

PENGARUH VARIASI SUHU DAN WAKTU TINGGAL PIROLISIS TERHADAP NILAI KADAR AIR ARANG KARBON DARI BIOMASSA BATANG UBI KAYU

1,2,3,4,5) Program Studi S1
Teknik Mesin, Jurusan
Teknik Mesin dan Industri,
Fakultas Teknik,
Universitas Tidar

Corresponding email^{1*)} :
lutfi.hernaone@gmail.com

Received: 28-05-2025
Accepted: 13-06-2025
Published: 28-12-2025

©2025 Politala Press.
All Rights Reserved.

**Lutfi Dwi Hernawan^{1*)}, Raka Mahendra Sulistiyo²⁾, M. Fendy
Kusuma Hadi Sufyan³⁾, Sigit Mujiarto⁴⁾, Danu Prasetyo⁵⁾**

Abstrak. Limbah batang ubi kayu yang melimpah di Indonesia (90% pasca-panen) memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku karbon karena kandungan lignoselulosanya. Penelitian ini bertujuan menyelidiki pengaruh suhu dan waktu tinggal pirolisis terhadap kadar air arang karbon yang dihasilkan. Menggunakan metode eksperimental dengan reaktor fixed bed, biomassa batang ubi kayu dipirolysis dengan variasi suhu 300°C dan 400°C, serta waktu tinggal 15 menit dan 30 menit, lalu diuji kadar airnya. Hasil menunjukkan bahwa kadar air arang cenderung meningkat dengan kenaikan suhu dan waktu tinggal, hal ini terjadi akibat peningkatan sifat hidroskopis arang. Meskipun demikian, semua variasi pengujian menghasilkan arang dengan kadar air di bawah 15% sesuai SNI 06-3730-1995, dengan kadar air terendah (3,8%) dicapai pada 300°C dan 15 menit.

Kata Kunci: arang, batang ubi kayu, kadar air, pirolisis

Abstract. Cassava stem waste, abundant in Indonesia (90% post-harvest), shows high potential as a carbon raw material due to its lignocellulose content. This research investigates the effect of pyrolysis temperature and residence time on the moisture content of the resulting carbon charcoal. Using an experimental method with a fixed-bed reactor, cassava stem biomass was pyrolyzed at varying temperatures of 300°C and 400°C, and residence times of 15 minutes and 30 minutes, and then tested for its moisture content. The results indicate that the charcoal's moisture content tends to increase with rising temperature and residence time, attributed to an increase in the charcoal's hygroscopic properties. Nevertheless, all testing variations produced charcoal with a moisture content below 15% as per SNI 06-3730-1995, with the lowest moisture content (3.8%) achieved at 300°C and 15 minutes.

Keywords: charcoal, cassava stem, moisture content, pyrolysis

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v12i2.371>

1. Pendahuluan

Tanaman ubi kayu (*Manihot utilissima Pohl*), yang dikenal juga dengan nama ketela pohon, singkong, atau *cassava*, adalah salah satu tanaman pangan penting di Indonesia dan memiliki kontribusi signifikan terhadap produksi singkong global [1]. Negara ini menempati posisi kelima sebagai produsen singkong terbesar di dunia, dengan produksi mencapai 18,3 juta ton pada tahun 2020 [2]. Menurut data BPS Jawa Tengah tahun 2019, produksi ubi kayu di Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2019 mencapai 2.979.780 ton [3]. Setelah panen, tanaman ini hanya dimanfaatkan sekitar 10% dari tinggi batangnya untuk ditanam kembali dan 90% sisanya merupakan limbah [3]. Dengan jumlah demikian maka bisa dibayangkan berapa banyak limbah yang tidak dimanfaatkan setelah proses panen terutama dari batangnya. Padahal batang ubi kayu memiliki kandungan lignoselulosa berupa selulosa sebesar 39,29%, hemiselulosa sebesar 24,34%, lignin sebesar 13,42% [4]. Kandungan-kandungan ini sangatlah penting dalam proses produksi karbon, terutama melalui pirolisis.

Pirolisis merupakan cara mengubah bahan organik, seperti *biomassa*, menjadi zat yang lebih sederhana. Proses ini dilakukan dengan memanaskannya pada suhu tinggi tanpa oksigen atau dengan sedikit sekali oksigen

[5]. Sering disebut juga sebagai dekomposisi termal, metode ini dianggap efektif, hemat, dan mudah dilakukan untuk mengolah *biomassa*. Hasil dari pirolisis ini berupa bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan, yaitu arang (*char*), minyak nabati (*bio-oil*), dan gas sintetis (*syngas*) [6]. Proses pirolisis dapat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan kondisi operasinya yaitu lambat, cepat, dan sangat cepat [7]. Masing-masing jenis menghasilkan produk dengan proporsi dan komposisi yang berbeda. Perbedaan ketiga jenis pirolisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Perbedaan jenis pirolisis berdasarkan kondisi operasinya [5] [8]

Jenis Pirolisis	Suhu	Produk Hasil (%)		
		Cair	Padat	Gas
<i>Slow</i>	<500°C	30	35	35
<i>Fast</i>	400°C - 700°C	50	20	30
<i>Flash</i>	900°C - 1200°C	75	12	13

Suhu dan waktu tinggal menjadi parameter operasional yang perlu diperhatikan mengingat bahwa kondisi-kondisi ini sangat berpengaruh terhadap jenis dan jumlah produk yang dihasilkan, seperti arang, *bio-oil*, dan gas [8]. Suhu merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam proses pirolisis untuk memberikan hasil yang optimal. Fungsi suhu dalam proses pirolisis adalah untuk memberikan panas yang dibutuhkan untuk menguraikan ikatan kimia dari *biomassa*. Studi yang dilakukan oleh Park et al. (2014) dan Xiao et al. (2010) menunjukkan bahwa suhu optimal untuk menghasilkan arang melalui pirolisis lambat berada dalam rentang 300°C hingga 500°C [9] [10]. Sementara itu, Waktu tinggal (*residence time*) dalam pirolisis adalah durasi material *biomassa* berada di dalam reaktor pada suhu tertentu, ini sangat memengaruhi kualitas serta komposisi produk akhir. Studi yang dilakukan oleh Fassinou et al. (2009) pada pirolisis buah pinus menemukan bahwa waktu tinggal optimal untuk hasil terbaik pada suhu di bawah 500°C adalah antara 15 hingga 30 menit [11]. Selain suhu dan waktu tinggal terdapat parameter lain yang harus diperhatikan agar hasil pirolisis menjadi lebih efisien yaitu *pretreatment biomass* berupa pengecilan ukuran bahan dan pengeringan bahan [12].

Kadar air adalah indikator kualitas krusial pada arang yang dihasilkan dari pirolisis *biomassa*, termasuk batang ubi kayu. Jumlah air dalam material secara langsung memengaruhi nilai energi, efisiensi proses konversi, stabilitas penyimpanan, dan kesesuaian untuk berbagai aplikasi. Mengingat minimnya pemanfaatan batang ubi kayu sebagai char melalui pirolisis, penting sekali untuk mengetahui dan mengendalikan kadar airnya. Hal ini bertujuan agar arang karbon yang dihasilkan memenuhi standar kualitas, seperti SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis yang menetapkan kadar air maksimum 15%, sehingga produk limbah batang ubi kayu ini dapat dimanfaatkan secara optimal [13].

Dari uraian diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu tinggal pirolisis terhadap nilai kadar air arang karbon dari *biomassa* batang ubi kayu. Mengingat bahwa suhu dan waktu tinggal merupakan parameter terpenting dalam proses pirolisis, dan *biomassa* batang ubi kayu yang kurang dimanfaatkan sebagai *char* padahal memiliki potensi untuk dikembangkan.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara eksperimental proses pirolisis *biomassa* batang ubi kayu, dan pengujian terhadap nilai kadar air.

Tahapan Penelitian

1) Persiapan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Reaktor tipe *fixed bed*
- b. Mesin parutan
- c. Mesin *furnace*
- d. Timbangan digital
- e. Plastik *ziplock*
- f. Kunci inggris
- g. Mesh/saringan 250 µm (no.60)
- h. Cawan *crushible*
- i. Desikator
- j. Neraca o hause

2) Persiapan Bahan

- a. Batang ubi kayu
- b. Gas Nitrogen

3) Persiapan Material

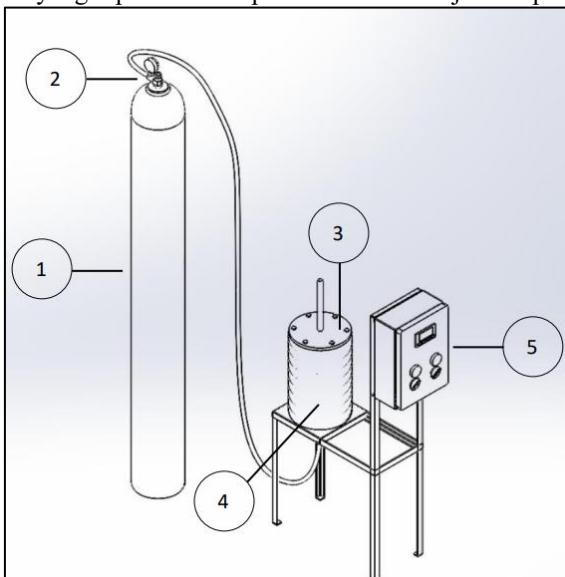
- Potong batang ubi kayu sepanjang 15 – 20 cm
- Keluarkan gabus batang ubi kayu dengan cara ditusuk menggunakan besi/potongan bambu disalah satu sisi
- Parut batang ubi dengan dengan ukuran kurang lebih 0,4 - 0,8 mm
- Keringkan dalam mesin furnace dengan suhu 130°C sampai massanya mendekati konstan
- Kumpulkan *biomassa* batang ubi yang telah diparut dan di keringkan kurang lebih 400 gram.



Gambar 1. Persiapan material

4) Proses Pirolisis

Gambar skema alat pirolisis yang dipakai dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2 berikut.



Keterangan:

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1. Gas Tabung N ₂ | 4. Reaktor Tipe Fixed Bed |
| 2. Gas Pressure Gauge | 5. Electrical Panel |
| 3. Tutup Reaktor | |

Gambar 2. Skema alat pirolisis tipe *fixed bed*

Tahapan Pirolisis:

- Siapkan *biomassa* batang ubi kayu sebanyak 100 gram untuk setiap proses pirolisis
- Buka penutup reaktor dan masukkan *biomassa* batang ubi kayu ke dalam reaktor lalu tutup kembali.
- Alirkan gas nitrogen sebanyak 1 psi selama proses.
- Hidupkan alat pirolisis dengan cara menghubungkan kabel daya ke stopkontak listrik dan putar tombol *emergency* (merah) dan tombol *start* (hijau) agar modul elektrik hidup.
- Atur suhu pirolisis sebesar 300°C dan waktu tinggal 15 menit.
- Setelah proses selesai atur suhu menjadi 0°C.
- Tunggu suhu turun hingga dibawah 100°C dan matikan aliran gas nitrogen.
- Ambil *char/arang* setelah reaktor benar-benar dingin lalu masukkan *char* tersebut ke plastik *ziplock* lalu di vacuum.
- Lakukan proses tersebut ke variasi yang lain (suhu 300°C waktu tinggal 30 menit, suhu 400°C waktu tinggal 15 dan 30 menit)

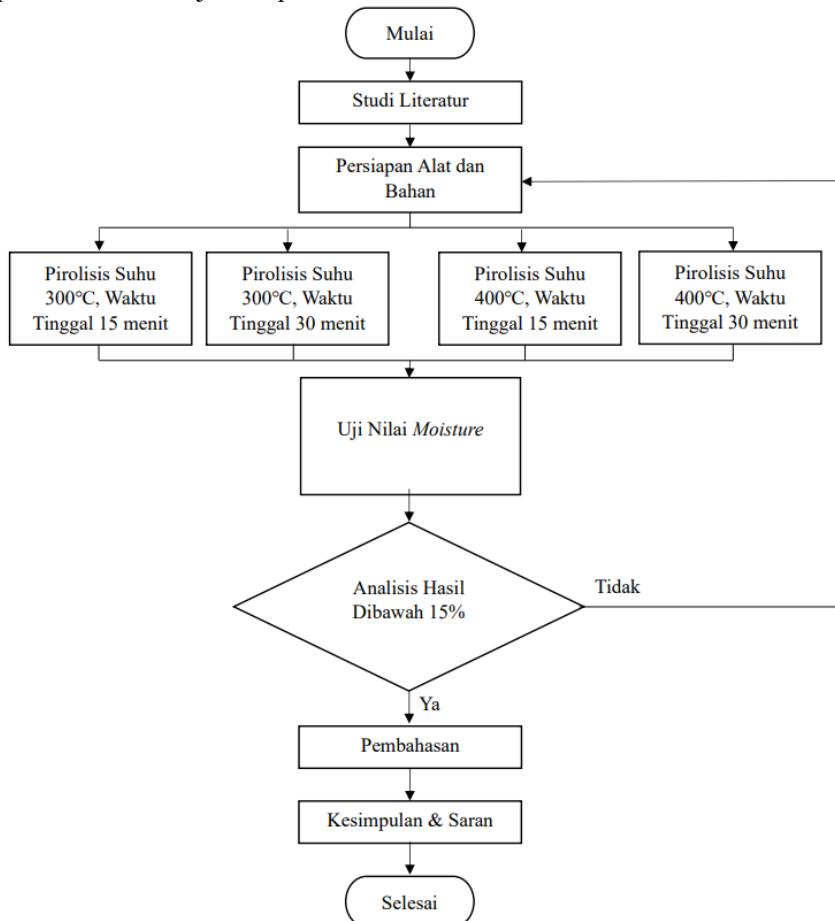
- 5) Pengujian kadar air/*moisture content*
- Panaskan *crushible* pada suhu 110°C selama 20 menit untuk menghilangkan kotoran
 - Dinginkan di dalam desikator selama 15-30 menit
 - Timbang *crushible* saat sudah dingin
 - Tambah 1 gram bubuk karbon yang akan diujikan
 - Panaskan di dalam *furnace* dengan suhu 104°C-110°C dengan waktu 1 jam
 - Dinginkan di dalam desikator
 - Timbang saat dingin
 - Lakukan perhitungan:
 - $M = [(A-B)/A] \times 100\%$
Keterangan:
A = massa sampel awal yang digunakan (gram)
B = massa sampel setelah pemanasan (gram)

Variabel Penelitian

- 1) Variabel bebas
 - Suhu pirolisis dengan variasi 300°C dan 400°C
 - Waktu tinggal pirolisis dengan variasi 15 dan 30 menit
- 2) Variabel terikat
Variabel terikat pada penelitian ini yaitu kadar air/*moisture content*
- 3) Variabel kontrol
 - Bahan utama pirolisis yaitu biomassa batang ubi kayu yang telah dihaluskan dengan mesin pencacah dan telah dikeringkan dengan ukuran 0,4 - 0,8 mm
 - Reaktor yang digunakan merupakan jenis *fixed bed*
 - Gas nitrogen sebagai gas *inert*

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

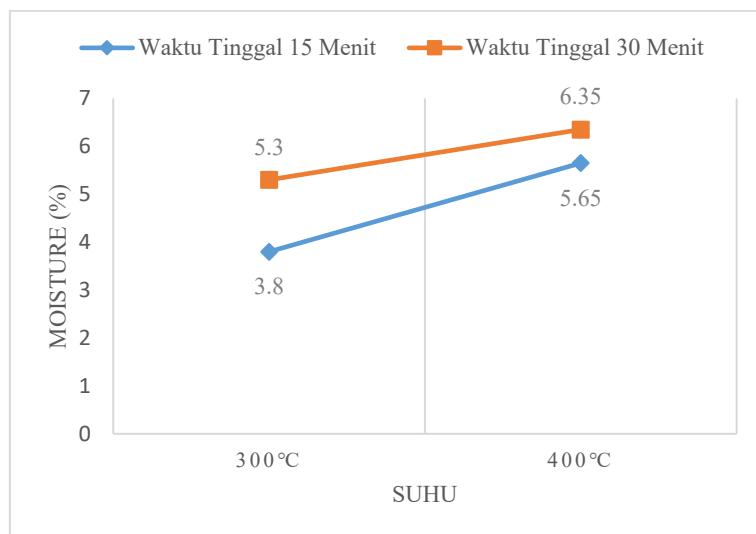
Pengujian kadar air/*moisture content* karbon hasil pirolisis *biomassa* batang ubi kayu dilakukan secara duplo. Tujuan utama dari pengujian duplo adalah untuk meningkatkan keandalan dan akurasi data yang diperoleh. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil pengujian kadar air/*moisture content* karbon hasil pirolisis batang ubi kayu

No.	Variasi	A: Massa Kapsul Kosong (gram)	B: Massa Sampel Awal yg Digunakan (gram)	C: Massa Kapsul dan Sampel Setelah Pemanasan (gram)	D: Massa Sampel setelah Pemanasan (C-A) (gram)	Moisture ((B-D)/B*100) (%)	Moisture Rata-Rata (%)
1	300°C 15 mnt	20,869	1	21,833	0,964	3,6	3,8
		15,455	1	16,415	0,96	4	
2	300°C 30 mnt	21,439	1	22,386	0,947	5,3	5,3
		22,719	1	23,666	0,947	5,3	
3	400°C 15 mnt	15,129	1	16,071	0,942	5,8	5,65
		14,752	1	15,697	0,945	5,5	
4	400°C 30 mnt	11,86	1	12,799	0,939	6,1	6,35
		21,299	1	22,233	0,934	6,6	

Pembahasan

Pengaruh suhu dan waktu tinggal pirolisis *biomassa* batang ubi kayu terhadap nilai kadar air/*moisture content* ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Grafik pengaruh suhu dan waktu tinggal terhadap nilai kadar air/*moisture content*

1) Pengaruh Suhu terhadap Kadar Air

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai kadar air/*moisture content* karbon aktif hasil pirolisis dari *biomassa* batang ubi kayu secara umum mengalami kenaikan dari suhu 300°C ke 400°C. Suhu yang semakin tinggi akan meningkatkan kadar air karena pori-pori dari arang akan semakin terbuka dan berpengaruh pada sifat higroskopis arang [14]. Sifat higroskopis arang adalah kemampuan arang untuk menyerap molekul-molekul air dari lingkungan sekitarnya. Fenomena ini mungkin tidak intuitif pada awalnya, karena suhu tinggi seharusnya menghilangkan lebih banyak air. Namun, dalam konteks pirolisis, peningkatan suhu yang berlebihan dapat menyebabkan perubahan struktural pada matriks arang yang mempengaruhi sifat higroskopisitasnya. Selain itu, pada suhu yang lebih tinggi, dekomposisi komponen lain (selulosa, hemiselulosa, lignin) bisa menghasilkan produk volatil lain yang mungkin mengandung molekul air sebagai bagian dari produk samping yang kompleks, atau struktur arang yang terbentuk menjadi lebih terbuka dan mudah menyerap kembali kelembaban dari lingkungan. Pada saat pengujian kadar air, karbon yang dipanaskan dalam *furnace* dipindahkan ke desikator dan timbangan. Pada proses pemindahan ini, karbon aktif yang higroskopis langsung terpapar udara dan menyerap banyak uap air [15].

2) Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Kadar Air

Secara umum, pada setiap variasi suhu, arang yang dihasilkan dengan waktu tinggal 30 menit memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu tinggal 15 menit. Perbedaan ini paling signifikan pada suhu rendah (300°C) dan cenderung menyempit pada suhu yang lebih tinggi (400°C). Hal ini menunjukkan bahwa waktu tinggal yang lebih lama pada suhu tertentu memungkinkan terjadinya reaksi sekunder atau perubahan pada struktur pori arang yang membuatnya lebih rentan terhadap penyerapan air, atau adanya kondensasi produk samping yang mengandung air yang belum sepenuhnya keluar dari reaktor.

Mengacu pada SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis yang menetapkan kadar air maksimum 15%, semua kondisi pirolisis yang diuji dalam grafik ini menghasilkan arang dengan kadar air di bawah batas tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa batang ubi kayu memiliki potensi besar untuk diolah menjadi arang karbon yang memenuhi standar kualitas terkait kadar air. Kondisi pirolisis pada suhu 300°C dengan waktu tinggal 15 menit menghasilkan kadar air terendah (3,8%), yang merupakan kondisi terbaik dari segi kadar air dalam grafik ini. Kadar air yang tinggi dapat mengganggu konduktivitas listrik karena molekul air dapat mengisi pori-pori dan ruang antar partikel karbon, menghambat pergerakan elektron. Hal ini mengurangi kemampuan karbon untuk mengantarkan listrik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang kadar air pada arang karbon hasil pirolisis *biomassa* batang ubi kayu, dapat disimpulkan bahwa suhu dan waktu tinggal pirolisis secara signifikan memengaruhi kadar air arang karbon dari batang ubi kayu. Peningkatan suhu ($300\text{-}400^{\circ}\text{C}$) dan waktu tinggal (15-30 menit) umumnya meningkatkan kadar air, diduga karena perubahan struktur pori yang meningkatkan higroskopisitas arang dan penyerapan uap air. Meskipun demikian, semua arang yang dihasilkan memenuhi standar SNI 06-3730-1995 (maks. 15% kadar air). Kondisi 300°C dengan waktu tinggal 15 menit menghasilkan kadar air terendah (3,8%), menunjukkan potensi limbah batang ubi kayu sebagai bahan baku arang berkualitas.

Daftar Pustaka

- [1] N. P. S. L. U. W. Yuni Ambarwati, "Pemanfaatan Limbah Batang Ubi Kayu sebagai Arang Aktif serta Pengaruh Aktivator HCL dan Waktu Aktivasi Terhadap Mutu Arang Aktif," Surabaya, 2019.
- [2] K. G. Santy *et al.*, "Proses Pembuatan Briket Arang dari Limbah Batang Singkong dengan Menggunakan Perekat Organik," *SENTIKUIN TEKNIK*, vol. 2, p. A9.1-A9.8, 2019, [Online]. Available: <https://prosiding.umtri.ac.id/index.php/sentikuin>
- [3] L. Lismeri, P. M. Zari, T. Novarani, and Y. Darni, "Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Batang Ubi Kayu," *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 11, no. 2, pp. 82–91, Dec. 2016, doi: 10.23955/rkl.v11i2.5407.
- [4] S. Redjeki, A. Abdullah, and S. K. Dwitama, "Karakteristik Kualitas Biochar dari Limbah Batang Ubi Kayu dengan Proses Pirolisis," 2019.
- [5] R. Purwo Wijayanto, F. Rubian Alhikam, and I. Hendrawan, "Analisis Modifikasi Desain Reaktor pada Rancang Bangun Alat Pirolisis dan Pengujian Nilai Kalor untuk Plastik PP dan ABS," *Rekayasa Mesin*, pp. 247–256, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1493.
- [6] S. Nurfaritsya Anida, I. Rusnadi, and R. Dianiar, "Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Proses Pirolisis Tatal Kayu Karet untuk Pembuatan Bio-Char, Bio-Oil dan Syngas sebagai Bahan Bakar," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, pp. 24569–24576, 2023.
- [7] R. E. Guedes, A. S. Luna, and A. R. Torres, "Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review," Jan. 01, 2018, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jaap.2017.11.019.
- [8] S. A. Novita, S. Santosa, N. Nofialdi, A. Andasuryani, and A. Fudholi, "Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa," *Agroteknika*, vol. 4, no. 1, pp. 53–67, Jun. 2021, doi: 10.32530/agroteknika.v4i1.105.
- [9] J. Park, Y. Lee, C. Ryu, and Y. K. Park, "Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields," *Bioresour Technol*, vol. 155, pp. 63–70, 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.084.
- [10] R. Xiao, X. Chen, F. Wang, and G. Yu, "Pyrolysis pretreatment of biomass for entrained-flow gasification," *Appl Energy*, vol. 87, no. 1, pp. 149–155, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.06.025.
- [11] W. F. Fassinou, L. Van de Steene, S. Toure, G. Volle, and P. Girard, "Pyrolysis of Pinus pinaster in a two-stage gasifier: Influence of processing parameters and thermal cracking of tar," Jan. 2009. doi: 10.1016/j.fuproc.2008.07.016.
- [12] D. V. Suriapparao and R. Vinu, "Effects of Biomass Particle Size on Slow Pyrolysis Kinetics and Fast Pyrolysis Product Distribution," *Waste Biomass Valorization*, vol. 9, no. 3, pp. 465–477, Mar. 2018, doi: 10.1007/s12649-016-9815-7.

- [13] E. Sahara, W. D. Sulihingtyas, D. I. Putu, and A. Surya Mahardika, "Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gumitir (*Tagetes Erecta*) yang Diaktivasi Dengan H₃PO₄," *Jurnal Kimia*, p. 1, 2017.
- [14] R. Hasibuan and H. M. Pardede, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Karakteristik Arang dari Tempurung Kelapa," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 12, no. 1, pp. 46–53, Mar. 2023, doi: 10.32734/jtk.v12i1.8534.
- [15] K. Dwi Lestari, R. Dwi Ratnani, Suwardiyono, and N. Kholis, "Pengaruh Waktu dan Suhu Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah dengan Suhu Tinggi Secara Pirolisis," *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 2, pp. 32–38, 2017.