

PENGARUH JARAK TANAM TERHADAP PERTUMBUHAN MANGROVE HASIL REHABILITASI DI LAMPUNG TIMUR

The Effect of Planting Distance on the Growth of Rehabilitated Mangroves in East Lampung

Neysa Nurma Amanta¹, Cecep Kusmana^{1*}, Endang Kintamani², Dimas Hafidhin³

(Diterima 13 Juni 2025 /Disetujui 22 Agustus 2025)

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are essential for maintaining coastal ecological stability, yet they remain highly vulnerable to degradation due to increasing anthropogenic pressures. Rehabilitation efforts are a strategic step in restoring the ecological functions of these areas. This study was conducted to evaluate mangrove planting through growth parameters and to analyze the effect of planting distance on the growth of 11-month-old Rhizophora apiculata at a rehabilitation site in Purworejo Village, East Lampung. The research was conducted using a survey method on 60 seedlings for each planting spacing, with environmental condition measurements carried out in situ, and soil samples collected for laboratory analysis. The survival rate at a planting distance of 1×1 m (95%) and 2×2 m (85%) showed good results, while at a planting distance of 1×2 m (68.3%) showed less favorable results. The stem height measurements indicated that the highest average was at a planting distance of 1×1 m (41.9 cm), followed by 2×2 m (36.7 cm), and 1×2 m (27.2 cm). In contrast, the diameter measurements showed that the largest average was at a planting distance of 1×1 m (1.17 cm), 2×2 m (1.10 cm), and 1×2 m (0.84 cm). Analysis of variance shows that the appropriate planting distance arrangement can improve the efficiency of space utilization and nutrient availability, as well as contribute to the structural growth of mangroves in the early phase.

Keywords: Growth evaluation, planting distance, mangrove, rehabilitation, survival rate

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas wilayah pesisir, akan tetapi terus mengalami degradasi akibat tekanan aktivitas manusia. Upaya rehabilitasi menjadi langkah strategis dalam mengembalikan fungsi ekologis kawasan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi penanaman mangrove melalui parameter pertumbuhan dan menganalisis pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan *Rhizophora apiculata* pada lokasi rehabilitasi di Desa Purworejo, Lampung Timur. Penelitian dilakukan dengan metode survei pada 60 bibit masing-masing jarak tanam dan pengambilan data kondisi lingkungan dilakukan secara in-situ dan mengambil sampel tanah untuk dilakukan uji laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semai *Rhizophora apiculata* berumur 11 bulan menunjukkan *survival rate* pada jarak tanam 1×1 m (95%) dan 2×2 m (85%) menunjukkan hasil yang baik, sedangkan pada jarak tanam 1×2 m (68,3%) menunjukkan hasil yang kurang baik. Hasil pengukuran tinggi batang menunjukkan bahwa rata-rata tertinggi terdapat pada jarak tanam 1×1 m (41,9 cm), dan diikuti oleh jarak tanam 2×2 m (36,7 cm), dan 1×2 m (27,2 cm), sedangkan hasil pengukuran diameter batang menunjukkan bahwa rata-rata terbesar terdapat pada jarak tanam 1×1 m (1,17 cm), 2×2 m (1,10 cm), dan 1×2 m (0,84 cm). Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pengaturan jarak tanam yang sesuai mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan ruang dan ketersediaan unsur hara serta berkontribusi terhadap pertumbuhan struktural mangrove pada fase awal.

Kata kunci: Evaluasi pertumbuhan, jarak tanam, mangrove, rehabilitasi, survival rate

¹ Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

* Penulis korespondensi:
e-mail: cecep_kusmana@apps.ipb.ac.id

² Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

³ Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB University

PENDAHULUAN

Hutan mangrove merupakan suatu tipe hutan yang berada di daerah tropis maupun subtropis dan terletak pada batasan antara lingkungan perairan (umumnya laut dan air payau) dengan lingkungan daratan (Hogarth 2015). Ekosistem mangrove dikenal memiliki tingkat produktivitas yang sangat tinggi, baik dalam aspek lingkungan maupun ekonomi. Kawasan ini memberikan berbagai manfaat ekologis, termasuk fungsi sebagai pelindung alami wilayah pesisir dari risiko bencana seperti tsunami, badai, abrasi, serta naiknya permukaan laut. Selain itu, ekosistem mangrove juga mendukung ketersediaan sumber daya perikanan dan berpotensi dikembangkan sebagai destinasi pariwisata bahari (Melati 2021). Tingginya produktivitas di ekosistem hutan mangrove tersebut perlu dikelola dan dimanfaatkan secara bijak oleh manusia untuk menghindari kerusakan dan mengurangi daya dukung hutan mangrove. Berdasarkan Peta Mangrove Nasional (PMN) yang dirilis oleh (KLHK 2021), Indonesia memiliki hutan mangrove seluas 3.364.080 ha, dengan perkiraan mangrove yang rusak sekitar 54.474 ha atau 1,62%.

Salah satu wilayah dengan ekosistem mangrove yang mengalami kerusakan berada di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Lampung Timur, Sumatera yang telah ditetapkan oleh Pemerintah sebagai hutan lindung Register 15 Muara Sekampung, berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan RI nomor 256/Kpts-II/2000 tanggal 23 Agustus 2000 (Dewi *et al.* 2023). Penurunan luas kawasan mangrove disebabkan oleh aktivitas masyarakat setempat yang melakukan alih fungsi lahan menjadi area budidaya tambak udang. Aktivitas tersebut menimbulkan dampak negatif berupa abrasi pantai dan banjir rob, yang berujung pada hilangnya tambak milik warga (Kusuma *et al.* 2022). Selain itu, penurunan luas kawasan mangrove secara ekologis dapat berimplikasi pada terganggunya stabilitas ekosistem pesisir, diantaranya dapat mengakibatkan hilangnya habitat bagi berbagai biota laut, penurunan kualitas air karena melemahnya fungsi filtrasi alami, serta menurunnya kemampuan menyerap karbon yang mendorong peningkatan emisi dan memperparah dampak perubahan iklim. Situasi ini juga membuat wilayah pesisir lebih rentan terhadap banjir, badai, dan kenaikan muka air laut (Menéndez *et al.* 2020; Hamza *et al.* 2022; Goldberg *et al.* 2020).

Rehabilitasi ekosistem mangrove merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan lebih lanjut. Namun, upaya rehabilitasi tersebut perlu didukung dengan kegiatan monitoring dan evaluasi guna menilai efektivitas pertumbuhan mangrove yang telah ditanam. Menurut (Ashari *et al.* 2018), evaluasi terhadap tegakan mangrove dalam program rehabilitasi sangat penting untuk mengetahui tingkat keberhasilan penanaman dalam memulihkan kawasan yang sebelumnya mengalami degradasi, karena pertumbuhan mangrove juga dipengaruhi oleh berbagai faktor, maka perlu juga melihat keterkaitan antara faktor lingkungan terhadap pertumbuhan mangrove yang ditanam. Dalam hal ini, jarak tanam memegang peranan penting karena berpengaruh terhadap ketersediaan ruang tumbuh,

kompetisi antarindividu, serta pemanfaatan sumber daya seperti cahaya, nutrien, dan oksigen di substrat. Pengaturan jarak tanam yang optimal dapat meminimalkan persaingan dan meningkatkan peluang bibit untuk bertahan hidup serta tumbuh dengan baik, sehingga mendukung pemulihan struktur dan fungsi ekosistem mangrove secara berkelanjutan. Hal ini sesuai dengan pendapat Kida dan Fujitake (2020), bahwa pengaturan jarak tanam yang baik dapat mendukung pertumbuhan akar yang lebih baik, yang pada gilirannya meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan karbon dan menyediakan habitat yang mendukung interaksi ekosistem yang lebih luas. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengukur *survival rate*, pertumbuhan diameter batang dan tinggi batang bibit *Rhizophora apiculata* yang ditanam dengan jarak tanam 1×1 m, 1×2 m, dan 2×2 m, serta menentukan jarak tanam yang menunjukkan keragaman *survival rate* dan pertumbuhan bibit yang paling baik.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Bulan September 2024 di kawasan hutan lindung Muara Sekampung Register 15, Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Lampung Timur, Sumatera, dengan koordinat 5°31'32,48" LS dan 105°49'00,52" BT (Gambar 1).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah GPS, *caliper*, pita ukur, refraktometer, pH meter, termometer, *thermohygrometer*, *current meter*, kamera, *tally sheet*, dan sekop tanah. Bahan yang digunakan adalah bibit *Rhizophora apiculata* berumur 11 bulan, sampel tanah, dan kantong plastik *polyethylene* berukuran 15 × 33 cm.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Data di Lapangan

Pemilihan Bibit

Pada lokasi penanaman, terdapat teknik penanaman *quadrat planting*, yaitu bibit ditanam pada petak persegi dengan ukuran tertentu dan jarak antar bibit yang telah ditentukan, yaitu 1 × 1 m, 1 × 2 m, dan 2 × 2 m. Ketiga jarak tanam tersebut mewakili jarak rapat, sedang, dan renggang. Bibit ditanam pada saat berumur 4 bulan, di bulan Februari 2024. Pengambilan data dilakukan pada bulan September 2024 ketika bibit berumur 11 bulan pada masing-masing jarak tanam. Pemilihan bibit dilakukan secara *random sampling* karena populasi yang bersifat homogen (waktu penanaman dan jenis mangrove yang sama) dan didapatkan sebanyak 60 bibit pada masing-masing jarak tanam untuk dijadikan sampel pengukuran tinggi bibit dan diameter batang bibit, sedangkan, pada pengukuran *survival rate* dilakukan pada semua bibit yang ditanam untuk meningkatkan akurasi. Data yang diambil meliputi:

a. Diameter batang bibit

Pengukuran diameter batang bibit dilakukan menggunakan *caliper* pada pangkal bibit dengan jarak 20 cm dari tanah.

b. Tinggi bibit

Pengukuran tinggi bibit dilakukan dari pangkal bibit hingga ujung bibit menggunakan pita ukur.

c. Jumlah bibit yang hidup

Perhitungan jumlah bibit yang hidup dilakukan pada seluruh bibit di masing-masing petak penanaman.

Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan yang diukur adalah faktor klimatis dan faktor edafis. Faktor klimatis meliputi suhu udara dan kelembaban udara yang diukur menggunakan *thermohygrometer*, dan kecepatan arus diukur menggunakan layang-layang arus. Pengambilan data faktor edafis sebagian dilakukan langsung di lapangan dan sebagian lagi dilakukan pengambilan sampel tanah untuk diuji di laboratorium. Data faktor edafis yang diambil langsung di lapangan meliputi salinitas tanah yang diukur menggunakan refraktometer dan pH tanah yang diukur menggunakan pH meter. Pengambilan sampel tanah di lapangan merupakan sampel tanah terusik dan dilakukan pada tiga titik di tiap petak penanaman. Pengambilan sampel tanah terusik dilakukan menggunakan bor tanah pada kedalaman 0 – 30 cm (Tobing *et al.* 2023). Sampel tanah yang telah diambil kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik untuk dilakukan pengujian laboratorium. Uji laboratorium yang dilakukan adalah tekstur tanah, C-organik, bahan organik tanah, N, P, K, Fe, Pb, dan Al.

Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan beberapa persamaan untuk memperoleh tinggi tunas rata-rata, diameter batang bibit rata rata, dan *survival rate*. Analisis tinggi dan diameter diperlukan karena menurut Poedjirahajoe *et al.* (2011) merupakan salah satu tolak

ukur dalam rehabilitasi mangrove. Analisis *survival rate* atau tingkat kelangsungan hidup bibit mangrove dilakukan untuk memberikan informasi awal, serta menentukan kebijakan dan keputusan dalam suatu proyek rehabilitasi mangrove (Rafi'i *et al.* 2024). Menurut Kusmana dan Rifana (2023), berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk mengetahui tinggi batang rata-rata, diameter batang rata-rata, dan *survival rate*:

Tinggi batang rata-rata

$$\bar{h} = \frac{\text{Jumlah tinggi batang bibit}}{\text{Jumlah bibit}}$$

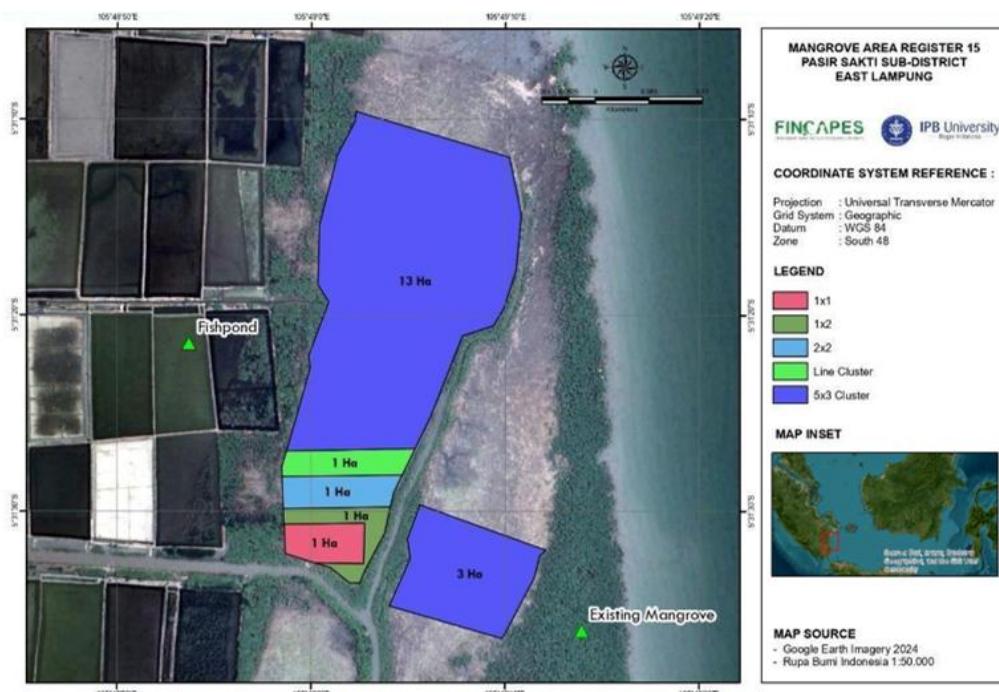
Diameter batang bibit rata-rata

$$\bar{d} = \frac{\text{Jumlah diameter batang bibit}}{\text{Jumlah bibit}}$$

Survival rate (%)

$$SR = \frac{\text{Jumlah tanaman hidup}}{\text{Jumlah tanaman yang ditanam}} \times 100\%$$

Selain itu, pengaruh jarak tanam terhadap tinggi dan diameter bibit mangrove dianalisis menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pada tingkat signifikansi 5% untuk menguji apakah terdapat perbedaan nyata antar perlakuan. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mengidentifikasi perlakuan yang menunjukkan perbedaan tersebut. Hasil ini dapat menjadi dasar pertimbangan dalam penerapan jarak tanam pada lahan mangrove yang akan direhabilitasi dengan kondisi serupa. Pengolahan dan analisis data menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan SAS versi 21.0.16 (Sadono *et al.* 2019).



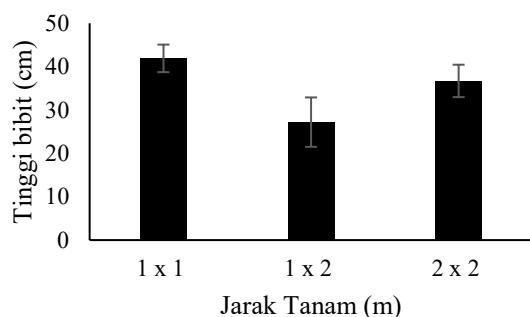
Gambar 1 Lokasi rehabilitasi ekosistem mangrove

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rehabilitasi dilakukan di kawasan Hutan Lindung Muara Sekampung Register 15 yang secara administratif berada di Desa Purworejo, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, serta dikelola oleh Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) Gunung Balak. Kegiatan penanaman mangrove dilakukan di area mangrove yang rusak seluas sekitar 20 hektar dalam kawasan tersebut. Lokasi rehabilitasi yang direncanakan merupakan kawasan hutan yang bebas dari konflik, mudah diakses, relatif kecil, serta tidak terancam oleh gangguan eksternal yang dapat membahayakan keberadaan tegakan dan kawasan, seperti pendudukan lahan, erosi, gelombang besar, arus kuat, gangguan ternak, maupun hama lainnya. Jenis mangrove yang dipilih untuk rehabilitasi adalah *Rhizophora apiculata*. Pemilihan jenis *Rhizophora apiculata* karena bersifat vivipar atau memiliki kondisi biji yang mampu berkecambah ketika buah masih melekat pada pohon induk, sehingga tingkat keberhasilan pertumbuhannya lebih besar (Hidayatullah dan Pujiono 2014). Selain itu, alasan pemilihan bahan *Rhizophora apiculata* adalah ketersediaan jumlah bahan di persemaian sekitar lokasi rehabilitasi yang tinggi.

Pertumbuhan Tinggi dan Diameter Batang Bibit

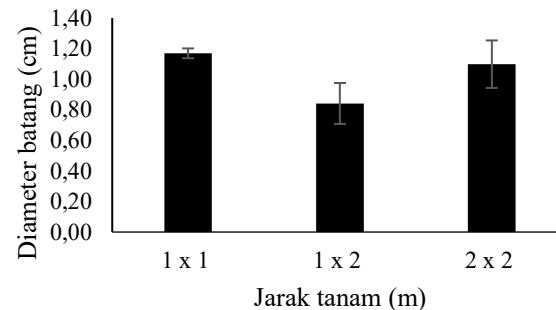
Tinggi bahan adalah salah satu keragaman fisik bahan yang dapat diamati untuk menentukan apakah bahan yang ditanam tumbuh normal dan sehat (Kusmana dan Rifana 2023). Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 2, pertumbuhan tinggi mangrove pada fase awal rehabilitasi menunjukkan variasi antar jarak tanam dengan rata-rata tertinggi pada jarak tanam 1×1 m ($41,9 \pm 3,17$ cm), kemudian 2×2 m ($36,7 \pm 5,69$ cm), dan terendah pada 1×2 m ($27,2 \pm 3,73$ cm). Perbedaan nilai standar deviasi pada tiap jarak tanam mencerminkan tingkat variasi atau sebaran data dalam pertumbuhan tinggi mangrove selama tahap awal rehabilitasi. Jarak tanam 2×2 m memiliki standar deviasi tertinggi (5,69 cm), yang menunjukkan bahwa tinggi tanaman pada jarak ini lebih beragam antar individu dibandingkan dengan jarak tanam 1×2 m dan 1×1 m. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tinggi pohon, yaitu tingkat kesuburan tanah, kualitas genetik bahan, dan jarak tanam (Chrisyariati et al. 2014).



Gambar 2 Rata-rata tinggi bahan mangrove pada beberapa jarak tanam

Selain tinggi bahan, pengukuran diameter bahan juga menjadi salah satu parameter penting dalam evaluasi pertumbuhan mangrove, karena diameter bahan dapat menunjukkan peningkatan kapasitas fotosintesis dan

berkontribusi pada biomassa tanah yang lebih besar dan penting dalam upaya penyerapan karbon (Song et al. 2023). Rata-rata diameter bahan mangrove hasil rehabilitasi pada setiap jarak tanam juga menunjukkan adanya variasi antar jarak tanam. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 3, rata-rata diameter terbesar terdapat pada jarak tanam 1×1 m ($1,17 \pm 0,03$ cm), jarak tanam 2×2 m ($1,10 \pm 0,13$ cm), dan jarak tanam 1×2 m ($0,84 \pm 0,15$ cm). Nilai standar deviasi pada setiap perlakuan jarak tanam mencerminkan tingkat variasi diameter batang mangrove selama tahap awal rehabilitasi. Jarak tanam 1×2 m menunjukkan standar deviasi tertinggi, yang mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan ukuran diameter yang cukup besar antar individu, sedangkan jarak tanam 1×1 m memiliki nilai standar deviasi terendah yang menunjukkan bahwa adanya diameter yang seragam.



Gambar 3 Rata-rata diameter bahan mangrove pada beberapa jarak tanam

Berdasarkan pendapat Raunsay et al. (2024), pertumbuhan diameter batang mangrove dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tumbuhnya. Selain itu, ketersediaan hasil fotosintesis yang digunakan untuk respirasi, perkembangan akar, serta pertumbuhan tinggi tanaman turut berkontribusi terhadap peningkatan diameter batang pohon. Analisis sidik ragam kemudian digunakan sebagai metode statistik untuk menguji pengaruh perlakuan jarak tanam terhadap pertumbuhan diameter batang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan jarak tanam memberikan pengaruh yang signifikan, yang selanjutnya diperkuat dengan uji lanjut Duncan guna mengidentifikasi perbedaan nyata antar kelompok perlakuan seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Jarak tanam memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi dan diameter bahan. Hal ini dibuktikan dengan nilai p-Value hasil uji ANOVA yang kurang dari 0,05, p-Value untuk parameter tinggi adalah <0,0001 dan p-Value untuk parameter diameter adalah 0,0007. Hasil uji lanjut Duncan pada parameter tinggi menunjukkan bahwa jarak tanam 1×1 m dan 2×2 m memberikan hasil yang berbeda nyata dengan jarak tanam 1×2 m. Jarak tanam 1×1 m memberikan hasil rata-rata tinggi terbaik, namun hasil ini tidak berbeda nyata dengan jarak tanam 2×2 m (Tabel 1). Hasil uji Duncan pada parameter diameter menunjukkan hasil yang serupa dengan parameter tinggi bahwa jarak tanam 1×1 m dan 2×2 m memberikan hasil yang berbeda nyata dengan jarak tanam 1×2 m. Jarak tanam 1×1 m juga memberikan hasil yang terbaik dalam pertumbuhan rata-rata diameter bahan dengan hasil yang tidak berbeda nyata dengan jarak tanam 2×2 m.

Tabel 1 Hasil analisis sidik ragam

Jarak Tanam (m)	Tinggi Batang		Diameter Batang	
	P-Value	Uji lanjut duncan*	P-Value	Uji lanjut duncan*
1 × 1		41,9 a		1,16880 a
1 × 2	<,0001	27,2 b	0,0007	0,84100 b
2 × 2		36,7 a		1,09783 a

*) Angka yang diikuti huruf yang sama memberikan hasil yang tidak berbeda nyata pada taraf nyata 5%

Salah satu aspek lingkungan yang berperan penting pada pertumbuhan tanaman mangrove hasil rehabilitasi adalah faktor klimatis. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 2, suhu udara rata-rata pada lokasi penelitian adalah 28°C, yang menurut Haya *et al.* (2015) suhu optimal untuk menunjang pertumbuhan mangrove berkisar antara 25 – 35°C. Suhu memiliki peran penting dalam proses respirasi. Peningkatan suhu yang berlebihan dapat menurunkan laju respirasi karena terjadinya denaturasi enzim yang berfungsi dalam proses tersebut (Hastuti *et al.* 2016). Kelembaban udara pada lokasi penelitian adalah 75%. Kenaikan suhu udara akan diikuti oleh menurunnya kelembaban udara, sehingga transpirasi akan meningkat (Salisbury dan Ross 1992). Kecepatan arus pada lokasi penelitian adalah 0,18 m/s yang menurut Abadi *et al.* (2022) termasuk ke dalam kecepatan arus yang lambat, sehingga aman untuk mangrove yang baru ditanam karena dapat meminimalisir pengikisan substrat di sekitar akar bibit serta menjaga posisi bibit tetap stabil.

Tabel 2 Kondisi parameter klimatis di lokasi penelitian

No.	Parameter	Satuan	Nilai Rata-Rata
1	Suhu udara	°C	28
2	Kelembaban udara	%	75
3	Kecepatan arus	m/s	0,18

Tekstur tanah pada ekosistem mangrove merupakan salah satu faktor edafis yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mangrove karena setiap fraksi tanah memiliki karakteristik masing-masing dalam menunjang kemampuan tanah untuk menyimpan air dan unsur hara bagi tanaman. Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 3, fraksi tanah yang dominan pada ketiga jarak tanam adalah debu, dengan kelas tekstur tanah yang hampir sama pada lokasi dengan jarak tanam yang berbeda, yaitu berupa lempung liat berdebu pada jarak tanam 1 × 1 m dan 1 × 2 m, serta tekstur lempung pada jarak tanam 2 × 2 m.

Tabel 3 Tekstur tanah pada lokasi penelitian

Fraksi Tanah (%)	Jarak Tanam		
	1 × 1 m	1 × 2 m	2 × 2 m
Pasir	18	15	30
Debu	43	49	46
Liat	39	36	24
Kelas Tekstur Tanah	Lempung liat berdebu	Lempung liat berdebu	Lempung

Tanah bertekstur lempung memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kelas tekstur tanah lainnya, sehingga mampu menahan air dan menyediakan unsur hara yang tinggi untuk tanaman yang tumbuh di atasnya (Mahmud *et al.* 2014). Dengan demikian, tekstur tanah yang ada pada ketiga jarak tanam mampu mendukung pertumbuhan mangrove. Selain sifat fisik

berupa tekstur tanah, sifat kimia tanah juga perlu diperhatikan saat melakukan rehabilitasi (Tabel 4).

Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4, salinitas tanah di lokasi penelitian berkisar antara 12,44 – 24,11 ppt dan masih termasuk ke dalam kategori yang ideal untuk ekosistem mangrove. Salinitas atau kandungan garam pada tanah bukan merupakan prasyarat untuk pertumbuhan mangrove, melainkan mangrove memiliki toleransi terhadap adanya kandungan garam pada substratnya (Kusmana *et al.* 2008). Hutan mangrove mampu beradaptasi dengan baik pada lingkungan bersalinitas, dengan rentang salinitas ideal untuk pertumbuhannya berkisar antara 10–30 ppt, meskipun sejumlah spesies dapat bertahan pada tingkat salinitas yang melebihi kisaran tersebut (Rahman *et al.* 2020; Silva dan Amarasinghe 2021). Tingkat kemasaman atau pH tanah pada ketiga jarak tanam termasuk ke dalam kategori sedikit alkalis yang berada pada rentang 7,7 – 8,0. Hal tersebut berhubungan dengan tingkat salinitas yang sangat tinggi, karena menurut Mosley *et al.* (2024), salinitas dan pH memiliki hubungan yang berbanding lurus, atau dengan tingkat salinitas yang tinggi, maka pH juga lebih tinggi karena ion Na⁺ pada garam mampu menggantikan ion H⁺ pada kompleks pertukaran kation, yang mengarah pada peningkatan pH dan sifat alkalis tanah. Tingkat kemasaman atau pH tanah merupakan faktor kunci bagi pertumbuhan mangrove karena berkaitan erat dengan aktivitas mikroba, dekomposisi bahan organik, dan dinamika karbon. Rentang idealnya berada pada kisaran 6,5–8,0, sebagaimana ditunjukkan pada penelitian di Balandra Beach (pH 7,80) dan pesisir Thuwal (pH 8,14) yang tetap mendukung pertumbuhan *Avicennia marina* (Nimnoi dan Pongsilp 2022). Kondisi tanah agak basa juga berperan dalam menjaga jalur metabolisme mikroba yang menekan emisi CO₂ (Nóbrega *et al.* 2016; Chen *et al.* 2016). Selain itu, kestabilan pH netral pada ekosistem dengan pengaruh laut dan sungai terbukti mampu menunjang keberagaman spesies mangrove (Bomfim *et al.* 2018). Dengan demikian, pH netral hingga agak basa (7–8) dapat dikategorikan sebagai kondisi yang mendukung pertumbuhan optimal mangrove.

Karbon organik (C-Organik) pada lokasi penelitian menunjukkan nilai pada kategori sedang, yaitu pada rentang 2,13 – 2,79 %. Karbon organik dipengaruhi oleh adanya bahan organik pada sedimen. Bahan organik tanah berkontribusi besar terhadap kandungan karbon organik di ekosistem mangrove, karena sisanya vegetasi yang terendapkan menjadi sumber utama akumulasi karbon. Cadangan karbon dipengaruhi sifat fisik kimia tanah, di mana lapisan lebih dalam mampu menyimpan lebih dari 1000 Mg C/ha (Chan-Keb *et al.* 2024). Hal ini sesuai dengan pendapat Hickmah *et al.* (2021), bahwa kandungan karbon organik yang tersimpan dalam sedimen akan meningkat seiring dengan tingginya kadar

bahan organik yang dikandungnya. Sebaliknya, rendahnya kadar bahan organik dalam sedimen akan mengakibatkan rendahnya kandungan karbon organik yang dapat disimpan. Kemungkinan lain yang menyebabkan kandungan karbon organik di lokasi penelitian tidak terlalu tinggi karena tidak adanya tegakan dan mangrove yang ditanam baru berusia 11 bulan, sehingga serasah yang dihasilkan sangat sedikit. Hal ini sesuai dengan pendapat Suryono *et al.* (2018), bahwa tingginya kandungan karbon organik sedimen di suatu vegetasi disebabkan karena substrat menerima sumbangan karbon dalam bentuk daun, ranting, buah dan bunga yang mati (serasah), sehingga semakin lama usia mangrove, maka semakin banyak bahan organik yang terurai.

Kandungan unsur hara makro yang dianalisis pada penelitian ini adalah Nitrogen (N) yang kategorinya rendah hingga sedang, Fosfor (P) yang kategorinya sangat tinggi, dan Kalium (K) yang kategorinya sangat rendah. Nitrogen (N) berperan vital dalam proses pertumbuhan tanaman karena merupakan komponen utama dalam sintesis protein (Anwar *et al.* 2025). Nitrogen pada lokasi penelitian yang termasuk ke dalam kategori rendah hingga sedang mengindikasikan bahwa kurangnya bahan organik yang mudah diuraikan, misalnya fitoplankton atau bahan organik dari aliran sungai yang mengandung protein tinggi (Hendris *et al.* 2024). Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4, kandungan nitrogen pada jarak tanam 1×2 m dan 2×2 m tergolong sedang, sedangkan pada jarak tanam 1×1 m tergolong rendah. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tingginya kerapatan pada jarak tanam 1×1 m, sehingga meningkatkan persaingan tanaman untuk mendapatkan unsur hara, termasuk nitrogen. Akibatnya, penyerapan nitrogen lebih besar, sehingga sisa kandungan nitrogen dalam tanah menjadi lebih rendah. Hal ini juga didukung oleh pendapat (Agustine *et al.* 2022), bahwa nitrogen tergolong unsur hara yang mobilitasnya tinggi dalam tanah, sehingga ketersediaannya mudah berubah. Fosfor pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori sangat tinggi dan diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, terutama untuk membentuk 0,2% dari berat kering tanaman (Zulkifli *et al.* 2020). Kandungan kalium pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori sangat rendah. Menurut Anwar *et al.*

(2025) Ketersediaan kalium dalam tanah ditentukan oleh tipe bahan induk serta derajat keasaman tanah.

Besi merupakan logam berat yang termasuk ke dalam unsur hara mikro tanaman atau unsur hara yang diperlukan dalam jumlah kecil, namun tetap penting untuk pertumbuhan tanaman, dan apabila kadarnya berlebihan, maka akan mengganggu penyerapan unsur hara lain. Kandungan besi pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori sangat tinggi. Berdasarkan US Environmental Protection Agency (US EPA), kandungan besi (Fe) pada lokasi penelitian tergolong sangat tinggi dan melebihi ambang batas normal, sehingga dapat dikategorikan sebagai kondisi tercemar berat, sedangkan, kadar timbal tidak termasuk tercemar (Komarawidjaja 2017). Kandungan aluminium pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori rendah sehingga potensi toksitas terhadap sistem perakaran tanaman mangrove relatif minimal.

Survival Rate

Survival rate atau tingkat kelangsungan hidup merupakan persentase keberhasilan dari mangrove yang telah ditanam. *Survival rate* dapat dijadikan indikator penting dalam melakukan evaluasi keberhasilan rehabilitasi mangrove karena semakin tinggi *survival rate*, maka semakin tinggi pula keberhasilan upaya rehabilitasi yang dilakukan. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Tharieq *et al.* (2023), bahwa kerapatan mangrove yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan tingkat regenerasi dan kelangsungan hidup, yang menunjukkan kondisi lingkungan yang sesuai.

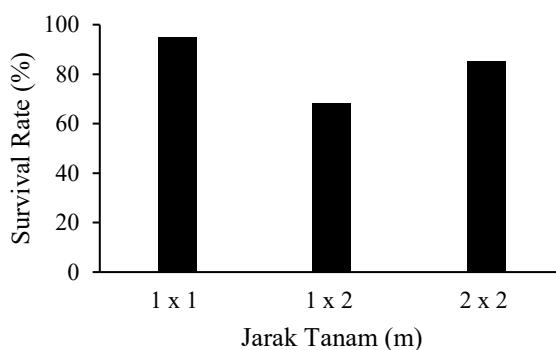
Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 4, *survival rate* pada masing-masing jarak menunjukkan adanya variasi. Bibit dengan jarak tanam 1×1 m memiliki *survival rate* tertinggi, yaitu 95% yang diikuti oleh bibit dengan jarak tanam 2×2 m yang memiliki *survival rate* sebesar 85%, dan bibit dengan jarak tanam 1×2 m memiliki *survival rate* terendah, yaitu sebesar 68,3%, sehingga dapat dinyatakan kurang berhasil. Hal tersebut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 76 Tahun 2008 Tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan (PP 2008), bahwa rehabilitasi mangrove di dalam kawasan hutan dinyatakan berhasil apabila persentase tumbuh bernalilai $\geq 70\%$, dan dinyatakan kurang berhasil apabila persentase tumbuh bernalilai $\leq 70\%$.

Tabel 4 Kondisi faktor kimia tanah

Parameter	Jarak Tanam					
	1 × 1 m	Keterangan	1 × 2 m	Keterangan	2 × 2 m	Keterangan
Salinitas tanah (ppt)	15,73	Sangat tinggi ^a	12,44	Sangat tinggi ^a	24,11	Sangat tinggi ^a
pH	7,7	Sedikit alkalis ^a	8,0	Sedikit alkalis ^a	7,8	Sedikit alkalis ^a
C-Organik (%)	2,13	Sedang ^a	2,79	Sedang ^a	2,47	Sedang ^a
Bahan organik tanah (%)	3,66	-	4,80	-	4,25	-
N (%)	0,20	Rendah ^a	0,26	Sedang ^a	0,33	Sedang ^a
P (mg/kg)	73,00	Sangat tinggi ^a	69,15	Sangat tinggi ^a	62,02	Sangat tinggi ^a
K (mg/kg)	2,49	Sangat rendah ^a	2,64	Sangat rendah ^a	3,25	Sangat rendah ^a
Fe (mg/kg)	36.696,40	Sangat tinggi ^a	42.499,57	Sangat tinggi ^a	36.551,04	Sangat tinggi ^a
Pb (mg/kg)	14,44	Tidak tercemar ^b	10,48	Tidak tercemar ^b	< 8,00	Tidak tercemar ^b
Al (mg/kg)	4,19	Rendah ^a	3,92	Rendah ^a	4,45	Rendah ^a

^a = Pusat Penelitian Tanah (1983)

^b = USEPA di dalam Komarawidjaja (2017)



Gambar 4 *Survival rate* bibit mangrove pada beberapa jarak tanam

Keberhasilan rehabilitasi mangrove dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis, salah satunya adalah jarak tanam antar bibit. Penelitian menunjukkan bahwa jarak tanam 1×1 meter merupakan jarak tanam yang optimal, karena mampu menyediakan ruang tumbuh yang memadai serta memastikan ketersediaan nutrisi yang cukup untuk setiap tanaman (Lewis dan Ben 2014). Selain itu, pola tanam yang rapat ini berperan penting dalam menstabilkan sedimen dan mengurangi tingkat erosi, terutama pada fase awal pertumbuhan ketika sistem perakaran mangrove belum berkembang sempurna. Kerapatan ini juga menciptakan efek perlindungan kolektif antar bibit, yang dapat meredam kekuatan gelombang dan arus laut, sehingga meningkatkan tingkat kelangsungan hidup bibit (Kodikara *et al.* 2017). Penyesuaian jarak tanam berdasarkan karakteristik ekologis lokal menjadi kunci dalam merancang rehabilitasi mangrove yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan lingkungan (Alongi 2008). Selain itu, lokasi jarak tanam 1×1 meter berada paling dekat dengan sungai utama, sehingga masih memperoleh suplai air, nutrien, dan sedimen secara optimal. Kondisi ini mendukung akumulasi bahan organik dan meningkatkan peluang kelangsungan hidup bibit, berbeda dengan jarak tanam 1×2 dan 2×2 yang umumnya lebih jauh dari sumber pasokan hidrologis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Kusumaningtyas *et al.* (2022) yang menegaskan pentingnya konektivitas hidrologis bagi keberhasilan perekruitan propagul, serta Van Loon *et al.* (2016) yang menekankan bahwa pemulihan kondisi hidrologi alami dapat memperbaiki fungsi ekosistem mangrove. Selain itu, Howard *et al.* (2017), menunjukkan bahwa restorasi hidrologis di kawasan pesisir meningkatkan keberhasilan pertumbuhan spesies mangrove asli karena aliran air yang lebih baik. Dengan demikian, kedekatan jarak tanam 1×1 dengan sungai utama bukan hanya memberi keuntungan ekologis dalam ketersediaan nutrisi dan stabilitas sedimen, tetapi juga selaras dengan bukti empiris bahwa rehabilitasi mangrove membutuhkan dukungan hidrologi yang terjaga.

Jarak tanam yang lebih lebar, yaitu 2×2 meter juga menunjukkan hasil persentase kelangsungan hidup yang dapat dinyatakan berhasil karena mampu memberikan keuntungan jangka panjang berupa kanopi yang lebih sehat, meski menghadapi tantangan awal seperti paparan lebih besar terhadap gelombang dan arus. Jarak tanam 2×2 meter memberikan ruang yang cukup untuk

perkembangan sistem akar dan mengurangi persaingan nutrisi antar bibit. Berdasarkan pendapat Kusmana *et al.* (2014), jarak tanam yang lebih lebar dapat mendorong pertumbuhan vegetatif yang lebih optimal, khususnya dalam hal peningkatan diameter batang dan tinggi tanaman. Ruang tumbuh yang lebih luas memungkinkan setiap individu mangrove memperoleh cahaya matahari secara maksimal serta mengembangkan sistem perakaran dan percabangan tanpa tekanan kompetitif dari tanaman di sekitarnya. Kondisi ini mendukung peningkatan aktivitas fotosintesis dan efisiensi penyerapan unsur hara, yang secara langsung berdampak pada pertambahan dimensi struktural tanaman. Jarak tanam 1×2 meter menunjukkan persentase kelangsungan hidup terendah jika dibandingkan dengan kedua jarak tanam lainnya. Kemungkinan yang menyebabkan hal ini dapat terjadi adalah pada jarak tanam tersebut tidak terdapat ruang tumbuh dan penyebaran akar yang cukup luas dan seimbang untuk mengoptimalkan akses terhadap cahaya, air, dan nutrisi, yang penting bagi pertumbuhan awal tanaman, sehingga berkontribusi terhadap tingginya tingkat kematian bibit. Selain itu, menurut Halidah (2010), jarak tanam yang rapat dalam pertumbuhan tanaman dapat menimbulkan persaingan ruang tumbuh, dan jika hal tersebut terjadi, maka jarak tanam yang sempit akan menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan jarak tanam yang lebar. Akan tetapi, apabila terjadi sebaliknya, terdapat kemungkinan bahwa umur tanam mangrove masih relatif singkat, sehingga masih diperlukan waktu pengamatan yang lebih lama untuk dapat memastikan pengaruh perlakuan jarak tanam yang dimaksudkan untuk meminimalkan kekuatan ombak.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, tingkat kelangsungan hidup mangrove di lokasi penelitian pada jarak tanam 1×1 (95%) dan 2×2 (85%) dinyatakan berhasil, sedangkan pada jarak tanam 1×2 (68,3%) dinyatakan kurang berhasil. Hasil pengukuran tinggi batang menunjukkan bahwa rata-rata tertinggi terdapat pada jarak tanam 1×1 m (41,9 cm), dan diikuti oleh jarak tanam 2×2 m (36,7 cm), dan 1×2 m (27,2 cm), sedangkan hasil pengukuran diameter batang menunjukkan bahwa rata-rata terbesar terdapat pada jarak tanam 1×1 m (1,17 cm), 2×2 m (1,10 cm), dan 1×2 m (0,84 cm). Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jarak tanam berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan diameter batang. Berdasarkan uji lanjut Duncan, jarak tanam $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ memberikan respons pertumbuhan yang lebih optimal dibandingkan perlakuan lainnya. Penelitian ini menegaskan bahwa pengaturan jarak tanam yang tepat merupakan faktor kunci dalam mendukung keberhasilan awal pertumbuhan *Rhizophora apiculata* pada kegiatan restorasi mangrove di wilayah pesisir.

Saran

Tingkat kelangsungan hidup mangrove *Rhizophora apiculata* hasil rehabilitasi perlu dioptimalkan dan ditingkatkan melalui kegiatan pemeliharaan secara konsisten, meliputi penyulaman pada tanaman yang mati, serta pengendalian penyakit, hama, dan gulma.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi S, Sulandjari K, Nasution NS. 2022. Pemberdayaan komunitas kreasi alam bahari Tangkola melalui penanaman mangrove dengan sistem pola rumpun berjarak. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(11):3123–3131.
- Agustine SE, Amalia L, Turmuktni T. 2022. Efek konsentrasi pupuk organik cair dan jarak tanam terhadap karakter agronomi dan serapan N pada tanaman selada hijau (*Lactuca sativa L.*). *comserva*. 1(11):932–945.doi:10.36418/comserva.v1i11.174.
- Alongi DM. 2008. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 76(1):1–13.doi:10.1016/j.ecss.2007.08.024.
- Anwar C, Wonggo D, Mongi E, Dotulong F. 2025. Macro and micro nutrients in the soil of the mangrove forest area, Bunaken Marine Park. *Jurnal Ilmiah Platax*. 13(1):174–181.
- Ashari R, Kusmana C, Kuncahyo B. 2018. Evaluasi tegakan mangrove hasil rehabilitasi dengan teknik guludan. *J-SILTROP*. 9(3):175–181.doi:10.29244/j-siltrop.9.3.175-181.
- Bomfim MR, Santos JAG, Costa OV, Conceição JND, Silva AAD, Souza CDS, Almeida MDCD. 2018. Morphology, Physical and Chemical Characteristics of Mangrove Soil under Riverine and Marine Influence: A Case Study on Subaé River Basin, Bahia, Brazil. Di dalam: Sharma S, editor. *Mangrove Ecosystem Ecology and Function*. [internet] InTech. [diunduh 2025 Agu 18]. Tersedia pada: <http://www.intechopen.com/books/mangrove-ecosystem-ecology-and-function/morphology-physical-and-chemical-characteristics-of-mangrove-soil-under-riverine-and-marine-influenc>
- Chan-Keb CA, Agraz-Hernández CM, Pérez-Balan RA, Mas-Qui OO, Osti-Sáenz J, Reyes-Castellanos JE. 2024. Relationship between Carbon Sequestration and Soil Physicochemical Parameters in Northern Campeche, Mexico. *Land*. 13(2):139.doi:10.3390/land13020139.
- Chen G, Chen B, Yu D, Tam NYF, Ye Y, Chen S. 2016. Soil greenhouse gas emissions reduce the contribution of mangrove plants to the atmospheric cooling effect. *Environ. Res. Lett.* 11(12):124019.doi:10.1088/1748-9326/11/12/124019.
- Chrisyariati I, Hendrarto B, Suryanti. 2014. Kandungan nitrogen total dan fosfat sedimen mangrove pada umur yang berbeda di lingkungan pertambangan Mangunharjo, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3(3):65–72.
- Dewi BS, Arianti N, Rusita R, Harianto SP. 2023. Upaya konservasi dan budidaya mangrove di Desa Purworejo Lampung Timur. *JAT*. 11(2):323.doi:10.23960/jat.v1i2.6661.
- Goldberg L, Lagomasino D, Thomas N, Fatoyinbo T. 2020. Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology*. 26(10):5844–5855.doi:10.1111/gcb.15275.
- Halidah H. 2010. Pengaruh tinggi genangan dan jarak tanam terhadap pertumbuhan anakan *Rhizophora mucronata* Lamk. di Pantai Barat Sulawesi Selatan. *jur.pen.hut.konsevasi.alam*. 7(1):25–34.doi:10.20886/jphka.2010.7.1.25-34.
- Hamza AJ, Esteves LS, Cvitanović M. 2022. Changes in Mangrove Cover and Exposure to Coastal Hazards in Kenya. *Land*. 11(10):1714.doi:10.3390/land11101714.
- Hastuti W, Prihastanti E, Haryanti S, Subagio A. 2016. Pemberian kombinasi pupuk daun gandasil dengan pupuk nano-silika terhadap pertumbuhan bibit mangrove (*Bruguiera gymnorhiza*). *Jurnal Biologi*. 5(2):38–48.
- Haya N, Zamani NP, Soedharma D. 2015. Analisis struktur ekosistem mangrove di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 6(1):79–89.
- Hendris S, Yoswaty D, Siregar YI, Mubarak. 2024. Analisis kandungan unsur hara (C, N, dan P) pada sedimen laut di hutan mangrove Kecamatan Bukit Batu, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*. 12(3):348–353.
- Hickmah N, Maslukah L, Wulandari SY, Sugianto DN, Wirasatriya A. 2021. Kajian stok karbon organik dalam sedimen di area vegetasi mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*. 3(4):419–426.doi:10.14710/ijoce.v3i4.12494.
- Hidayatullah M, Pujiono E. 2014. Struktur dan komposisi jenis hutan mangrove di Golo Sepang-Kecamatan Boleng Kabupaten Manggarai Barat. *JPKW*. 3(2):151.doi:10.18330/jwallacea.2014.vol3iss2pp15 1-162.
- Hogarth PJ. 2015. *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Third edition. Oxford New York: Oxford University Press. (The biology of habitats series).
- Howard RJ, Day RH, Krauss KW, From AS, Allain L, Cormier N. 2017. Hydrologic restoration in a dynamic subtropical mangrove-to-marsh ecotone. *Restoration Ecology*. 25(3):471–482.doi:10.1111/rec.12452.
- Kida M, Fujitake N. 2020. Organic Carbon Stabilization Mechanisms in Mangrove Soils: A Review. *Forests*. 11(9):981.doi:10.3390/f11090981.
- KLHK. 2021. *Peta Mangrove Nasional Tahun 2021*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Kodikara KAS, Mukherjee N, Jayatissa LP, Dahdouh-Guebas F, Koedam N. 2017. Have mangrove restoration projects worked? An in-depth study in Sri Lanka. *Restoration Ecology*. 25(5):705–716.doi:10.1111/rec.12492.
- Komarawidjaja W. 2017a. Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten

- Bandung. *Jurtekling.* 18(2):173–181.doi:10.29122/jtl.v18i2.2047.
- Komarawidjaja W. 2017b. Paparan Limbah Cair Industri Mengandung Logam Berat pada Lahan Sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurtekling.* 18(2):173.doi:10.29122/jtl.v18i2.2047.
- Kusmana C, Istomo, Wibowo C, Budi SW, Siregar IZ, Tiryana T, Sukarjo S. 2008. *Manual Silvikultur Mangrove Di Indonesia*. Jakarta: Korea Cooperation International Agency (KOICA).
- Kusmana C, Purwanegara T, Istomo. 2014. Teknik guludan sebagai solusi metode penanaman mangrove pada lahan yang tergenang air yang dalam. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*. 1(3):165–171.
- Kusmana C, Rifana HZ. 2023. Evaluasi Pertumbuhan Anakan Mangrove Hasil Restorasi di Suaka Margasatwa Pulau Rambut, Kepulauan Seribu. *J-Silvtrop.* 14(02):119–125.doi:10.29244/j-silvtrop.14.02.119-125.
- Kusuma AH, Effendi E, Hidayatullah MS, Susanti O. 2022. Estimasi serapan karbon pada vegetasi mangrove Register 15, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. *J. Mar. Res.* 11(4):768–778.doi:10.14710/jmr.v11i4.35605.
- Kusumaningtyas MA, Kepel TL, Solihuddin T, Lubis AA, Putra ADP, Sugiharto U, Ati RNA, Salim HL, Mustikasari E, Heriati A, et al. 2022. Carbon sequestration potential in the rehabilitated mangroves in Indonesia. *Ecological Research*. 37(1):80–91.doi:10.1111/1440-1703.12279.
- Lewis III RRR, Ben B. 2014. *Ecological Mangrove Rehabilitation: A Field Manual for Practitioner*. First Edition. Wetlands International.
- Mahmud, Wardah, Toknok B. 2014. Sifat fisik tanah di bawah tegakan mangrove di Desa Tumpapa Kecamatan Balinggi Kabupaten Parigi Moutong. *Warta Rimba*. 2(1):129–135.
- Melati DN. 2021. Mangrove ecosystem and climate change mitigation: A literature review. *JSTMB*. 16(1):1–8.doi:10.29122/jstmb.v16i1.4979.
- Menéndez P, Losada IJ, Torres-Ortega S, Narayan S, Beck MW. 2020. The Global Flood Protection Benefits of Mangroves. *Sci Rep*. 10(1):4404.doi:10.1038/s41598-020-61136-6.
- Mosley LM, Rengasamy P, Fitzpatrick R. 2024. Soil pH: Techniques, challenges and insights from a global dataset. *European J Soil Science*. 75(6):e70021.doi:10.1111/ejss.70021.
- Nimnoi P, Pongsilp N. 2022. Insights into Bacterial Communities and Diversity of Mangrove Forest Soils along the Upper Gulf of Thailand in Response to Environmental Factors. *Biology*. 11(12):1787.doi:10.3390/biology11121787.
- Nóbrega GN, Ferreira TO, Siqueira Neto M, Queiroz HM, Artur AG, Mendonça EDS, Silva EDO, Otero XL. 2016. Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil). *Science of The Total Environment*. 542:685–693.doi:10.1016/j.scitotenv.2015.10.108.
- Poedjirahajoe E, Widyorini R, Mahayani NPD. 2011. Kajian ekosistem mangrove hasil rehabilitasi pada berbagai tahun tanam untuk estimasi kandungan ekstrak tanin di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 5(2):99–107.doi:10.22146/jik.1854.
- [PP]. 2008. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 2008 Tentang Rehabilitasi dan Reklamasi Hutan.
- Putus Penelitian Tanah. 1983. *Survei Kapabilitas Kesuburan Tanah*. Bogor: Lembaga Putus Penelitian Tanah.
- Rafi'i A, Ritonga IR, Budiarsa AA, Eryati R, Novia R, Ahmad A, Firman F, Silviana S, Main AA, Akbar R, et al. 2024. Monitoring dan evaluasi kegiatan penanaman mangrove (Kasus: Desa Sebuntal, Kabupaten Kutai Kartanegara). *JTLLB*. 12(2):376.doi:10.26418/jtllb.v12i2.75151.
- Rahman MdS, Sass-Klaassen U, Zuidema PA, Chowdhury MdQ, Beeckman H. 2020. Salinity drives growth dynamics of the mangrove tree Sonneratia apetala Buch. -Ham. in the Sundarbans, Bangladesh. *Dendrochronologia*. 62:125711.doi:10.1016/j.dendro.2020.125711.
- Raunsay E, Akobiarek MNR, Soindemi SL, Rophi AH, Santoso B. 2024. Pengaruh diameter dan ketinggian inang mangrove terhadap jumlah individu anggrek (*Dendrobium*) di Kampung Nubuai Distrik Urei Faisei. *Berita Biologi*. 23(1):129–141.doi:10.55981/beritabiologi.2024.3475.
- Sadono R, Soeprijadi D, Wirabuana PYAP. 2019. Effect of chemical soil properties on the growth of cajuput (*Melaleuca leucadendron* (L.) Linnaeus) stand. *JKPW*. 8(1):1.doi:10.18330/jwallacea.2019.vol8iss1pp1-7.
- Salisbury F, Ross C. 1992. *Fisiologi Tumbuhan*. Bandung: ITB Press.
- Silva WD, Amarasinghe M. 2021. Response of mangrove plant species to a saline gradient: Implications for ecological restoration. *Acta Bot. Bras.* 35(1):151–160.doi:10.1590/0102-33062020abb0170.
- Song S, Ding Y, Li W, Meng Y, Zhou J, Gou R, Zhang C, Ye S, Saintilan N, Krauss KW, et al. 2023. Mangrove reforestation provides greater blue carbon benefit than afforestation for mitigating global climate change. *Nat Commun*. 14(1):756.doi:10.1038/s41467-023-36477-1.
- Suryono, Soenardjo N, Wibowo E, Ario R, Rozy EF. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Bul. Oseano. Mar.* 7(1):1.doi:10.14710/buloma.v7i1.19036.
- Tharieq MA, Bambang AN, Wardhani LTAL, Redjeki S, Pribadi R. 2023. Vegetation analysis as indicator of mangrove degradation level in Keboromo Village, Tayu. *J. Kel. Trop.* 26(2):283–292.doi:10.14710/jkt.v26i2.17575.
- Tobing WL, Taus J, Bria D, Tefa AY, Kolo MM. 2023. Kajian sifat kimia dan fisika tanah pada lahan bekas galian mangan di Desa Oelami Kecamatan Bikomi Selatan Kabupaten Timor. *Agroprimatech*. 7(1).
- Van Loon AF, Te Brake B, Van Huijgevoort MHJ, Dijksma R. 2016. Hydrological Classification, a

Practical Tool for Mangrove Restoration. Kumaran NKP, editor.[editorial]. *PLoS ONE*. 11(3):e0150302.doi:10.1371/journal.pone.0150302.
Zulkifli L, Sedijani P, Citra Rasmi DA, Amrullah LWZ. 2020. Screening and molecular identification of

phosphate-solubilizing Rhizobacteria from mangrove ecosystem of the Lombok Island. *JBT*. 20(3):475–484.doi:10.29303/jbt.v20i3.1730.