

Potensi Biochar Limbah Rumput Laut dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah di Lahan Kering dan Implikasinya terhadap Pendapatan Petani

The Potential of Seaweed Waste Biochar in Improving Soil Health in Dry Land and Its Implications for Farmers' Income

Sulfaida Pratami^{1*}, Taufik Fauzi¹, Suwardji¹, Taslim Sjah¹, A.A Ketut Sudharmawan¹, Mulyati¹

¹(Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

*corresponding author, email: sulfaidapratami@gmail.com

ABSTRAK

Lahan kering memiliki potensi besar untuk mendukung ketahanan pangan nasional, namun produktivitasnya rendah akibat kesehatan tanah yang buruk dan dampak perubahan iklim. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan biochar dari limbah rumput laut yang kaya unsur hara dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi biochar limbah rumput laut dalam meningkatkan kesehatan tanah di lahan kering dan implikasinya terhadap pendapatan petani. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dengan menganalisis literatur ilmiah terkait. Hasil kajian menunjukkan bahwa biochar rumput laut dapat meningkatkan kapasitas tukar kation, ketersediaan hara, retensi air, serta aktivitas mikroba tanah. Hal ini berdampak pada peningkatan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan pupuk, yang pada akhirnya meningkatkan pendapatan petani. Oleh karena itu, biochar limbah rumput laut berpotensi sebagai solusi berkelanjutan untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia.

Kata kunci: lahan_kering; biochar; limbah_rumput_laut; kesehatan_tanah; pertanian_berkelanjutan

ABSTRACT

Drylands have great potential to support national food security, but their productivity is low due to poor soil health and the impact of climate change. One promising solution is the use of biochar from seaweed waste which is rich in nutrients and environmentally friendly. This study aims to examine the potential of seaweed waste biochar in improving soil health in drylands and its implications for farmers' income. The method used is a literature study by analyzing related scientific literature. The results of the study indicate that seaweed biochar can increase cation exchange capacity, nutrient availability, water retention, and soil microbial activity. This has an impact on increasing plant productivity and fertilizer use efficiency, which ultimately increases farmers' income. Therefore, seaweed waste biochar has the potential to be a sustainable solution for dryland rehabilitation in Indonesia.

Keywords: drylands; biochar; seaweed_waste; soil_health; sustainable_agriculture

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan salah satu sektor yang berkontribusi penting dalam pembangunan Nasional. Potensi pertanian di Indonesia sangat besar terutama sebagai sumber pendapatan masyarakat dan penyedia bahan pangan dan hortikultura (Nadzirah, 2020). Akan tetapi kegiatan pertanian di Indonesia dihadapkan pada tantangan besar yang dapat mengancam keberlanjutannya. Salah satunya adalah tantangan eksploitasi lahan pertanian yang berlebihan termasuk alih fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi lahan nonpertanian. Data menunjukkan, lahan pertanian di Indonesia berkurang hingga 70 hektare setiap tahun (Fadilah, 2024). Alih fungsi lahan yang terjadi dapat menyebabkan hilangnya lahan pertanian subur dan masalah lingkungan. Disisi lain, sumber pendapatan masyarakat dan penyediaan bahan pangan serta hortikultura harus terus berlanjut. Oleh karena itu diperlukan

alokasi sumberdaya lahan yang mencukupi untuk mendukung peningkatan dan keberlanjutan pertanian di Indonesia. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memnfaatkan lahan sub optimal seperti lahan kering (Noviyanti dan Sutrisno, 2019).

Lahan kering merupakan lahan sub optimal yang pengairannya hanya mengandalkan air hujan. Menurut data BPS Nasional (2021), potensi lahan kering di Indonesia mencapai 63,4 juta hektare atau sekitar 33,7% dari total luas lahan Indonesia. Kendala utama dalam budidaya dilahan kering adalah rendahnya produktivitas tanaman. Penurunan tingkat produksi tanaman di lahan kering dipengaruhi oleh kondisi lahan seperti rendahnya tingkat kesehatan tanah. Tingkat kesehatan tanah di lahan kering terus memburuk seiring dengan adanya perubahan iklim yang ekstrim. Perubahan iklim seperti peningkatan suhu dan perubahan pola curah hujan dapat mempercepat proses penguapan air, pembusukan bahan organik, kekeringan dan banjir. Hal tersebut dapat memperburuk kondisi dan kesehatan tanah di lahan kering (Mukhtar et al, 2022).

Kesehatan tanah merupakan kemampuan tanah dalam menyediakan lingkungan tumbuh yang optimal untuk mendukung pertumbuhan, perkembangan tanaman dan aktifitas biologi tanah secara berkelanjutan (Doran dan Parkin, 1994). Tanah dilahan kering cenderung memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang rendah (Tewu et al, 2016). Peningkatan kesehatan tanah di lahan kering penting dilakukan untuk mengoptimalkan potensi budidaya tanaman dilahan kering. Peningkatan ini dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan menambahkan bahan organik. Tanah yang kaya akan bahan organik dapat meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Sujinah et al, 2015). Saat ini, berbagai jenis bahan organik telah dikembangkan, termasuk biochar limbah rumput laut.

Biochar merupakan sumber yang sangat kaya akan karbon yang diproduksi dari biomassa menggunakan pembakaran termal dalam lingkungan terbatas oksigen (Yaashikaa, et al 2020). Biochar rumput laut mengacu pada bahan kaya karbon yang dihasilkan dari rumput laut melalui proses pirolisis, yaitu pembakaran tidak sempurna tanpa oksigen. Biochar rumput laut mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro, seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Sulfur (S), Besi (Fe) dan Mangan (Mn) yang penting untuk pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah (Ilham, 2022). Penggunaan biochar dari limbah rumput laut tidak hanya memberikan manfaat bagi kesehatan tanah, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengelolaan limbah yang lebih baik. Limbah rumput laut yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku biochar, sehingga mengurangi polusi lingkungan. Kajian tentang pemanfaatan biochar limbah rumput laut di bidang pertanian khususnya sebagai pembenah tanah masih belum banyak dikaji. Tujuan dari penulisan telaah pustaka ini adalah untuk mengkaji potensi biochar rumput laut dalam meningkatkan kesehatan tanah di lahan kering dan implikasinya terhadap pendapatan petani. Sehingga dapat memberikan informasi tentang potensi biochar limbah rumput laut dalam meningkatkan kesehatan tanah di lahan kering.

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan pada penulisan artikel ini adalah metode pengumpulan data sekunder (library research), dengan cara mengkaji berbagai sumber literatur yang relevan untuk memperoleh landasan teoritis dan konseptual dalam menjawab tujuan penelitian (Zed, 2004). Data dikumpulkan melalui penelusuran terhadap buku, artikel jurnal ilmiah, prosiding, skripsi, tesis, disertasi, dan sumber-sumber ilmiah lainnya yang dapat dipercaya, baik dalam bentuk cetak maupun digital. Sumber-sumber tersebut diperoleh melalui perpustakaan perguruan tinggi, portal jurnal nasional dan internasional, serta database online seperti Google Scholar, ResearchGate, dan lainnya. Pemilihan literatur dilakukan secara selektif dengan mempertimbangkan kesesuaian topik, serta kredibilitas sumber. Data berupa beberapa artikel ilmiah yang mengkaji pemanfaatan biochar rumput laut dalam meningkatkan kesehatan tanah di lahan kering. Data yang didapatkan dianalisis secara deskriptif-kualitatif menggunakan Identifikasi dan Seleksi Artikel Ilmiah untuk mengidentifikasi pola, konsep, dan argumentasi yang mendukung pembahasan topik dalam artikel ini (Snyder, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lahan kering di Indonesia memiliki potensi yang sangat luas dan belum dimanfaatkan secara optimal. Data menunjukkan lahan kering di Indonesia mencapai 63,4 juta hektare, yang setara dengan sekitar 33,7% dari total luas lahan di negara ini. Di Indonesia, lahan kering banyak terdapat di wilayah timur seperti Nusa Tenggara,

sebagian Jawa, dan Sulawesi (Sutedjo, 2016). Data tersebut menunjukkan adanya peluang besar pengembangan pertanian di luar lahan basah. Namun, Kendala utama dalam budidaya di lahan kering adalah rendahnya produktivitas tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa lahan kering yang tidak dikelola dengan baik hanya mampu menghasilkan hasil panen sekitar 20-30% dari hasil panen di lahan subur (Evizal dan Prasmatiwi, 2022).

Penurunan tingkat produktivitas tanaman di lahan kering dipengaruhi oleh kondisi lahan yang kurang optimal. Lahan kering tergolong dalam lahan yang sangat mudah terdegradasi, degradasi lahan ini menyebabkan penurunan tingkat kesehatan tanah secara signifikan. Kondisi ini semakin diperparah dengan isu perubahan iklim. Perubahan iklim memberikan dampak yang sangat nyata terhadap berbagai aspek lingkungan, termasuk kondisi dan kesehatan tanah. Peningkatan suhu dan ketidakstabilan curah hujan yang terjadi mengakibatkan berkurangnya kandungan air, bahan organik, dan aktivitas biota tanah, serta meningkatnya erosi dan degradasi kimia tanah (IPPC, 2021).

Tingkat kesehatan tanah biasanya diukur dari sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Tanah di lahan kering cenderung memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang rendah (Tewu et al, 2016). Peningkatan kesehatan tanah di lahan kering dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan menambahkan bahan organik. Bahan organik adalah komponen penting dalam tanah. Tanah yang kaya akan bahan organik dapat meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Sujinah et al, 2015). Saat ini, berbagai jenis bahan organik telah dikembangkan, salah satunya adalah biochar limbah rumput laut.

Potensi Biochar Rumput Laut

Biochar adalah bahan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen (Hidayat et al, 2022). Sedangkan rumput laut adalah tumbuhan laut dari kelompok alga yang hidup di perairan laut, baik di perairan dangkal maupun dalam. Biochar rumput laut sendiri mengacu pada bahan kaya karbon yang dihasilkan dari rumput laut melalui proses pirolisis, yaitu pembakaran tidak sempurna tanpa oksigen. Penggunaan bahan organik berbahan dasar rumput laut dapat dilakukan untuk mengatasi berbagai tantangan global yang terkait dengan perubahan iklim, pembangkitan bioenergi, pertanian, konsumsi makanan, kesehatan hewan dan manusia, bahan kimia yang bermanfaat serta bahan bioaktif (Farghali *et al.*, 2023).

Rumput laut berasal dari biomassa biogenik yang tidak menyebabkan peningkatan emisi karbon di atmosfer. Secara global, ketersediaan rumput laut mengalami lonjakan drastis meningkat hingga 1000 kali lipat dari 34,7 ribu ton pada tahun 1950 menjadi 34,7 juta ton pada 2019 dengan laju pertumbuhan produksi sekitar 8% per tahun sejak 2014 (Augyte et al., 2021). Sebagian besar hasil produksi ini dimanfaatkan dalam industri pangan dan pakan ternak sebagai bahan baku karagen. Proses produksi karagen menghasilkan limbah dalam jumlah besar, bahkan lebih dari 75% biomassa sisa dihasilkan selama pengolahan, yakni sekitar tiga kali lipat dari jumlah produk akhir (Yun et al., 2022). Fakta ini menunjukkan besarnya potensi limbah rumput laut untuk dimanfaatkan lebih lanjut. Selain itu, biomassa sisa dan limbah rumput laut yang terbawa hingga ke pantai juga memiliki peluang untuk diolah menjadi biochar yang bermanfaat.

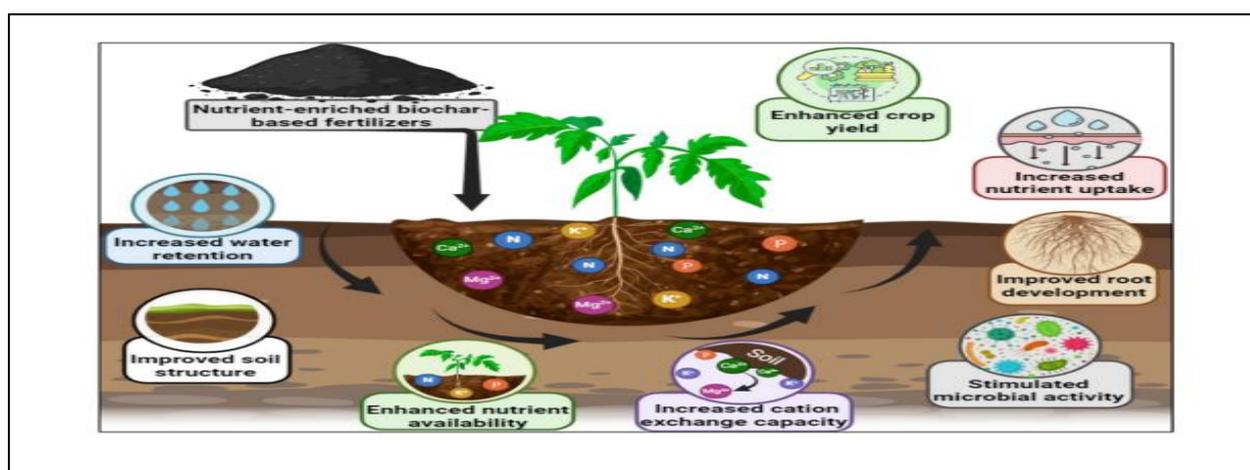
Pemanfaatan Biochar rumput laut dibidang pertanian dapat menjadi salah satu upaya alternatif penggunaan bahan organik dalam sistem budidaya tanaman yang lebih ramah lingkungan. Rumput laut merupakan biomassa yang tumbuh cepat dan dapat dibudidayakan secara intensif di laut, tidak bersaing dengan lahan pertanian darat, sehingga menyediakan sumber bahan baku biochar yang berkelanjutan. Selain itu, potensi rumput laut dan limbahnya cukup besar di Indonesia. Indonesia sebagai negara maritim memiliki produksi rumput laut yang tinggi, khususnya jenis *Gracilaria*, *Eucheuma cottonii*, dan *Sargassum*. Limbah rumput laut dari industri pengolahan rumput laut berpotensi besar menjadi bahan baku biochar. Kandungan unsur hara (K, Ca, Mg) dan struktur alaminya menjadikan rumput laut ideal untuk diolah menjadi biochar yang ramah lingkungan (Assadad, 2009).

Biochar dari rumput laut mengandung nutrisi langsung yang dapat memperbaiki kesuburan tanah, berbeda dengan biochar lignoselulosa yang umumnya rendah nutrisi dan hanya berfungsi sebagai penyimpan karbon. pemanfaatan rumput laut untuk biochar juga dapat mengurangi limbah biomassa laut dan berpotensi digunakan sebagai biosorben untuk mengikat logam berat dan kontaminan lain dalam pengolahan air limbah. Selain itu, Rumput laut menghasilkan biochar dalam proporsi yang lebih tinggi (45-62%) dibandingkan dengan biomassa

lignoselulosa (tanaman berkayu). umumnya kandungan C pada biochar rumput laut lebih rendah daripada biochar ligno-selulosa, biochar rumput laut ternyata memiliki kandungan nutrisi yang dapat ditukar dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang lebih tinggi. KTK biochar rumput laut yang tinggi membuatnya sangat efektif dalam retensi nutrisi di tanah pertanian (Roberts et al, 2015).

Mekanisme biochar rumput laut dalam memperbaiki kesehatan tanah di lahan kering

Secara umum, biochar dapat memperbaiki sifat tanah serta meningkatkan produktivitas tanaman melalui perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Secara fisik, struktur pori biochar meningkatkan retensi air, porositas, dan aerasi tanah, sehingga mendukung pertumbuhan akar. Dari segi kimia, biochar mampu meningkatkan pH tanah masam, kapasitas tukar kation (KTK), serta mengikat unsur hara dan polutan. Secara biologis, biochar menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah yang bermanfaat, sehingga mendukung siklus hara dan kesehatan tanah. Kombinasi dari efek tersebut meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan air, serta mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik, terutama di lahan marginal atau kering. Lebih lanjut tentang gambaran mekanisme biochar rumput laut dalam meningkatkan kesehatan tanah di lahan kering dapat dilihat pada gambar 1. Mekanisme Biochar dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah dan Pertumbuhan Tanaman (Sharma et al, 2025).



Gambar 1. Mekanisme Biochar dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah dan Pertumbuhan Tanaman (Sharma et al, 2025).

Gambar 1. menunjukkan secara komprehensif bagaimana mekanisme biochar yang diperkaya nutrisi dapat meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman melalui berbagai mekanisme fisik, kimia, dan biologi tanah. Dalam konteks ini, biochar dari limbah rumput laut, yang kaya akan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca^{2+}), dan magnesium (Mg^{2+}), memiliki peran penting sebagai amelioran tanah multifungsi. Penggunaan biochar dapat membantu meningkatkan resistensi air, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketersediaan nutrisi, meningkatkan kapasitas tukar kation, merangsang aktivitas mikroba, memperbaiki pertumbuhan akar dan meningkatkan penyerapan nutrisi. Tahap akhirdari seluruh mekanisme ini adalah pada peningkatan hasil tanaman (Sharma et al, 2025).

Ding *et al.* (2016) memaparkan beberapa fungsi biochar dalam memperbaiki kesehatan tanah seperti meningkatkan ketersediaan hara, retensi hara, dan retensi air serta menciptakan habitat yang baik untuk mikroorganisme di dalam tanah. Kelebihan-kelebihan ini nantinya akan berpengaruh positif terhadap peningkatan produktivitas tanaman khususnya pada lahan kering. Selain itu, aplikasi biochar juga dapat dijadikan sebagai alternatif untuk mengurangi laju emisi CO_2 dan N_2O serta berkontribusi terhadap cadangan karbon ($\pm 52,8\%$), artinya biochar mampu menyimpan karbon dalam waktu yang cukup lama dan dalam jumlah yang cukup besar (Lin *et al.* 2015).

Penggunaan biochar juga dapat meningkatkan populasi mikroba tanah dengan menciptakan lingkungan tumbuh yang sesuai. Biochar berfungsi sebagai substrat organik bagi mikroorganisme tanah, menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroba dan membantu proses reklamasi tanah yang telah mengalami degradasi (Bawamenewi et al., 2025). Secara umum, potensi biochar dari berbagai limbah pertanian dalam memperbaiki kesehatan tanah relatif serupa, karena berasal dari proses pirolisis biomassa. Salah satu sumber

potensial dalam pengembangan biochar adalah limbah rumput laut, yang juga mengandung unsur hara esensial dan memiliki struktur pori yang mendukung aktivitas biologi tanah.

Roberts et al (2015) melaporkan bahwa biochar rumput laut memiliki kandungan C yang rendah, akan tetapi tinggi unsur hara esensial seperti Nitrogen (N) 0.3-2.8%, Fosfor (P) 0.5-6.6% dan Kalium (K) hingga 119 gr/Kg. Biochar rumput laut juga memiliki tingkat kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, Kandungan C/N ratio yang rendah (< 20) dan pH yang netral. Selain itu, Kandungan unsur hara yang tinggi serta pH yang mendekati netral dari biochar rumput laut menciptakan kondisi yang mendukung kehidupan mikroorganisme tanah. Sehingga menjadikan biochar rumput laut cocok digunakan sebagai amelioran tanah, terutama di lahan-lahan miskin hara atau terdegradasi seperti lahan kering. Ginocchio (2023) membuktikan bahwa penggunaan biochar rumput laut yang dikombinasikan dengan vermikompos dapat secara signifikan meningkatkan ketersediaan unsur hara nitrogen, pH tanah dan menurunkan kadar ion Cu^{2+} di lahan berpasir. Perlakuan dengan biochar rumput laut juga menyebabkan perubahan signifikan pada komponen mikroba tanah dan tanaman untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang berkelanjutan.

Biochar yang berasal dari rumput laut juga secara tidak langsung dapat mendukung proses pertumbuhan tanaman hal ini karena kandungan nutrisi yang ada dalam rumput laut. Ali et al., (2021), menegaskan bahwa penggunaan ekstrak rumput laut pada tanaman berdampak positif pada pertumbuhan, ketahanan, peningkatan toleransi terhadap hama, penyakit, dan stres abiotik, serta peningkatan keseluruhan dalam produktivitas tanaman. Laporan yang dipublikasikan juga menyoroti peningkatan kualitas nutrisi tanaman yang diberi ekstrak rumput laut, termasuk peningkatan kandungan antioksidan, yang meningkatkan daya tarik produk rumput laut untuk digunakan dalam produksi tanaman.

Implikasi Ekonomi Pemanfaatan Biochar Rumput Laut

Kesehatan tanah dalam budidaya tanaman sangat penting karena tanah yang sehat mendukung pertumbuhan tanaman yang kuat dan produktif. Permasalahan kesehatan tanah dapat menyebabkan produktivitas tanaman menurun, sehingga dapat mempengaruhi pendapatan petani. Biochar dari limbah rumput laut dapat membantu memperbaiki struktur dan kesuburan tanah di lahan kering, meningkatkan retensi air dan ketersediaan nutrisi, serta menurunkan keasaman tanah. Hal ini berkontribusi pada peningkatan hasil panen dan pendapatan petani. Studi menunjukkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan produktivitas tanaman hingga 11% secara global (Babu et al, 2023).

Tanah yang tidak sehat dapat meningkatkan biaya petani dengan menambah input pupuk anorganik yang besar, Pupuk anorganik memiliki dampak ganda terhadap kesehatan tanah, yakni dapat memberikan manfaat sekaligus menimbulkan risiko. Di satu sisi, pupuk berfungsi sebagai sumber nutrisi esensial yang menunjang pertumbuhan tanaman dan memperbaiki tingkat kesuburan tanah. Namun di sisi lain, penggunaan pupuk yang berlebihan atau tidak sesuai dosis justru dapat merugikan. Ketergantungan tinggi terhadap pupuk kimia anorganik berpotensi mengganggu keseimbangan nutrisi alami di dalam tanah, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara dan penurunan kualitas tanah. Kondisi ini bisa berujung pada berkurangnya kandungan bahan organik, menurunnya kesuburan, dan meningkatnya risiko erosi tanah (Farmerline, 2023). Peningkatan penggunaan pupuk anorganik secara signifikan akan meningkatkan biaya produksi petani. Hal ini dapat memengaruhi pendapatan petani, terutama jika harga hasil panen tidak sebanding dengan biaya produksi yang meningkat. Penggunaan biochar dapat membantu petani dalam menghemat biaya produksi dan mengurangi ketergantungan petani terhadap pupuk anorganik.

Penggunaan biochar termasuk biochar dari rumput laut merupakan solusi inovatif yang berpotensi besar dalam mendukung pertanian berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim. Aplikasinya terbukti dapat meningkatkan produktivitas tanaman hingga 11% secara global, memperbaiki kesehatan tanah melalui peningkatan karbon organik, kapasitas tukar kation, dan retensi air, serta mengurangi kerapatan massa tanah (Babu et al, 2023). Selain itu, biochar mampu menyerap dan menyimpan antara 0,7 hingga 1,8 gigaton CO_2 per tahun, menjadikannya alat efektif dalam sekuestrasi karbon dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Hal ini merupakan pendekatan yang menjanjikan dan berkelanjutan yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem pertanian untuk meminimalkan penggunaan input kimia sintetis dan menggantinya dengan bahan organik berbahan dasar rumput laut.

KESIMPULAN

Lahan kering memiliki potensi yang besar di Indonesia, namun produktivitasnya rendah akibat kondisi tanah yang kurang sehat. Perubahan iklim semakin memperburuk kesehatan tanah di wilayah ini, sehingga dibutuhkan solusi berkelanjutan untuk memperbaikinya. Salah satu upaya yang potensial adalah pemanfaatan biochar dari limbah rumput laut. Biochar rumput laut merupakan bahan organik hasil pirolisis limbah rumput laut yang kaya akan unsur hara esensial seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan kalsium, serta memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi. Penggunaan biochar ini terbukti mampu meningkatkan struktur tanah, kapasitas retensi air, aktivitas mikroorganisme, dan ketersediaan hara. Selain itu, biochar rumput laut juga ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah dan mampu menyimpan karbon dalam jangka panjang.

Penerapan biochar limbah rumput laut di lahan kering tidak hanya meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman, tetapi juga memberikan dampak positif secara ekonomi bagi petani melalui peningkatan hasil panen dan pengurangan kebutuhan pupuk kimia. Oleh karena itu, biochar limbah rumput laut merupakan inovasi berkelanjutan yang layak dikembangkan sebagai strategi pemulihan dan peningkatan produktivitas lahan kering di Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pengampu mata kuliah topik khusus manajemen agribisnis dan sistem pertanian lahan kering atas bimbingan dan arahnya selama proses penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan artikel ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: Implications towards sustainable crop production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Assadad, L. (2009). Pemanfaatan limbah industri karaginan untuk menghasilkan produk bernilai tambah. *Squalen*, 4(3), 93–99.
- Augyte, S., Yarish, C., Redmond, S., & Kim, J. K. (2021). Seaweed aquaculture—From historic trends to current innovation. *World Aquaculture Journal*, 52(1).
- Bawamenewi, T. A., Gea, F. H., & Waruwu, S. (2025). Penggunaan biochar untuk meningkatkan kualitas tanah pada sistem pertanian berkelanjutan. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 179–187.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., & Zeng, G. (2016). Biochar to improve soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(36), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372z>
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (pp. 3–21). Soil Science Society of America.
- Fadilah, I. (2024). 70 ribu ha lahan pertanian hilang setiap tahun, Kementan cetak sawah baru. *Detik News*. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-7569307/70-ribu-ha-lahan-pertanian-hilang-setiap-tahun-kementan-cetak-sawah-baru>
- Faizinia, M. V., Rusdi, M., Khalil, M., Sugianto, S., & Basri, H. (2023). Analisis indeks potensi lahan untuk pengembangan tanaman lahan kering di Kabupaten Pidie. *Jurnal Pertanian Lahan Kering*, 8(4), 722–730.
- Farghali, M., Israa, M. A. M., Osman, A. I., & Rooney, D. W. (2023). Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: A review. *National Library of Medicine*, 21(1), 97–152.
- Farmerline. (2023). The impact of fertilizers on the environment: Inorganic vs organic. <https://farmerline.co/the-impact-of-fertilizers-on-the-environment-inorganic-vs-organic/>

- Ginocchio, R. (2023). Seaweed biochar (sourced from marine water remediation farms) for soil remediation: Towards an integrated approach of terrestrial-coastal marine water remediation. *Journal of Environmental Management*, 18(3), 4638–4658.
- Hidayat, B., Nur Ulina, W. S., Jamilah, & Utami, A. (2022). Pemanfaatan biomassa dalam bentuk biochar dan kompos pada sifat-sifat tanah. *Jurnal Pertanian Tropik*, 9(3), 182–191.
- Ilham. (2022). Analisis unsur hara makro pada pupuk organik cair rumput laut cokelat (*Sargassum sp.*) yang ditambah air kelapa muda (Skripsi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru).
- Lin, X. W., Xie, Z. B., Zheng, J. Y., Liu, Q., Bei, Q., & Zhu, G. (2015). Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *European Journal of Soil Science*, 66(2), 329–338. <https://doi.org/10.1111/ejss.12221>
- Mukhtar, A., Hayat, R., & Ahmad, S. (2022). Impact of climate change on dryland agricultural systems: A review of current status, potentials, and further work need. *International Journal of Plant Production*, 16(1), 341–363. <https://doi.org/10.1007/s42106-022-00201-6>
- Nadziroh, M. (2020). Peran sektor pertanian dalam pertumbuhan ekonomi di Kabupaten Magetan. *Jurnal Agristan*, 2(1), 52–61.
- Noviyanti, E. C., & Sutrisno, I. (2021). Analisis dampak alih fungsi lahan pertanian terhadap pendapatan petani di Kabupaten Mimika. *E-Journal STIE JB*, 1–14.
- Osman, A. I., Farghali, M., & Yap, P. S. (2023). Reducing the carbon footprint of buildings using biochar-based bricks and insulating materials: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 22(4), 71–104.
- Sharma, S., et al. (2025). Biochar as a potential nutrient carrier for agricultural applications. *Current Pollution Reports*, 11(19), 1–36.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Sujinah, Abdrurachman, S., & Jamil, A. (2015). Perbaikan kesuburan tanah melalui penambahan bahan organik. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Sukamandi.
- Tewu, R. W. G., Karamoy, L. T., & Pioh, D. D. (2016). Kajian sifat fisik dan kimia tanah pada tanah berpasir di Desa Noongan Kecamatan Langowan Barat. *Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi*.
- Yun, J. H., Archer, S. D., & Price, N. N. (2022). Valorization of waste materials from seaweed industry: An industry survey based biorefinery approach. *Wiley Online Library*, 15(3), 1020–1027.
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28, e00518. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00518>.