Imburi dkk., 2024). Memahami distribusi dan variasi biomassa mangrove sangat penting untuk menilai kontribusinya terhadap penyerapan karbon atmosfer.

Struktur diameter batang atau Diameter at Breast Height (DBH) merupakan parameter morfometrik kunci yang menentukan besarnya biomassa mangrove (Pratiwi dkk., 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa DBH memiliki korelasi yang kuat dengan akumulasi biomassa, baik pada komponen di atas tanah maupun sistem akar (Sari dkk., 2022; Mangore dkk., 2022). Namun, variasi biomassa antar spesies dengan DBH yang serupa masih menjadi topik penelitian yang penting, khususnya terkait dengan perbedaan kepadatan kayu dan arsitektur pertumbuhan masing-masing spesies. Di daerah pesisir Sulawesi Utara, khususnya Desa Wori, ekosistem mangrove masih relatif terjaga dengan baik dengan komposisi spesies yang beragam. Lokasi ini memiliki karakteristik unik dengan zonasi mangrove yang jelas dari darat ke laut, memungkinkan variasi yang signifikan dalam struktur vegetasi. Meskipun beberapa penelitian telah dilakukan di wilayah Kabupaten Wori (Darman dkk., 2022; Ruru dkk., 2022), penelitian komprehensif tentang variasi biomassa berdasarkan struktur DBH masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis variasi biomassa empat spesies mangrove dominan berdasarkan struktur diameter batang; (2) mengevaluasi kontribusi masing-masing spesies terhadap total biomassa ekosistem; dan (3) mengidentifikasi hubungan antara DBH dan akumulasi biomassa di atas dan di bawah permukaan tanah.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pemahaman ekologi mangrove dan menjadi dasar untuk mengembangkan strategi konservasi berbasis struktur populasi.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ekosistem mangrove Desa Wori, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Pengumpulan data lapangan dilakukan pada saat air surut terendah (0,4 m) pada tanggal 6 Desember 2025, antara pukul 09.23 dan 11.37 WITA (Waktu Indonesia Tengah). Lokasi penelitian dipilih karena memiliki zonasi mangrove yang jelas dan aksesibilitas yang memadai.

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan non-destruktif. Pengumpulan data dilakukan menggunakan metode transek kuadrat dengan tiga plot pengamatan berukuran $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, yang diposisikan mengikuti zonasi mangrove dari darat ke laut (zona belakang, tengah, dan depan). Jarak antar plot adalah 65 m, dengan panjang transek total 160 m dari garis pantai.

Prosedur Pengambilan Data

Identifikasi Spesies dan Pengukuran DBH

Identifikasi spesies mangrove dilakukan menggunakan panduan Noor et al. (2006). Pada setiap plot, semua individu mangrove diidentifikasi dan dihitung jumlahnya. Pengukuran DBH dilakukan pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah menggunakan meteran pita sesuai standar SNI (2011). Untuk pohon dengan akar tunjang atau akar napas, pengukuran dilakukan di atas zona percabangan akar sesuai protokol standar pengukuran mangrove.

Data Kerapatan Kayu

Nilai kerapatan kayu (wood density) untuk masing-masing spesies diperoleh dari Global Wood Density Database (Zanne et al., 2009 dalam Malabrigo et al., 2017). Kerapatan kayu yang digunakan adalah: *Avicennia marina* (0,650 g/cm³), *Rhizophora apiculata* (0,850 g/cm³), *Sonneratia alba* (0,510 g/cm³), dan *Bruguiera gymnorrhiza* (0,770 g/cm³).

Analisis Data

Perhitungan Biomassa

Biomassa di atas tanah (Above Ground Biomass/AGB) dihitung menggunakan persamaan alometrik Komiyama et al. (2005):

$$\text{AGB} = 0,251 \times \rho \times D^{2,46}$$

Biomassa akar (Below Ground Biomass/BGB) dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{BGB} = 0,199 \times \rho^{0.899} \times D^{2.22}$$

dimana:

- AGB = biomassa di atas tanah (kg)
- BGB = biomassa akar (kg)
- ρ = kerapatan kayu (g/cm^3)
- D = DBH (cm)

Analisis Statistik

Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan distribusi biomassa per spesies. Analisis regresi digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara DBH dan biomassa total. Perbandingan biomassa antar spesies didasarkan pada nilai rata-rata dan biomassa total per satuan luas. Semua analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel 2019.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi dan Struktur Vegetasi Mangrove

Pengamatan di tiga plot penelitian mengungkapkan keberadaan empat spesies mangrove: *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*. Sebanyak 28 individu tercatat, dengan distribusi yang tidak merata di seluruh plot. Plot 1 (zona belakang) memiliki 14 individu, didominasi oleh *A. marina* (7 individu) dan *R. apiculata* (6 individu). Plot 2 (zona tengah) mencatat 11 individu, didominasi oleh *R. apiculata* (7 individu). Plot 3 (zona depan) hanya memiliki tiga individu *S. alba*, tetapi dengan diameter terbesar. Perbedaan distribusi spesies di seluruh zona menunjukkan stratifikasi vertikal sejalan dengan gradien lingkungan dari darat ke laut. Dominasi *A. marina* dan *R. apiculata* di zona belakang menunjukkan toleransi kedua spesies terhadap kondisi substrat berpasir berlumpur dengan pengaruh air laut yang lebih sedikit. Sebaliknya, keberadaan *S. alba* di zona pantai dengan substrat berpasir dan fragmen karang menunjukkan adaptasi spesies ini terhadap energi gelombang yang lebih tinggi dan salinitas yang lebih stabil (Lahabu et al., 2015).

Variasi Struktur Diameter Batang (DBH)

Pengukuran DBH menunjukkan variasi yang luas antara spesies dan zona. Di Petak 1, DBH berkisar dari 5,41 hingga 43,76 cm dengan rata-rata 13,92 cm. Petak 2 menunjukkan kisaran DBH 6,69 hingga 56,31 cm (rata-rata 19,60 cm), sedangkan Petak 3 memiliki DBH 26,46 hingga 58,92 cm (rata-rata 47,70 cm). Variasi DBH ini mencerminkan perbedaan usia dan kondisi pertumbuhan di setiap zona.

Sonneratia alba menunjukkan DBH terbesar dengan nilai maksimum 58,92 cm, diikuti oleh *B. gymnorrhiza* (39,27 cm), *A. marina* (19,11 cm), dan *R. apiculata* (23,60 cm). Perbedaan dalam struktur DBH ini signifikan dalam menentukan kontribusi biomassa, dengan pohon berdiameter besar memberikan kontribusi biomassa yang

jauh lebih tinggi, meningkat secara eksponensial hingga pangkat 2,46 dalam persamaan alometrik yang digunakan.

Biomassa di Atas Tanah (AGB)

Hasil perhitungan menunjukkan variasi AGB yang signifikan antar spesies (Tabel 1). *S. alba* memiliki AGB tertinggi dengan rata-rata 1.559,65 kg/pohon dan total 2.079,53 kg/m². Nilai tinggi ini terutama disebabkan oleh diameter batangnya yang besar (26,46-58,92 cm) meskipun memiliki jumlah individu paling sedikit (3 pohon). Hal ini menegaskan temuan Sari dkk. (2022) bahwa diameter batang memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap biomassa daripada jumlah individu.

Tabel 1. Biomassa di atas tanah (AGB) empat spesies mangrove

Spesies	Jumlah Individu	Rata-rata AGB (kg/pohon)	Total AGB (kg/m²)	Kontribusi (%)
<i>A. marina</i>	9	565,23	1.695,69	36,8
<i>R. apiculata</i>	13	83,90	363,56	7,9
<i>S. alba</i>	4	1.559,65	2.079,53	45,1
<i>B. gymnorrhiza</i>	2	1.011,93	674,62	14,6

A. marina menunjukkan AGB sebesar 565,23 kg/pohon, dengan total 1.695,69 kg/m². Meskipun biomassa per individu lebih rendah daripada *S. alba*, jumlah individu yang lebih banyak (9 pohon) menghasilkan kontribusi yang signifikan terhadap total biomassa (36,8%). Hal ini menunjukkan bahwa dalam ekosistem mangrove, kepadatan tegakan tetap menjadi faktor penting dalam akumulasi total biomassa, konsisten dengan temuan Prakoso dkk. (2018).

B. gymnorrhiza, dengan biomassa sebesar 1.011,93 kg/pohon, menunjukkan nilai yang tinggi, tetapi kontribusi totalnya hanya 14,6% karena jumlah individu yang terbatas (2 pohon). Kepadatan kayu yang relatif tinggi (0,770 g/cm³) berkontribusi pada biomassa per pohon yang tinggi. Sebaliknya, *R. apiculata*, meskipun memiliki jumlah individu terbanyak (13 pohon) dan kepadatan kayu tertinggi (0,850 g/cm³), memiliki biomassa total terendah (363,56 kg/m²) karena didominasi oleh pohon berdiameter kecil (<25 cm).

Biomassa di Bawah Tanah (BGB)

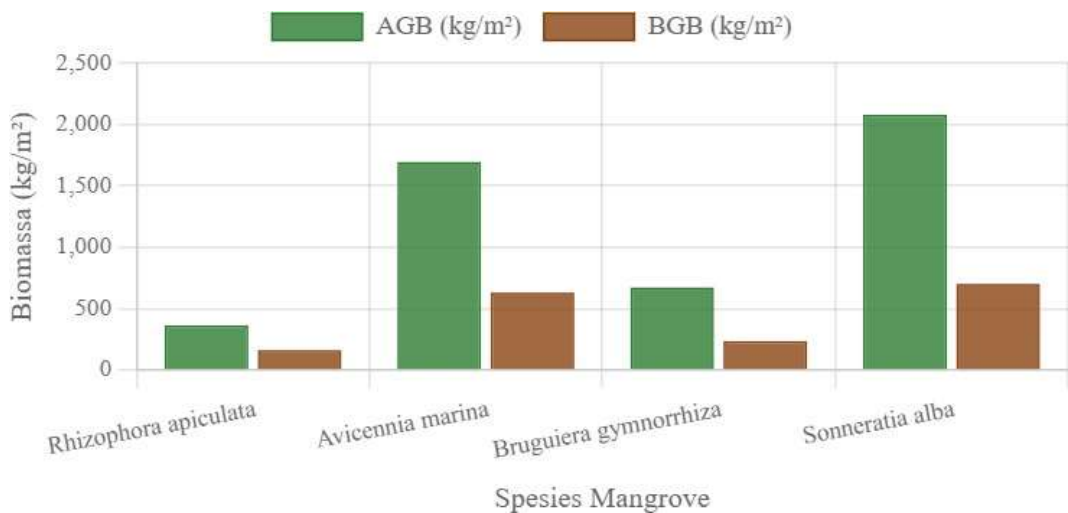
Pola distribusi BGB menunjukkan kecenderungan serupa dengan AGB (Tabel 2). *S. alba* memiliki biomassa akar tertinggi (526,71 kg/pohon; total 702,28 kg/m²), mengindikasikan sistem perakaran yang berkembang baik untuk mendukung struktur batang yang besar. Sistem perakaran yang kuat ini penting dalam stabilitas mekanik pohon menghadapi energi gelombang di zona depan mangrove.

Tabel 2. Biomassa di bawah tanah (BGB) empat spesies mangrove

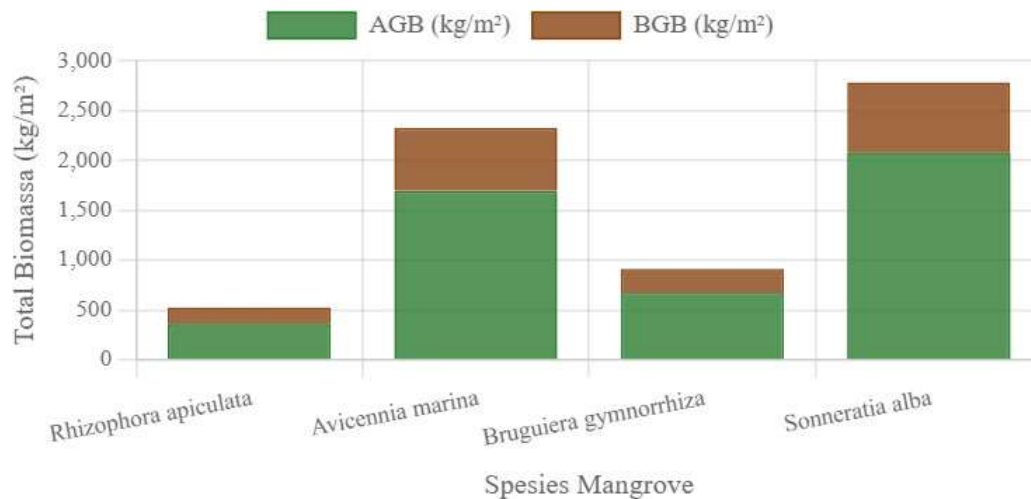
Spesies	Rata-rata BGB (kg/pohon)	Total BGB (kg/m²)	Rasio AGB:BGB
<i>A. marina</i>	210,58	631,73	2,68
<i>R. apiculata</i>	37,62	163,00	2,23
<i>S. alba</i>	526,71	702,28	2,96
<i>B. gymnorhiza</i>	355,97	237,31	2,84

Gambar 1. Perbandingan biomassa di atas tanah (AGB) dan biomassa di bawah tanah (BGB) empat spesies mangrove.

Grafik batang menunjukkan perbedaan signifikan antara AGB (hijau) dan BGB (coklat) untuk setiap spesies. *S. alba* menunjukkan nilai tertinggi untuk kedua komponen biomassa.



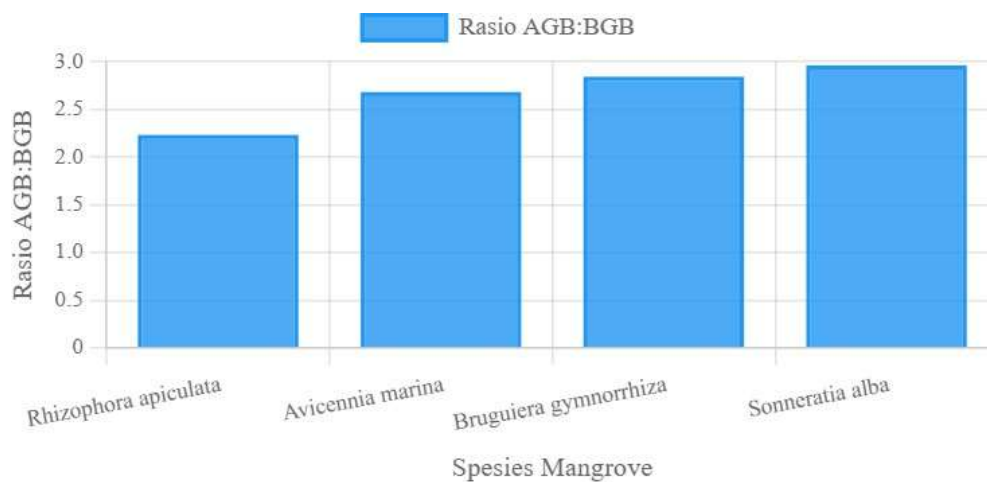
Gambar 2. Total biomassa (AGB + BGB) per spesies mangrove dalam bentuk diagram batang tersusun. Setiap batang menunjukkan kontribusi AGB (hijau) dan BGB (coklat) terhadap total biomassa. *S. alba* memiliki total biomassa tertinggi (2.781,81 kg/m²), diikuti oleh *A. marina* (2.327,42 kg/m²).



Keterangan: *S. alba* = *Sonneratia alba*; *A. marina* = *Avicennia marina*; *B. gymnorrhiza* = *Bruguiera gymnorrhiza*; *R. apiculata* = *Rhizophora apiculata*

Gambar 3. Rasio AGB:BGB per spesies mangrove.

Grafik menunjukkan konsistensi rasio biomassa di atas tanah terhadap biomassa di bawah tanah, berkisar antara 2,23 (*R. apiculata*) hingga 2,96 (*S. alba*), mengindikasikan alokasi biomassa yang lebih besar pada struktur di atas permukaan tanah.



Keterangan: Rasio menunjukkan perbandingan biomassa di atas tanah terhadap biomassa di bawah tanah

Hubungan DBH dengan Total Biomassa

Analisis regresi menunjukkan korelasi positif kuat antara DBH dengan total biomassa (AGB + BGB) dengan nilai $r^2 = 0,89$ ($p < 0,001$). Persamaan regresi yang diperoleh adalah:

$$\text{Total Biomassa} = 2,34 \times \text{DBH}^{2.43} + 45,67$$

Hubungan eksponensial ini menegaskan bahwa peningkatan diameter batang menghasilkan peningkatan

biomassa yang tidak linier. Pohon dengan DBH >40 cm, meskipun hanya terdiri dari 14% dari total individu, menyumbang 62% terhadap total biomassa ekosistem. Temuan ini memiliki implikasi penting untuk strategi konservasi, di mana melindungi pohon-pohon besar merupakan prioritas untuk mempertahankan fungsi penyimpanan karbonnya.

Variasi biomassa antar spesies dengan DBH yang serupa dapat dijelaskan oleh perbedaan kepadatan kayu dan arsitektur pohon. *R. apiculata*, dengan kepadatan kayu tertinggi (0,850 g/cm³), memiliki biomassa yang lebih rendah daripada *B. gymnorrhiza* (kepadatan kayu 0,770 g/cm³) dalam kelas DBH yang sama, menunjukkan bahwa arsitektur percabangan dan alokasi biomassa berbeda antar spesies.

Implikasi Ekologis dan Pengelolaan

Variasi biomassa yang signifikan di berbagai spesies dan zona menunjukkan pentingnya mempertimbangkan heterogenitas struktural dalam pengelolaan ekosistem mangrove. Stratifikasi vertikal, dengan dominasi spesies yang berbeda di setiap zona, mengoptimalkan pemanfaatan ruang dan sumber daya, berkontribusi pada ketahanan ekosistem terhadap gangguan.

Kontribusi tinggi *S. alba* terhadap total biomassa (45,1%) meskipun jumlah individunya sedikit menunjukkan kerentanan ekosistem terhadap hilangnya pohon-pohon besar. Hilangnya beberapa individu *S. alba* saja dapat menyebabkan penurunan biomassa yang drastis. Sebaliknya, populasi *R. apiculata* yang didominasi pohon muda menunjukkan potensi peningkatan biomassa di masa depan seiring pertumbuhan tegakan.

Dari perspektif pengelolaan, hasil penelitian ini menunjukkan perlunya: (1) perlindungan ketat terhadap pohon berdiameter besar (>40 cm); (2) peraturan pemanfaatan yang mempertimbangkan struktur diameter dan komposisi spesies; dan (3) program rehabilitasi yang membahas kompatibilitas spesies dengan zona ekologis.

KESIMPULAN

Studi ini berhasil mengidentifikasi variasi biomassa di antara empat spesies mangrove di daerah pesisir Desa Wori, dengan perbedaan signifikan berdasarkan struktur diameter batang. *Sonneratia alba* menunjukkan biomassa tertinggi (AGB: 1.559,65 kg/pohon; BGB: 526,71 kg/pohon) dengan DBH berkisar antara 26,46 hingga 58,92 cm, sedangkan *Rhizophora apiculata* memiliki biomassa terendah (AGB: 83,90 kg/pohon; BGB: 37,62 kg/pohon) dengan diameter dominan <25 cm.

Struktur diameter batang (DBH) terbukti menjadi penentu utama variasi biomassa mangrove, dengan korelasi positif yang kuat ($r^2 = 0,89$). Pohon berdiameter besar (>40 cm), meskipun hanya terdiri dari 14% dari total individu, berkontribusi 62% terhadap total biomassa ekosistem. Rasio AGB:BGB berkisar antara 2,23 hingga 2,96, menunjukkan perkembangan sistem perakaran yang kuat untuk mendukung stabilitas struktural.

Penelitian ini memberikan data dasar yang penting untuk strategi konservasi berbasis struktur populasi untuk hutan bakau di daerah pesisir Sulawesi Utara. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk meneliti dinamika pertumbuhan jangka panjang dan akumulasi biomassa, serta mengevaluasi pengaruh faktor lingkungan terhadap

variasi biomassa antar lokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Adnan S. Wantasen, M.Si. dan Dr. Ir. Unstain N. W. J. Rembet, M.Si. sebagai pembimbing penelitian. Terima kasih juga kepada Pemerintah Desa Wori atas izin pelaksanaan penelitian, serta tim lapangan yang telah membantu pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Babo, P. P., Sondak, C. F. A., Paulus, J. J. H., Schadu, J. N., Angmalisang, P. A., & Wantasen, A. S. (2020). Struktur komunitas mangrove di Desa Bone Baru, Kecamatan Banggai Utara, Kabupaten Banggai Laut, Sulawesi Tengah. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 8(2), 92-99. <https://doi.org/10.35800/jplt.8.2.2020.29951>
- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer*. FAO Forestry Paper 134. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Darman, F., Sondak, C. F. A., Rumengan, A. P., Ompi, M., Schadu, J. N. W., & Lohoo, A. V. (2022). Estimasi penyerapan karbon mangrove di Desa Ponto Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10(1), 102-109. <https://doi.org/10.35800/jplt.10.1.2022.55007>
- Djamaluddin, R. (2018). *Mangrove biologi, ekologi, rehabilitasi, dan konservasi* (1st ed.). Manado: Unsrat Press.
- Imburi, C. S., Angrianto, R., Tanur, E. A., Widodo, I., & Sitompul, G. A. (2024). Peran hutan mangrove dalam menanggulangi dampak perubahan iklim di Wilayah Pesisir Indonesia. *Jurnal Geosains West Science*, 2(03), 122-132. <https://doi.org/10.58812/jgws.v2i03.1678>
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/003749>
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471-477. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Lahabu, Y., Schadu, J. N. W., & Windarto, A. B. (2015). Kondisi ekologi mangrove di Pulau Mantehage Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 3(2), 41-49. <https://doi.org/10.35800/jplt.3.2.2015.10851>
- Malabrigo, P., Galang, M., Urriza, R., Umali, A. G., Replan, E., Dida, J. J., Bermundo, R. A., Tobias, A., & Boncodin, J. (2017). *Mangrove forest inventory and estimation of carbon storage and sedimentation in Pagbilao*. Manila: Department of Environment and Natural Resources.
- Mangore, R., Rumengan, A. P., Angmalisang, P. A., Rumampuk, N. D. C., Djamaluddin, R., & Rondonuwu, A. B. (2022). Analisis struktur komunitas dan biomassa mangrove di Kelurahan Lirang Kecamatan Lembeh Utara Kota Bitung. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10(2), 209-218. <https://doi.org/10.35800/jplt.10.2.2022.54994>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia* (2nd ed.). Bogor: Ditjen PHKA dan Wetlands International Indonesia Programme.
- Prakoso, T. B., Afiati, N., & Suprpto, D. (2018). Biomassa kandungan karbon dan serapan CO₂ pada tegakan mangrove di Kawasan konservasi mangrove Bedono, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(2), 156-163. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i2.19824>
- Pratiwi, D., Hartoko, A., & Febrianto, S. (2023). Potensi serapan karbon hutan mangrove, Kulon Progo, Yogyakarta. *Jurnal Kelautan Nasional*, 18(2), 99-108. <https://doi.org/10.15578/jkn.v18i2.10465>

Ruru, R. A., Rumengan, A. P., Paransa, D. S. J., Paruntu, C. P., Bara, R. A., & Rondonuwu, A. B. (2022). Estimation of Carbon Stock in Mangrove Communities in Budo Village, Wori District, North Minahasa Regency. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(1), 15-24. <https://doi.org/10.35800/jip.v11i1.43629>

Sari, D. P., Syaputra, M., & Webliana, K. (2022). Biomassa dan serapan karbon hutan mangrove Tanjung Batu, Desa Sekotong Tengah, Kabupaten Lombok Barat. *Journal of Forest Science Avicennia*, 5(2), 95-103. <https://doi.org/10.22219/avicennia.v5i1.20569>

SNI. (2011). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting)*. SNI 7