

Pengaruh Metode Pirolisis terhadap Rendemen Arang Hayati dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Variasi Bentuk Bahan dan Sistem Pembakaran

Zafitra^{1*}, Riskia Trizayuni¹, Roy Ibrahim¹, Muhammad Joehari Jamili¹,
Muhammad Amrul Khoiri¹, Joni Irawan¹, Heralda Fawrin²,
Yeni Etma Nazar³, Panji Romadhan⁴

¹Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Riau, Kampus Binawidya, Simpang Baru KM 12,5, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru 28293, Indonesia

²Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Kampus Binawidya, Simpang Baru KM 12,5, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru 28293, Indonesia

³Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Kampus Binawidya, Simpang Baru KM 12,5, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru 28293, Indonesia

⁴Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jenderal A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

* Email penulis korespondensi: zafitra@lecturer.unri.ac.id

Informasi Artikel

Received 9 September 2024

Accepted 3 Agustus 2025

Published 7 Agustus 2025

Online 7 Agustus 2025

Keywords:

Biochar; Combustion;
Method; OPEFB; Pyrolysis;
Yield

Abstract

This study aimed to determine the effect of pyrolysis methods on the biochar yield from oil palm empty fruit bunches (EFB) using variations in material form and combustion systems. The research was conducted from March to May 2025 in Sorek Satu, Pelalawan Regency, Riau Province, and in the Soil Science Laboratory, Faculty of Agriculture, Riau University. The study consisted of several treatments: (1) whole EFB – external semi-vacuum combustion, (2) shredded EFB – external semi-vacuum combustion, (3) whole EFB – total internal vacuum combustion, and (4) shredded EFB – total internal vacuum combustion. Collected data from the study were analyzed using descriptive statistics. The results showed that external semi-vacuum pyrolysis produced a higher biochar yield compared to total internal vacuum pyrolysis, with the highest yield from whole EFB at 45.6% and shredded EFB at 32.8%. The total internal vacuum system failed to produce biochar and only resulted in dry material without undergoing carbonization. The chemical characteristics from the external semi-vacuum combustion system indicated that biochar from whole EFB had higher contents of carbon, potassium, magnesium, boron, and pH, while biochar from shredded EFB tended to have higher contents of nitrogen, calcium, and iron.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2024) produksi kelapa sawit nasional, yaitu 47.474 ribu ton di tahun 2024. Tidak hanya mencatatkan pertumbuhan produksi minyak sawit yang tinggi, tetapi juga secara simultan menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar setiap tahunnya. Salah satu limbah padat utama dari industri kelapa sawit adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), yaitu sisa dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) setelah buah sawitnya diekstraksi. Diperkirakan bahwa setiap ton TBS dapat menghasilkan sekitar 230 kg TKKS. Jumlah ini menandakan bahwa dalam satu tahun, ribuan ton TKKS dihasilkan tanpa pemanfaatan optimal dan sebagian besar hanya dibakar terbuka atau ditumpuk begitu saja di areal kebun, yang pada akhirnya dapat menimbulkan masalah lingkungan.

TKKS mengandung komposisi yang terdiri dari selulosa (7,26%), hemiselulosa (14,62), dan lignin (31,68%) (Sudiyani, 2013). Kandungan tersebut menjadikan TKKS sebagai bahan baku yang sangat potensial untuk diolah menjadi produk yang lebih bernilai, seperti arang hayati, bio-oil, dan gas sintetis melalui proses termokimia seperti

pirolisis. Di antara ketiga produk tersebut, arang hayati merupakan bentuk yang dinilai paling stabil dan aplikatif, baik dari segi teknis maupun ekonomis karena tidak memerlukan peralatan kompleks untuk produksi skala kecil dan dapat langsung dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti pertanian dan perkebunan. Arang hayati adalah padatan kaya karbon yang dihasilkan dari pirolisis biomassa dalam kondisi terbatas oksigen. Produk ini memiliki struktur mikropori dan mesopori yang luas, dengan luas permukaan yang dapat mencapai $>1000 \text{ m}^2/\text{g}$ tergantung pada suhu dan metode konversinya (Larasati et al., 2020). Arang hayati yang diaplikasikan pada tanah marginal, seperti Ultisol dan Inseptisol dapat meningkatkan pH tanah, Kapasitas Tukar Kation (KTK), efisiensi penggunaan pupuk nitrogen dan fosfor, serta meningkatkan produktivitas tanaman (Agustin et al., 2023).

Arang hayati memiliki umur degradasi yang sangat panjang, yakni hingga ratusan tahun sehingga berfungsi pula sebagai penyimpan karbon yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Salah satu tantangan dalam produksi arang hayati adalah pemilihan teknologi konversi yang tepat, terutama dalam konteks implementasi pada tingkat petani atau kelompok tani swadaya. Teknologi karbonisasi hidrotermal (HTC), meskipun mampu menghasilkan nano karbon aktif dengan porositas tinggi, memerlukan peralatan bertekanan tinggi dan sistem pemanasan presisi yang sulit dijangkau oleh masyarakat desa. Pirolisis konvensional memiliki keunggulan dari sisi kesederhanaan dan efisiensi biaya, namun keberhasilannya sangat bergantung pada pengaturan suhu, waktu tinggal, suplai oksigen, serta bentuk fisik dan kelembaban bahan baku (Sukiran et al., 2011). Dalam konteks ini, bentuk bahan baku TKKS (utuh dan cacah) serta sistem pembakaran (internal vakum total dan eksternal semi vakum) diduga memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil pirolisis, baik dari sisi rendemen maupun kualitas arang hayati yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode pirolisis terhadap rendemen arang hayati dari TKKS dengan variasi bentuk bahan dan sistem pembakaran.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu Maret hingga Mei 2025 dengan lokasi utama di Kelurahan Sorek Satu, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau, yang dipilih karena memiliki karakteristik lahan sesuai dengan tujuan penelitian. Kegiatan lapangan meliputi pengambilan sampel tanah, observasi kondisi lingkungan, serta pencatatan faktor-faktor pendukung yang relevan dengan variabel penelitian. Selanjutnya, analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, untuk menguji berbagai parameter fisik, kimia, maupun biologi tanah yang diperlukan guna memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Kombinasi antara kegiatan lapangan dan analisis laboratorium ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi tanah serta mendukung pencapaian tujuan penelitian secara optimal.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS kemudian diklasifikasikan menjadi dua bentuk: (1) bentuk utuh, yaitu potongan besar yang tidak mengalami pencacahan, dan (2) bentuk cacah, yaitu potongan kecil berukuran 3–10 cm yang diperoleh menggunakan mesin pencacah. Alat yang digunakan adalah drum berukuran tinggi 96 cm dan diameter 55 cm yang sudah dimodifikasi menjadi alat pirolisis. Drum pirolisis diklasifikasikan menjadi dua, yaitu drum tipe A yaitu tanpa lubang pada bagian bawah drum dan tipe B yaitu dengan lubang pada bagian bawahnya. Diantara komponen drum tipe B adalah pipa baja berbentuk silinder dengan diameter 3,5 inci yang berfungsi sebagai saluran sirkulasi panas untuk memastikan distribusi suhu yang merata ke seluruh bagian dalam drum pirolisis. Terdapat pipa berdiameter 3,5 inci dengan panjang masing-masing 15 cm dan 30 cm, yang digunakan sebagai sumbu pembakaran untuk menghasilkan panas pada bagian bawah dan tengah sistem pirolisis. Komponen lain adalah pipa berongga (hollow) berukuran 3,0 cm \times 50 cm yang berfungsi sebagai elemen penghantar panas menuju bagian tengah dan atas ruang pembakaran, serta pada bagian bawah drum terdapat serangkaian lubang berdiameter 2 cm sebanyak 30 hingga 35 buah yang berfungsi sebagai saluran ventilasi untuk mendukung sirkulasi udara selama proses berlangsung. TKKS yang dicacah ataupun yang tidak dicacah dilakukan pembakaran selama 4 jam dengan bahan bakar kayu pada masing-masing drum tipe A dan B. Suhu tetap di kontrol pada rentang 5000-6000 C menggunakan termometer inframerah setiap 20 menit. Arang hayati yang diperoleh dari pirolisis kemudian diamati rendemennya, karakteristik visual dan kualitas serta karakteristik kimianya. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dari metode yang menghasilkan arang hayati selanjutnya dianalisis unsur hara makro dan mikronya serta pH dengan metode sebagai berikut :

Tabel 1. Metode analisis kimia arang hayati

Elemen	Metode Analisis
C organik	Pengabuan
N	<i>Kjeldhal</i>
P	<i>Spectrophotometry</i>
K	<i>Flamephotometry</i>
Mg	AAS
Ca	AAS
Fe	AAS
B	<i>Spectrophotometry</i>
pH	pH Meter (Ekstrak 1:5)

2.3. Analisis Data

Data penelitian diperoleh dari hasil pengukuran rendemen, karakteristik visual, kualitas, serta karakteristik kimia. Seluruh data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan metode statistik deskriptif untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hasil pengamatan. Hasil analisis selanjutnya disajikan secara sistematis dalam bentuk tabel agar lebih mudah dipahami dan dibandingkan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Rendemen Arang Hayati

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pirolisis memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan produksi arang hayati. Perlakuan dengan sistem eksternal semi vakum (bahan utuh dan cacah) memberikan rendemen arang yang jauh lebih tinggi dibandingkan sistem internal vakum total. Sistem vakum total justru menyebabkan kegagalan pembentukan arang (terbukti dari perlakuan TKKS cacah – vakum total yang tidak menghasilkan arang) dalam waktu 4 jam pada rentang suhu 500°C – 600°C. Hal ini dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna akibat kekurangan suplai oksigen dan ketidakseimbangan suhu dalam sistem vakum tertutup. Adapun rendemen arang hayati dari berbagai metode dan bentuk bahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Rendemen arang hayati dari berbagai metode dan bentuk bahan

Perlakuan	Ulangan ke-	Waktu (Jam)	Berat Awal TKKS (kg)	Rendemen (kg)	Sisa (kg)	Persentase Rendemen (%)
TKKS Cacah	1	4	30	0	30	0%
Pembakaran Internal	2	4	30	0	30	0%
Vakum Total	3	4	30	0	30	0%
Rerata				0		0%
TKKS Utuh	1	4	30	1,5	28,5	5%
Pembakaran Internal	2	4	30	1,0	29,0	3,3%
Vakum Total	3	4	30	0,5	29,5	1,7%
Rerata				1,0		3,3%
TKKS Cacah	1	4	30	10	0	33,3%
Pembakaran Eksternal	2	4	30	9,5	0	31,7%
Semi Vakum	3	4	30	10	0	33,3%
Rerata				9,8		32,8%
TKKS Utuh,	1	4	30	15	2,0	50%
Pembakaran Eksternal	2	4	30	12	5,0	40%
Semi Vakum	3	4	30	14	4,0	46,7%
Rerata				13,7		45,6%

Perbandingan antara bentuk TKKS utuh dan cacah menunjukkan bahwa bahan utuh menghasilkan rendemen arang yang lebih tinggi dibandingkan bahan cacah, khususnya pada sistem pembakaran eksternal semi vakum. Hal ini berkaitan dengan massa jenis dan kerapatan bahan baku, TKKS utuh memiliki struktur yang lebih padat sehingga mampu bertahan lebih lama dalam pembakaran dan menghasilkan sisa pembakaran yang lebih banyak. TKKS cacah lebih mudah terbakar sempurna tanpa meninggalkan banyak sisa.

Perlakuan terbaik dalam penelitian ini diperoleh dari TKKS utuh dengan pembakaran eksternal semi vakum, yang menghasilkan rendemen sebesar 13,7 kg atau 45,6% dari bahan awal. Hasil ini menunjukkan bahwa metode ini paling efektif untuk produksi arang hayati skala rumah tangga atau industri kecil. Selain hasilnya paling tinggi, sistem ini juga sederhana dan tidak memerlukan kontrol suhu dan tekanan yang rumit seperti sistem vakum. Penelitian ini menghasilkan lebih banyak menghasilkan arang hayati dibandingkan arang pada penelitian Kresnawaty (2017) yang menghasilkan 0,31% yaitu 1,9 kg arang hayati dari 6 kg TKKS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan proses pirolisis TKKS sangat bergantung pada desain sistem pembakaran serta bentuk fisik bahan baku. Perlakuan menggunakan sistem pembakaran eksternal semi vakum pada bahan TKKS utuh menghasilkan rendemen arang hayati tertinggi, yaitu sebesar 46% dari berat awal bahan. Angka ini menunjukkan efisiensi konversi yang tinggi jika dibandingkan dengan pirolisis berbasis sistem internal vakum total, yang dalam penelitian ini gagal menghasilkan arang dan hanya meninggalkan bahan kering tanpa tanda-tanda karbonisasi. Keberhasilan sistem semi vakum eksternal dapat dijelaskan oleh keberadaan suplai oksigen yang minimal namun tetap cukup untuk mempertahankan reaksi pirolitik tanpa mencapai pembakaran sempurna. Kondisi ini menghasilkan lingkungan termokimia yang memungkinkan pelepasan volatil, dekomposisi hemiselulosa dan selulosa, serta pembentukan struktur karbon yang stabil (Febriyanti *et al.*, 2019).

Penggunaan TKKS dalam bentuk utuh memberikan keunggulan dalam hal kestabilan proses pirolisis. Bentuk utuh memungkinkan terjadinya pemanasan lambat dengan penetrasi panas yang bertahap, sehingga reaksi karbonisasi berlangsung merata dari permukaan ke dalam. Hal ini mengurangi risiko *over-burning* yang kerap terjadi pada bahan yang telah dicacah, yang meskipun lebih cepat panas, namun justru berisiko terbakar sempurna menjadi abu, terutama jika dikombinasikan dengan sistem pembakaran terbuka. Bahan biomassa dengan struktur lebih besar menghasilkan arang hayati dengan nilai karbon tetap (*fixed carbon*) lebih tinggi dan ketahanan fisik yang lebih baik dibandingkan bahan cacah halus.

3.2. Karakteristik Visual dan Kualitas Arang Hayati

Salah satu aspek yang krusial dalam proses pirolisis biomassa adalah bentuk fisik bahan baku yang digunakan. Perbedaan antara bentuk utuh dan cacah pada tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terbukti memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil rendemen arang hayati yang dihasilkan.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pirolisis TKKS Berdasarkan Bentuk Bahan dan Sistem Pembakaran

Perlakuan	Pengamatan			
	Waktu Produksi	Kualitas Produk	Kuantitas Produk	Kemudahan Produksi
TKKS Utuh, Pembakaran Eksternal Semi Vakum	4 Jam	Menjadi arang	40% – 50% bobot bahan awal	Mudah
TKKS Cacah Pembakaran Eksternal Semi Vakum	4 Jam	Menjadi arang lebih murni, karena tidak terdapat biji	31% - 33% Dari bobot bahan awal	Sulit, karena melalui tahapan cacah mesin, menambah biaya produksi
TKKS Utuh Pembakaran Internal Vakum Total	4 Jam	99% TKKS tidak menjadi arang hanya kering	-	Sulit
TKKS Cacah Pembakaran Internal Vakum Total	4 Jam	97,5% TKKS tidak menjadi arang hanya kering	-	Sulit

TKKS dalam bentuk utuh memiliki struktur jaringan yang lebih padat dan massa jenis yang lebih besar dibandingkan bahan yang telah dicacah. Kepadatan ini menyebabkan bahan utuh memiliki ketahanan termal yang lebih tinggi dan mengalami proses karbonisasi yang lebih bertahap serta merata selama pirolisis. Dalam penelitian ini, perlakuan dengan TKKS utuh pada sistem pembakaran eksternal semi vakum menghasilkan rendemen tertinggi, yaitu sebesar 46% dari bobot awal, yang berarti secara efisien mampu mempertahankan massa karbon padat hasil pirolisis. Hal ini diduga karena struktur padat dari bahan baku dapat memperpanjang waktu tinggal termal di dalam reaktor dan memungkinkan dekomposisi hemiselulosa, selulosa, dan lignin terjadi lebih optimal tanpa mengalami pembakaran sempurna.

Pada rentang 500⁰-600⁰ C TKKS dalam bentuk cacah cenderung lebih mudah terbakar sempurna menjadi abu karena ukuran partikelnya yang lebih kecil dan eksposur permukaan yang lebih luas terhadap panas serta oksigen. Meskipun bahan cacah dapat menghasilkan arang hayati dengan warna lebih bersih dan sedikit kotoran, namun proses ini memiliki risiko kehilangan massa karbon yang lebih besar dan memerlukan tahapan tambahan dalam pengolahan awal seperti pencacahan mekanis. Selain itu, pencacahan juga meningkatkan biaya operasional, konsumsi energi, dan dapat menghasilkan lebih banyak asap saat proses pirolisis berlangsung jika tidak diimbangi dengan sistem pengendalian emisi yang memadai. Hasil penelitian Wahyuni *et al.* (2021) menyatakan bahwa limbah biomassa untuk pembuatan arang hayati melalui proses pirolisis mampu menghasilkan produk dengan karakteristik fisik dan kimia yang mempunyai kandungan karbon yang tinggi.

Keunggulan perlakuan TKKS utuh dengan sistem semi vakum eksternal tidak hanya terlihat dari hasil rendemen yang tinggi pada suhu 500⁰-600⁰ C, tetapi juga dari kestabilan proses pembakarannya. Sistem semi vakum memungkinkan suplai oksigen terbatas yang cukup untuk mempertahankan reaksi pirolitik tanpa mengarah ke pembakaran sempurna. Keberadaan aliran udara terbatas ini mendukung terciptanya lingkungan termokimia yang ideal untuk dekomposisi lignoselulosa menjadi karbon padat. Penelitian lain menunjukkan bahwa suhu ideal untuk pirolisis TKKS berkisar antara 350–500⁰C, di mana hemiselulosa dan selulosa terurai dan lignin mengalami karbonisasi bertahap. Efek ini lebih mudah dicapai ketika bahan baku memiliki volume besar dan tidak mudah overheat seperti bentuk utuh (Sukiran *et al.*, 2011).

Penelitian oleh Simatupang *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa arang hayati yang berasal dari TKKS dengan struktur utuh memiliki performa agronomis dan fisik lebih baik jika dibandingkan dengan bahan cacah. Arang hayati dari bahan utuh menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi, tekstur yang lebih stabil, serta ketahanan terhadap pelapukan di tanah ultisol, yang merupakan lahan dominan di berbagai wilayah Indonesia. Dalam konteks ini, keberhasilan produksi arang hayati bukan hanya ditentukan oleh suhu dan waktu pirolisis, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh bentuk fisik bahan baku serta desain sistem pembakarannya. Dengan demikian, pendekatan yang mengutamakan kesederhanaan teknologi, seperti sistem pembakaran eksternal semi vakum dengan bahan utuh, memberikan solusi efektif, hemat biaya, dan mudah diadopsi untuk produksi arang hayati skala rumah tangga maupun usaha kecil menengah di sentra-sentra perkebunan kelapa sawit.

3.3. Karakteristik Kimia Arang Hayati TKKS

Karakteristik kimia arang hayati dari TKKS melalui pembakaran eksternal semi vakum dapat dilihat pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Komponen Kimia Arang TKKS

Elemen	Tkks Utuh, Pembakaran Eksternal Semi Vakum	Tkks Cacah Pembakaran Eksternal Semi Vakum
Karbon	41,00%	40,06%
Nitrogen	1,80%	2,00%
Fosfor	2,12%	2,18%
Kalium	0,15%	0,12%
Magnesium	0,09%	0,04%
Kalsium	0,02%	0,13%
Besi	320 ppm	349 ppm
Boron	12,45 ppm	8,95 ppm
pH	9,65	8,87

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa baik TKKS utuh maupun cacah yang diproses dengan sistem pirolisis eksternal semi vakum menghasilkan arang hayati dengan kandungan karbon total tinggi, yaitu masing-masing 41% dan 40,06%. Tingginya kadar karbon ini mengindikasikan bahwa proses pirolisis berlangsung optimal dan berhasil menghasilkan produk dengan sifat adsorptif serta kapasitas penyimpanan karbon yang tinggi.

Dari segi kandungan nitrogen, arang hayati TKKS utuh memiliki kadar nitrogen sebesar 1,80%, sedikit lebih tinggi dibandingkan TKKS cacah sebesar 2,00%. Meskipun nitrogen cenderung volatil pada suhu pirolisis, keberadaannya dalam arang hayati tetap penting karena berperan dalam penyediaan unsur hara untuk tanaman saat diaplikasikan ke tanah. Fosfor dan kalium sebagai unsur makro esensial juga terdeteksi dalam jumlah signifikan. Kadar fosfor mencapai 2,12% pada arang hayati TKKS utuh dan 2,18% pada cacah. Adapun kandungan kalium, yang sangat penting untuk metabolisme tanaman dan tahan kekeringan yaitu 0,15% untuk utuh dan 0,12% untuk cacah.

Unsur hara sekunder seperti magnesium (0,04–0,09%) dan kalsium (0,02%-0,13%) juga ditemukan dalam jumlah cukup, berperan penting dalam memperbaiki struktur tanah dan sebagai penyangga pH. Kandungan logam mikro, seperti besi (Fe) dan boron (B) di mana arang hayati TKKS utuh memiliki kandungan Fe (320 ppm) dibandingkan arang hayati cacah (349 ppm). Kandungan unsur mikro ini penting karena dapat meningkatkan kualitas tanaman, mendukung aktivitas enzim, dan memperbaiki fungsi fisiologis tanaman saat arang hayati diaplikasikan ke tanah (Beny *et al.*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Pansawati *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah biomassa melalui proses pirolisis dapat menghasilkan produk bernilai tambah seperti biochar dan asap cair yang memiliki potensi aplikasi luas di bidang pertanian dan lingkungan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa karakteristik fisik dan kimia produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi proses pirolisis, termasuk suhu dan jenis bahan baku. Biochar yang dihasilkan memiliki kandungan karbon tinggi dan berpotensi meningkatkan kesuburan tanah,

Nilai pH kedua jenis arang hayati berada pada level yang hampir sama, yaitu 9,65 dan 8,87 menunjukkan bahwa arang hayati ini bersifat basa. Arang hayati dengan pH tinggi sangat bermanfaat dalam menaikkan pH tanah masam, seperti Ultisol dan Oxisol, yang biasa dijumpai di lahan sawit swadaya. Peningkatan pH akibat aplikasi arang hayati berkontribusi dalam menurunkan toksisitas Al^{3+} serta meningkatkan ketersediaan P dan Ca dalam tanah (Agustin *et al.*, 2023).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai produksi dan analisis kualitas arang hayati dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan variasi metode pirolisis, dapat disimpulkan bahwa perlakuan TKKS utuh dengan sistem eksternal semi vakum menghasilkan rendemen tertinggi, yaitu sebesar 45,6% dari berat awal bahan, disusul oleh TKKS cacah dengan rendemen sebesar 32,8%. Rendemen arang pada sistem internal vakum total tidak tercapai, hanya menyisakan bahan kering tanpa proses karbonisasi. Arang hayati dari TKKS cacah secara kualitas menghasilkan arang yang lebih murni dibandingkan dari TKKS utuh, karena tidak terdapat biji atau cangkang. Karakteristik kimia pada sistem pembakaran eksternal semi vakum menunjukkan bahwa arang hayati dari TKKS utuh memiliki kandungan, karbon, kalium, magnesium, boron, dan pH yang lebih tinggi sedangkan dari TKKS cacah menunjukkan kandungan nitrogen, kalsium dan besi yang lebih tinggi.

Daftar Pustaka

- Agustin, S., Haryanto, A., Triyono, S. 2023. The effect of biochar from oil palm empty fruit bunches (EFB) on the efficiency of urea fertilizer in the production of Chinese cabbage. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(1), 151–157. <https://doi.org/10.23960/jabe.v2i1.6995>
- Amalia, N., Kurniawan, E., Jalaluddin. 2020. Pemanfaatan arang tandan kosong sawit sebagai bahan bakar alternatif dalam bentuk briket. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*. Retrieved from <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit/article/view/7812>
- Badan Pusat Statistik. 2025. Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2024. Jakarta: Badan Pusat Statistik. Retrieved from <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/11/29/d5dcb42ab730df1be4339c34/statistik-kelapa-sawit-indonesia-2023.html>
- Beny, S., Rosmalinda, Jannah, W. A. C. 2022. Pengaruh pemberian arang hayati tandan kosong kelapa sawit terhadap pertumbuhan stek lada pada lapisan tanah subsoil ultisol. *JAP: Journal of Agro Plantation*, 1(2), 62–63. <https://doi.org/10.58466/jap.v1i2.1241>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., Irawan, A. 2019. Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi bio-char, bio-oil dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12–13. <http://dx.doi.org/10.30872/cmg.v3i2.3578>
- Kresnawaty, I., Putra, S. M., Budiani, A., Darmono, T. W. 2017. Konversi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi arang hayati dan asap cair. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 14(3), 171–179. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v14n3.2017.171-179>
- Larasati, T. D., Prakoso, T., Rizkiana, J., Devianto, H., Widiatmoko, P. 2020. Nano carbon produced by advanced mild hydrothermal process of oil palm biomass for supercapacitor material. *International Journal of Technology*. 543, 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012031>
- Muis, L., Anggraini, F. J., Viareco, H., Wijaya, D. E. 2023. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai arang aktif untuk penjernihan air. *JPM Pinang Masak*, 4(2), 39–40. <https://doi.org/10.22437/jpm.v4i2.29754>
- Pansawaty, I.S., Y. Agustin., Y. Ahda. 2024. Kinetic Combustion Characteristic of Oil Palm Empty Fruits Biochar Using Thermogravimetric Analysis. *Jurnal Teknosains*. 13, 128–139. <https://doi.org/10.22146/teknosains.89413>
- Rezki, A. S., Wulandari, Y. R., Alvita, L. R., Sari, N. P. 2023. Potensi limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai bioenergi pada produksi bio-oil dengan metode pirolisis: efek temperatur. *Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 7(1), 22–29. <https://doi.org/10.21776/ub.rbaet.2023.007.01.04>
- Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiarmanto, Sembiring, K. C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., Han, M. H. 2013. Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot-scale unit. *Energy Procedia*, 32, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.005>
- Sukiran, M. A., Kheang, L. S., Bakar, N. A., May, C. Y. 2011. Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches. *American Journal of Applied Sciences*, 8(10), 984–988. Retrieved from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/112421627/ajassp.2011.984.988-libre.pdf?1710453849=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DProduction_and_Characterization_of_Bio_C.pdf&Expires=1756350190&Signature=FpgH7aVvTT19xKFeSVPTpyYfR6MUyYiVmdloe0pNiTq2YhHGKNS2YIOS1bBzWN6o-w6jDUM7WryiSC~ss-Y80W~nqv2Nhae~WkskcnuKQYXGLoXyLcbxwIkYyu0U9cepD8odujYfBkkjdjncB1IUdpWwi2oknmxCd4xNECO~MQcfQYJuf6bddmh~sU0dLP2e2DtDXFZovwY-jpTuiZ0H~Q2Y6BcJ0sUjtBivcNASs8z5LMpq3JRuh5L9B16jHrCz~hy-CqXRX~P2jo6V-tlHa2xQCrEsPrd1FjacbVO4Ztztts5TXdeHhRX4MBw599guFmcqrWzcdmjVjbYSMkg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Susanto, A., Yanto, T. 2013. Pembuatan briket bioarang dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 6(2), 68–69. Retrieved from <https://jurnal.uns.ac.id/ilmupangan/article/download/13516/11262>
- Wahyuni, S., Purwanto, Y. A., Santoso, A. 2021. Respon Pemberian Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Pupuk NPK Pada Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit. *Jurnal Agrium*. 18 (2), 109–118. <https://doi.org/10.29103/agrium.v18i2.5328>