

**Peningkatan Biomassa Bibit Sengon Laut (*Falcataria moluccana*)
Dengan Pemberian Biochar Limbah Kayu Meranti (*Shorea Spp.*).**

*Enhancement of Biomass in Falcataria moluccana Seedling through the
Application of Shorea spp. Waste Wood Biochar*

**Max Kurniawan Pandu Prasetya¹, Melya Riniarti^{1*}, Inggar Damayanti¹, Ceng
Asmarahman¹**

¹Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

ABSTRACT. Biochar is a product of biomass pyrolysis that has potential as a soil amendment due to its ability to improve the physical, chemical, and biological properties of soil. This study aimed to examine the effect of meranti wood biochar on the biomass of sengon laut (*Falcataria moluccana*) seedlings. The research was conducted over five months at the Greenhouse and Silviculture Laboratory of the University of Lampung. A Completely Randomized Design (CRD) was employed with five treatments: K (0% biochar), M5 (5%), M10 (10%), M15 (15%), and M20 (20%), each with 8 replications. Observed parameters included root dry weight (RDW), shoot dry weight (SDW), total dry weight (TDW), and shoot-root ratio (SRR). Data were analyzed using ANOVA followed by a Least Significant Difference (LSD) test at the 1% level. Results showed that all parameters responded significantly to biochar treatments. The M20 treatment produced the highest biomass, with increases of 75% in RDW, 44% in SDW, and 51% in TDW compared to the control. These increases were attributed to biochar's ability to enhance water retention, aeration, and nutrient availability in the planting medium. A decrease in SRR was also observed, indicating a more balanced distribution of biomass. It is concluded that meranti wood biochar can enhance the biomass growth of *F. moluccana* seedlings and is applicable as a soil amendment.

Keywords: Ameliorant, Charcoal; Growing media; forest plantation

ABSTRAK. Biochar merupakan hasil pirolisis biomassa yang memiliki potensi sebagai pembenah tanah karena kemampuannya memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian biochar kayu meranti terhadap biomassa semai sengon laut (*Falcataria moluccana*). Penelitian dilakukan selama lima bulan Kaca dan Laboratorium Silvikultur Universitas Lampung. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan, yaitu: K (0% biochar), M5 (5%), M10 (10%), M15 (15%), dan M20 (20%), masing-masing dengan 8 ulangan. Parameter yang diamati meliputi bobot kering akar (BKA), bobot kering pucuk (BKP), bobot kering total (BKT), dan nisbah pucuk akar (NPA). Data dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 1%. Hasil menunjukkan bahwa seluruh parameter memberikan respons yang sangat nyata terhadap perlakuan biochar. Perlakuan M20 memberikan hasil tertinggi, dengan peningkatan BKA sebesar 75%, BKP sebesar 44%, dan BKT sebesar 51% dibanding kontrol. Peningkatan tersebut dikaitkan dengan kemampuan biochar dalam meningkatkan retensi air, aerasi, dan ketersediaan hara di media tanam. Didapatkan pula penurunan rasio NPA yang mencerminkan distribusi biomassa yang lebih seimbang. Dapat disimpulkan bahwa biochar kayu meranti berpotensi meningkatkan pertumbuhan biomassa sengon laut dan dapat diaplikasikan sebagai pembenah tanah.

Kata kunci: Amelioran, arang, media tanam, hutan tanaman

Penulis untuk korespondensi: melya.riniarti@fp.unila.ac.id

PENDAHULUAN

Pemanfaatan limbah biomassa kehutanan sebagai bahan dasar pembuatan biochar semakin mendapat perhatian dalam upaya pengelolaan hutan berkelanjutan. Biochar merupakan hasil dari proses pirolisis limbah bahan organik seperti limbah kayu, ranting, serbuk gergaji, serta biomassa lain seperti sisa pertanian (jerami, sekam, tongkol jagung), limbah industri perkebunan (cangkang sawit, ampas tebu), kotoran ternak, dan biomassa air (alga dan eceng gondok) yang kaya karbon serta berpotensi meningkatkan kualitas tanah hutan (Domiciano *et al.*, 2021). Salah satu limbah kehutanan yang diketahui memiliki potensi untuk dijadikan biochar adalah limbah kayu meranti. Saat ini, limbah kayu meranti (yang termasuk di dalamnya adalah bagian batang kayu, tunggul, cabang, dan ranting) diduga jumlahnya mencapai 557,87 m³ (Sari, 2018), sehingga mengubah limbah ini menjadi biochar merupakan strategi pengelolaan limbah yang menjanjikan.

Biochar memiliki peran penting sebagai pembenah tanah hutan, ditunjukkan oleh karakteristiknya yang meliputi porositas tinggi, luas permukaan spesifik besar, dan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan retensi air, memperbaiki struktur tanah, serta menstabilkan pH tanah (Sarfraz *et al.*, 2019). Selain itu, biochar meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam dekomposisi bahan organik dan dinamika karbon di dalam ekosistem tanah (Jia *et al.*, 2021).

Dalam bidang kehutanan, penerapan biochar tidak hanya berfungsi sebagai amelioran tanah hutan untuk meningkatkan kesuburan dan kualitas media tumbuh, tetapi juga berkontribusi terhadap penyimpanan karbon di dalam tanah. Proses ini mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan karbon dioksida (CO₂) di atmosfer, sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman hutan (Zahra *et al.*, 2021; Lehmann & Joseph, 2015; Nguyen *et al.*, 2022), sehingga berkesesuaian dengan SDG (*Sustainable Development Goals*) no 13 dan 15.

Berbagai penelitian menunjukkan penggunaan biochar selama ini memberikan pengaruh yang baik untuk pertumbuhan tanaman, hal ini telah dibuktikan dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Lestari dan Ramdhani (2019), dengan menggunakan biochar dari limbah pertanian pada media tanam *Gmelina arborea* yang memperlihatkan peningkatan kecepatan pertumbuhan dan kualitas tanah serta membantu menurunkan kejenuhan aluminium di tanah masam. Penerapan biochar sebagai percepatan terhadap pertumbuhan tanaman *Pinus merkusi* (Wibowo *et al.*, 2021), *Swietenia macrophylla* (Siregar *et al.*, 2022), *Jati* (Rahmat *et al.*, 2020), *Acacia mangium* (Novitasari *et al.*, 2020), *Shorea leprosula* (Kusuma *et al.*, 2022) dan *Eucalyptus* spp. (Lehmann dan Joseph, 2015)

Pada penelitian ini tanaman yang digunakan adalah sengon laut (*Falcataria moluccana*), yang memiliki peranan yang penting dalam hutan Indonesia. Sengon laut digunakan sebagai salah satu bahan dalam industri bangunan maupun pertukangan, karena tanaman ini memiliki masa tebang yang relatif pendek yaitu enam tahun dan tingkat keawetan kayu kelas IV-V serta kelas kekuatan V-VI (Muliya *et al.*, 2021). Selain itu, sengon laut juga menjadi salah satu pohon alternatif yang dapat diusahakan secara ekstensif untuk tujuan rehabilitasi lahan-lahan marginal (kritis) (Purba *et al.*, 2022).

Penelitian mengenai pengaruh aplikasi biochar terhadap peningkatan biomassa tanaman hutan menjadi penting untuk memahami potensinya sebagai pembenah tanah pada lahan hutan suboptimal (Kustiawan, 2022). Pengukuran biomassa diperlukan untuk menilai produktivitas tanaman hutan dan efisiensi fisiologis (Ayu & Fitriani, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemberian biochar kayu meranti (*Shorea* sp.) pada media tanam terhadap biomassa semai sengon laut (*Falcataria moluccana*) sebagai indikator awal pertumbuhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 5 bulan, dari bulan Agustus 2024 – Januari 2025, berlokasi di Rumah Kaca dan Laboratorium Silvikultur dan Perlindungan Hutan Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian dilakukan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan yang diuji pada 5 media tanam yaitu K (100% tanah) : tanpa penambahan biochar ; M5 (biochar meranti 5%) : tanah ditambah 5% biochar ; M10 (biochar meranti 10%) : tanah ditambah 10% biochar ; M15 (biochar meranti 15%) : tanah ditambah 15% biochar ; M20 (biochar meranti 20%) : tanah ditambah 20% biochar. Total tanaman yang diteliti sebanyak 40 sampel, masing-masing perlakuan terdiri dari 8 ulangan dengan masing-masing ulangan 1 sampel tanaman.

Proses penelitian diawali dengan pembuatan biochar dari bahan utama limbah kayu meranti. Limbah kayu meranti dimasukkan ke dalam tungku komersial yang kemudian dipirolisis menggunakan suhu 600°C. Hasil dari limbah kayu meranti yang sudah dipirolisis kemudian dihancurkan dan diayak untuk mendapatkan ukuran yang seragam dan sesuai untuk dicampurkan dengan tanah. Proses selanjutnya adalah penyemaian benih sengon laut. Biji sengon laut diberikan perlakuan pemecah dormansi dengan cara direndam selama ± 24 jam menggunakan air yang sudah dipanaskan bersuhu $\pm 80^\circ\text{C}$. Media tanam untuk perkecambahan yaitu pasir yang sudah dikeringkan terlebih dahulu. Biji yang sudah direndam kemudian ditanam pada potray berukuran 2,3 x 2,3 x 4,2 cm (kapasitas 200g).

Media tanam dibuat dengan menggunakan tanah topsoil (0–20 cm) yang telah dikeringkan dan diayak agar seragam dan mudah dicampur dengan biochar. Pencampuran dilakukan sesuai dosis perlakuan: 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% biochar dari total berat media tanam 200 g per *polybag*. Setelah dicampur, media dimasukkan ke dalam *polybag* dan dibasahi untuk mencegah biochar terbawa angin serta mempermudah penanaman. Bibit sengon laut berumur lebih dari satu bulan, dengan bagian tanaman lengkap, dipindahkan ke *polybag* pada pagi atau sore hari guna mengurangi stres akibat penguapan. Setiap perlakuan diberi plant marker, dan pemeliharaan dilakukan secara rutin melalui penyiraman harian, penyiangan gulma, serta pengendalian hama. Seluruh perlakuan dilakukan secara konsisten untuk memastikan keakuratan data dan meminimalkan faktor luar yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Parameter data yang diamati pada penelitian ini yaitu Bobot Kering Akar (BKA), Bobot Kering Pucuk (BKP), Bobot Kering Total (BKT), dan Nisbah Pucuk Akar (NPA). Setelah berumur 4 bulan, semai sengon laut dibongkar. Akar dipisahkan dari bagian tajuk dengan cara dipotong, yang kemudian dibersihkan bagian akar dengan cara direndam pada air sampai bersih. Akar dan tajuk kemudian di oven dengan suhu $\pm 80^\circ\text{C}$ hingga bobot kering yang didapatkan mencapai nilai yang konstan. Data yang sudah didapatkan dianalisis homogenitasnya dengan Uji Bartlett. Nilai homogen dilanjutkan dengan analisis sidik ragam (Anova) dan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 1%.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

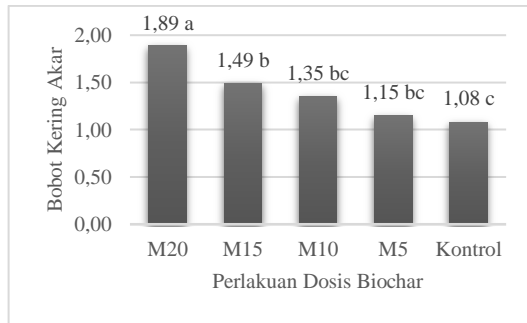
Hasil analisis ragam terhadap data yang diperoleh disajikan pada Tabel 1. Semua parameter menunjukkan bahwa pemberian biochar yang berasal dari limbah kayu meranti dengan suhu pirolisis 600°C memiliki pengaruh yang nyata terhadap parameter yang diuji.

Tabel 1. Analisis ragam untuk seluruh parameter

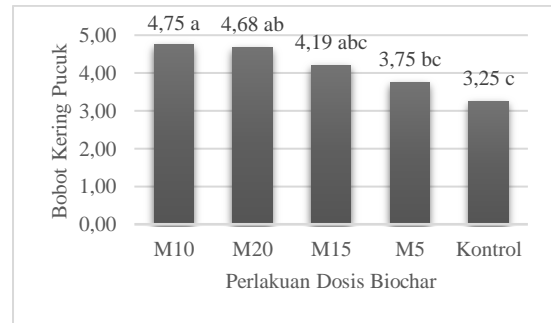
Parameter	F hitung	F Tabel ($\alpha=1\%$)	Keterangan
Bobot kering akar	12,69	3,91	**
Bobot kering pucuk	6,73	3,91	**
Bobot kering total	9,14	3,91	**
Nisbah pucuk akar	4,91	3,91	**

Keterangan : ** = berbeda sangat nyata pada taraf 1%

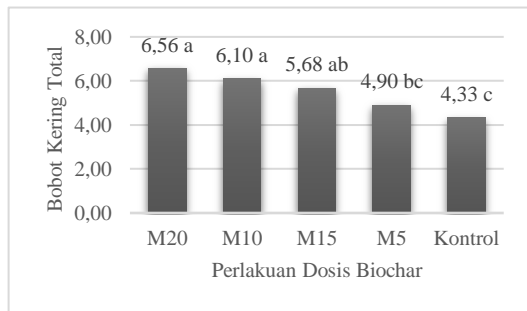
Parameter yang menunjukkan pengaruh sangat nyata berdasarkan hasil analisis ragam (ANOVA) selanjutnya diuji menggunakan Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf signifikansi 1% untuk mengetahui perbedaan antar-perlakuan secara lebih rinci dan menentukan perlakuan terbaik. Hasil uji BNT pada setiap parameter perlakuan dapat dilihat pada Gambar 1 sampai 4.



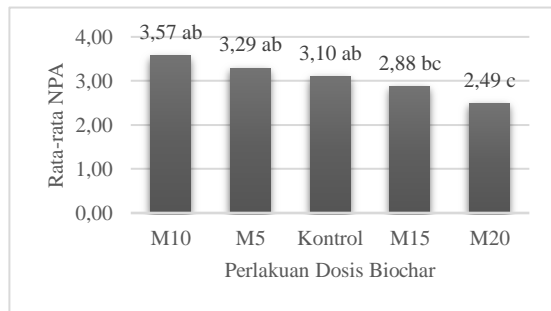
Gambar 1. Uji BNT Bobot Kering Akar aplikasi biochar pada media tanam sengan laut.



Gambar 2. Uji BNT Bobot Kering Pucuk aplikasi biochar pada media tanam sengan laut.



Gambar 3. Uji BNT Bobot Kering Total aplikasi biochar pada media tanam sengan laut.



Gambar 4. Uji BNT Nisbah Pucuk Akar aplikasi biochar pada media tanam sengan laut.

Keterangan: nilai yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 1%.

Hasil Uji BNT menunjukkan bahwa pemberian biochar kayu meranti pada media tanam semai sengan laut memberikan pengaruh yang nyata terhadap seluruh parameter pertumbuhan yang diamati, yaitu bobot kering akar, bobot kering pucuk, bobot kering total, dan nisbah pucuk akar, pada taraf nyata 1%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biochar kayu meranti mampu meningkatkan akumulasi biomassa tanaman secara signifikan.

Nilai rata-rata bobot kering akar meningkat dari 1,08 g pada kontrol menjadi 1,89 g pada perlakuan 20% biochar, menunjukkan adanya peningkatan hampir dua kali lipat. Pola serupa terlihat pada bobot kering pucuk dan total, di mana perlakuan 20% biochar menghasilkan bobot kering pucuk sebesar 4,68 g dan bobot kering total sebesar 6,56 g, lebih tinggi dibandingkan kontrol (3,25 g dan 4,33 g). Peningkatan bobot kering tersebut menunjukkan bahwa penambahan biochar kayu meranti mampu memperbaiki kondisi media tanam melalui peningkatan porositas, aerasi, serta kapasitas retensi air dan unsur hara. Sifat biochar yang berpori tinggi dan memiliki muatan negatif berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan mengurangi kehilangan unsur hara melalui aliran air, sehingga unsur hara lebih tersedia bagi tanaman (Shaheen *et al.*, 2019).

Perubahan pada kondisi media yang terasa lebih remah (tidak padat) dibandingkan sebelum penambahan biochar disebabkan oleh struktur biochar yang berpori tinggi mampu memperbaiki agregasi tanah. Wang *et al.* (2021), menemukan bahwa biochar menurunkan kerapatan tanah (*bulk density*) dan memperbaiki struktur tanah, membuatnya lebih gembur dan mudah diolah. Kondisi media yang lebih baik memungkinkan perkembangan akar yang lebih luas dan efisien dalam menyerap air serta nutrisi, yang pada akhirnya meningkatkan aktivitas fotosintesis dan akumulasi biomassa (Nguyen *et al.*, 2022).

Sementara itu, nilai nisbah pucuk akar (NPA) menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya dosis biochar, dari 3,10 pada kontrol menjadi 2,49 pada dosis 20%. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan akar mengalami peningkatan yang relatif lebih tinggi dibandingkan pucuk, menandakan distribusi biomassa yang lebih seimbang antara bagian bawah dan atas tanaman. Menurut Zhang *et al.* (2020), penurunan nilai NPA dapat diinterpretasikan sebagai peningkatan kemampuan tanaman dalam beradaptasi terhadap kondisi media yang lebih baik dan efisien dalam penyerapan hara.

Sifat biochar yang berpori tinggi menjadikan media tanam lebih ringan dan memiliki aerasi lebih baik, sehingga akar semai sengon laut dapat tumbuh lebih panjang dan menyebar secara merata. Kondisi ini meningkatkan efisiensi penyerapan air dan unsur hara yang mendukung pembentukan biomassa tanaman (Liang *et al.*, 2021). Meski demikian, efektivitas biochar dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis tanah, sifat bahan baku biochar, dosis aplikasi, serta kebutuhan spesifik tanaman.

Dalam penelitian ini, penggunaan topsoil sebagai media dasar diduga memiliki keterbatasan dalam kapasitas hara dan struktur fisik, sehingga penambahan biochar berperan sebagai pembenah tanah yang mampu memperbaiki kondisi tersebut (Joseph *et al.*, 2020). Hasil peningkatan biomassa pada semai sengon laut menunjukkan bahwa biochar kayu meranti berpotensi diaplikasikan sebagai teknologi pendukung budidaya tanaman kehutanan pada lahan-lahan suboptimal (Wang *et al.*, 2021; Igalavithana *et al.*, 2022).

Sengon laut (*Falcataria moluccana*) merupakan tanaman yang tumbuh cepat dan memiliki potensi untuk dikembangkan di lahan suboptimal. Penggunaan biochar pada tanaman ini dapat membantu mendukung pertumbuhan awal secara efektif, seperti yang dilaporkan oleh Irmayanti *et al.* (2022). Selain itu, penelitian Nuraini (2022) menunjukkan bahwa penambahan biochar mampu meningkatkan produktivitas tanah marginal dan pertumbuhan tanaman, sejalan dengan hasil penelitian ini.

Wibowo dan Santosa (2016) juga menyatakan bahwa aplikasi biochar dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan biochar kayu meranti hingga dosis 20% memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan biomassa semai sengon laut. Oleh karena itu, biochar dapat digunakan sebagai pembenah tanah yang efektif untuk mendukung pertumbuhan tanaman kehutanan di lahan-lahan suboptimal.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penambahan biochar kayu meranti pada media tanam semai sengon laut (*Falcataria moluccana*) secara signifikan meningkatkan biomassa tanaman, khususnya pada parameter yang diukur, yaitu bobot kering akar, bobot kering pucuk, bobot kering total, dan nisbah pucuk akar. Perlakuan dengan dosis 20% biochar (M20) menghasilkan peningkatan biomassa yang paling besar, dengan bobot kering akar yang lebih tinggi sebesar 75%, bobot kering pucuk 44%, dan bobot kering total 51% dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa biochar dapat memperbaiki kondisi fisik dan kimia tanah, seperti retensi air, aerasi, dan ketersediaan unsur hara, yang mendukung pertumbuhan semai sengon laut secara lebih optimal. Oleh karena itu, biochar kayu meranti memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pembenah tanah, terutama pada tanah dengan kualitas fisik dan kimia yang kurang optimal, untuk meningkatkan produktivitas tanaman semai sengon laut.

Saran

Perlu dilakukan kajian terhadap berbagai jenis bahan baku biochar dan variasi dosis aplikasinya untuk menentukan jenis dan dosis yang paling efisien dalam meningkatkan pertumbuhan dan biomassa pada jenis tanaman kehutanan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayu, P. D. & Fitriani, D. 2021. Pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan. *Jurnal Energi dan Lingkungan*. 10(1): 12–20
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. 2020. Biochar to improve soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 40(2): 36.

- Domiciano, N. F., Silva, G. V., Oliveira, L. S., & Santos, J. R. 2021. Biochar from agro-industrial residues: A review of production, characterization, and potential applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6) : 106060.
- Hardiatmi, J.S. 2010. Investasi tanaman kayu sengon dalam wanatani cukup menjanjikan. INNOFARM: *Jurnal Inovasi Pertanian*. 9(2): 17-21.
- Igalavithana, A. D., Tsang, D. C. W., & Ok, Y. S. 2022. Biochar and soil interactions: Physical and chemical properties improvements. *Environmental Research*, (Online) 204, 111993. (<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111993> diakses 6 November 2025)
- Irmayanti, L., Nurdin, A. S., Rangkuti, A. B., Rambey, R., Nurhikmah, N., Ashari, R., Anwar, A., & Nurjannah, S. 2022. Pematahan dormansi benih sengon (*Falcataria moluccana*) dengan skarifikasi mekanik. *EnviroScienteeae*. 19(3): 95-100.
- Jia, J., Li, B., Chen, Z., Xie, Z., & Xiong, Z. 2021. Biochar application reduces soil CO₂ emissions by regulating microbial metabolic efficiency and community composition: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 773: 145614.
- Joseph, S., Kammann, C., Shepherd, J., Conte, P., Schmidt, H.-P., Hagemann, N., ... & Lehmann, J. 2020. Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar. *Bioresource Technology*. 297: 122451.
- Kustiawan, W., 2022. Biomassa pada tanaman hutan: teori dan aplikasi," *Jurnal Penelitian Kehutanan*. 14(2): 101–112
- Kusuma, A.W., Rachmanadi, D., dan Wulandari, Y. 2022. Pengaruh biochar terhadap pertumbuhan bibit *Shorea leprosula* pada media tanah podsolik. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 13(1): 25–33.
- Lehmann, J. & Joseph, S. 2015. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation (2nd ed.)*. Routledge, London.
- Lestari, Y., dan Ramadhani, H. 2019. Pengaruh biochar terhadap pertumbuhan bibit Gmelina arborea di tanah masam. *Jurnal Hutan Lestari*. 7(1): 88–95.
- Liang, C., Ma, X., Zhang, Z., & Xu, S. 2021. Effects of biochar on root morphology, plant growth, and soil improvement in degraded soils. *Agronomy*, 11(3), 497.
- Muliya, N.S., Naemah, D., dan Rachmawati, N. 2021. Analisis kesehatan bibit sengon laut (*Paraseriantes falcataria*) di persemaian. *Jurnal Sylva Scienteeae*. 4(6): 954.
- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., Wallace, H. & Bai, S. H. 2022. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. *Geoderma*, 425, 116026.
- Nuraini, E. 2022. Peran biochar dalam meningkatkan produktivitas tanah marginal. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 27(3): 163–170.
- Novitasari, A., Yuliani, E., dan Haryati, R. 2020. Efektivitas biochar limbah kayu untuk pertumbuhan bibit *Acacia mangium* pada media marginal. *Jurnal Hutan Tropis*. 8(2): 112–120.
- Ohorella, S., Kalay, A. M., & Wanggai, J. 2022. Estimasi Biomassa Karbon Bawah Permukaan pada Agroforestri Tradisional di Distrik Aimas, Sorong. Median: *Jurnal Ilmu Ilmu Eksakta*, 14(2), 50–57.

Perea-Moreno, M.-A., Samerón-Manzano, E., & Perea-Moreno, A.-J. 2019. Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*. 11(3): 863.

Purba, J. K., Wahyudi, W., & Rotinsulu, J. M. 2022. Pengaruh Komposisi Biopotting terhadap Pertumbuhan Semai Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) di Persemaian BPDASHL Kahayan. *Journal of People, Forest and Environment*. 2(1): 14–22.

Rahmat, H., Prabowo, R.E., dan Fadilah, L.N. 2020. Aplikasi biochar sebagai amelioran untuk pertumbuhan bibit *Tectona grandis*. *Jurnal Agroforestri Indonesia*. 2(1): 34–41.

Sarfraz, R., Hussain, A., Sabir, A., Fekih, I. B., Ditta, A., & Xing, S. 2019. Biochar application improves soil fertility and plant productivity: A comprehensive meta-analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(12): 731

Sari, D. 2018. Pemanfaatan limbah kayu meranti sebagai bahan baku biochar untuk peningkatan kesuburan tanah pada lahan marginal. *Jurnal Ilmu Kehutanan Indonesia*. 5(2): 45–53.

Shaheen, S. M., Tsadilas, C. D., & Rinklebe, J. 2019. A review of the distribution coefficients of trace elements in soils: Influence of sorption parameters, biochar, and dissolved organic matter. *Chemosphere*. 223: 529–544.

Siregar, A.R., Lumbanraja, J., dan Hastuti, D. 2022. Pengaruh pemberian biochar terhadap pertumbuhan awal bibit *Swietenia macrophylla*. *Jurnal Kehutanan Tropika*. 10(1): 55–63.

Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. 2021. Biochar stability in soil: Meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, 13(9): 1440–1454.

Wibowo, A., Suryanto, P., dan Munawar, A. 2021. Peran biochar dalam meningkatkan pertumbuhan bibit Pinus merkusii di lahan pasir. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 23(3): 173–181.

Wibowo, H. and Santosa, D. A. 2016. Pengaruh biochar terhadap pertumbuhan tanaman dan sifat tanah. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*. 18(1): 35–42.

Zahra, N., Hafeez, F., Raza, A., Saeed, Q., & Mahmood, S. 2021. Biochar as a sustainable tool for improving soil properties and crop productivity: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, (Online), Vol. 28, No. 42, (<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14752-7>, diakses 15 September 2025)