

Karakterisasi Biochar Pelepah Kelapa Sawit Hasil Pirolisis Berdasarkan Analisis Proksimat, pH, dan FTIR

Galuh Puja Kesuma^{1✉}, Siti Aisyah²

(1,2) Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia

Abstrak: Pelepah kelapa sawit merupakan limbah biomassa lignoselulosa yang dihasilkan dalam jumlah besar dari perkebunan kelapa sawit di Indonesia, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi biochar yang dihasilkan dari pelepah kelapa sawit melalui proses pirolisis pada suhu 350–400°C selama 4 jam dalam kondisi oksigen terbatas. Karakterisasi dilakukan melalui analisis proksimat (kadar air, kadar abu, kadar volatil, dan karbon tetap), pengukuran pH, serta analisis gugus fungsi menggunakan spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR). Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan 2 ulangan. Hasil analisis proksimat menunjukkan kadar air 2,88%, kadar abu 11,9%, kadar volatil 32,1%, dan karbon tetap 53,1%. Nilai pH biochar yang diperoleh adalah 10,1, tergolong basa. Analisis FTIR di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Malang mengidentifikasi 10 puncak serapan pada rentang 447,57–2339,70 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi khas biochar berbasis lignoselulosa, meliputi C–H, C–C, C–O, C=C, C=O, dan struktur cincin aromatik. Perbandingan dengan SNI 06-3730-1995 menunjukkan hanya parameter kadar air yang memenuhi persyaratan. Meskipun demikian, nilai pH basa dan gugus fungsi yang teridentifikasi mengindikasikan potensi kuat biochar pelepah kelapa sawit sebagai bahan amandemen tanah, khususnya pada lahan masam yang banyak ditemukan di Indonesia.

Article history:

Received: 25 June 2026

Revised: 13 July 2026

Accepted: 14 July 2026

Published: 16 July 2026

Kata kunci:

Biochar, Pelepah Kelapa Sawit, Pirolisis, Analisis Proksimat, FTIR

Abstract: Oil palm fronds (OPF) are the most abundant lignocellulosic biomass waste from oil palm plantations in Indonesia, yet remain underutilized. This study aims to characterize biochar produced from oil palm fronds through pyrolysis at 350–400°C for 4 hours under limited oxygen conditions. Characterization was conducted through proximate analysis (moisture content, ash content, volatile matter, and fixed carbon), pH measurement, and functional group analysis using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. This research employed a descriptive quantitative method with 2 replications. Proximate analysis results showed moisture content of 2.88%, ash content of 11.9%, volatile matter of 32.1%, and fixed carbon of 53.1%. The biochar pH value was 10.1, categorized as alkaline. FTIR analysis at UPT Integrated Laboratory, Universitas Negeri Malang identified 10 absorption peaks in the range of 447.57–2339.70 cm⁻¹, indicating functional groups characteristic of lignocellulosic-based biochar, including C–H, C–C, C–O, C=C, C=O, and aromatic ring structures. Comparison with SNI 06-3730-1995 standards shows that only the moisture content parameter meets the requirements. Despite this, the alkaline pH and detected functional groups suggest strong potential for OPF biochar application as a soil amendment, particularly for acid soils commonly found in Indonesian plantations.

Keyword:

Biochar, Oil Palm Frond, Pyrolysis, Proximate Analysis, FTIR

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](#).



How to cite: Kesuma, G. P., & Aisyah, S. (2026). Karakterisasi Biochar Pelepah Kelapa Sawit Hasil Pirolisis Berdasarkan Analisis Proksimat, pH, dan FTIR. RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik, 4(3), 411–419. <https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.663>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dengan luas perkebunan mencapai 15,93 juta hektar pada tahun 2023 (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023). Umumnya limbah pelepah sawit dibiarkan begitu saja membusuk tanpa ada perlakuan pengolahan lebih lanjut. Kandungan selulosa yang cukup tinggi tersebut merupakan suatu potensi agar pelepah sawit

dapat diolah lebih lanjut sehingga hasil yang diperoleh mempunyai manfaat dengan aplikasi dan nilai ekonomi yang tinggi (Ridaldy et al, n.d.).

Kandungan lignoselulosa yang tinggi menjadikan pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku potensial untuk pembuatan biochar melalui proses pirolisis. Biochar adalah bahan padat kaya karbon hasil konversi biomassa organik melalui pembakaran tidak sempurna atau dengan pasokan oksigen terbatas (Reynaldi et al, 2024). Biochar telah dikenal luas manfaatnya sebagai pembenah tanah (soil amendment) karena kemampuannya memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), menyimpan karbon jangka panjang, serta memperbaiki kesuburan tanah secara berkelanjutan (Prasetyo et al, 2020).

Biochar adalah istilah baru yang digunakan untuk menggambarkan arang (biasanya arang berserbuk halus) berpori terbuat dari sampah organik yang ditambahkan pada tanah. Penambahan biochar kedalam tanah dapat meningkatkan ketersediaan kation utama, P, dan konsentrasi N dalam tanah. Peningkatan KTK dan pH tanah dapat meningkat hingga 40% (Kurniawan et al., n.d.). Pemanfaatan biochar merupakan salah satu upaya pengelolaan limbah pertanian yang prospektif untuk mendorong optimalisasi lahan-lahan suboptimal dan lahan terdegradasi (Nurida, n.d.)

Biochar dapat dibuat dari berbagai biomassa, bahkan limbah-limbah pertanian yang memenuhi syarat (Farni et al, n.d.). Kualitas biochar dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan kondisi proses pirolisis yang digunakan. Karakterisasi biochar melalui analisis proksimat, pengukuran pH, dan analisis gugus fungsi FTIR merupakan langkah penting untuk menilai kelayakan biochar sebagai bahan amandemen tanah (Dyah Siswati et al, 2022). Namun, informasi karakteristik proksimat, pH, dan gugus fungsi FTIR biochar yang bersumber dari pelepah kelapa sawit masih terbatas dalam literatur ilmiah. Biochar juga merupakan bahan organik yang memiliki sifat stabil dapat dijadikan pembenah tanah lahan kering (Fallo, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai pemanfaatan biochar dari berbagai limbah kelapa sawit seperti tandan kosong, cangkang, dan batang telah banyak dilaporkan, sedangkan kajian yang secara khusus mengkarakterisasi biochar dari pelepah kelapa sawit melalui pendekatan analisis proksimat, pH, dan gugus fungsi FTIR secara terintegrasi masih sangat terbatas. Kesenjangan penelitian (research gap) inilah yang mendasari penelitian ini, mengingat pelepah memiliki komposisi lignoselulosa yang berbeda dari bagian tanaman kelapa sawit lainnya sehingga berpotensi menghasilkan karakteristik biochar yang berbeda pula. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada karakterisasi biochar pelepah kelapa sawit secara komprehensif melalui tiga pendekatan sekaligus, yaitu analisis proksimat, pengukuran pH, dan identifikasi gugus fungsi FTIR, yang selanjutnya dibandingkan langsung dengan standar mutu SNI 06-3730-1995, sehingga menghasilkan data ilmiah baru yang dapat menjadi rujukan bagi pemanfaatan pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku biochar di Indonesia.

Pemilihan suhu pirolisis 350-400°C pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik dekomposisi termal komponen lignoselulosa, yaitu hemiselulosa yang terdekomposisi pada suhu 220-315°C, selulosa pada 315-400°C, sedangkan lignin dengan struktur aromatik yang kompleks baru mulai terdekomposisi secara signifikan pada suhu di atas 350°C (Loc & Phuong, 2025). Pada rentang suhu 350-400°C, sebagian besar hemiselulosa dan selulosa telah terkonversi, sementara struktur lignin belum sepenuhnya terkarbonisasi, sehingga dihasilkan biochar dengan rendemen yang masih tinggi namun tetap memiliki kestabilan karbon yang baik. Rentang suhu ini juga sejalan dengan penelitian (Sianipar et al, 2024) yang menggunakan suhu 300-400°C pada pirolisis lambat batang kelapa sawit untuk menghasilkan biochar sebagai bahan amandemen tanah, serta penelitian (Bindar et al, 2024)

yang melaporkan bahwa pirolisis pelepah kelapa sawit pada suhu rendah hingga menengah menghasilkan biochar berpori tinggi dengan potensi pemanasan global yang lebih rendah dibandingkan pengomposan alami. Dengan pertimbangan tersebut, suhu 350-400°C dipilih sebagai titik optimal untuk menghasilkan biochar dengan rendemen dan stabilitas karbon yang baik tanpa memerlukan konsumsi energi proses yang berlebihan seperti pada suhu pirolisis tinggi (>500°C).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi biochar dari pelepah kelapa sawit yang dihasilkan melalui proses pirolisis pada suhu 350-400°C selama 4 jam dalam kondisi oksigen terbatas. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang dapat mendukung pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit secara lebih efisien dan berkelanjutan dalam pertanian berbasis kelapa sawit di Indonesia. Pemanfaatan arang pirolisis sebagai bahan pembenah tanah juga dapat meningkatkan nilai indeks kemantapan agregat lahan uji (Santi, n.d.).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan, Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Medan (BSPJI Medan), dan UPT Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Malang, pada bulan Mei hingga Juni 2026. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan 2 ulangan untuk setiap parameter uji analisis proksimat dan pH, serta 1 ulangan untuk analisis FTIR. Pemilihan jumlah ulangan tersebut mengacu pada pertimbangan bahwa analisis proksimat dan pH bersifat destruktif dan rentan terhadap variasi kecil pada homogenitas sampel sehingga memerlukan ulangan untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif, sedangkan analisis FTIR bersifat non-destruktif dengan reproduibilitas spektrum yang tinggi pada sampel homogen sehingga cukup dilakukan satu kali pengukuran. Data hasil analisis proksimat dan pH dianalisis secara deskriptif dalam bentuk nilai rata-rata dan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995 sebagai acuan mutu biochar.

Pembuatan Biochar

Limbah pelepah kelapa sawit dikeringkan di bawah sinar matahari hingga mengering dan kadar air rendah, kemudian dipotong menjadi ukuran ± 5 cm dan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 350-400°C selama 4 jam dalam kondisi terbatas oksigen. Biochar yang dihasilkan didinginkan, dihaluskan, dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh sebelum dianalisis.

Analisis Proksimat

Analisis proksimat meliputi empat parameter:

1. Kadar air ditentukan dengan mengeringkan sampel pada suhu 105°C selama 3 jam.
2. Kadar abu ditentukan dengan memanaskan sampel dalam furnace pada suhu 600°C selama 4 jam.
3. Kadar zat volatil ditentukan dengan pemanasan pada suhu 950°C selama 7 menit tanpa udara.
4. Karbon tetap dihitung menggunakan rumus : $\text{Karbon Tetap (\%)} = 100\% - (\text{Kadar Air} + \text{Kadar Abu} + \text{Kadar Volatil})$.

Seluruh perhitungan mengacu pada metode standar yang berlaku. Penimbangan sampel pada setiap tahapan analisis dilakukan menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,0001 g, sedangkan

pemanasan sampel menggunakan oven dan furnace listrik yang telah dikalibrasi sesuai prosedur standar laboratorium.

Pengukuran pH

Pengukuran pH biochar dilakukan dengan mencampurkan 1 gram biochar dengan 20 mL aquades, diaduk dan didiamkan selama 30 menit, kemudian diukur menggunakan pH meter digital. pH meter yang digunakan telah dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan larutan buffer pH 4, 7, dan 10 untuk menjamin akurasi hasil pengukuran.

Analisis FTIR

Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Malang. Spektrum direkam pada rentang bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Identifikasi gugus fungsi dilakukan dengan mencocokkan puncak serapan pada tabel korelasi gugus fungsi standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biochar pelepah kelapa sawit yang dihasilkan melalui proses pirolisis berwarna hitam pekat dengan tekstur berpori. Hasil karakterisasi melalui analisis proksimat, pengukuran pH, dan analisis FTIR disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Karakteristik Biochar Pelepah Kelapa Sawit

Parameter Uji	Jumlah Ulangan	Hasil
Kadar Air (%)	2	2,88
Kadar Abu (%)	2	11,9
Kadar Zat Volatil (%)	2	32,1
Karbon Tetap (%)	2	53,1
pH Biochar	2	10,1
FTIR	1	10 puncak serapan

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2026

Kadar Air

Kadar air biochar pelepah kelapa sawit yang diperoleh sebesar 2,88%. Nilai ini jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan SNI 06-3730-1995 sebesar 15%, sehingga memenuhi persyaratan mutu. Kadar air yang rendah mengindikasikan bahwa proses pirolisis berlangsung dengan baik sehingga sebagian besar kandungan air dalam biomassa telah teruapkan. Kadar air yang rendah juga berdampak positif terhadap stabilitas penyimpanan biochar karena memperkecil risiko pertumbuhan mikroorganisme dan kerusakan selama masa simpan (Prasetiyo et al, 2020). Hasil ini sejalan dengan penelitian (Reynaldi et al, 2024) yang melaporkan kadar air biochar pelepah kelapa sawit berkisar 3-5%. Nilai kadar air pada penelitian ini juga lebih rendah dibandingkan biochar pelepah kelapa sawit hasil pirolisis skala besar yang dilaporkan (Bindar et al, 2024), yaitu sekitar 4-6%, sehingga mengindikasikan bahwa tahap pengeringan bahan baku sebelum pirolisis pada penelitian ini berlangsung optimal.

Kadar Abu

Kadar abu biochar pelepah kelapa sawit yang diperoleh sebesar 11,9%. Nilai ini melebihi batas maksimum SNI 06-3730-1995 sebesar 10%, sehingga tidak memenuhi persyaratan mutu. Kadar abu yang relatif tinggi dipengaruhi oleh kandungan mineral anorganik bahan baku pelepah kelapa sawit. Meski demikian, keberadaan abu pada biochar tidak seluruhnya merugikan karena mengandung unsur hara seperti kalium, kalsium, dan magnesium yang bermanfaat bagi kesuburan tanah (Suci et al., 2023). Nilai kadar abu yang melebihi standar ini dapat diatasi dengan optimasi suhu dan durasi pirolisis pada penelitian selanjutnya. Nilai ini sejalan dengan temuan (Sianipar et al., 2024) pada biochar batang kelapa sawit yang juga menunjukkan kadar abu di atas 10% pada suhu pirolisis 300-400°C, yang dikaitkan dengan tingginya kandungan silika dan mineral anorganik pada jaringan tanaman kelapa sawit dibandingkan biomassa kayu keras.

Kadar Zat Volatil

Kadar zat volatil yang diperoleh sebesar 32,1%, lebih tinggi dari batas maksimum SNI 06-3730-1995 sebesar 25%. Zat volatil merupakan senyawa yang mudah menguap ketika biochar dipanaskan pada suhu tinggi. Nilai volatil yang tinggi mengindikasikan bahwa proses karbonisasi pada suhu 350-400°C belum berlangsung secara sempurna. Pada rentang suhu ini sebagian besar hemiselulosa dan sebagian selulosa telah terdekomposisi, namun lignin yang membutuhkan suhu lebih tinggi (>400°C) belum sepenuhnya terkarbonisasi (Ganing et al., 2025). Peningkatan suhu pirolisis di atas 400°C diperkirakan dapat menurunkan kadar volatil secara signifikan. Hal ini konsisten dengan penjelasan (Loc dan Phuong, 2025) bahwa selulosa terdekomposisi pada rentang suhu 315-400°C sedangkan lignin baru terdekomposisi optimal pada suhu di atas 400°C, sehingga pada suhu 350-400°C sebagian struktur lignin pelepah kelapa sawit diperkirakan masih belum terurai sempurna dan turut berkontribusi terhadap tingginya kadar volatil yang terukur.

Karbon Tetap (Fixed Carbon)

Karbon tetap yang diperoleh sebesar 53,1%. Nilai ini berada di bawah batas minimum SNI 06-3730-1995 sebesar 65%, namun tetap menunjukkan kandungan karbon stabil yang cukup signifikan. Karbon tetap merupakan indikator utama kualitas biochar karena mencerminkan jumlah karbon yang tahan terhadap dekomposisi (Dyah Siswati et al., 2022). Meskipun belum memenuhi standar SNI, nilai karbon tetap 53,1% tetap mengindikasikan kemampuan biochar dalam menyimpan karbon jangka panjang dan memperbaiki sifat fisiko-kimia tanah. Peningkatan nilai karbon tetap dapat dicapai melalui optimasi suhu pirolisis ke rentang 400-600°C. Nilai karbon tetap ini relatif sebanding dengan biochar pelepah kelapa sawit skala besar yang dilaporkan (Bindar et al., 2024), yaitu berkisar 50-58%, sehingga menunjukkan bahwa pirolisis pada suhu 350-400°C dalam penelitian ini telah menghasilkan biochar dengan kualitas yang setara dengan hasil pirolisis pada skala yang lebih besar.

Nilai pH Biochar

Nilai pH biochar pelepah kelapa sawit yang diperoleh adalah 10,1, tergolong basa kuat. Sifat basa biochar terbentuk akibat akumulasi mineral alkali seperti kalium, kalsium, dan magnesium selama proses pirolisis (Claudea Tanjung & Prieskarinda Lestari, 2024). Nilai pH yang tinggi ini sangat bermanfaat untuk memperbaiki tanah masam yang banyak ditemukan pada lahan perkebunan di Indonesia, terutama lahan gambut dan ultisol. Biochar bersifat basa dengan nilai pH berkisar antara 8

sampai 12 memiliki efek kapur yang kuat dan dapat meningkatkan pH tanah masam serta kapasitas tukar kation (Claudea Tanjung & Prieskarinda Lestari, 2024). Kesesuaian nilai pH ini juga diperkuat oleh temuan (Sianipar et al, 2024) pada biochar batang kelapa sawit yang menunjukkan pH basa serupa (9,8-10,5) pada suhu pirolisis 300-400°C, sehingga memperkuat potensi biochar berbasis limbah kelapa sawit secara umum sebagai bahan amandemen tanah masam.

Analisis Gugus Fungsi FTIR

Analisis FTIR mengidentifikasi 10 puncak serapan pada rentang bilangan gelombang 447,57-2339,70 cm^{-1} sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis FTIR Biochar Pelelepah Kelapa Sawit

No	Bil. Gelombang (cm^{-1})	Intensitas (%T)	Gugus Fungsi	Interpretasi
1	447,57	74,97	C-C	Cincin aromatik / vibrasi tekuk C-C
2	668,48	79,49	C-H	Vibrasi tekuk C-H di luar bidang (aromatik)
3	712,95	80,34	C-H	Vibrasi tekuk C-H (alkena/aromatik)
4	874,34	79,76	C-H	Vibrasi tekuk C-H aromatik monosubstitusi
5	1040,74	78,35	C-O	Vibrasi ulur C-O (eter/alkohol selulosa/lignin)
6	1417,30	79,96	C=C	Vibrasi ulur C=C aromatik (cincin lignin)
7	1577,25	82,10	C=C / C=O	Vibrasi C=C aromatik & C=O karbonil terkonjugasi
8	1986,81	87,27	C=C=O	Vibrasi kombinasi / overtone gugus karbonil
9	2109,46	86,93	C≡C / C=C=C	Vibrasi gugus alena/alkuna (dekomposisi termal)
10	2339,70	86,40	O=C=O / C≡N	Serapan CO ₂ atmosferik (background)

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil analisis FTIR, teridentifikasi gugus fungsi yang mencirikan karakteristik khas biochar berbasis biomassa lignoselulosa. Puncak serapan pada 1040,74 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur C-O dari gugus eter dan alkohol komponen selulosa dan lignin, mengindikasikan bahwa sebagian struktur selulosa dan lignin belum terdekomposisi sepenuhnya pada suhu pirolisis 350-400°C. Puncak pada 1417,30 cm^{-1} dan 1577,25 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus C=C aromatik dan C=O karbonil terkonjugasi. Gugus aromatik ini merupakan indikator penting pembentukan struktur karbon yang stabil selama karbonisasi dan mencerminkan tingkat grafitisasi biochar. Puncak-puncak pada daerah 447,57-874,34 cm^{-1} mengkonfirmasi bahwa biochar telah mengalami proses aromatisasi, menghasilkan cincin aromatik terkondensasi yang memberikan kestabilan karbon jangka panjang. Secara keseluruhan, spektrum FTIR biochar pelelepah kelapa sawit menunjukkan karakteristik khas biochar lignoselulosa dengan dominasi gugus aromatik dan gugus C-O, yang mengindikasikan adanya situs aktif yang berpotensi berinteraksi dengan unsur hara dan molekul air ketika diaplikasikan pada tanah. Hal ini mendukung potensi biochar pelelepah kelapa sawit sebagai bahan amandemen tanah.

Perbandingan dengan Standar SNI 06-3730-1995

Perbandingan hasil karakterisasi biochar dengan persyaratan SNI 06-3730-1995 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Penelitian dengan SNI 06-3730-1995

Parameter	Hasil Penelitian	SNI 06-3730-1995	Keterangan
Kadar Air (%)	2,88	Maks. 15	Memenuhi
Kadar Abu (%)	11,9	Maks. 10	Tidak Memenuhi
Kadar Volatil (%)	32,1	Maks. 25	Tidak Memenuhi
Karbon Tetap (%)	53,1	Min. 65	Tidak Memenuhi
pH	10,1	–	Basa

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2026

Berdasarkan Tabel 3, hanya parameter kadar air yang memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995. Parameter kadar abu, kadar volatil, dan karbon tetap belum memenuhi standar yang ditetapkan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa suhu pirolisis 350-400°C belum cukup optimal untuk menghasilkan biochar yang sepenuhnya memenuhi standar SNI. Peningkatan suhu pirolisis ke rentang 400-600°C diperkirakan dapat memperbaiki nilai kadar abu, kadar volatil, dan karbon tetap (Ganing et all, 2025). Meskipun beberapa parameter belum memenuhi standar SNI, nilai pH biochar sebesar 10,1 yang bersifat basa kuat menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan amandemen tanah masam. Selain itu, kandungan karbon tetap sebesar 53,1% tetap mengindikasikan kemampuan biochar dalam menyimpan karbon dalam jangka panjang. Dengan hasil gugus fungsi FTIR yang mengkonfirmasi adanya struktur aromatik terkondensasi, biochar pelepah kelapa sawit tetap berpotensi dikembangkan sebagai produk bernilai tambah dari limbah Perkebunan.

KESIMPULAN

Biochar pelepah kelapa sawit hasil pirolisis pada suhu 350-400°C berhasil dikarakterisasi melalui analisis proksimat, pengukuran pH, dan analisis FTIR. Hasil analisis proksimat menunjukkan kadar air 2,88%, kadar abu 11,9%, kadar volatil 32,1%, dan karbon tetap 53,1%. Nilai pH biochar sebesar 10,1 menunjukkan sifat basa kuat yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan amandemen tanah masam. Analisis FTIR mengidentifikasi 10 puncak serapan ($447,57-2339,70\text{ cm}^{-1}$) yang mencirikan gugus fungsi khas biochar berbasis lignoselulosa, termasuk gugus C-H aromatik, C-O, C=C aromatik, dan C=O karbonil. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, hanya parameter kadar air yang memenuhi standar, sehingga optimasi suhu pirolisis di atas 400°C diperlukan untuk meningkatkan kualitas biochar pelepah kelapa sawit. Secara keseluruhan, pelepah kelapa sawit berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku biochar yang dapat mendukung pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah biomassa secara ramah lingkungan.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis bagi pengelolaan limbah pelepah kelapa sawit di Indonesia, khususnya sebagai alternatif bahan amandemen tanah masam pada lahan gambut dan ultisol yang banyak dijumpai di area perkebunan kelapa sawit, sekaligus mendukung upaya pengurangan emisi dari praktik pembakaran dan pembusukan limbah pelepah secara konvensional. Untuk penelitian lanjutan, disarankan dilakukan optimasi suhu pirolisis pada rentang 400-600°C disertai variasi waktu tinggal (residence time) guna memperbaiki nilai kadar abu, kadar volatil, dan karbon tetap agar memenuhi standar SNI 06-3730-1995, serta perlu dilakukan uji aplikasi langsung biochar pelepah kelapa sawit pada media tanam atau lahan masam untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat kimia dan biologi tanah, produktivitas tanaman, dan potensi sekuestrasi karbon jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Siti Aisyah, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Institut Teknologi Sawit Indonesia (ITSI) Medan, BSPJI Medan, UPT Laboratorium Terpadu Universitas Negeri Malang, serta Beasiswa BPDP-KS atas dukungan yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bindar, Y., Steven, S., & Kresno, S. W. (2024). Large-scale pyrolysis of oil palm frond using two-box chamber pyrolyzer for cleaner biochar production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 6421–6434. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02842-1>
- Claudea Tanjung, J., & Prieskarinda Lestari, P. (2024). Review artikel: Peranan aplikasi biochar sebagai agen perbaikan kualitas tanah untuk meningkatkan produktivitas pertanian. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v12i1.71234>
- Dyah Siswati, N., Laily Agustina, N., & Mahdiyyah Santoso, D. (2022). Biochar dari cangkang biomassa dengan proses karbonisasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2), 45–53.
- Fallo, V. (2021). Efek beberapa jenis biochar pada berbagai takaran terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kunyit (*Curcuma domestica* Val.). *Savana Cendana*, 6(2), 33–35. <https://doi.org/10.32938/sc.v6i02.1167>
- Farni, Y., Mechram, S., & Wulan, C. (n.d.). Pemanfaatan biochar sebagai bahan pembenah tanah untuk memperbaiki kesuburan tanah ultisol dan pengaruhnya terhadap hasil kedelai. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Teknologi Lingkungan*. <http://e-journalppmunsa.ac.id/index.php/jrktl>
- Ganing, M., Ayu Kartika, A., Amin, I., & Yusuf, A. I. S. (2025). Pirolisis tandan kosong kelapa sawit untuk meningkatkan kualitas biochar. *JTKM: Jurnal Teknik Kimia dan Material*, 4(2), 55–64.
- Kurniawan, A., Haryono, B., Baskara, M., & Tyasmoro, S. Y. (n.d.). Pengaruh penggunaan biochar pada media tanam terhadap pertumbuhan bibit tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*.
- Loc, N. X., & Phuong, D. T. M. (2025). Optimizing biochar production: A review of recent progress in lignocellulosic biomass pyrolysis. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 12(1), 148–172. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2024597>
- Maulina, S. (2018). Pirolisis pelepah kelapa sawit untuk menghasilkan fenol pada asap cair. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(2), 34–39.
- Nurida, N. L. (n.d.). *Potensi pemanfaatan biochar untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia*. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian.
- Prasetyo, Y., Hidayat, B., & Bintang, S. (2020). Karakteristik kimia biochar dari beberapa biomassa dan metode pirolisis. *Agrium*, 23(1), 56–62. <https://doi.org/10.30596/agrium.v21i3.2456>
- Reynaldi, B., Septyani, I. A. P., Walida, H., & Rizal, K. (2024). Sifat kimia biochar pelepah kelapa sawit dari Negeri Lama Seberang, Kabupaten Labuhanbatu. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2024.011.1.1>
- Ridaldy, E., & Yulia, A. (n.d.). Pengaruh pencampuran pelepah sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap mutu biobriket. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*.
- Santi, L. P. (n.d.). Pemanfaatan biochar asal cangkang kelapa sawit untuk meningkatkan serapan hara dan sekuestrasi karbon pada media tanah *Lithic Hapludults* di pembibitan kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 41(1), 9–16.
- Sianipar, E. M., Hutapea, S., Panjaitan, E., & Mardiana, S. (2024). Applicability assessment of oil palm trunk biochar for use as soil amendment: Morphology, structure, and chemical properties. *Science & Technology Asia*, 29(1), 256–270.

- Suci, U., Indrawati, Y., & Suryadi, U. E. (2023). Identifikasi biochar yang dibuat dengan lama pirolisis yang berbeda sebagai amelioran pada tanah gambut. *Pedontropika*, 7(1), 23–31. <https://doi.org/10.26418/pedontropika.v7i1.73746>
- Tambunan, S., Siswanto, B., & Handayanto, E. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 9–16.
- Yuniasih, I. M., Indrawati, Y. V., & Nuriman, M. (2025). Pengaruh pemberian biochar tankos dan pupuk kandang ayam terhadap ketersediaan hara N, P, K, dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) di tanah ultisol. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 14(2), 370–381. <https://doi.org/10.26418/jspe.v14i2.90569>