



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Aplikasi Teknologi Torefaksi Dalam Pengolahan Limbah Kelapa Muda Menjadi Biochar: Studi Kasus Bandar Lampung

Amrul^{a,*}, Hadi Prayitno^a, Harmen^a, Imam Prasetyo^a, Mustafa Faris F.^a, Figo Naufal P^a, Muhammad Aidil^a

^aJurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

*amrul@eng.unila.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Riwayat artikel:

Diterima 08/11/2025

Direvisi 10/12/2025

Kata kunci:

Biochar, Energi terbarukan,
Kelapa muda, Limbah, torefaksi

Kota Bandar Lampung menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah, terutama sampah organik, yang mencakup limbah dari sektor pertanian, rumah tangga, dan UMKM. Limbah kelapa muda adalah salah satu jenis limbah yang melimpah tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal. Teknologi torefaksi dapat mengonversi limbah kelapa muda menjadi biochar, yang berfungsi sebagai sumber energi terbarukan, penyubur tanah, serta penyerap polutan. Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses torefaksi pada limbah kelapa muda dengan variasi parameter temperatur dan waktu tinggal. Tujuan penelitian jangka panjang adalah mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA Bakung dan menyediakan energi alternatif terbarukan dari limbah kelapa muda. Target khusus yang ingin dicapai adalah mendapatkan parameter optimal proses torefaksi dan karakteristik biochar yang dihasilkan, serta menguji potensi biochar sebagai bahan bakar alternatif dan penyubur tanah. Proses torefaksi terbukti mampu meningkatkan kualitas energi limbah kelapa secara signifikan, ditandai dengan naiknya nilai kalor hingga mencapai 5977 kkal/kg, meskipun disertai penurunan mass yield akibat dekomposisi hemiselulosa dan selulosa pada suhu tinggi. Energy yield menunjukkan performa terbaik pada kondisi 30 menit dan 275°C dengan nilai 93%, sehingga kondisi ini dianggap paling optimal karena menghasilkan nilai kalor tinggi, mass yield yang masih moderat, dan efisiensi energi terbaik. Sementara itu, meskipun suhu 300°C menghasilkan nilai kalor tertinggi, besarnya kehilangan massa dan energi membuat kondisi tersebut kurang layak untuk aplikasi industri yang menuntut efisiensi teknis dan ekonomis.

1. Pendahuluan

Kota Bandar Lampung, Indonesia, menghadapi tantangan lingkungan yang signifikan akibat tingginya volume limbah organik, khususnya limbah kelapa muda yang dihasilkan dari sektor kuliner dan usaha kecil menengah (UKM). Limbah ini, yang terdiri dari sabut, cangkang, dan residu lainnya, sering berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Bakung yang sudah

kelebihan kapasitas, sehingga berkontribusi terhadap pencemaran dan beban limbah perkotaan (Herlambang dkk., 2022; Delgado dkk., 2023). Walaupun limbah kelapa kaya akan komponen lignoselulosa, sebagian besar masih kurang dimanfaatkan padahal berpotensi besar untuk diubah menjadi produk bernilai tambah (Solanilla-Duque dkk., 2022).

* Penulis korespondensi.

E-mail: xxx@xxx (P Pertama)

Untuk mengatasi masalah ini, penerapan teknologi konversi limbah menjadi energi terbarukan menjadi krusial. Torrefaksi hadir sebagai solusi teknologi yang efektif. Proses ini melibatkan perlakuan termal biomassa pada suhu sedang (250–350 °C) di bawah kondisi oksigen terbatas, yang menghasilkan biochar, yaitu bahan kaya karbon yang stabil (Ekanayaka dkk., 2023). Biochar produk torrefaksi dari limbah lignoselulosa dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif untuk co-firing dengan batu bara, di mana pembakaran serbuk telah terbukti meningkatkan temperatur ruang bakar secara signifikan (Amrul dkk., 2022). Selain itu, penelitian lain mendukung peran biochar dalam meningkatkan kualitas tanah, retensi nutrisi, dan penyimpanan karbon (Gitanjali dkk., 2024; Karapınar dkk., 2020; Kalu dkk., 2024; Li & Tasnady, 2023). Penerapan teknologi ini di Bandar Lampung tidak hanya membantu mengurangi volume limbah yang masuk ke TPA, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan energi alternatif dan mendukung prinsip ekonomi sirkular (Dahlan dkk., 2022; Rajapaksha dkk., 2022).

Pengembangan yang sedang berlangsung berfokus pada integrasi limbah kelapa ke dalam aplikasi bioenergi yang lebih luas, berpotensi menjadi model bagi daerah lain yang menghadapi tantangan pengelolaan limbah serupa (Delgado Eraso dkk., 2023; Guo dkk., 2024). Namun, untuk memaksimalkan potensi ini, perlu diidentifikasi kondisi operasi optimal dari proses torrefaksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: 1) Menerapkan teknologi torrefaksi dalam pengolahan limbah kelapa menjadi biochar di Kota Bandar Lampung; 2) Menganalisis pengaruh variasi temperatur (250, 275, 300°C) dan waktu tinggal (10, 20, dan 30 menit) terhadap karakteristik biochar yang dihasilkan; serta 3) Mengevaluasi potensi biochar sebagai sumber energi terbarukan dan produk bernilai guna. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi nyata terhadap permasalahan limbah organik di Kota Bandar Lampung dan memberikan kontribusi ilmiah serta praktis bagi pengembangan teknologi pengolahan biomassa lokal.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan dan Variabel Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah sabut dan kulit kelapa muda yang dikumpulkan dari UMKM di Kota Bandar Lampung. Limbah ini dicuci untuk menghilangkan kotoran dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam untuk menghilangkan kandungan air. Setelah kering, bahan dipotong-potong hingga berukuran 2 cm.

Variabel utama yang diteliti dalam proses torrefaksi adalah:

Tabel 1. Komposisi bagas tebu.

Variabel	Rentang
Temperatur	250,275, dan 300°C
Waktu Tinggal	10, 20, dan 30 Menit

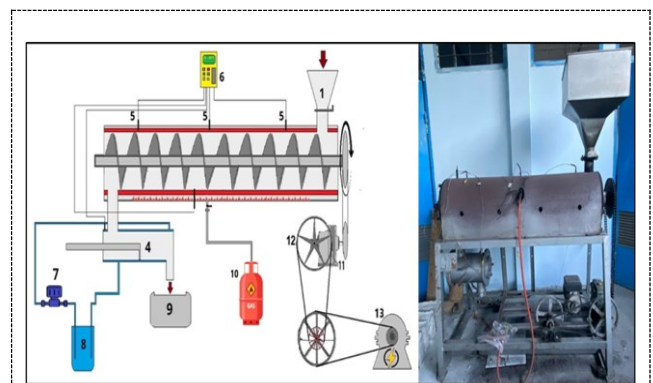
2.2. Pengujian Torrefaksi

Proses pengujian torrefaksi menggunakan reaktor tubular berpemanas oil jacket. Peralatan pendukung meliputi tabung LPG yang terhubung ke regulator, sistem pendingin air untuk cooling char, thermocouple yang terpasang pada reaktor dan cooling char, serta data logger untuk pencatatan suhu.

Langkah-langkah pengujian dilakukan secara sistematis:

1. Motor penggerak screw conveyor dinyalakan, diikuti dengan pengaktifan burner reaktor menggunakan LPG.
2. Sistem dipanaskan hingga mencapai suhu target (250°C, 275°C, atau 300°C) dan distabilkan selama 10–15 menit.
3. Sampel limbah kelapa muda yang telah dipreparasi dimasukkan melalui feeding hopper.
4. Sampel diproses dalam reaktor dan didorong keluar menggunakan pendorong besi di cooling char sebelum ditampung dalam wadah.
5. Variasi waktu tinggal (10, 20, 30 menit) diatur dengan mengganti pulley pada gearbox untuk mengontrol kecepatan screw conveyor.
6. Suhu dan waktu dicatat secara sistematis menggunakan data logger untuk memastikan pengujian berjalan terkontrol dan efisien.

Skema Pengujian Torrefaksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengujian Torrefaksi (Apriyanto dkk.,2028).

2.3. Analisis Laboratorium

Biochar hasil torefaksi dianalisis di laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisik dan kimia sesuai dengan standar SNI 8022:2015. Analisis yang dilakukan meliputi:

1. Analisis Proksimat dan Ultimat: Untuk menentukan kadar air, abu, karbon tetap, zat mudah menguap, serta kandungan unsur C, H, N, dan S.
2. Pengukuran Nilai Kalor: Dilakukan menggunakan kalorimeter bom untuk menilai potensi biochar sebagai sumber energi terbarukan.
3. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR): Untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia pada permukaan biochar.
4. X-ray Diffraction (XRD) dan X-ray Fluorescence (XRF): XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal atau amorf, sementara XRF digunakan untuk menganalisis kandungan unsur anorganik (K, Ca, Fe, Si).
5. Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX): Untuk mengamati morfologi permukaan dan memetakan distribusi unsur.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preparasi Bahan Baku dan Karakteristik Visual Biochar

Limbah kelapa muda sebagai bahan baku diolah melalui tahap preparasi, mulai dari pencacahan, penjemuran, hingga pengeringan oven pada suhu 110°C. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan baku yang diuji memiliki kondisi awal yang seragam dan kandungan air yang minimal, yang merupakan prasyarat penting untuk efisiensi proses torefaksi. Profil temperatur reaktor tubular dan kondisi stabilisasi suhu untuk setiap variasi perlakuan telah diverifikasi sebelum pengujian dilakukan.

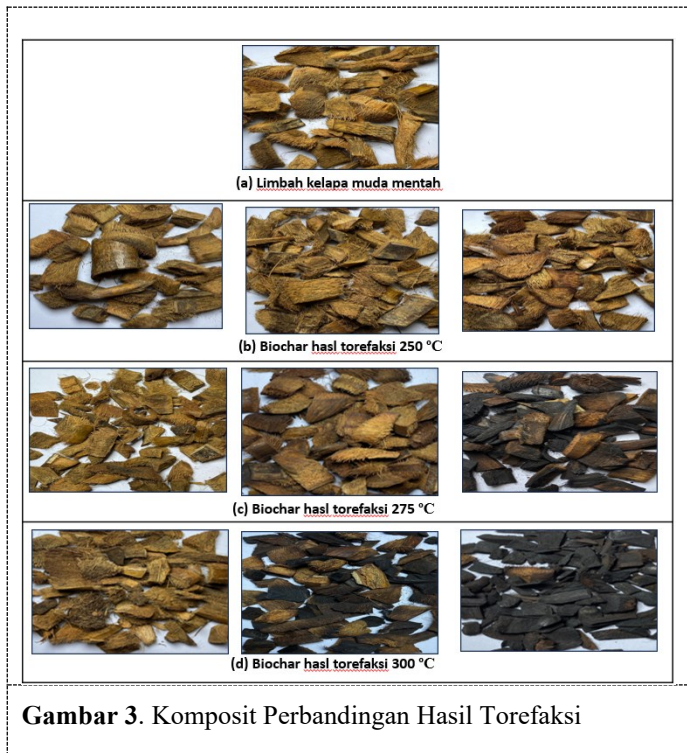
Secara visual, perubahan paling signifikan terjadi setelah perlakuan termal. Seiring dengan kenaikan temperatur torefaksi (250°C, 275°C, dan 300°C), sampel biochar mengalami perubahan warna dari coklat muda menjadi coklat gelap hingga hampir hitam, disertai peningkatan kerapuhan (brittleness) dan penurunan volume. Perubahan ini menunjukkan adanya dekomposisi termal parsial pada biomassa. Pada suhu 250°C, dekomposisi belum sempurna, tetapi pada 300°C, material kaya karbon telah terbentuk.



3.2. Perubahan Visual Limbah Kelapa Muda Hasil Torefaksi

Perubahan fisik dan visual yang teramati pada limbah kelapa muda setelah proses torefaksi merupakan indikasi langsung dari tingkat dekomposisi termal yang terjadi. Seperti disajikan pada Gambar 4, perubahan yang paling menonjol adalah peningkatan intensitas warna material dan tingkat kerapuhannya, yang secara langsung disebabkan oleh dekomposisi komponen lignoselulosa. Pada suhu 250°C biochar menunjukkan warna coklat gelap, yang menandai penguapan air terikat (bound water) dan dimulainya dekomposisi hemiselulosa, yang merupakan komponen paling labil. Pada tahap ini, struktur material masih relatif kokoh, mencerminkan dekomposisi parsial.

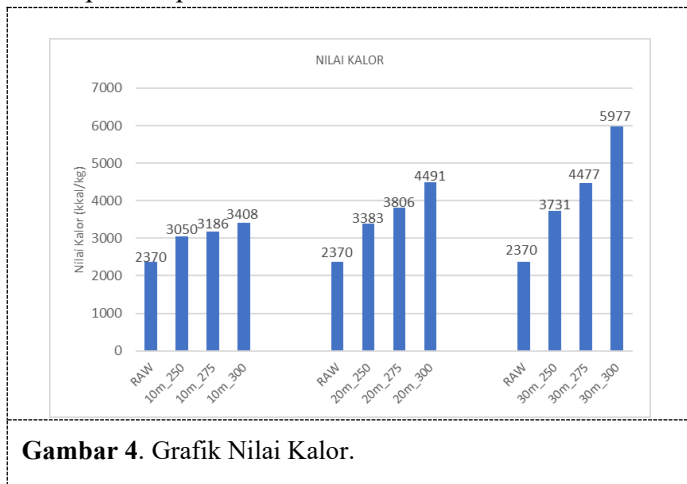
Seiring peningkatan suhu menjadi 275°C biochar menjadi lebih gelap dan menunjukkan kerapuhan yang lebih tinggi. Kerapuhan ini merupakan hasil dari dekomposisi termal yang lebih intens, ditandai dengan hilangnya gugus hidroksil dan peningkatan fraksi karbon tetap. Produk biochar pada suhu tertinggi, 300°C menunjukkan warna hitam legam dan kerapuhan maksimum. Kondisi ini mengindikasikan bahwa dekomposisi hemiselulosa dan sebagian besar selulosa telah selesai, menghasilkan material yang sangat kaya karbon. Kerapuhan tinggi pada biochar 300°C ini merupakan keunggulan penting dalam aplikasi co-firing karena memudahkan proses penggilingan menjadi serbuk (pulverized fuel) yang lebih halus, sehingga mendukung efisiensi pembakaran.



Gambar 3. Komposit Perbandingan Hasil Torefaksi

3.3. Analisis Kualitas Energi (Nilai Kalor)

Nilai kalor merupakan indikator utama kualitas biochar sebagai bahan bakar padat. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan pada nilai kalor biochar seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tinggal. Peningkatan kualitas energi ini disebabkan oleh proses dekarboksilasi dan dehidrasi yang terjadi selama torefaksi. Proses termal ini secara selektif menghilangkan gugus fungsi yang mengandung oksigen dan hidrogen, sehingga meningkatkan kandungan karbon tetap (fixed carbon) dan rasio C/O dalam produk padat.



Gambar 4. Grafik Nilai Kalor.

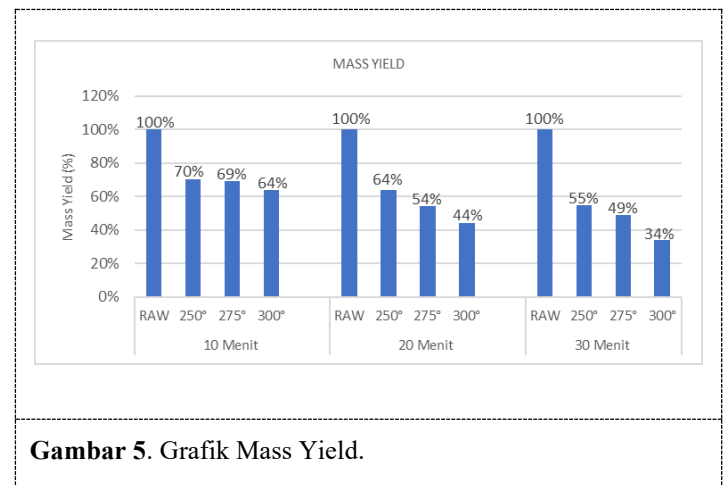
Nilai kalor tertinggi tercatat mencapai 5977 kkal/kg pada kondisi perlakuan maksimum. Meskipun

demikian, pada waktu tinggal yang lebih pendek (10 dan 20 menit), kenaikan nilai kalor cenderung moderat dan mulai mengalami leveling off pada suhu yang lebih tinggi. Pembahasan rinci mengenai pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kalor pada waktu tinggal 10, 20, dan 30 menit disajikan melalui grafik berikut.

3.4. Analisis Energy Yield

Berlawanan dengan nilai kalor, Mass Yield (rendemen massa) biochar menunjukkan tren penurunan yang jelas seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu tinggal. Penurunan rendemen ini merupakan konsekuensi logis dari dekomposisi termal, di mana biomassa diubah menjadi produk gas (volatiles) dan uap air.

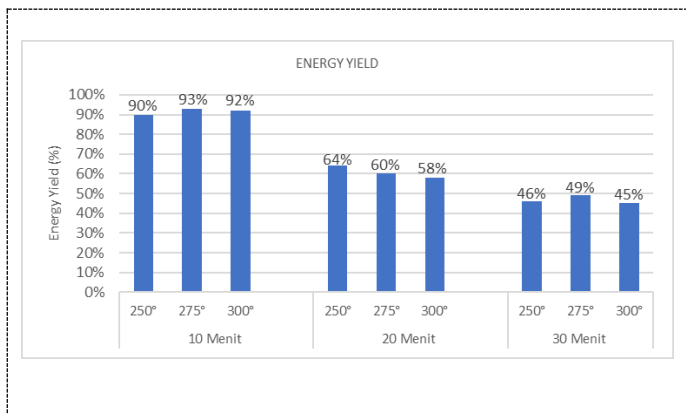
Pada rentang suhu yang digunakan (250°C–300°C), hemiselulosa adalah komponen lignoselulosa yang paling cepat terdekomposisi, diikuti oleh selulosa, yang bertanggung jawab atas pelepasan sebagian besar massa biomassa. Waktu tinggal yang lebih lama memberikan kesempatan lebih besar bagi reaksi dekomposisi ini, yang menyebabkan penurunan Mass Yield semakin curam. Meskipun penurunan ini meningkatkan nilai kalor (karena konsentrasi karbon), perlu dicermati agar kehilangan massa tidak terlalu ekstrem, yang dapat berdampak pada kelayakan ekonomi. Hasil analisis Mass Yield pada berbagai kondisi operasional disajikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Mass Yield.

3.5. Analisis Energy Yield

Energy Yield (rendemen energi) adalah parameter krusial yang mengukur efisiensi energi secara keseluruhan, yaitu persentase energi yang tersimpan dalam biochar dibandingkan dengan energi awal biomassa. Hasil analisis Energy Yield menunjukkan adanya titik optimum proses torefaksi.



Gambar 6. Grafik Energy Yield

Meskipun suhu 300°C menghasilkan nilai kalor tertinggi, kondisi ini juga menyebabkan Mass Yield terendah. Akibatnya, sebagian besar energi awal terbuang dalam bentuk produk gas, yang membuat Energy Yield menjadi sub-optimal. Energy Yield terbaik, yaitu 93%, dicapai pada kondisi temperatur 275°C dan waktu tinggal 30 menit. Kondisi ini dianggap paling optimal karena berhasil menyeimbangkan peningkatan kualitas energi (nilai kalor yang tinggi) dengan hilangnya massa yang moderat, sehingga menghasilkan efisiensi energi yang superior dan lebih layak secara teknis serta ekonomis untuk aplikasi skala besar.

4. Kesimpulan

Penelitian mengenai aplikasi teknologi torefaksi pada limbah kelapa muda di Bandar Lampung telah berhasil membuktikan potensi biochar sebagai sumber energi terbarukan yang berkontribusi terhadap solusi pengelolaan limbah. Proses torefaksi, yang dilakukan dengan memvariasikan temperatur (250°C, 275°C, 300°C) dan waktu tinggal (10, 20, 30 menit), secara signifikan meningkatkan kualitas energi biomassa, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai kalor produk hingga mencapai 5977 kkal/kg. Kenaikan kualitas ini didorong oleh dekomposisi parsial hemiselulosa dan selulosa yang menghasilkan penurunan Mass Yield namun meningkatkan konsentrasi karbon. Analisis efisiensi energi (Energy Yield) menunjukkan bahwa kondisi operasi yang paling optimal untuk mengolah limbah kelapa muda adalah pada temperatur 275°C dan waktu tinggal 30 menit, menghasilkan Energy Yield sebesar 93%. Kondisi ini dinilai superior karena mampu menyeimbangkan peningkatan nilai kalor dengan mempertahankan Mass Yield yang masih moderat, menjadikannya paling layak secara teknis dan ekonomis dibandingkan perlakuan 300°C yang efisiensinya menurun akibat kehilangan massa yang berlebihan.

Ucapan terima kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui Program Penelitian BLU Universitas Lampung Tahun Anggaran 2025 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam proses penelitian, pengumpulan data, analisis, hingga penyusunan artikel ini. Dukungan dan kerja sama yang diberikan sangat berarti bagi keberhasilan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Amrul, Herry Wardono, Nikolaus Derry Chandra, (2021): Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Terhadap Profil Suhu Pada Pembakaran Batu Bara Sub Bituminous Dengan Menggunakan Pulverized Burner, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 17 No. 1 (April 2022) Hal. 97-100. <https://www.jurnal.bkstm.org/index.php/jtmi/article/view/305>
- Apriyanto, A., Amrul H., & Nafis, A. (2018). Rancang Bangun dan Analisis Unjuk Kerja Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular Dengan Sistem Pemanas Oil Jacket. *Mechanical*, 9(2), 54. <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/mech/article/view/987>
- Arifin, Z., Amrul, A., & Irsyad, M. (2021). Simulasi co-combustion batubara dan biomassa tandan kosong kelapa sawit tertorefaksi (torrefied biomass). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(1), 53–60. <https://doi.org/10.24127/trb.v10i1.1468>
- Aulia, S., Ginting, Z., Muthawali, D. I., Ishak, I., Muhammad, M., Kurniawan, E., & Kusuma, B. S. (2024). Karakteristik Biopellet Dari Limbah Kulit Kelapa Muda Dan Batok Kelapa Menggunakan Perak Getah Pinus Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(1), 119–129. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.61>
- Awan, S., Ippolito, J. A., Ullman, J. L., Ansari, K., Cui, L., & Siyal, A. A. (2021). Biochars reduce irrigation water sodium adsorption ratio. *Biochar*, 3(1), 77–87. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00073-z>
- Chen, Y., Yang, J., & Abbas, A. (2023). Enhanced Chromium (VI) Adsorption onto Waste Pomegranate-Peel-Derived Biochar for Wastewater Treatment: Performance and Mechanism. *Toxics*, 11(5), 440. <https://doi.org/10.3390/toxics11050440>
- Dahlan, N. A., Thiha, A., Ibrahim, F., Milić, L., Muniandy, S., Jamaluddin, N. F., Petrović, B., Kojić, S., & Stojanović, G. M. (2022). Role of Nanomaterials in the Fabrication of

- bioNEMS/MEMS for Biomedical Applications and towards Pioneering Food Waste Utilisation. *Nanomaterials*, 12(22), 4025. <https://doi.org/10.3390/nano12224025>
- Delgado Eraso, D. A., Grass Ramírez, J. F., & Muñoz, R. C. (2023). Methodology for Prioritizing Value-Added Options for Agricultural Products: Insights from Coconut-Producing Communities in Cauca, Colombia. *Sustainability*, 15(21), 15290. <https://doi.org/10.3390/su152115290>
- Ekanayaka, E. M. G. N., Dissanayake, D. K. R. P. L., Udumann, S. S., Dissanayaka, D. M. N. S., Nuwarapaksha, T. D., Herath, H. M. S. K., & Atapattu, A. J. (2023). Sustainable Utilization of King Coconut Husk as a Feedstock in Biochar Production with the Highest Conversion Efficiency and Desirable Properties. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1235(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1235/1/012009>
- Evizal, R., & Prasmatiwi, F. E. (2023). Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis. *JURNAL AGROTROPIKA*, 22(1), 1. <https://doi.org/10.23960/ja.v22i1.7151>
- Gitanjali, J., Karthikeyan, S., Sriramajayam, S., Vijayakumar, P., Chandrakumar, K., & Ramesh, D. (2024). Co-pyrolysis of Plastic Waste and Lignocellulosic Biomass for High-Recovery Fuel Oil. *Proceedings of the First International Conference on Science, Engineering and Technology Practices for Sustainable Development, ICSETPSD 2023, 17th-18th November 2023, Coimbatore, Tamilnadu, India*. <https://doi.org/10.4108/eai.17-11-2023.2342866>
- Guo, K., Chang, H., Nie, Y., Zhu, L., Tan, L., Sheng, B., Zhong, N., Zhong, D., Xu, Y., & Ho, S.-H. (2024). Distinct Mechanisms on Accelerating Electron Transfer to Facilitate Two-Stage Anaerobic Digestion Modulated by Various Microalgae Biochar. *ACS ES&T Engineering*, 4(4), 966–977. <https://doi.org/10.1021/acsestengg.3c00520>
- Herlambang, S., Yudhiantoro, D., Gomareuzzaman, M., Lestari, I., Wibowo, A. W. A., & Utami, A. (2022). The Effect of Biochar on Root Growth in Sustainable Agriculture. *KnE Life Sciences*. <https://doi.org/10.18502/cls.v7i3.11158>
- Kalu, S., Seppänen, A., Mganga, K. Z., Sietiö, O.-M., Glaser, B., & Karhu, K. (2024). Biochar reduced the mineralization of native and added soil organic carbon: evidence of negative priming and enhanced microbial carbon use efficiency. *Biochar*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00294-y>
- Li, S., & Tasnady, D. (2023). Biochar for Soil Carbon Sequestration: Current Knowledge, Mechanisms, and Future Perspectives. *C*, 9(3), 67. <https://doi.org/10.3390/c9030067>
- Muriadin, M., Manfarizah, M., & Darusman, D. (2023). Aplikasi Biochar Terhadap Perubahan Sifat Fisika Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(1), 332–341. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v8i1.22110>
- Rajapaksha, R. M. N. U., Abeysena, C., Balasuriya, A., PannilaHetti, N., Alagiyawanna, A., & Manilgama, S. (2022). Development of a complex intervention package for dengue prevention. *Sri Lanka Journal of Health Research*, 2(1), 62–76. <https://doi.org/10.4038/sljhr.v2i1.53>
- Rana, A., Sonu, Sudhaik, A., Chawla, A., Raizada, P., Kaushik, A. K., Ahamad, T., Kaya, S., Kumar, N., & Singh, P. (2024). Integrating BiOI/g-C 3 N 4 /Bi 2 WO 6 Derived Dual S-Scheme Photocatalyst with Biochar for Emerging Adsorption for Photocatalysis: Multicharge Migration and Mechanistic Insights. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.4c00101>
- Sanri-Karapınar, I., Pehlivan, A. O., Karakuş, S., Özsoy-Özbay, A. E., Yazgan, A. U., Taşaltın, N., & Kilislioğlu, A. (2020). Application of novel synthesized nanocomposites containing κ -carrageenan/PVA/eggshell in cement mortars. *Materiales de Construcción*, 70(340), e235. <https://doi.org/10.3989/mc.2020.06720>
- Santosa, I., & Sujito, E. (2021). POTENSI EKONOMI DAN PENGELOLAAN SAMPAH PASAR DI KOTA BANDAR LAMPUNG. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 14(2), 64. <https://doi.org/10.26630/rj.v14i2.2189>
- Solanilla-Duque, J. F., Salazar-Sánchez, M. del R., & Rodríguez Herrera, R. (2022). Potential of lignocellulosic residues from coconut, fique, and sugar cane as substrates for pleurotus and ganoderma in the development of biomaterials. *Environmental Quality Management*, 32(1), 343–353. <https://doi.org/10.1002/tqem.21826>
- Sujatmiko, C., Juwita, F., & Wisnaningsih, W. (2022). PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA BAGI WARGA DI KELURAHAN BAKUNG KOTA BANDAR LAMPUNG. *Jurnal Abdi Masyarakat Saburai (JAMS)*, 3(02), 104–113. <https://doi.org/10.24967/jams.v3i02.1954>
- Wahyudi, R., Amrul, A., & Irsyad, M. (2020). Karakteristik Bahan Bakar Padat Produk Torefaksi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Reaktor Torefaksi Kontinu Tipe Tubular. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, 20(2), 1–8. <https://doi.org/10.24036/invotek.v20i2.706>