

Turnitin Check

3. Karakterisasi Kimia dan Morfologi Biokokas dari Baglog Jamur (1)

4. 논문 및 과제 검사 - 유사도 검사시 DB 미저장 (Originality Check - No Repository)

Document Details

Submission ID

trn:oid::3618:126883213

Submission Date

26 Jan 2026, 09:43 GMT+7

Download Date

26 Jan 2026, 09:49 GMT+7

File Name

3. Karakterisasi Kimia dan Morfologi Biokokas dari Baglog Jamur (1).docx

File Size

1.1 MB

8 Pages

3,315 Words

21,198 Characters




10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
 - ▶ Quoted Text
-

Top Sources

- 9%  Internet sources
 - 2%  Publications
 - 6%  Submitted works (Student Papers)
-

Top Sources

- 9% Internet sources
- 2% Publications
- 6% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	ejournal.unibabwi.ac.id	4%
2	Internet	garuda.kemdikbud.go.id	<1%
3	Student papers	Universitas Kristen Indonesia Toraja on 2025-05-30	<1%
4	Publication	Daud Ramadhan, Hasan Basri. "Analisis Proses Gasifikasi Tipe Updraft Mengguna...	<1%
5	Internet	docplayer.info	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Internet	jurnal.polinema.ac.id	<1%
8	Internet	media.neliti.com	<1%
9	Internet	repo.undiksha.ac.id	<1%
10	Internet	www.repository.trisakti.ac.id	<1%
11	Internet	badanpenerbit.org	<1%

12	Internet	ejournal.kemenperin.go.id	<1%
13	Student papers	itera on 2025-08-14	<1%
14	Student papers	Konsorsium Perguruan Tinggi Swasta Indonesia on 2024-04-05	<1%
15	Publication	Muhammad Zainul Aris, Yasir Amani. "Pengaruh Variasi Temperatur Torefaksi Te...	<1%
16	Publication	Rahmi Adi Bazenet, Wahyu Hidayat, Siti Mutiara Ridjayanti, Melya Riniarti, Irwan ...	<1%
17	Student papers	Universitas Riau on 2020-11-20	<1%
18	Internet	eprints.ums.ac.id	<1%
19	Publication	Erlina Yustanti, Endarto Yudo Wardhono, Anggoro Tri Mursito, Ali Alhamidi. "Type...	<1%

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
e-ISSN 2685-7065

Karakterisasi Kimia dan Morfologi Biokokas dari Baglog Jamur dengan Perekat Limbah Lilin Malam Batik Menggunakan FTIR dan SEM

..... Name and Affiliation are hidden by Crystal

Abstract

This study aims to analyze the chemical and morphological characteristics of biocoke derived from mushroom baglog with batik wax waste binder using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM). Two types of raw materials were used: raw mushroom baglog (M50%) and pyrolyzed baglog biochar (P50%), each mixed with 50% batik wax waste as binder. The pyrolysis process was carried out at 350-400 °C for 3 hours in an oxygen-limited reactor. FTIR analysis revealed that M50% biocoke contained strong aliphatic C-H and O-H hydroxyl groups, indicating high moisture (7.55%) and volatile matter (41.75%). In contrast, P50% biocoke exhibited intensified aromatic C=C peaks (1588 cm⁻¹) and reduced O-H bands (3616 cm⁻¹), reflecting higher carbonization with 46.76% fixed carbon and a heating value of 27.31 MJ/kg. SEM micrographs showed a distinct morphological difference: M50% had a fibrous and highly porous structure, while P50% displayed a compact, homogeneous surface with micro-pores (1-10 μm). The combination of pyrolysis and batik wax waste addition produced biocoke with improved combustion stability, higher thermal efficiency, and lower exhaust emissions. In conclusion, pyrolysis significantly enhances the energy quality and structural stability of biocoke, while batik wax waste acts as an effective thermoplastic binder, improving particle homogeneity and calorific performance.

Keywords: Biocoke; Mushroom baglog; Batik wax waste; Pyrolysis; FTIR; SEM; Morphological characterization; Chemical structure

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kimia dan morfologi biokokas berbasis baglog jamur tiram dengan perekat limbah lilin malam batik menggunakan metode Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dan Scanning Electron Microscope (SEM). Bahan dasar yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu baglog jamur mentah (M50%) dan biochar hasil pirolisis baglog jamur (P50%), yang masing-masing dicampur dengan 50% limbah lilin malam batik. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 350-400 °C selama 3 jam dalam reaktor tertutup tanpa suplai udara. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa biokokas M50% masih mengandung gugus C-H alifatik dan O-H hidroksil yang kuat, menandakan tingginya kadar air (7,55%) dan volatil (41,75%). Sebaliknya, biokokas P50% memperlihatkan peningkatan intensitas gugus C=C aromatik (1588 cm⁻¹) dan penurunan gugus O-H (3616 cm⁻¹), yang menandakan tingkat karbonisasi lebih tinggi dengan Fixed Carbon 46,76% serta nilai kalor 27,31 MJ/kg. Citra SEM memperlihatkan perbedaan morfologi yang signifikan: biokokas M50% memiliki struktur berserat dan berpori besar, sedangkan biokokas P50% menunjukkan struktur padat dan homogen dengan pori mikro 1-10 μm. Kombinasi pirolisis dan penambahan lilin malam batik menghasilkan biokokas dengan pembakaran lebih stabil, efisiensi termal tinggi, dan emisi gas buang rendah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pirolisis meningkatkan kualitas energi dan kestabilan biokokas, sementara limbah lilin malam batik berperan sebagai binder termoplastik yang efektif dalam memperbaiki homogenitas dan nilai kalor produk.

Kata kunci: Biokokas; Baglog jamur; Limbah lilin malam batik; Pirolisis; FTIR; SEM; Karakterisasi morfologi; Struktur kimia

1. Pendahuluan

Krisis energi global akibat menurunnya ketersediaan bahan bakar fosil dan meningkatnya emisi gas rumah kaca telah mendorong pengembangan sumber energi terbarukan berbasis biomassa. Biomassa merupakan sumber energi yang melimpah, terbarukan, dan berpotensi besar dalam mendukung agenda dekarbonisasi nasional. Salah satu bentuk energi padat hasil konversi biomassa yang memiliki nilai kalor tinggi adalah biokokas (biocoke), yaitu bahan bakar padat yang dihasilkan melalui proses pemadatan (densifikasi) dan karbonisasi biomassa sehingga memiliki karakteristik serupa dengan kokas batu bara namun bersifat lebih ramah lingkungan (Yustanti et al., 2021).

Indonesia memiliki potensi besar untuk produksi biokokas, terutama melalui pemanfaatan limbah agroindustri yang melimpah (Mukminah et al., 2019). Salah satu limbah biomassa yang berpotensi adalah baglog jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*), yaitu media tanam berbasis serbuk kayu, dedak, dan kapur yang menjadi limbah setelah masa panen berakhir. Limbah baglog jamur masih mengandung lignoselulosa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dalam proporsi tinggi, sehingga berpotensi menjadi bahan bakar padat dengan kandungan karbon tetap yang signifikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa limbah baglog dapat diolah menjadi briket biomassa dengan nilai kalor yang cukup tinggi dan emisi rendah (Puspitawati et al., 2023). Namun, penggunaan langsung baglog mentah sering kali menghasilkan produk yang rapuh dan tidak homogen karena kadar air tinggi dan ikatan partikel yang lemah.

Untuk meningkatkan kualitas biokokas, diperlukan bahan perekat (binder) yang mampu memperkuat ikatan antarpartikel dan sekaligus berkontribusi terhadap peningkatan nilai kalor

Commented [r1]: Tambahkan secara singkat latar belakang penelitian... 1 atau 2 kalimat.

Commented [r2]: Bahan dasar Diganti sampel....!

Commented [r3]: Di hapus saja

Commented [r4]: Kalimat "Penelitian ini menyimpulkan bahwa " diganti menjadi "data penelitian menunjukkan bahwa".

Commented [r5]: Tambahkan kalimat yang bisa mengkorelasikan antara paragraph 1 dan paragraph berikutnya

Commented [r6]: Bagaimana mekanisme antarpartikel yang terjadi

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
e-ISSN 2685-7065

(Glalah et al., 2024). Salah satu alternatif bahan pengikat yang potensial adalah limbah lilin malam batik, yang banyak dihasilkan oleh industri batik tradisional di Indonesia. Limbah ini mengandung parafin, hidrokarbon jenuh, dan resin yang bersifat termoplastik. Ketika dipanaskan, lilin malam dapat melebur dan mengikat partikel biomassa dengan kuat, serta menambah fraksi karbon yang berkontribusi terhadap nilai kalor tinggi. Pemanfaatan limbah lilin malam batik sebagai binder tidak hanya meningkatkan efisiensi energi produk biokokas, tetapi juga berperan dalam pengelolaan limbah industri batik yang selama ini berpotensi mencemari lingkungan.

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis bahan dasar biokokas, yaitu: baglog jamur mentah yang masih mengandung komponen organik asli (disebut varian M50%), dan biochar hasil pirolisis baglog jamur (disebut varian P50%). Kedua jenis bahan tersebut masing-masing dicampur dengan perekat limbah lilin malam batik sebanyak 50% (b/b). Tujuannya adalah untuk mengamati pengaruh proses pirolisis terhadap perubahan struktur kimia dan morfologi permukaan biokokas, sekaligus mengevaluasi sejauh mana lilin malam batik dapat berperan sebagai bahan pengikat dan sumber energi tambahan. Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa proses pirolisis mampu meningkatkan kadar karbon tetap, menurunkan kadar air dan volatil, serta memperbaiki kestabilan termal biomassa. Namun, penelitian yang mengkaji secara spesifik pengaruh pirolisis dan penambahan limbah lilin malam batik terhadap struktur kimia (gugus fungsi) dan morfologi biokokas dari baglog jamur masih sangat terbatas. Padahal, karakterisasi struktur kimia dan morfologi sangat penting untuk memahami hubungan antara komposisi bahan, sifat fisis, dan performa pembakaran biokokas.

Dalam konteks tersebut, analisis Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi utama seperti C-H, C=C, C=O, dan O-H yang menunjukkan proses dehidrasi, dekarboksilasi, dan aromatisasi selama karbonisasi (Rofidah et al., 2023). Sementara itu, pengamatan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) memberikan gambaran detail mengenai perubahan struktur mikro, distribusi pori, dan homogenitas permukaan akibat pengaruh pirolisis dan penambahan lilin. Kombinasi kedua teknik analisis ini memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai struktur kimia dan fisik biokokas yang terbentuk. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kimia dan morfologi permukaan biokokas berbasis baglog jamur yang dibuat dengan perekat limbah lilin malam batik menggunakan metode FTIR dan SEM. Secara khusus, penelitian ini membandingkan dua jenis biokokas, yaitu dari baglog mentah dan biochar hasil pirolisis, guna mengetahui perbedaan struktur kimia, morfologi, serta implikasinya terhadap kualitas energi dan performa pembakaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan bahan bakar padat alternatif berbasis limbah, serta mendukung upaya pemanfaatan limbah agroindustri dan industri batik secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

a. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas Baglog jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) bekas media tanam yang diperoleh dari sentra budidaya jamur di Kecamatan Pakisaji, Kabupaten Malang.

Baglog dipilih karena memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi serta kadar abu rendah, sehingga potensial sebagai bahan dasar biokokas. Limbah lilin malam batik yang berasal dari pengrajin batik di Desa Sengguruh, Kab. Malang. Limbah ini mengandung senyawa parafin, asam lemak, dan resin yang berfungsi sebagai bahan perekat (binder) sekaligus sumber karbon tambahan.

b. Pembuatan Biochar dan Bahan Campuran

Penelitian ini melibatkan dua jenis bahan dasar biokokas. Pertama Baglog mentah (varian M) yang digunakan langsung setelah dijemur hingga kadar air $\pm 10\%$. Kedua biochar baglog jamur (varian P) diperoleh melalui proses pirolisis tertutup pada suhu 350-400 °C selama 3 jam menggunakan reaktor baja tanpa suplai udara. Proses pirolisis bertujuan mengubah komponen lignoselulosa menjadi karbon padat dengan struktur aromatik yang lebih stabil. Hasil pirolisis kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan ukuran partikel seragam. Limbah lilin malam batik dicairkan pada suhu ± 90 °C, kemudian dicampurkan ke dalam bahan biomassa dengan perbandingan massa 1 : 1 (50%). Campuran diaduk hingga homogen, kemudian dicetak menggunakan cetakan silinder berdiameter 3,2 cm dengan tinggi 12 dan dikompaksi dengan tekanan ± 20 ton metrik (atau 2 kN). Hasil cetakan biokokas kemudian dikeringkan pada suhu ruang hingga stabil dan siap untuk dilakukan pengujian laboratorium.

c. Variasi Sampel

Commented [r7]: Kalimat ini Adalah metode penelitian... Bukan latar belakang Silahkan dihapus atau pindahkan pada metode penelitian

Commented [r8]: Sebutkan penelitian/ kutipannya...!

Commented [r9]: Sebutkan gugus fungsi apa saja yang ada...!!

Commented [r10]: Penulisan subbab [a. b.] silahkan mengikuti template jurnal

Commented [r11]: Di hapus saja... karena pirolisis merupakan pemanasan tanpa udara

Commented [r12]: Pada sub bab ini Bahasa terlalu Panjang... mohon dipersingkat mengikuti kaidah dalam penulisan jurnal

Commented [r13]: Silahkan dipersingkat tanpa mengurangi makna kalimat

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
e-ISSN 2685-7065

Dua jenis sampel biokokas yang dihasilkan adalah biokokas M50% yang terbuat dari baglog jamur mentah + 50% limbah lilin malam batik dan biokokas P50% yang terbuat dari *biochar* baglog jamur + 50% limbah lilin malam batik. Kedua sampel dianalisis dan dibandingkan berdasarkan karakteristik kimia, fisik, dan morfologi permukaannya.

d. Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) dilakukan menggunakan spektrometer Shimadzu di Laboratorium Terpadu, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Data spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama seperti O-H (3340 cm^{-1}), C-H alifatik (2915 cm^{-1} dan 2858 cm^{-1}), C=O ($1730\text{--}1620\text{ cm}^{-1}$), C=C aromatik (1600 cm^{-1}), serta C-O ($1000\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$). Menentukan perubahan kimia akibat pirolisis dan interaksi lilin malam dengan matriks karbon biomassa.

e. Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi morfologi permukaan dilakukan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) HITACHI di Laboratorium Biologi Universitas Muhammadiyah Malang dengan mode BSE-COMPO (Backscattered Electron-Composition Mode). Parameter pengamatan yang digunakan meliputi tegangan percepatan (accelerating voltage) 15 kV, working distance (WD): 8–10 mm, dan perbesaran: 500x, 1000x, 1800x dan 2000x. Citra hasil pengamatan dianalisis untuk melihat struktur pori, homogenitas partikel, dan interaksi lilin malam dengan matriks karbon. Perbedaan morfologi antara biokokas M50% dan P50% digunakan untuk menjelaskan pengaruh pirolisis terhadap pembentukan pori, kerapatan partikel, dan sifat mekanik.

f. Analisis Pendukung

Selain karakterisasi FTIR dan SEM, pengujian sifat fisik dasar biokokas dilakukan untuk memperkuat hasil interpretasi, meliputi kadar air, kadar abu, volatile matter, fixed carbon, nilai kalor menggunakan bomb kalorimeter Parr-6400 Calorimeter di Laboratorium Kimia Terapan Politeknik Negeri Malang sedangkan kekuatan mekanik meliputi ketahan tekan dan kekuatan tarikan diuji di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Data hasil uji digunakan untuk mengkorelasikan hasil karakterisasi kimia-morfologi dengan performa energi biokokas.

g. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif, dengan membandingkan hasil FTIR dan SEM antara dua varian biokokas (M50% dan P50%). Perubahan gugus fungsi kimia diinterpretasikan terhadap tingkat karbonisasi dan interaksi lilin malam, sedangkan hasil SEM digunakan untuk mendeskripsikan perbedaan struktur mikro yang berkaitan dengan kerapatan dan porositas. Keterkaitan hasil karakterisasi dengan nilai kalor, kekuatan mekanik, dan efisiensi pembakaran dibahas pada bagian hasil dan pembahasan untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai kualitas biokokas yang dihasilkan.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

a. Hasil uji karakteristik fisik dan kimiawi biokokas

Pengujian karakteristik fisik dan kimiawi biokokas mencakup penentuan kadar abu, fixed carbon, kadar air, volatile matter, densitas, ketahanan tekan, dan ketahanan tarik. Hasil pengujian karakteristik fisik dan kimiawi biokokas dapat dilihat pada Tabel .

Tabel 1 Hasil uji karakteristik fisik dan kimiawi biokokas

Karakter Biokokas	M50%	P50%
Kadar abu (%)	7,9	1,85
Fixed carbon (%)	42,8	24,88
Kadar air (%)	7,55	26,5
Volatile matter (%)	41,75	46,76
Densitas (g/cm ³)	0,92	0,9
Ketahanan tekan (kg)	182,73	88,25

1

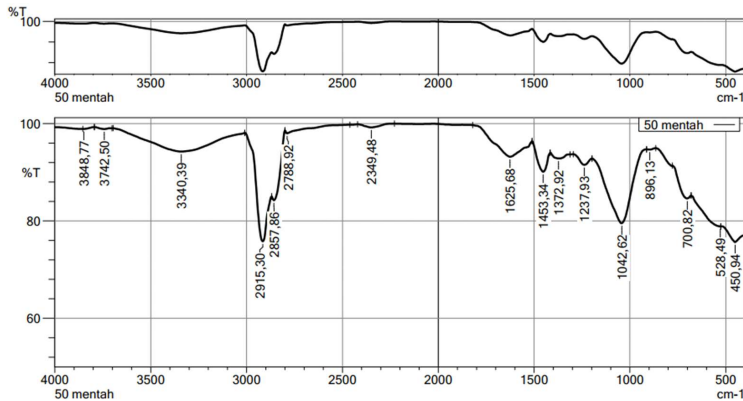
Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
 Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
 e-ISSN 2685-7065

Ketahanan tarik (kg)	1,65	0.3
Emisi CO ₂ (%)	0.2	0.6
Kadar O ₂ (%)	20.51	20.35
Emisi NO _x (%)	A 0.0	A 0.0
Emisi CO (%)	0.00	0.00
Emisi HC (ppm)	0	0
Lambda	2.000	2.000
Asap	+	+
Bau	+	+

b. Analisis FTIR

Analisis FTIR menguatkan hasil uji karakteristik biokokas variasi M50%, menyoroti peran dominan lilin malam batik sebagai sumber energi dan pengikat. Puncak regangan C-H alifatik yang sangat kuat (2915 cm⁻¹ dan 2858 cm⁻¹) membuktikan tingginya fraksi hidrokarbon jenuh dari lilin. Kandungan ini secara signifikan meningkatkan Nilai Kalor (6.349,33 cal/g). Keberadaan ikatan C=C aromatik (1626 cm⁻¹) dari lignin menjelaskan proporsi Fixed Carbon yang cukup tinggi (42,8%). Sebaliknya, tingginya Volatile Matter (41,75%) disebabkan oleh banyaknya gugus C-O (1043 cm⁻¹) dan O-H (3340 cm⁻¹) dari senyawa teroksidasi dan polisakarida. Pita lebar 3340 cm⁻¹ juga memvalidasi Kadar Air (7,55%).

Puncak alifatik yang kuat juga menjelaskan tingginya Kekuatan Mekanik dan Densitas (0,92 g/cm³), karena gugus CH₂CH₃ pada lilin bertindak sebagai agen adhesi yang efektif (Asyri et al., 2015). Komposisi kimia ini mendukung pembakaran yang relatif bersih, menghasilkan emisi CO₂ yang rendah (0,2%), CO, dan NO_x (0%). Adapun grafik hasil uji FTIR biokokas variasi M50% dapat dilihat pada Gambar 1.



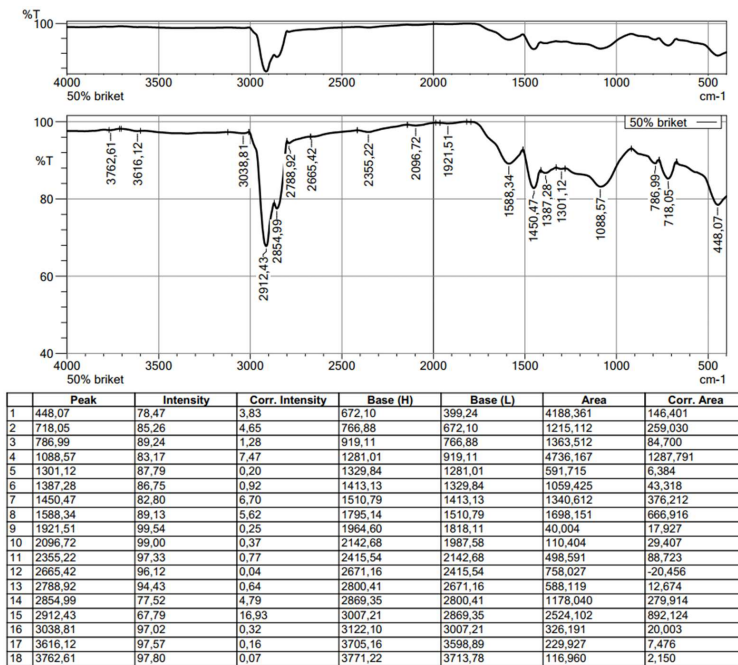
Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	
1	450.94	75.66	2.11	525.62	402.11	2828.822	107.157
2	528.49	78.89	0.12	680.72	525.62	2893.108	111.573
3	700.82	84.63	1.87	778.37	680.72	1269.127	127.112
4	896.13	94.67	0.13	913.37	864.54	255.353	3.116
5	1042.62	79.54	14.31	1187.72	913.37	3846.904	1873.614
6	1237.93	91.52	1.67	1295.37	1197.72	736.996	79.510
7	1372.92	92.84	1.05	1416.00	1312.60	699.304	63.986
8	1453.34	90.11	4.84	1510.79	1416.00	718.153	263.600
9	1625.68	93.20	4.41	1820.99	1510.79	1282.445	676.519
10	2349.48	99.22	0.69	2421.28	2228.84	71.644	58.511
11	2788.92	98.02	0.61	2800.41	2461.49	280.089	1.221
12	2857.86	84.23	3.05	2869.35	2800.41	758.196	193.405
13	2915.30	75.80	13.49	3010.09	2869.35	1903.809	715.601
14	3340.39	94.26	4.30	3696.55	3010.09	2528.453	1552.558
15	3742.50	98.88	0.28	3794.20	3702.29	88.701	12.816
16	3848.77	98.92	0.05	3854.62	3794.20	55.856	2.024

1

Gambar 1 Hasil uji FTIR biokokas variasi M50%

Analisis FTIR pada biokokas variasi P50% mengonfirmasi perubahan struktur signifikan pasca pirolisis baglog jamur. Spektrum menunjukkan peningkatan signifikan pada struktur aromatik/terkonjugasi (1588 cm⁻¹), ciri khas Fixed Carbon yang tinggi (46,76%) yang dihasilkan dari pirolisis. Sebaliknya, Volatile Matter (26,5%) dan Kadar Air (1,85%) sangat rendah, didukung oleh hilangnya gugus teroksidasi dan pita O-H yang sangat kecil (3616 cm⁻¹) dari biochar. Meskipun lilin ditambahkan setelah pirolisis, sisa hidrokarbon alifatik dari lilin ditunjukkan oleh puncak 2912 cm⁻¹ dan 2854 cm⁻¹. Keberadaan alifatik ini menaikkan rasio H/C, menghasilkan Nilai Kalor yang Tinggi (6.528,31 cal/g). Peningkatan Kadar Abu (24,88%) didukung oleh penguatan pita 448 cm⁻¹ (mineral/anorganik). Adapun grafik hasil uji FTIR biokokas variasi P50% dapat dilihat pada Gambar 2.

Commented [r14]: Senyawa yang penting atau yang menjadi topik penelitian bisa ditunjukkan dengan tanda anak panah atau tanda yang menarik pembaca



Gambar 2 Hasil Uji FTIR biokokas variasi P50%

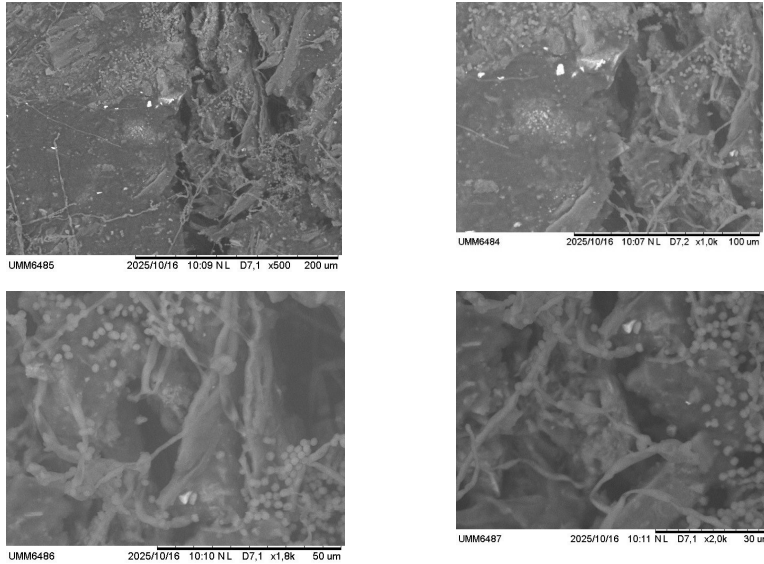
b. Analisis Pengamatan Permukaan (SEM)

Analisis permukaan biokokas menggunakan detektor BSE COMPO (Backscattered Electron - Composition mode) dengan pengaturan tegangan akselerasi sebesar 15 kV. Jarak antara lensa objektif dan permukaan sampel diatur pada working distance (WD) 8,6 mm. Adapun hasil pengamatan SEM biokokas variasi M50% dapat dilihat pada Gambar

Commented [r15]: Dihapus saja... karena merupakan metode penelitian

1

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
 Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
 e-ISSN 2685-7065

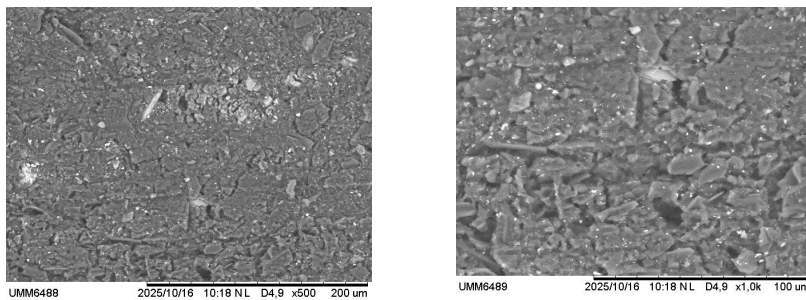


Gambar 3 hasil pengamatan SEM biokokas variasi M50%

Analisis Scanning Electron Microscope (SEM) terhadap biokokas dari baglog jamur mentah dengan 50% lilin malam batik menunjukkan morfologi yang berserat, sangat berpori, dan tidak homogen. Struktur permukaan masih mempertahankan bentuk alami jaringan lignoselulosa (serat memanjang), mengindikasikan bahwa proses karbonisasi belum terjadi. Ini berarti sebagian besar komponen organik (selulosa, hemiselulosa, lignin) masih utuh. Biokokas menampilkan porositas tinggi dengan rongga makro yang saling terhubung (ukuran pori 10–150 μm). Struktur yang longgar dan terbuka ini berdampak pada sifat fisik dan termal: ikatan antarpartikel lemah, menyebabkan kekuatan mekanik yang rendah dan mudah pecah saat penanganan. Di sisi lain, porositas tinggi mempermudah penyalan karena difusi oksigen cepat, namun menghasilkan pembakaran yang singkat dan kurang efisien. Distribusi lilin malam batik tidak merata. Lilin tampak menutupi permukaan luar atau menggumpal sebagai butiran (1–5 μm) tetapi tidak meresap ke dalam pori-pori internal. Ini menunjukkan bahwa lilin lebih berfungsi sebagai pengikat eksternal daripada perekat internal.

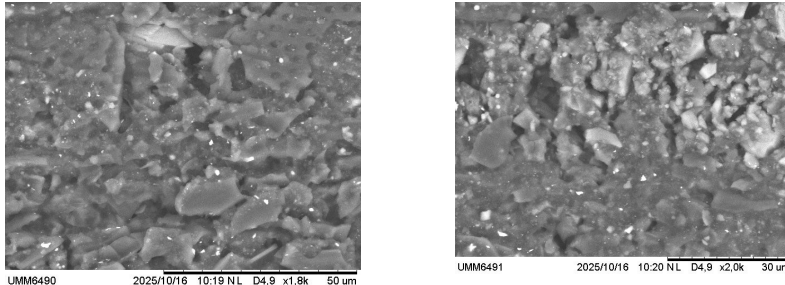
Commented [r16]: Tunjukkan pada gambar berupa tanda anak panah ataupun tanda yang lain sehingga menarik pembaca

Adapun hasil pengamatan SEM biokokas variasi P50% dapat dilihat pada Gambar 4.



1

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
e-ISSN 2685-7065



Gambar 4 hasil pengamatan SEM biokokas variasi P50%

Analisis Scanning Electron Microscope (SEM) pada biokokas berbahan biochar hasil pirolisis baglog jamur dengan penambahan 50% lilin malam batik (P50%) menunjukkan struktur yang lebih padat, homogen, dan kompak dibandingkan varian berbahan mentah. Proses pirolisis telah mengubah jaringan lignoselulosa alami menjadi fase karbon padat (amorf). Pada semua perbesaran, permukaan biokokas terlihat padat dan menyatu. Lilin malam batik berperan sebagai binder termoplastik yang efektif, menyelimuti partikel biochar dan mengisi celah mikro, menghasilkan struktur dengan porositas rendah (pori mikro 1–10 μm). Citra BSE mengonfirmasi penyebaran lilin yang relatif merata di permukaan partikel karbon. Interaksi termal antara lilin dan biochar menghasilkan matriks karbon kontinu yang homogen.

Struktur padat ini berkorelasi dengan efisiensi pembakaran yang tinggi. Porositas yang rendah menghambat difusi oksigen, menyebabkan pembakaran lebih lambat, stabil, dan terkendali. Biokokas P50% menunjukkan nilai kalor tinggi (27,31 MJ/kg) dan emisi gas buang sangat rendah. Meskipun kekuatan mekanik (tekan/tarik) menurun karena sifat biochar yang rapuh, kekompakan struktur memberikan stabilitas bentuk dan ketahanan panas yang lebih baik.

Commented [r17]: Maksudnya bagaimana????

c. Analisis Komparatif Karakteristik Biokokas M50% dan P50%

Hasil karakterisasi menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara biokokas M50% (baglog mentah + 50% lilin malam batik) dan P50% (biochar hasil pirolisis + 50% lilin malam batik) dalam hal sifat fisik, kimia, dan performa termalnya. Dari sisi energi pembakaran, nilai kalor M50% sebesar 26,57 MJ/kg, sedangkan P50% mencapai 27,31 MJ/kg. Walaupun selisihnya tidak terlalu besar, peningkatan pada P50% menunjukkan bahwa proses pirolisis mampu meningkatkan kandungan karbon tetap (fixed carbon) dari 42,8% menjadi 46,76%, sekaligus menurunkan kadar volatil dari 41,75% menjadi 26,5%. Kondisi ini menandakan bahwa biokokas P50% memiliki struktur karbon lebih stabil, sehingga energi yang dihasilkan lebih besar dan efisiensi pembakarannya lebih baik.

Kandungan air dan volatil yang lebih tinggi pada M50% menunjukkan bahwa material belum sepenuhnya terdekomposisi secara termal. Hal ini sejalan dengan hasil pengamatan SEM yang memperlihatkan struktur berserat, berpori besar, dan belum homogen. Akibatnya, meskipun biokokas M50% mudah menyala (waktu penyalaan 14,83 detik), pembakaran berlangsung lebih cepat dan tidak stabil. Sebaliknya, biokokas P50% menyala lebih cepat (7,05 detik) karena lilin berperan sebagai bahan penyalat termoplastik, namun pembakarannya lebih efisien dan stabil akibat struktur karbon padat hasil pirolisis. Perbedaan morfologi juga menjelaskan variasi kekuatan mekanik antara kedua sampel. Biokokas M50% memiliki ketahanan tekan 182,73 kg dan ketahanan tarik 1,65 kg, jauh lebih tinggi dibanding P50% (88,25 kg dan 0,3 kg). Fenomena ini disebabkan oleh struktur biomassa mentah yang masih berserat panjang dan mampu memberikan ikatan mekanis alami antarpartikel, sedangkan biokokas pirolisis yang telah terkarbonisasi memiliki struktur rapuh dan mudah retak ketika tekanan diberikan. Namun, meskipun lebih kuat secara mekanik, biokokas M50% cenderung kurang efisien secara termal karena kadar air tinggi dan struktur berpori yang memicu pembakaran cepat serta kehilangan panas.

Dari sisi emisi gas buang, kedua jenis biokokas menunjukkan hasil yang baik dengan emisi CO₂, NO_x, dan HC sangat rendah. P50% menghasilkan CO₂ sedikit lebih tinggi (0,6%) dibanding M50% (0,2%), menandakan pembakaran yang lebih sempurna. Hal ini konsisten dengan hasil SEM, di mana permukaan biokokas pirolisis terlihat padat dan homogen, memungkinkan distribusi panas lebih merata dan oksidasi karbon lebih lengkap. Kedua jenis biokokas menghasilkan nyala api kuat, namun nyala pada P50% lebih stabil karena kadar volatil lebih rendah. Kandungan abu juga menunjukkan perbedaan mencolok. P50% memiliki kadar abu 24,88%, jauh lebih tinggi dibanding M50% (7,9%). Hal ini disebabkan oleh peningkatan fraksi mineral anorganik (silika, kalsium, dan

1

Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya
Vol. xx, No.xx, Page.xxx - xxx, 20xx
e-ISSN 2685-7065

logam oksida) yang tersisa setelah pirolisis. Walaupun kadar abu tinggi dapat menurunkan nilai kalor sedikit, hal ini menunjukkan bahwa material hasil pirolisis lebih tahan terhadap degradasi termal dan memiliki stabilitas pembakaran yang lebih baik.

3. Penutup

Penelitian ini menunjukkan bahwa bahan dasar dan proses pirolisis memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik kimia dan morfologi biokokas berbasis baglog jamur dengan perekat limbah lilin malam batik.

Analisis FTIR menunjukkan bahwa biokokas M50% (baglog mentah + 50% lilin) masih didominasi oleh gugus C-H alifatik dan O-H hidroksil, menandakan tingginya komponen teroksigenasi serta volatil. Sebaliknya, biokokas P50% (biochar hasil pirolisis + 50% lilin) menunjukkan peningkatan intensitas gugus C=C aromatik dan penurunan gugus O-H, yang menandakan peningkatan tingkat aromatisasi karbon dan kestabilan termal.

Citra SEM memperlihatkan perbedaan morfologi yang jelas: biokokas M50% memiliki struktur berserat, berpori besar, dan tidak homogen, sedangkan biokokas P50% memiliki permukaan padat, homogen, dan berpori mikro. Struktur kompak pada P50% dihasilkan oleh interaksi termoplastik lilin malam batik yang mengisi celah antarpartikel karbon.

Secara performa, biokokas P50% memiliki nilai kalor lebih tinggi (27,31 MJ/kg), kadar air dan volatil lebih rendah, serta pembakaran lebih stabil dibanding M50%. Sebaliknya, M50% memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi namun efisiensi termalnya lebih rendah.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses pirolisis meningkatkan kualitas energi dan kestabilan struktur biokokas, sedangkan penambahan limbah lilin malam batik berperan sebagai binder efektif yang memperbaiki homogenitas dan nilai kalor produk akhir.

Referensi

- Asyri, F., Hafni, K. N., & Simamora, A. H. (2015). Pengaruh limbah abu pembakaran biomassa kelapa sawit terhadap sifat-sifat fisika dan mekanik high impact polystyrene. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(3), 23–28.
- Glalah, M., Antwi-Boasiako, C., & Adu-Gyamfi, D. (2024). Binder-type effect on the physico-mechanical, combustion and emission properties of *Alstonia boonei* De Wild. Sawdust and *Theobroma cacao* L. pod biochar briquettes for energy applications. *PLOS ONE*, 19(7), e0306827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306827>
- Mukminah, N., Destiana, I. D., Endah Rahayu, W., & Sobari, E. (2019). Inovasi teknologi pakan komplit (complete feed) sapi potong berbasis limbah agroindustri di Kabupaten Subang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (MEDITEG)*, 4(1), 33–42.
- Puspitawati, I. N., Wahyusi, K. N., Santi, S. S., Ijaise, S., Saputro, E. A., & Karaman, N. (2023). Characteristics Biobriquettes from Mushroom Baglog Waste Carbonization Production. *International Journal of Eco-Innovation in Science and Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.33005/ijeise.v4i1.112>
- Rofidah, H., Ramadhani, T. A., Salsabila, I. E., Fq, S. S. A. A. L., & Almayda, N. (2023). *Identifikasi Komposisi dan Uji Kualitas Briket Arang Komersial*.
- Yustanti, E., Wardhono, E. Y., Mursito, A. T., & Alhamidi, A. (2021). Types and Composition of Biomass in Biocoke Synthesis with the Coal Blending Method. *Energies*, 14(20), 6570. <https://doi.org/10.3390/en14206570>

Commented [r18]: Alangkah lebih baik jika komparatif atau membandingkan 2 metode Analisa atau yang lain ditabelkan [dibuat 2 kolom....] sehingga dapat difahami lebih mudah....serta menyeluruh

Commented [r19]: kesimpulan

Commented [r20]: cantumkan nilainya

Commented [r21]: cantumkan ukuran morfologinya

Commented [r22]: sebutkan nilainya

Commented [r23]: Pastikan literatur yang dikutip ditulis pada reference
Reference lebih oke menggunakan aplikasi mendeley