

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

Angel Spengki Lomba¹, Adnan S. Wantasen², Unstain N. W. J. Rembet^{2*}

¹Mahasiswa Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115

²Staf Pengajar Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado 95115

*Email korespondensi: angel.lomba@student.unsrat.ac.id

ABSTRAK

Biomassa mangrove merupakan parameter penting dalam menilai kapasitas penyimpanan karbon ekosistem pesisir. Penelitian ini bertujuan menganalisis variasi biomassa empat spesies mangrove berdasarkan struktur diameter batang (DBH) di kawasan pesisir Desa Wori. Metode non-destruktif dengan pendekatan alometrik digunakan melalui pengukuran DBH pada tiga plot berukuran 10 m × 10 m yang tersebar mengikuti zonasi mangrove. Biomassa di atas tanah (AGB) dan biomassa akar (BGB) dihitung menggunakan persamaan Komiyama et al. (2005) dengan memanfaatkan data DBH dan kerapatan kayu dari Global Wood Density Database. Hasil penelitian menunjukkan bahwa empat spesies ditemukan yaitu *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*. *Sonneratia alba* memiliki biomassa tertinggi (AGB: 1.559,65 kg/pohon; BGB: 526,71 kg/pohon) dengan DBH berkisar 26,46-58,92 cm, sedangkan *Rhizophora apiculata* menunjukkan biomassa terendah (AGB: 83,90 kg/pohon; BGB: 37,62 kg/pohon) dengan DBH dominan <25 cm. Analisis regresi menunjukkan korelasi positif kuat ($r^2 = 0,89$) antara DBH dan total biomassa. Rasio AGB:BGB berkisar 2,8-3,2, mengindikasikan alokasi biomassa lebih besar pada struktur di atas tanah. Penelitian ini membuktikan bahwa struktur diameter batang merupakan faktor determinan utama dalam variasi biomassa mangrove, dengan kontribusi spesies berdiameter besar (>40 cm) mencapai 62% dari total biomassa meskipun hanya 14% dari jumlah individu. Temuan ini memberikan baseline data untuk strategi konservasi berbasis struktur populasi mangrove di kawasan 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 aimed to analyze biomass variation of four mangrove species based on trunk diameter structure (DBH) in Wori Village coastal area. A non-destructive method with allometric approach was used through DBH measurements in three 10 m × 10 m plots distributed across mangrove zonation. Above-ground biomass (AGB) and below-ground biomass (BGB) were calculated using Komiyama et al. (2005) equation utilizing DBH data and wood density from Global Wood Density Database. 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 DBH ranging 26.46-58.92 cm, while *Rhizophora apiculata* showed the lowest biomass (AGB: 83.90 kg/tree; BGB: 37.62 kg/tree) with dominant DBH <25 cm. Regression analysis showed strong positive correlation ($r^2 = 0.89$) between DBH and total biomass. AGB:BGB ratio ranged 2.8-3.2, indicating greater biomass allocation to above-ground structures. This study proves that trunk diameter structure is the main determinant factor in mangrove biomass variation, with contribution of large-diameter species (>40 cm) reaching 62% of total biomass despite representing only 14% of individuals. These findings provide baseline data for conservation strategies based on mangrove population structure in North Sulawesi coastal areas.

Keywords: mangrove biomass, DBH, allometric equation, mangrove zonation, Wori Village

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki produktivitas tinggi dan berperan penting dalam siklus biogeokimia kawasan pesisir (Djamaluddin, 2018). Sebagai ekosistem transisi antara daratan dan lautan, mangrove memiliki kemampuan unik untuk tumbuh pada kondisi lingkungan ekstrem seperti salinitas tinggi, genangan periodik, dan substrat anaerob (Babo et al., 2020). Kemampuan adaptasi ini menjadikan mangrove sebagai komponen vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan memberikan berbagai jasa ekosistem bagi masyarakat pesisir.

Biomassa mangrove merupakan parameter penting dalam menilai produktivitas dan kapasitas penyimpanan karbon ekosistem. Brown (1997) mendefinisikan biomassa sebagai total bahan organik hidup yang dinyatakan dalam berat kering per satuan luas. Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, biomassa mangrove menjadi indikator kunci karena kemampuannya menyimpan karbon hingga lima kali lebih banyak dibandingkan hutan terestrial (Imburi et al., 2024). Pemahaman mengenai 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 utama yang menentukan besaran biomassa mangrove (Pratiwi et al., 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa DBH memiliki korelasi kuat dengan akumulasi biomassa, baik pada komponen di atas tanah maupun sistem perakaran (Sari et al., 2022; Mangore et al., 2022). Namun, variasi biomassa antar spesies dengan DBH serupa masih menjadi topik kajian penting, terutama terkait perbedaan kerapatan kayu dan arsitektur pertumbuhan masing-masing spesies.

Di kawasan pesisir Sulawesi Utara, khususnya Desa Wori, ekosistem mangrove masih relatif terjaga dengan komposisi spesies yang beragam. Lokasi ini memiliki karakteristik unik dengan zonasi mangrove yang jelas dari darat ke arah laut, memungkinkan terjadinya variasi struktur vegetasi yang signifikan. Meskipun beberapa penelitian telah dilakukan di wilayah Kecamatan Wori (Darman et al., 2022; Ruru et al., 2022), namun kajian komprehensif mengenai 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 dengan akumulasi biomassa di atas dan di bawah tanah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pemahaman ekologi mangrove serta menjadi dasar dalam penyusunan strategi konservasi berbasis struktur populasi.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

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

Desain Penelitian

Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan non-destruktif. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode transek kuadrat dengan tiga plot pengamatan berukuran $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ yang diletakkan 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):

$$AGB = 0,251 \times \rho \times D^{2.46}$$

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

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

dimana:

- AGB = biomassa di atas tanah (kg)
- BGB = biomassa akar (kg)
- ρ = kerapatan kayu (g/cm³)
- D = DBH (cm)

Analisis Statistik

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi dan Struktur Vegetasi Mangrove

Hasil pengamatan di tiga plot penelitian menunjukkan adanya empat spesies mangrove, yaitu *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, *Sonneratia alba*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*. Total individu yang tercatat adalah 28 pohon dengan distribusi tidak merata antar plot. Plot 1 (zona belakang) memiliki 14 individu dengan dominasi *A. marina* (7 individu) dan *R. apiculata* (6 individu). Plot 2 (zona tengah) tercatat 11 individu dengan dominasi *R. apiculata* (7 individu). Plot 3 (zona depan) hanya memiliki 3 individu *S. alba* namun dengan ukuran diameter yang paling besar.

Distribusi spesies yang berbeda antar zona menunjukkan adanya stratifikasi vertikal sesuai dengan gradien lingkungan dari darat ke laut. Dominasi *A. marina* dan *R. apiculata* di zona belakang mengindikasikan toleransi

kedua spesies terhadap kondisi substrat pasir berlumpur dengan pengaruh air laut yang lebih rendah. Sebaliknya, keberadaan *S. alba* di zona depan 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 antar spesies dan antar zona. Pada plot 1, DBH berkisar 5,41-43,76 cm dengan rata-rata 13,92 cm. Plot 2 menunjukkan rentang DBH 6,69-56,31 cm (rata-rata 19,60 cm), sedangkan plot 3 memiliki DBH 26,46-58,92 cm (rata-rata 47,70 cm). Variasi DBH ini mencerminkan perbedaan umur dan kondisi pertumbuhan pada masing-masing zona.

Sonneratia alba menunjukkan DBH terbesar dengan nilai maksimum 58,92 cm, diikuti oleh *B. gymnorhiza* (39,27 cm), *A. marina* (19,11 cm), dan *R. apiculata* (23,60 cm). Perbedaan struktur DBH ini sangat signifikan dalam menentukan kontribusi biomassa, dimana pohon berdiameter besar memberikan kontribusi biomassa yang jauh lebih tinggi secara eksponensial sesuai dengan 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 batang yang besar (26,46-58,92 cm) meskipun jumlah individunya paling sedikit (3 pohon). Hal ini mengkonfirmasi temuan Sari et al. (2022) bahwa diameter batang memiliki pengaruh lebih besar terhadap biomassa dibandingkan dengan jumlah individu.

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

Spesies	Jumlah Individu	Rata-rata AGB (kg/pohon)	Total AGB (kg/m ²)	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. gymnorhiza</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 dibandingkan *S. alba*, jumlah individu yang lebih banyak (9 pohon) menyebabkan kontribusi total biomassa menjadi signifikan (36,8%). Hal ini menunjukkan bahwa dalam ekosistem mangrove, kerapatan tegakan tetap menjadi faktor penting dalam akumulasi biomassa total, sejalan dengan temuan Prakoso et al. (2018).

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

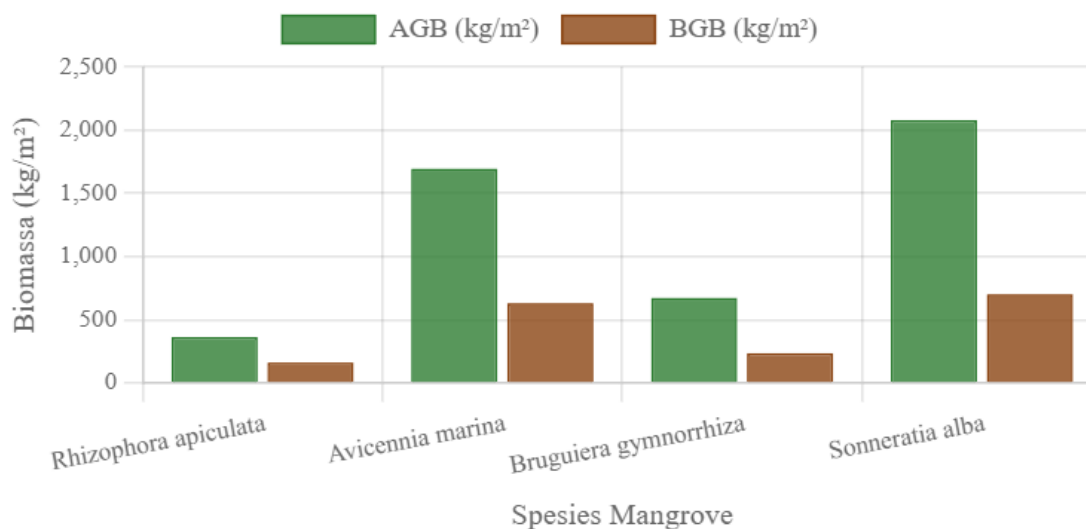
Biomassa di Bawah Tanah (BGB)

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.

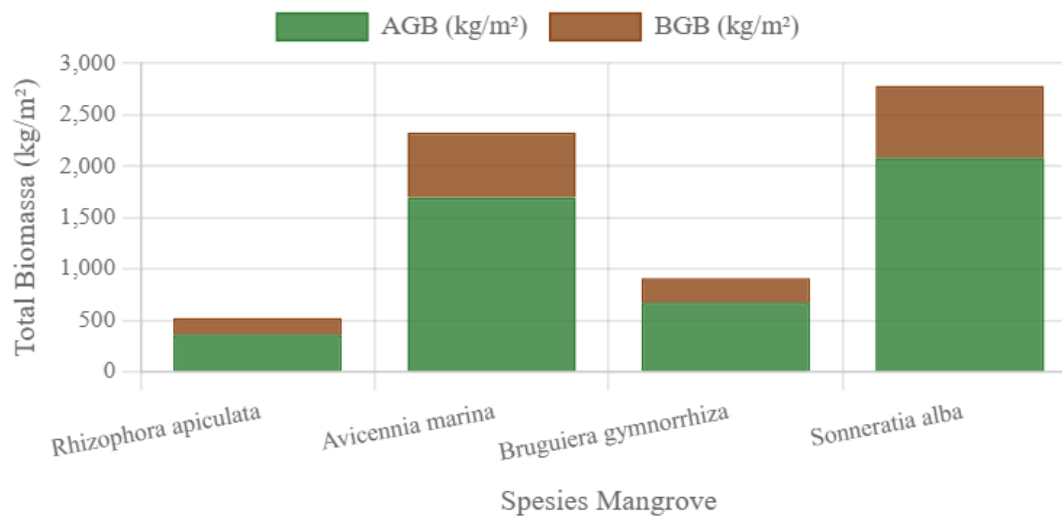
Tabel 2. Biomassa di bawah tanah (BGB) empat spesies mangrove

Spesies	Rata-rata BGB (kg/pohon)	Total BGB (kg/m ²)	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. gymnorrhiza</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.

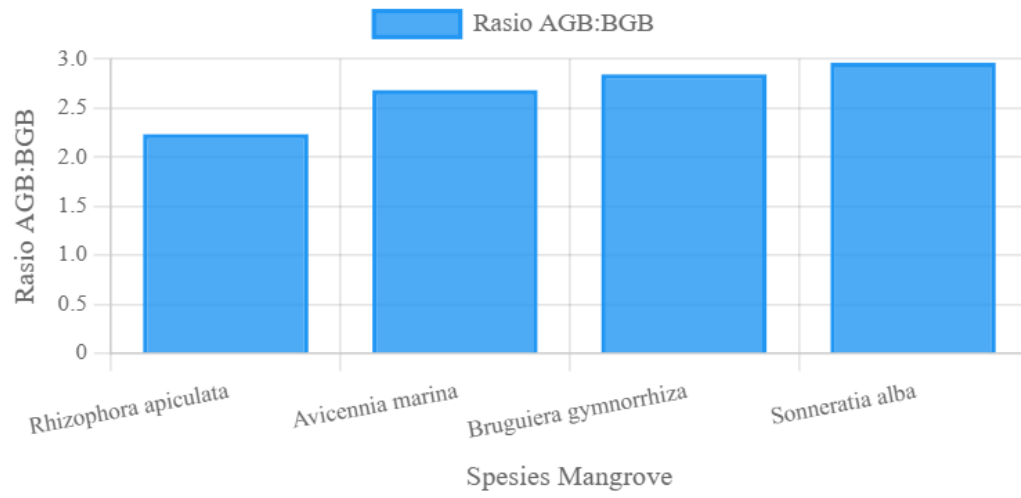


Gambar 2. Total biomassa (AGB + BGB) per spesies mangrove dalam bentuk diagram batang tersusun. Setiap batang menunjukkan kontribusi AGB (hijau) dan BGB (coklat) terhadap total biomassa. *S. alba* memiliki total biomassa tertinggi (2.781,81 kg/m²), diikuti oleh *A. marina* (2.327,42 kg/m²).



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

Catatan: Untuk melihat grafik interaktif dengan kualitas tinggi yang dapat diunduh, silakan klik pada artifact "Grafik Perbandingan AGB dan BGB Mangrove" di panel sebelah kiri. Nilai rasio ini lebih rendah dibandingkan dengan beberapa penelitian di lokasi lain yang melaporkan rasio hingga 4:1 (Kauffman & Donato, 2012), mengindikasikan pengembangan sistem perakaran yang relatif lebih kuat di lokasi penelitian. Hal ini kemungkinan terkait dengan kondisi substrat dan dinamika pasang surut yang memerlukan sistem jangkar yang lebih robust.

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 mengkonfirmasi bahwa peningkatan diameter batang menghasilkan peningkatan biomassa yang tidak linear. Pohon dengan DBH >40 cm meskipun hanya 14% dari total individu, berkontribusi 62% terhadap total biomassa ekosistem. Temuan ini memiliki implikasi penting dalam strategi konservasi, dimana perlindungan pohon-pohon besar menjadi prioritas untuk mempertahankan fungsi penyimpanan karbon.

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

Implikasi Ekologis dan Pengelolaan

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

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

Dari perspektif pengelolaan, hasil penelitian ini mengindikasikan perlunya: (1) perlindungan ketat terhadap pohon-pohon berdiameter besar (>40 cm); (2) pengaturan pemanfaatan yang mempertimbangkan struktur diameter dan komposisi spesies; dan (3) program rehabilitasi yang memperhatikan kesesuaian spesies dengan zonasi ekologis.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi variasi biomassa empat spesies mangrove di kawasan pesisir Desa Wori dengan perbedaan yang signifikan berdasarkan struktur diameter batang. *Sonneratia alba* menunjukkan biomassa tertinggi (AGB: 1.559,65 kg/pohon; BGB: 526,71 kg/pohon) dengan DBH berkisar 26,46-58,92 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 sebagai faktor determinan utama dalam variasi biomassa mangrove, dengan korelasi positif kuat ($r^2 = 0,89$). Pohon berdiameter besar (>40 cm) meskipun hanya 14% dari total individu, berkontribusi 62% terhadap total biomassa ekosistem. Rasio AGB:BGB berkisar 2,23-2,96, mengindikasikan pengembangan sistem perakaran yang kuat untuk mendukung stabilitas struktur.

Penelitian ini memberikan baseline data penting untuk strategi konservasi berbasis struktur populasi mangrove di kawasan pesisir Sulawesi Utara. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji dinamika pertumbuhan dan akumulasi biomassa dalam jangka panjang, 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