



## Profil Morfologi dan Difraksi Arang Hasil Pirolisis Beberapa Jenis Kayu Lokal Provinsi Bengkulu, Indonesia

### [Morphology and Diffraction Study of Charcoal By-Products from the Pyrolysis of Several Local Woods from Bengkulu Province, Indonesia]

Ria Nurwidiyani<sup>1</sup>✉, Deni Agus Triawan<sup>2</sup>, Arief Aulia Rahman<sup>3</sup>, Sal Prima Yudha S<sup>1,4</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

<sup>2)</sup> Prodi D3 Laboratorium Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

<sup>3)</sup> PT. Cipta Mikro Material, Pengasinan, Kec. Gunung Sindur, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

<sup>4)</sup> Research Center of Sumatera Natural Product and Functional Materials, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

**Abstract.** Wood, as a basic material for the furniture industry, creates waste problems in the form of wood sawdust. Wood sawdust is a material that can be utilized by processing it through a pyrolysis process to produce liquid smoke and charcoal. Charcoal resulting from sawdust pyrolysis of *Azadirachta excelsa*, *Durio zibhetinus*, *Swietenia mahagoni*, and *Coffea sp.* wood has different characteristics. Pyrolysis was carried out at 300–350 °C for 6 hours. Characterization was carried out using SEM-EDS and XRD. Based on the research, it is known that the character of the charcoal resulting from pyrolysis using XRD shows that the charcoal composition of each wood has similar characteristics, as indicated by the presence of a broad peak at 2 theta 25° indicating that the charcoal formed has an amorphous structure. In comparison, the 2 theta peaks of 17° and 29° respectively, indicate the presence of lignin and CaCO<sub>3</sub> in charcoal. The morphological structure of the charcoal surface based on the results of SEM analysis shows a similarity in morphology between *Swietenia mahagoni* and *Coffea sp.* Wood charcoal with small pore diameters and distances apart, as well as between *Durio zibhetinus* and *Azadirachta excelsa* wood charcoal, which resembles a honeycomb structure. The composition of charcoal resulting from pyrolysis shows that the largest component of charcoal is carbon with a percentage of 45.4-56%, calcium with a percentage of 10-15.2%, and oxygen with a percentage of 22.5-38.4%, with minor components in the form of aluminum, boron, silicon, and potassium.

**Keywords:** charcoal, pyrolysis, *Azadirachta excelsa*, *Durio zibhetinus*, *Swietenia mahagoni*, *Coffea sp.*

**Abstrak.** Penggunaan kayu sebagai bahan dasar industri mebel menimbulkan permasalahan limbah berupa serbuk gergajian kayu. Serbuk gergajian kayu merupakan material yang dapat dimanfaatkan dengan diolah melalui proses pirolisis menghasilkan asap cair dan arang. Arang hasil pirolisis Kayu Bawang (*Azadirachta excelsa*), Kayu Durian (*Durio zibhetinus*), Kayu Mahoni (*Swietenia mahagoni*), dan Kayu Kopi (*Coffea sp.*) memiliki karakteristik yang berbeda. Pirolisis dilakukan pada suhu 300 – 350 °C selama 6 jam. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan SEM-EDS dan XRD. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa karakter arang hasil pirolisis menggunakan XRD menunjukkan bahwa komposisi arang masing-masing kayu memiliki karakter yang mirip ditunjukkan dengan adanya puncak melebar pada 2 theta 25° mengindikasikan arang yang terbentuk berstruktur amorf, sedangkan puncak-puncak 2 theta 17° dan 29° masing-masing menunjukkan keberadaan lignin dan CaCO<sub>3</sub> dalam arang. Struktur morfologi permukaan arang berdasarkan hasil analisis SEM menunjukkan bahwa ada kemiripan morfologi antara arang Kayu Mahoni dan Kayu Kopi dengan diameter pori yang kecil dan berjarak, serta antara arang Kayu Durian dan arang Kayu Bawang yang menyerupai struktur sarang lebah. Komposisi arang hasil pirolisis menunjukkan bahwa komponen terbesar penyusun arang adalah karbon dengan persentase 45,4-56 %, kalsium sebesar 10-15,2%, dan oksigen sebesar 22,5-38,4% dengan komponen minor berupa Aluminium, Boron, Silikon, dan Kalium.

**Kata kunci:** Arang, pirolisis, kayu bawang, kayu durian, kayu mahoni, kayu kopi

Diterima: 20 Juli 2024, Disetujui: 17 Januari 2025

Sitasi: Nurwidiyani, R., Triawan, D.A., Rahman, A.A., dan Yudha S, S.A. (2024). Profil Morfologi dan Difraksi Arang Hasil Pirolisis Beberapa Jenis Kayu Lokal Provinsi Bengkulu, Indonesia. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(3): 261-268.

✉ Corresponding author

E-mail: [rianurwidiyani@unib.ac.id](mailto:rianurwidiyani@unib.ac.id)

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i3.17289>



## LATAR BELAKANG

Bengkulu merupakan salah satu provinsi di pesisir selatan Pulau Sumatra yang kaya akan keanekaragaman hayati dan flora fauna yang khas. Terdapat beragam jenis tumbuhan kayu yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai keperluan salah satunya untuk industri mebel. Kayu khas dari provinsi Bengkulu yaitu Kayu Bawang merupakan jenis kayu yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan mebel. Selain itu banyak juga digunakan jenis kayu lokal yang lain yaitu Kayu Durian dan Kayu Mahoni. Banyaknya industri mebel di Bengkulu berdampak pada meningkatnya limbah berupa serbuk gergajian berbagai macam jenis kayu tersebut. Selama ini serbuk gergajian kayu tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, yaitu digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga, sebagai media tanam atau hanya dibuang dan dibakar sebagai sampah. Limbah gergajian kayu mengandung selulosa dalam jumlah yang tinggi tergantung dari jenis kayu yang diolah. Kadar selulosa untuk tumbuhan kasar dan halus sebesar 40-45%, lignin untuk tumbuhan halus 25-35% sedangkan untuk tumbuhan kasar 17-25%, dan hemiselulosa sebesar 20 % untuk tumbuhan halus sedangkan untuk tumbuhan kasar sebesar 17-25% (Ridhuan *et al.*, 2019).

Tingginya kandungan selulosa dalam limbah tersebut memungkinkan bahan tersebut diolah untuk menghasilkan asap cair yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Pembuatan asap cair dari limbah gergajian kayu dapat dilakukan melalui proses pirolisis yang mana merupakan

proses dekomposisi termokimia dari bahan organik melalui proses pemanasan dengan sedikit oksigen atau tanpa oksigen sama sekali dimana material akan diuraikan menjadi fasa gas. Material yang umum digunakan dalam pirolisis asap cair adalah material dengan kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa yang tinggi. Menurut Dickerson & Soria (2013) selain asap cair dan gas, dihasilkan padatan berupa arang yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar arang aktif (Gambar 1).

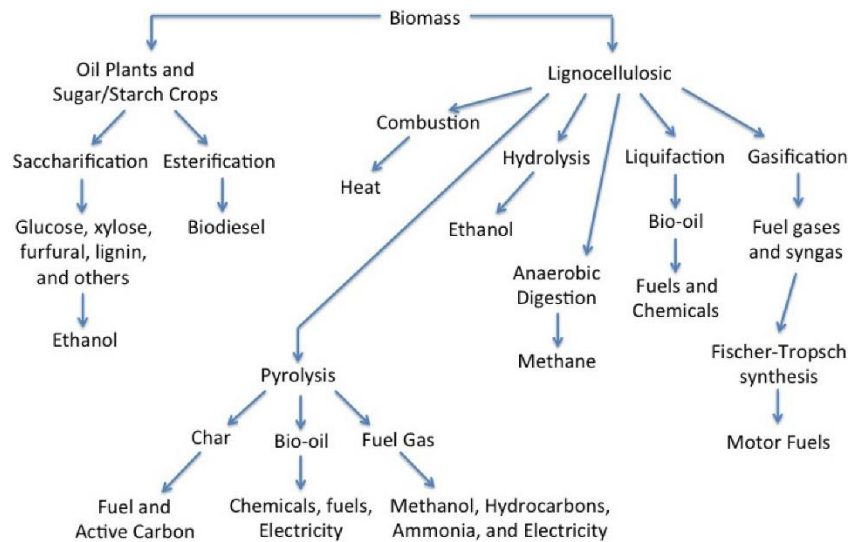
Arang aktif dapat dimanfaatkan sebagai adsorben zat warna maupun logam berat yang bersifat mencemari lingkungan dikarenakan struktur pori yang dimiliki arang. Arang dengan bahan dasar yang berbeda akan memiliki struktur pori yang berbeda pula dan akan berpengaruh terhadap daya adsorpsinya terhadap adsorbat. Dalam penelitian ini akan dilakukan studi morfologi beberapa arang hasil pirolisis dari beberapa kayu lokal di Provinsi Bengkulu yang meliputi kayu Kopi, kayu Durian, Kayu Mahoni, dan kayu Bawang.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah serbuk gergajian Kayu Bawang, Kayu Mahoni, Kayu Kopi dan Kayu Durian.

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah seperangkat alat pirolisis yang dilengkapi pengontrol suhu, *Scanning Electron Microscope-EDX (FEI type Quanta 650)*, X-Ray Diffraction (*Malvern PANalytical type Aeria 600W*).



**Gambar 1.** Skema teknologi konversi bomassa (Dickerson & Soria, 2013)

### Prosedur Penelitian

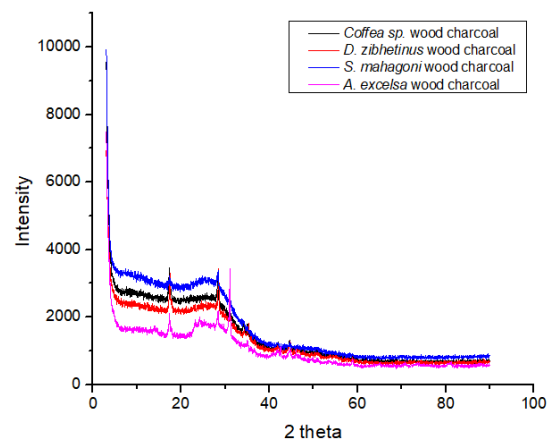
#### ***Pirolisis kayu bawang, kayu durian, kayu mahoni dan kayu kopi***

Arang yang digunakan pada penelitian ini dibuat melalui proses pirolisis sesuai prosedur yang dilakukan oleh (D. A. Triawan *et al.*, 2022; Deni Agus Triawan *et al.*, 2023). Masing-masing kayu yang sudah dikeringkan dipirolisis secara terpisah dengan cara ditimbang sebanyak 1 kg dan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis kemudian dilakukan pirolisis selama 6 jam pada suhu 300-350 °C. Arang akan terbentuk pada akhir pirolisis, arang kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh. Karakterisasi arang kayu dengan menggunakan beberapa alat antara lain *scanning electron microscopy* yang dikombinasikan dengan spektroskopi sinar-X dispersif energi (SEM-EDX) dan difraksi sinar-X (XRD) pada  $2\theta = 10^\circ - 90^\circ$ .

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pirolisis serbuk kayu menghasilkan gas yang kemudian dikondensasikan sehingga diperoleh asap cair, sementara sisa proses pirolisis sendiri berupa arang. Arang hasil pirolisis serbuk kayu inilah

yang menjadi objek dalam penelitian ini. Arang merupakan suatu padatan berpori yang dihasilkan melalui proses karbonisasi atau pirolisis material yang mengandung karbon (Lempang, 2014). Kristalinitas arang hasil pirolisis Kayu Kopi, Kayu Durian, Kayu Mahoni, dan Kayu Bawang disajikan dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Difraktogram arang hasil pirolisis kayu kopi (*Coffea sp*), kayu durian (*D. zibhetinus*), kayu mahoni (*S. mahagoni*), dan kayu bawang (*A. excelsa*)

Dari Gambar 2, terlihat bahwa puncak-puncak difraksi yang dihasilkan dari keempat jenis kayu muncul pada daerah  $2\theta$  yang berhimpit dengan pola difraksi yang melebar pada  $26^\circ$ . Hal ini mengindikasikan bahwa

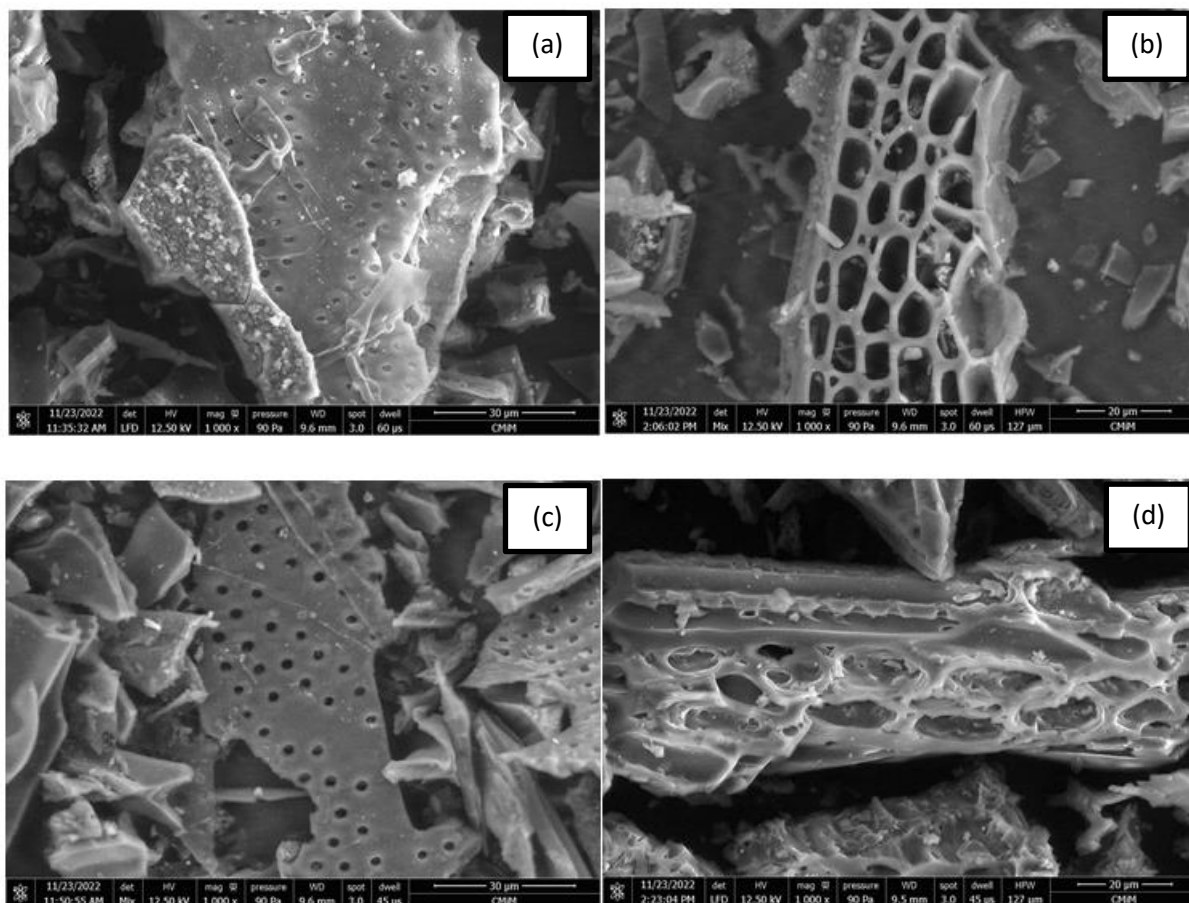
karakteristik arang yang dihasilkan dari keempat jenis kayu tersebut bersifat *amorf*. Intensitas terendah dimiliki oleh arang Kayu Kopi berturut-turut diikuti oleh arang Kayu Mahoni, Kayu Durian, dan Kayu Bawang. Kayu Bawang merupakan jenis kayu yang memiliki komposisi yang terdiri atas 46,42% selulosa, 33,16% lignin, dan 2,54% kadar zat ekstraktif (Jasni *et al.*, 2016). Sedangkan kayu mahoni yang termasuk kedalam jenis kayu yang keras memiliki komposisi selulosa 35-50%, hemiselulosa 20-30%, dan lignin 25-30%. Selulosa dan hemiselulosa merupakan komponen yang bersifat lunak sehingga akan terdekomposisi terlebih dahulu pada suhu yang lebih rendah, sedangkan lignin akan terdekomposisi pada suhu yang lebih tinggi (Wijayanti, 2018).

Pada pirolisis dengan suhu di bawah 300°C maka selulosa dan hemiselulosa yang akan terdekomposisi sedangkan lignin baru akan mulai terdekomposisi (Siahaan *et al.*, 2013). Hal ini menyebabkan dalam difraktogram muncul puncak pada daerah  $2\theta$  17° yang menunjukkan bahwa dalam arang yang terbentuk masih terdapat lignin yang belum terdekomposisi dengan sempurna (Gupta *et al.*, 2015). Puncak pada  $2\theta$  29° merupakan puncak karakteristik untuk  $\text{CaCO}_3$  (Render *et al.*, 2016), hal ini diperkuat dengan hasil analisis EDX yang menunjukkan bahwa dalam arang hasil pirolisis keempat jenis kayu yang digunakan terdapat kandungan kalsium dengan persentase yang cukup tinggi yaitu antara 10-15,5%.

Berdasarkan hasil analisis SEM (Gambar 3), morfologi permukaan masing-masing arang hasil pirolisis memiliki karakteristik yang berbeda. Susunan atom karbon dalam arang tersusun atas pelat-pelat heksagonal dan

ukuran pori serta kristalinitas arang sangat bergantung pada suhu pada proses karbonisasi dan bahan dasar pembuatan arang (Lempang, 2014). Pada Gambar 3(a) terlihat bahwa arang kayu kopi memiliki struktur pori yang renggang dengan diameter pori yang relative kecil. Struktur pori Kayu Kopi memiliki tipe yang mirip dengan struktur pori arang Kayu Mahoni (Gambar 3(b)). Sedangkan arang Kayu Durian memiliki struktur pori dengan diameter yang lebar dan rapat menyerupai struktur sarang lebah, hal serupa dijumpai pada struktur arang Kayu Bawang (Gambar 3(c) dan 3(d)).

Struktur pori arang akan sangat berpengaruh terhadap kemampuan arang dalam mengadsorpsi adsorbat. Semakin besar ukuran pori maka luas permukaan arang akan semakin meningkat. Hal ini memungkinkan kontak antara adsorben dan adsorbat semakin bertambah yang selanjutnya akan meningkatkan kemampuan arang untuk mengadsorpsi adsorben (Verayana *et al.*, 2018). Dengan perbesaran yang sama, arang Kayu Durian dan arang Kayu Bawang memiliki diameter pori yang lebih besar daripada arang Kayu Kopi dan arang Kayu Mahoni sehingga kedua jenis kayu tersebut memiliki potensi dapat menyerap adsorbat secara lebih maksimal. Namun pada permukaan arang masih diperkirakan masih terdapat pengotor sehingga untuk memaksimalkan adsorpsi maka perlu dilakukan proses aktivasi. Proses aktivasi kimia dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia seperti hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat,  $\text{ZnCl}_2$ , dan asam-asam organik seperti  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Sementara aktivasi fisika dapat dilakukan dengan bantuan uap, panas, dan gas  $\text{CO}_2$  (Udyani *et al.*, 2019).



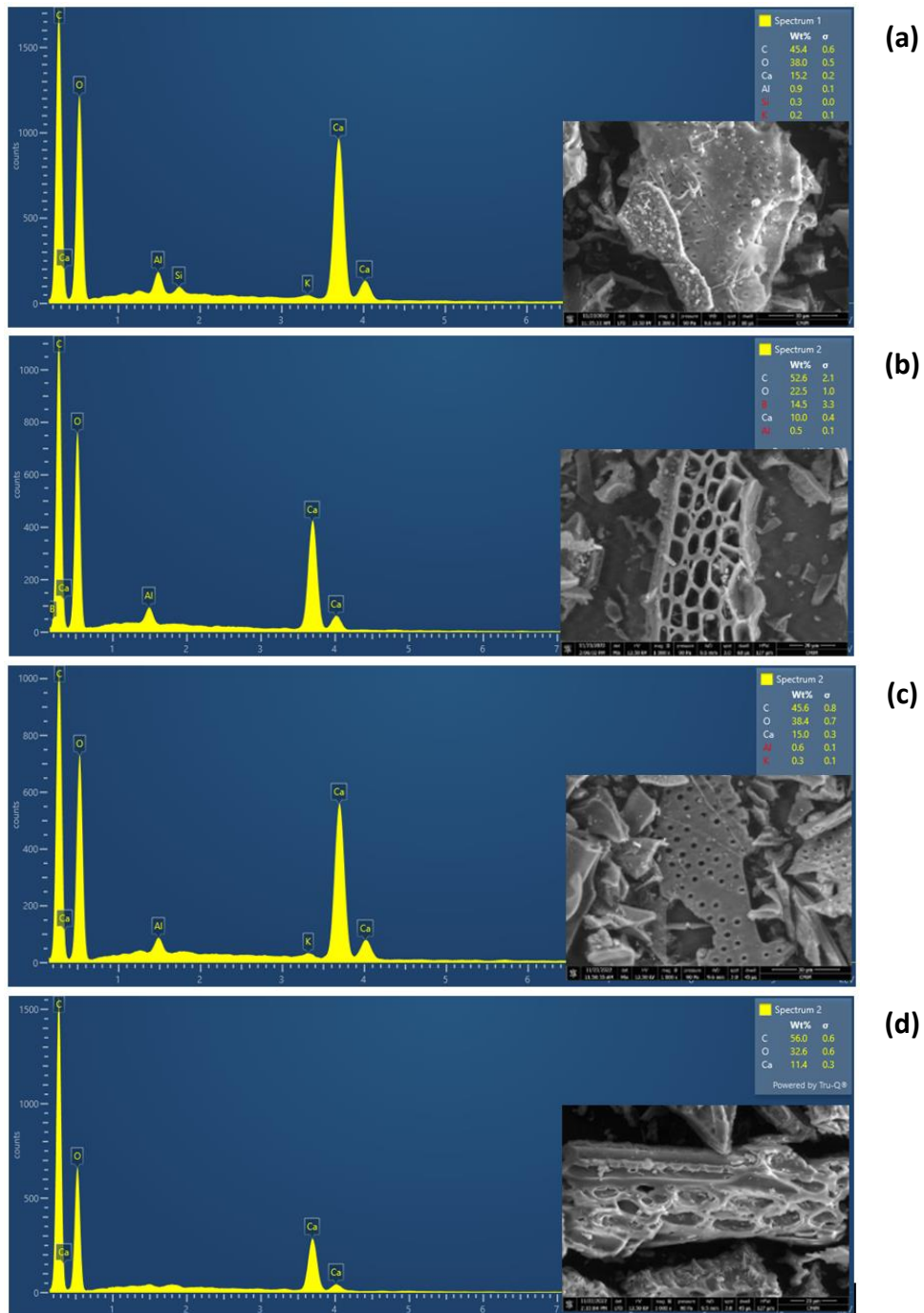
**Gambar 3.** Tampilan morfologi arang (a) kayu kopi, (b) kayu durian, (c) kayu mahoni, dan (d) kayu bawang

Berdasarkan spektrum EDX (Gambar 4), diketahui bahwa persentase penyusun arang serbuk gergajian kayu terdiri atas tiga unsur utama yaitu Karbon (C), Oksigen (O), dan Kalsium (Ca). Kandungan karbon terbesar terdapat pada arang kayu Bawang sebesar 56% diikuti arang kayu Durian 52,6%, arang kayu Mahoni 45,6%, serta arang kayu Kopi 45,4% (Tabel 1). Semakin besar kadar karbon dalam arang maka semakin besar potensinya untuk dikonversi menjadi arang aktif. Besarnya kadar oksigen dalam arang menunjukkan bahwa proses karbonisasi melalui pirolisis belum terjadi secara sempurna sehingga masih terdapat gugus fungsional dalam arang yang terbentuk terutama berasal dari lignin yang belum terkarbonisasi pada suhu pirolisis yang

digunakan, selain itu masih terdapat terdapat oksida-oksida logam dalam arang. Bahan-bahan yang digunakan termasuk bahan berkualitas rendah sehingga mengandung bahan ekstraktif yang cukup tinggi sehingga kandungan mineral seperti kalsium dalam abu cukup tinggi.

**Tabel 1.** Komponen penyusun arang beberapa jenis kayu berdasarkan spektrum EDX

Komposisi	% WT			
	Arang kayu Kopi	Arang kayu Durian	Arang Kayu Mahoni	Arang Kayu Bawang
Karbon	45,4	52,6	45,6	56,0
Oksigen	38,0	22,5	28,4	32,6
Kalsium	15,2	10,0	15,0	11,4
Aluminium	0,9	0,5	0,6	-
Silikon	0,3	-	-	-
Kalium	0,2	-	0,3	-
Boron	-	14,5	-	-



**Gambar 4.** Spektrum EDX arang (a) kayu kopi, (b) kayu durian, (c) kayu mahoni, dan (d) kayu bawang

Selain kalsium, terdapat beberapa unsur minor yang terkandung dalam arang gergajian kayu yaitu pada arang Kayu Durian terdapat kandungan unsur Boron (B) sebesar 14,5% dan Aluminium (Al) 0,5%. Dalam arang Kayu Kopi terdapat kandungan unsur Aluminium (Al), Silikon (Si), dan Kalium (K) berturut-turut sebesar 0,9%, 0,3%, dan 0,2%. Begitupula

dalam arang kayu Mahoni terdapat kandungan unsur Aluminium (Al) dan Kalium (K) sebesar 0,6% dan 0,3%. Keberadaan oksida-oksida logam tersebut di dalam arang merupakan pengotor yang dapat dihilangkan melalui proses aktivasi. Selain untuk menghilangkan pengotor, proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan pembentukan struktur

mikropori yang berperan dalam proses adsorpsi (Yuningsih et al., 2016).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa arang hasil pirolisis memiliki struktur amorf dengan lignin yang belum terdekomposisi dengan sempurna. Berdasarkan struktur porinya arang hasil pirolisis kayu durian memiliki struktur yang mirip dengan arang kayu bawang sedangkan arang kayu mahoni memiliki kemiripan dengan arang kayu kopi. Kandungan utama arang adalah Karbon (C), Oksigen (O), dan Kalsium (Ca) dengan unsur minor berupa Boron (B), Aluminium(Al), Silikon(Si), dan Kalium (K).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bengkulu yang telah membiayai penelitian ini pada tahun 2022 dalam Skema Penelitian Fakultas MIPA dengan nomor kontrak: 1968/UN30.12/HK/2022.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dickerson, T., & Soria, J. (2013). Catalytic fast pyrolysis: A review. *Energies*, 6(1), 514–538. <https://doi.org/10.3390/en6010514>
- Gupta, A. K., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). Preparation and Characterization of Lignin Nanofibre by Electrospinning Technique. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, 1(3), 2395–3470. [www.ijseas.com](http://www.ijseas.com)
- Jasni, J., Pari, G., & Satiti, E. R. (2016). Komposisi Kimia Dan Keawetan Alami 20 Jenis Kayu Indonesia Dengan Pengujian Di Bawah Naungan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(4), 323–333. <https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.4.323-333>
- Lempang, M. (2014). Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif. *Info Teknis EBONI*, 11(2), 65–80.
- Render, D., Samuel, T., King, H., Vig, M., Jeelani, S., Babu, R. J., & Ragnari, V. (2016). Biomaterial-Derived Calcium Carbonate Nanoparticles for Enteric Drug Delivery. *J. Nanomater*, 176(1), 139–148. <https://doi.org/10.1155/2016/3170248>. Biomaterial-Derived
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27. <https://doi.org/10.23917/mesin.v20i1.7976>
- Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan Kondisi Optimum Suhu Dan Waktu Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 26–30. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i1.1423>
- Triawan, D. A., Nasution, A. V., Sutanto, T. D., Nesbah, N., Widiyati, E., Adfa, M., Banon, C., & Nurwidiyani, R. (2022). Preparation and Characterization of Liquid Smoke from Wood Sawdust *Azadirachta excelsa* (Jack) M. Jacobs and its Application as a Natural Rubber Coagulant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012052>
- Triawan, Deni Agus, Nurwidiyani, R., Nesbah, Hamurwani, D. S., Puteri, N. A., Nasution, A. V., & Yuliyani, U. (2023). Preparation of Liquid Smoke Made from Coffee Husk and Its Application as A Latex Coagulant. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 1–8.
- Udyani, K., Purwaningsih, D. Y., Setiawan, R., & Yahya, K. (2019). Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Bakau Menggunakan Gabungan Aktivasi Kimia dan Fisika dengan Microwave. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 39–46. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2019.v23i1.479>

- Verayana, Paputungan, M., & Iyabu, H. (2018). Effect of HCl and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activators on the characteristics (pore morphology) of activated coconut shell charcoal and adsorption tests on lead (Pb) metal. *Jurnal Entropi*, 13(1), 67–75.
- Wijayanti, W. (2018). Identifikasi Komposisi Kimia Tar Kayu Mahoni untuk Biofuel pada Berbagai Temperatur Pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 183–190. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.5>
- Yuningsih, L. M., Mulyadi, D., & Kurnia, A. J. (2016). Pengaruh Aktivasi Arang Aktif dari Tongkol Jagung dan Tempurung Kelapa Terhadap Luas Permukaan dan Daya Jerap Iodin. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 30–34. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3091>