

Analisis Pembakaran Biopelet Bongkol Jagung Dan Batok Kelapa Dengan Tambahan Zeolit Alam

Rajif Nailul Fikri^{1*}, Mokh. Hairul Bahri², Rohimatush Shofiyah³

1 Universitas Muhammadiyah Jember ; email : adhitamaprakosa@gmail.com
2 Universitas Muhammadiyah Jember ; email : mhairulbahri@unmuhjember.ac.id
3 Universitas Muhammadiyah Jember ; email : rshofiyah@unmuhjember.ac.id

* Penulis : Rajif Nailul Fikri

Abstract: This research aims to analyze the combustion characteristics of biopellets made from a mixture of corn cob and coconut shell with the addition of natural zeolite. The method used was a laboratory experiment with variations in natural zeolite composition (15 g and 20 g) and carbonization method (torrefaction at 200°C and pyrolysis at 450°C). The biopellets were molded to a size of 10 mm in diameter and 25 mm in length using tapioca flour as a binder. Testing was conducted on three main parameters: moisture content, calorific value, and combustion rate. The results showed that sample CT1 (torrefaction, 15 g zeolite) yielded the lowest moisture content of 10% and a calorific value of 2907.57 cal/g, while sample CP1 (pyrolysis, 15 g zeolite) produced the highest calorific value of 4047.80 cal/g. In the combustion rate test, sample CP1 had the fastest combustion rate (0.06 g/s) with a combustion time of 1.03 minutes. Higher zeolite composition tended to decrease the calorific value, but the addition of zeolite and the variation in carbonization methods were proven to affect the combustion performance of the biopellets. In conclusion, the combination of corn cob and coconut shell with the addition of natural zeolite and pyrolysis treatment can produce biopellets with good combustion quality. These biopellets have the potential to be an environmentally friendly renewable energy source and can reduce agricultural waste.

Keywords: Biopellet; Corn Cob; Coconut Shell; Natural Zeolite; Calorific Value; Combustion Rate.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pembakaran biopelet yang terbuat dari campuran bongkol jagung dan batok kelapa dengan penambahan zeolit alam. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi komposisi zeolit alam (15 g dan 20 g) dan metode karbonisasi (torefraksi 200°C dan pirolisis 450°C). Biopelet dicetak dengan ukuran diameter 10 mm dan panjang 25 mm menggunakan tepung tapioka sebagai bahan perekat. Pengujian dilakukan terhadap tiga parameter utama: kadar air, nilai kalor, dan laju pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel CT1 (torefraksi, zeolit 15 g) menghasilkan kadar air terendah sebesar 10% dan nilai kalor 2907.57 kal/g, sedangkan sampel CP1 (pirolisis, zeolit 15 g) menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 4047.80 kal/g. Pada uji laju pembakaran, sampel CP1 memiliki laju pembakaran tercepat (0,06 g/detik) dengan waktu pembakaran 1,03 menit. Semakin tinggi komposisi zeolit, nilai kalor cenderung menurun, namun penambahan zeolit dan variasi metode karbonisasi terbukti mempengaruhi kinerja pembakaran biopelet. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kombinasi bongkol jagung dan batok kelapa dengan penambahan zeolit alam serta perlakuan pirolisis dapat menghasilkan biopelet dengan kualitas pembakaran yang baik. Biopelet ini berpotensi sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi limbah pertanian.

Kata kunci: Biopelet; Bongkol Jagung; Batok Kelapa; Zeolit Alam; Nilai Kalor; Laju Pembakaran.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan modernisasi. Sebagian besar energi masih dipasok dari bahan bakar fosil, yang mengakibatkan berbagai masalah lingkungan seperti emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan perubahan iklim. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan menjadi sangat mendesak untuk mengatasi krisis energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi biomassa yang sangat besar, terutama dari limbah pertanian seperti tongkol jagung dan batok kelapa. Selama ini, limbah tersebut

Diterima: Oktober 20, 2025
Direvisi: Oktober 28, 2025
Diterima: Oktober 29, 2025
Diterbitkan: November 20, 2025
Versi sekarang: November 30, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Disediakan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka berdasarkan
syarat dan ketentuan lisensi Creative
Commons Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

belum dimanfaatkan secara optimal dan seringkali dibuang begitu saja, sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Padahal, kedua jenis limbah ini memiliki kandungan selulosa tinggi yang berpotensi untuk diolah menjadi biopelet—bahan bakar padat yang memiliki kepadatan energi tinggi, emisi rendah, dan mudah dalam penanganan.

Namun, kualitas biopelet sangat dipengaruhi oleh karakteristik pembakarannya, seperti laju pembakaran, nilai kalor, dan kadar air. Untuk meningkatkan kualitas tersebut, diperlukan bahan aditif seperti zeolit alam, yang berfungsi sebagai katalis dan penyerap polutan. Zeolit alam diketahui dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi emisi gas berbahaya, serta meningkatkan nilai kalor biopelet.

Meskipun penelitian tentang biopelet dari berbagai jenis biomassa telah banyak dilakukan, kajian mengenai biopelet dari kombinasi tongkol jagung dan batok kelapa dengan penambahan zeolit alam masih terbatas. Terutama, pengaruh variasi temperatur karbonisasi terhadap karakteristik pembakaran biopelet belum banyak dieksplorasi.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pembakaran biopelet yang terbuat dari tongkol jagung dan batok kelapa dengan perekat tepung tapioka, serta penambahan zeolit alam yang divariasikan temperatur karbonisasinya. Parameter yang diamati meliputi laju pembakaran, nilai kalor, dan kadar air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan biopelet yang efisien, ramah lingkungan, dan mendukung pemanfaatan limbah pertanian menjadi energi terbarukan.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Biopelet sebagai Bahan Bakar Terbarukan

Biopelet merupakan bahan bakar padat yang dihasilkan dari proses pemanfaatan biomassa melalui teknologi peletisasi. Biopelet termasuk dalam kategori bahan bakar terbarukan karena berasal dari sumber biomassa yang dapat diperbarui, seperti limbah pertanian, kehutanan, dan perkebunan (Novita, Fudholi, dan Doktoral, 2021). Dibandingkan dengan bahan bakar biomassa dalam bentuk lain, biopelet memiliki beberapa keunggulan, antara lain: kepadatan energi yang tinggi, ukuran yang seragam, efisiensi pembakaran yang lebih baik, emisi yang rendah, serta mudah dalam penyimpanan dan transportasi (Imam et al., 2025). Kualitas biopelet sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku, proses produksi, dan bahan aditif yang digunakan.

2.2. Bahan Baku Biopelet: Bongkol Jagung dan Batok Kelapa

Bongkol jagung dan batok kelapa merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia namun belum dimanfaatkan secara optimal. Bongkol jagung memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi, sehingga berpotensi sebagai bahan baku biopelet dengan nilai kalor yang memadai (Darma et al., 2020). Demikian pula batok kelapa, yang dikenal memiliki nilai kalor tinggi dan kandungan volatile matter yang baik untuk proses pembakaran (Faizah et al., 2022). Pemanfaatan kedua limbah ini sebagai biopelet tidak hanya dapat mengurangi masalah limbah, tetapi juga meningkatkan nilai tambah secara ekonomi.

2.3. Bahan Perekat: Tepung Tapioka

Dalam proses peletisasi, bahan perekat berfungsi untuk mengikat partikel biomassa agar terbentuk pelet yang kompak dan kuat. Tepung tapioka dipilih sebagai perekat karena memiliki daya rekat yang tinggi, mudah diperoleh, dan harganya relatif murah (Nuwa dan Prihanika, 2018). Pati dalam tapioka berperan sebagai pengikat alami yang efektif, meskipun penggunaannya harus dibatasi untuk menghindari peningkatan kadar air yang dapat menurunkan nilai kalor biopelet (Harjanti, R., Sari., & Halawa, 2021).

2.4. Zeolit Alam sebagai Aditif Katalitik

Zeolit alam adalah mineral aluminosilikat berpori yang memiliki kemampuan adsorpsi dan katalitik. Zeolit berfungsi sebagai aditif dalam biopelet untuk meningkatkan kualitas pembakaran, mengurangi emisi polutan, dan meningkatkan nilai kalor (Hamidi, Yulianti, dan Maulana, 2025). Melalui proses aktivasi, luas permukaan dan aktivitas katalitik zeolit dapat ditingkatkan, sehingga mampu menyerap gas-gas berbahaya seperti NO_x dan SO_2 , serta menurunkan suhu pengapian selama pembakaran (Hartono dan Suhendi, 2020).

2.5. Proses Karbonisasi dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Biopelet

Karbonisasi adalah proses pemanasan biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi sedikit oksigen untuk menghilangkan komponen volatil dan meningkatkan kandungan karbon tetap. Variasi temperatur karbonisasi berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis dan kimia biopelet, seperti kadar air, nilai kalor, dan laju pembakaran (Aulia et al., 2024). Suhu karbonisasi yang optimal dapat meningkatkan kerapatan energi dan menurunkan kadar air, sehingga efisiensi pembakaran biopelet meningkat.

2.6. Karakteristik Pembakaran Biopelet

Karakteristik pembakaran biopelet meliputi:

Laju Pembakaran: Menunjukkan kecepatan pembakaran bahan bakar, dipengaruhi oleh kadar air, ukuran partikel, dan komposisi kimia.

Nilai Kalor: Menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan per satuan massa biopelet. Nilai ini dipengaruhi oleh komposisi lignoselulosa dan kadar abu.

Kadar Air: Parameter penting yang mempengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dan memperlambat laju pembakaran.

2.7. Pembakaran Katalitik (*Catalytic Combustion*)

Pembakaran katalitik adalah proses pembakaran yang menggunakan katalis untuk menurunkan suhu pengapian dan mengurangi emisi polutan. Zeolit alam berperan sebagai katalis alam yang dapat meningkatkan kinerja pembakaran biopelet dengan memfasilitasi reaksi oksidasi pada suhu lebih rendah, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi pembentukan gas berbahaya (Rahman, Irawan, dan Kurniawan, 2020).

3. Metode

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan laboratorium untuk menganalisis karakteristik pembakaran biopelet dari bongkol jagung dan batok kelapa dengan penambahan zeolit alam. Variasi perlakuan meliputi komposisi zeolit dan metode karbonisasi (torefraksi dan pirolisis). Setiap perlakuan diulang untuk memastikan konsistensi hasil.

3.2. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai Oktober 2025. Pengujian laju pembakaran dan kadar air dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember, sedangkan pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

3.3. Bahan dan Alat

Bahan:

Bongkol jagung (60 mesh)

Batok kelapa (60 mesh)

Tepung tapioka

Zeolit alam

Air

Alat:

Thermocouple

Cetakan pelet

Reaktor torefraksi dan pirolisis rakitan

Mesin pres

Timbangan

Oven

Kalorimeter

Hot air gun

3.4. Variabel Penelitian

Variabel Bebas: Komposisi zeolit alam (15 g dan 20 g) dan metode karbonisasi (torefraksi 200°C dan pirolisis 450°C)

Variabel Terikat: Laju pembakaran, nilai kalor, kadar air

Variabel Tetap: Komposisi bongkol jagung (35 g), batok kelapa (35 g), tepung tapioka (15 g), dan ukuran partikel (60 mesh)

3.5. Prosedur Penelitian

a. Preparasi Bahan Baku

Bongkol jagung dan batok kelapa dikeringkan, ditumbuk, dan diayak hingga mencapai kehalusan 60 mesh.

b. Pencampuran dan Pencetakan

Bahan dicampur sesuai komposisi pada Tabel 3.1, ditambahkan air secukupnya, kemudian dicetak menggunakan mesin pres dan dikeringkan selama 2 hari di bawah matahari dilanjutkan dengan pemanasan dalam furnace pada suhu 100°C selama 1 jam.

c. Karbonisasi

Torefraksi: Suhu 200°C selama 60 menit dalam kondisi miskin oksigen.

Pirolisis: Suhu 450°C dengan langkah yang sama.

d. Pengujian

Kadar Air: Metode gravimetri dengan pengeringan dalam oven pada suhu 100°C hingga berat konstan.

Nilai Kalor: Menggunakan kalorimeter bom.

Laju Pembakaran: Pelet dibakar dengan hot air gun pada suhu 450°C dan kecepatan udara 10 m/s. Suhu dan waktu pembakaran dicatat menggunakan thermocouple.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 . Produk Biopelet Dari Bonggol Jagung Dan Batok Kelapa

Proses pembuatan biopelet dari bonggol jagung dan batok kelapa diawali dengan karbonisasi melalui torefaksi (200°C) dan pirolisis (450°C) selama 60 menit. Pada torefaksi, bonggol jagung dan batok kelapa mengalami penyusutan massa masing-masing sebesar 6 gram (dari 500 g) dan 11 gram (dari 100 g). Sementara pada pirolisis, penyusutan jauh lebih signifikan, yaitu 306 gram untuk bonggol jagung dan 349 gram untuk batok kelapa (dari 500 g). Campuran bahan kemudian dicetak menjadi biopelet dengan ukuran diameter 10 mm dan panjang 25 mm.

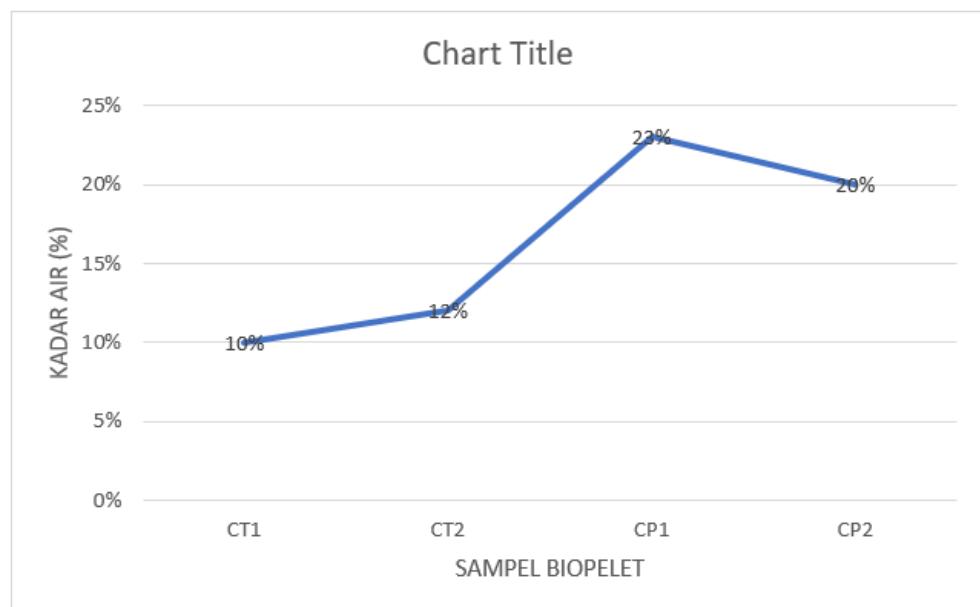
Tabel 1. Tabel Sampel

No	Nama Sempel	Komposisi				Tepung tapioka (g)
		Bonggol Jagung (g)	Batok kelapa (g)	Zeolit alam (g)		
1	CT1	35	35	15		15
2	CT2	35	35	20		15
3	CP1	35	35	15		15
4	CP2	35	35	20		15

4.2. Hasil Pengujian Kadar Air

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air

No	Kode Sempel	Pengulangan	$m_1 - m_2$	Rata-rata	Kadar Air (%)
1	CT1	U1	0,11	0,1	10%
		U2	0,1		
		U3	0,11		
2	CT2	U1	0,12	0,12	12%
		U2	0,12		
		U3	0,12		
3	CP1	U1	0,09	0,23	23%
		U2	0,09		
		U3	0,05		
4	CP2	U1	0,07	0,2	20%
		U2	0,06		
		U3	0,07		



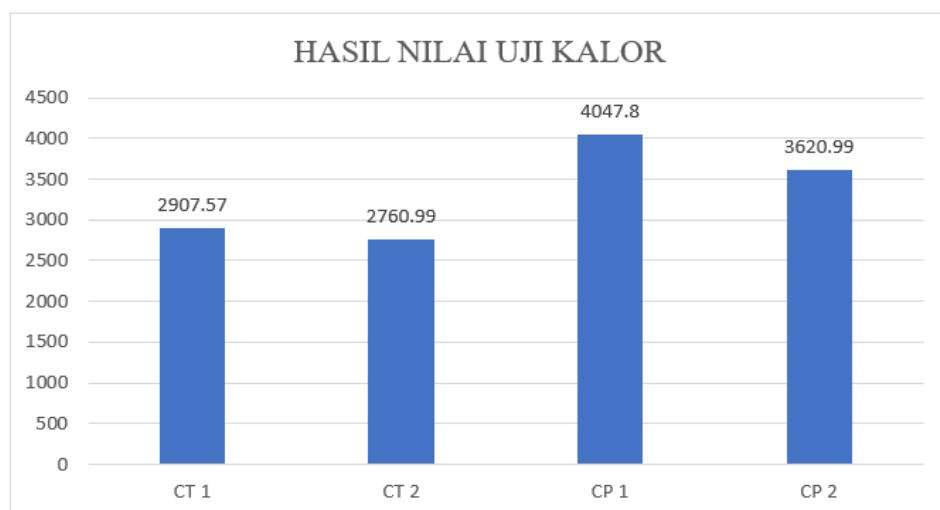
Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kadar Air

Berdasarkan Tabel ?, nilai kadar air biopelet tertinggi sebesar 23% terdapat pada sampel CP1, sedangkan kadar air terendah sebesar 10% pada sampel CT1. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin rendah kadar air, maka kualitas biopelet semakin baik. Dengan demikian, sampel CT1 merupakan biopelet dengan kualitas terbaik karena memiliki kadar air paling rendah.

4.3. Data Hasil Pengujian Nilai Kalor

Tabel 3. Hasil Pengujian Nilai Kalor

No	Nama Sampel	Nilai Kalor (Cal/gram)	Metode
1	CT1	2907.57	Bomb Calorimeter
2	CT2	2760.99	Bomb Calorimeter
3	CP1	4047.80	Bomb Calorimeter
4	CP2	3620.99	Bomb Calorimeter



Gambar 3. Hasil Nilai Uji Kalor

Keterangan:

CT1 : Bonggol Jagung Mesh 60 (35g) + Batok Kelapa mesh 60 (35g) + Tepung Tapioka (15g) + Zeolit Alam (15g)

CT2 : Bonggol Jagung Mesh 60 (35g) + Batok Kelapa mesh 60 (35g) + Tepung Tapioka (15g) + Zeolit Alam (20g)

CP1 : Bonggol Jagung Mesh 60 (35g) + Batok Kelapa mesh 60 (35g) + Tepung Tapioka (15g) + Zeolit Alam (15g)

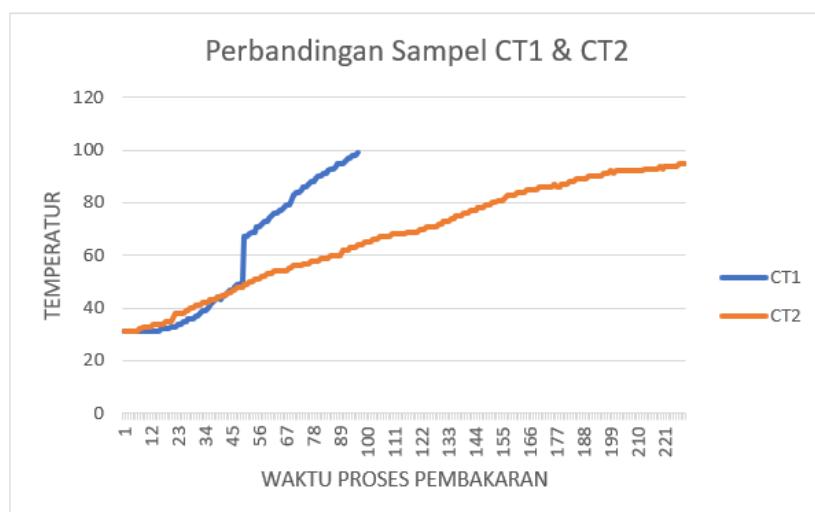
CP2 : Bonggol Jagung Mesh 60 (35g) + Batok Kelapa mesh 60 (35g) + Tepung Tapioka (15g) + Zeolit Alam (20g)

Berdasarkan yang dapat kita lihat pada tabel hasil Pengujian nilai kalor menggunakan metode Bomb Calorimeter, yang mendapatkan hasil nilai kalor seperti pada sampel CT1 dengan nilai 2907.57 Cal/gram, CT2 dengan nilai 2760.99 Cal/gram, CP1 dengan nilai 4047.80 Cal/gram, CP2 dengan nilai 3620.99 Cal/gram. berdasarkan hasil pengujian nilai kalor bahwasannya dapat disimpulkan semakin banyak campuran zeolit maka semakin rendah kandungan nilai kalor pada biopelet.

4.4. Data Hasil Pengujian Laju pembakar

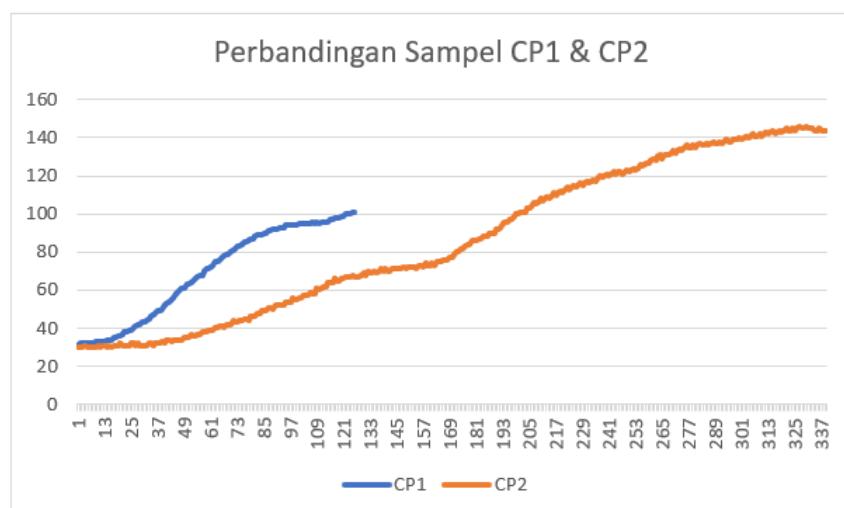
Tabel 4. Hasil Pengujian Laju Pembakaran

No	Nama Sampel	Laju Nyala Api Pembakaran (g/detik)	Lama Waktu Pembakaran (s/menit)	Temperatur°C
1.	CT1	0,10	1,03	99
2.	CT2	0,13	2,01	95
3.	CP1	0,06	1,03	101
4.	CP2	0,07	2,55	144



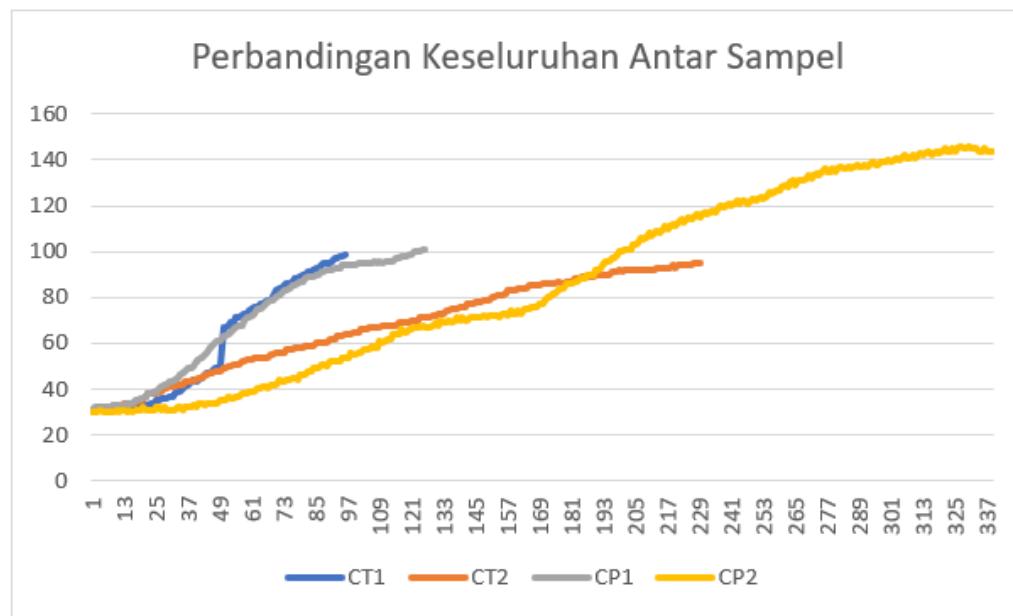
Gambar 4. Perbandingan Sampel CT1 & CT2

Berdasarkan dari diagram diatas menjelaskan bahwa CT1 lebih cepat pembakarannya dengan waktu 0,10 detik suhu 30°C dengan bahan bonggol jagung 35g + batotk kelapa 35g + zeolit alam 15g + tepung tapioka 15g. Namun lama pembakarannya pada sampel CT2 dengan lama pembakarannya 2,01 menit suhu 95°C dengan bahan bonggol jagung 35g + batok kelapa 35g + zeolit alam 20g + tepung tapioka 15g.



Gambar 5. Perbandingan Sampel CP1 & CP2

Berdasarkan dari diagram diatas menjelaskan bahwa CP1 lebih cepat pembakarannya dengan waktu 0,06 detik suhu 32°C dengan bahan bongkol jagung 35g + batotk kelapa 35g + zeolit alam 15g + tepung tapioka 15g. Namun lama pembakarannya pada sampel CP2 dengan lama pembakarannya 2,55 menit suhu 144°C dengan bahan bongkol jagung 35g + batok kelapa 35g + zeolit alam 20g + tepung tapioka 15g.



Gambar 5. Perbandingan Keseluruhan Antar Sampel

Berdasarkan dari tabel di atas dapat disimpulkan hasil yang dimasukan ke dalam software arduino IDE yang di mulai dari suhu ruangan 30°C- 32°C, dan di bakar dengan suhu 450°C dengan kecepatan angin 10 m\ s , kemudian dihitung dengan massa setiap sampel-nya. Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hasil nyala api pembakaran paling cepat terdapat pada sampel CP1 laju nyala api terbakar (0,06 g/detik) dengan lama waktu terbakar sampai menjadi abu (1,03 /menit) sedangkan paling lambat nyala api terbakar terdapat pada CT2 (0,13 g/detik) degan lama waktu terbakar sampai menjadi abu(2,01/ menit).dari hasil data di atas dapat disimpulkan semakin besar ukuran mesh maka semakin cepat laju nyala api biopelet terbakar dan semakin kecil mesh semakin lambat nyala api biopelet terbakar.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh(Tremblay et al. 2016) menunjukkan bahwa laju pembakaran terendah yaitu pada ukuran 60 mesh. Ukuran partikel sangat berpengaruh pada laju pembakaran. Laju pembakaran terendah adalah 1.03 g/ menit pada mesh 60, hal ini disebabkan karena ruang udara dan pori-pori menjadi sangat kecil, sehingga perambatan panas api pembakaran semakin lambat. Ukuran partikel juga mempengaruhi penyalaan pembakaran awal biopelet dikarenakan semakin rapatnya pori-pori membuat distribusi merambatnya temperatur panas tidak mudah hilang.

5. Perbandingan

Penelitian terdahulu telah mengonfirmasi potensi bongkol jagung dan batok kelapa sebagai bahan baku biopelet, serta manfaat zeolit alam sebagai aditif katalitik. Namun, penelitian ini menawarkan novelty dengan secara khusus menyelidiki sinergi kombinasi kedua biomassa tersebut, yang dikarbonisasi pada dua temperatur berbeda (torefraksi 200°C dan pirolisis 450°C), dengan penambahan zeolit alam dan menggunakan tepung tapioka sebagai perekat. Pendekatan kombinasi bahan baku, aditif, dan perlakuan termal ganda ini untuk menganalisis karakteristik pembakaran (laju pembakaran, nilai kalor, dan kadar air) secara komprehensif merupakan hal yang inovatif dan belum banyak dieksplorasi dalam studi-studi sebelumnya, sehingga mengisi celah penting dalam pengembangan biopelet berkualitas tinggi.

6. Kesimpulan

Berdasarkan peneliti yang telah dilakukan penulis didapatkan beberapa kesimpulan,yaitu:

- a. Pada pengujian kadar air biopelet dapat disimpulkan bahwa penambahan zeolit alam berpengaruh terhadap kandungan kadar air.komposisi dengan persentase (Bonggol Jagung 35g mesh 60 dan Batok Kelapa 35g mesh 60 + 15g zeolit alam + 15g tepung tapioka) memiliki kandungan air sebesar (10%). jadi semakin rendah kandungan kadar air pada biopelet maka semakin baik mutu biopelet.
- b. Pada pengujian nilai kalor menggunakan metode Bomb Calorimeter, hasil menunjukkan bahwa komposisi dengan (Bonggol Jagung 35g mesh 60 dan Batok Kelapa 35g mesh 60 + 15g zeolit alam + 15g tepung tapioka) memiliki nilai kalor terendah sebesar 2760.99 Kal/g. jadi semakin banyak campuran zeolit maka nilai kalori yang dihasilkan akan semakin rendah.
- c. Pada pengujian laju pembakaran biopelet dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel /mesh dan penambahan zeolit dengan persentase yang berbeda berpengaruh terhadap nyala api dan lama waktu pembakaran.

Kontribusi Penulis: Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penulis memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan energi terbarukan. Secara ilmiah, penelitian ini mengisi celah pengetahuan dengan menyajikan data eksperimental tentang karakteristik pembakaran biopelet dari kombinasi bongkol jagung dan batok kelapa menggunakan zeolit alam sebagai aditif katalitik, dengan variasi temperatur karbonisasi. Secara praktis, hasil penelitian ini menawarkan solusi pemanfaatan limbah pertanian menjadi biopelet berkualitas, yang dapat mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus menyediakan sumber energi alternatif yang terjangkau bagi masyarakat.

Pendanaan: Penelitian ini dilakukan tanpa dukungan pendanaan eksternal dari lembaga manapun. Seluruh proses penelitian, termasuk perancangan, pengumpulan data, analisis, dan penulisan naskah, sepenuhnya didanai secara mandiri oleh penulis. Pernyataan ini dibuat untuk mengonfirmasi tidak adanya konflik kepentingan keuangan yang dapat mempengaruhi hasil atau interpretasi dari studi ini.

Pernyataan Ketersediaan Data: Penulis menyatakan kesediaan untuk menyediakan data yang mendukung temuan penelitian ini. Data tersebut dapat diakses oleh para pembaca dan peneliti lain dengan menghubungi penulis korespondensi melalui email.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember dan Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah menyediakan akses fasilitas dan peralatan untuk kelancaran penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan saran berharga selama proses penelitian berlangsung.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan apa pun dalam pelaksanaan penelitian maupun penulisan naskah ini. Tidak ada hubungan keuangan atau kepentingan pribadi yang dapat mempengaruhi objektivitas dan hasil penelitian yang dilaporkan.

Referensi

- [1] Agustina, Niken laras. 2019. “No Title” ペインクリニック学会治療指針 2 9:1–9.
- [2] Asri, Saleh. 2013. “Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran pada Biobriket Batang Jagung (Zea mays L.).” Jurnal Teknosains 7:78–89.
- [3] Atikah, Wulan Safrihatini. 2017. “The Potentially of Activated Natural Zeolite from Gunung Kidul as Adsorben to Textile Dyes.” Arena Tekstil 32 (1): 17–24.
- [4] Aulia, Sekar, Zainuddin Ginting, Dede Ibrahim Muthawali, Ishak Ishak, Muhammad Muhammad, Eddi Kurniawan, dan Budhi Santri Kusuma. 2024. “Karakteristik Biopelet Dari Limbah Kulit Kelapa Muda Dan Batok Kelapa Menggunakan Perekat Getah Pinus Sebagai Bahan Bakar Alternatif.” IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA) 3 (1): 119–29. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.61>.

[5] Damayanti, Retno, Novia Lusiana, dan Joko Prasetyo. 2017. "Studi Pengaruh Ukuran Partikel dan Penambahan Perekat Tapioka terhadap Karakteristik Biopelet dari Kulit Coklat (*Theobroma Cacao L.*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan." *Jurnal Teknotan* 11 (1). <https://doi.org/10.24198/jt.vol11n1.6>.

[6] Darma, Frandika, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh Utara, dan Kulit Jagung. 2020. "Jurnal Teknologi Kimia Unimal Jurnal Teknologi Kimia Unimal PENGARUH KOMPOSISI BRIKET BIOMASSA KULIT JAGUNG." *Jurnal Teknik Kimia Unimal* 2 (November): 35–42.

[7] Faizah, Mazidatul, Achmad Rizky, Ahmad Zamroni, dan Umar Khasan. 2022. "Pembuatan Briket sebagai Salah Satu Upaya Pemanfaatan Limbah Pertanian Bonggol Jagung di Desa Tampingmojo." *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3 (2): 65–68. <https://doi.org/10.32764/abdimasper.v3i2.2863>.

[8] Firmansyah, Danny Dwi, Mokh Hairul Bahri, dan Asroful Abidin. 2024. "Analisis Karakteristik Nilai Kalor Biopelet Sekam Padi, dan Tepung Tapioka sebagai Perekat dengan Variasi Zat Aditif Zeolit Alam" 3 (1): 406–12.

[9] Hamidi, Nurkholis, I N G Wardana, dan Denny Widhiyanuriyawan. 2011. "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam." *Rekayasa Mesin* 2 (3): 227–31.

[10] Hamidi, Nurkholis, Lili Yuliati, dan Syahrizal Maulana. 2025. "THE EFFECT OF AIR FLOW RATE ON THE CHARACTERISTICS OF PULVERIZED CATALYTIC" 16 (2): 629–38. <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i2.1856>.

[11] Harjanti, R., Sari., & Halawa, J. 2021. "Pemanfaatan Limbah Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit dan Pabrik Gula sebagai Sumber Energi Biopelet dengan Perekat Tepung Tapioka." *Jurnal Pengelolaan Perkebunan (JPP)*, 1 (1): 1–8.

[12] Hartono, Rudi, dan Endang Suhendi. 2020. "Pemurnian Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Steam Pada Kolom Vigrek Dan Katalis Zeolite Alam Bayah." *Jurnal Integrasi Proses* 9 (1): 20. <https://doi.org/10.36055/jip.v9i1.7912>.

[13] Imam Ardiansyah, Arief Yandra Putra, dan Yelfira Sari. 2022. "Analisis Nilai Kalor Berbagai Jenis Briket Biomassa Secara Kalorimeter." *Journal of Research and Education Chemistry* 4 (2): 120. [https://doi.org/10.25299/jrec.2022.vol4\(2\).10735](https://doi.org/10.25299/jrec.2022.vol4(2).10735).

[14] Imam, Mohammad, Saiful Badri, Mokh Hairul Bahri, dan Asroful Abidin. 2025. "Pengaruh Penambahan Zeolit dan Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Pembakaran Biopelet dari Sabut Kelapa" 3 (1): 222–30.

[15] Industri, Teknologi, Pertanian Fakultas, Ilmu Pangan, Halal Universitas, dan Djuanda Bogor. 2024. "Karakteristik Biopelet dari Serbuk Kayu dan Sekam Padi Characteristics of Biopellets from Wood Powder and Rice Husk Istaniah" 10:262–72.

[16] Isworo, Hajar, Muhammad Khalil, Rusuminto Syahyuniar, Adhiela Noer Syaief, Anggun Angkasa, Bela Persada, Yulima Melsipa Lingga, Kurnia Dwi Artika, dan Teddy Kurniawan. 2025. "ALTERNATIF PELET USE OF CORN COB WASTE FOR ALTERNATIVE PELLET FUEL PENDAHULUAN Energi merupakan komponen utama yang berperan penting dalam aspek kehidupan manusia . Sumber energi utama yang dipergunakan adalah sumber daya alam bahan bakar minyak . Bahan b" 7 (2): 133–44. <https://doi.org/10.20527/jtam>.

[17] Mustamu, Sofia, Dede Hermawan, dan Gustan Pari. 2018. "Karakteristik Biopelet Dari Limbah Padat Kayu Putih Dan Gondorukem." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 36 (3): 191–204. <https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.3.191-204>.

[18] Novita, Sri Aulia, Ahmad Fudholi, dan Doktoral. 2021. "Parameter Operasional Pirolisis Biomassa." *Agroteknika* 4 (1) (1): 53–67.

[19] Nurramadani, Arrahim Hanafi, Hanis Adila Lestari, dan Anri Kurniawan. 2023. "Perbandingan Nyala Antara Biopelet dan Biobriket Dari Limbah Ampas Teh Dengan Campuran Limbah Bonggol Jagung Flame Comparison Between Biopellets and Biobriquettes From Tea Dregs With A Mixture Of Corncob Waste" 2 (1): 42–50.

[20] Nuwa, Nuwa, dan Prihanika Prihanika. 2018. "Tepung Tapioka Sebagai Perekat Dalam Pembuatan Arang Briket." *PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat* 3 (1): 34–38. <https://doi.org/10.33084/pengabdianmu.v3i1.26>.

[21] Parinduri, Luthfi, dan Taufik Parinduri. 2020. "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan." *Journal of Electrical Technology* 5 (2): 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.

[22] Pohan, Gerald Adityo, Febi Rahmadianto, Rosadila Febritasari, Arif Kurniawan, dan Hery Kurniawan. 2022. "Peningkatan Karakteristik Pembakaran pada Pelet Bonggol Jagung dengan menggunakan Perekat Tepung Tapioka." *Prosiding SENIATI* 6 (1): 42–45. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i1.4885>.

[23] Rahman, Septian Arief Nur, Anton Irawan, dan Teguh Kurniawan. 2020. "Konversi Hidrokarbon Menjadi Olefin Melalui Perengkahan Termal Dan Katalitik." *Jurnal Integrasi Proses* 9 (1): 12. <https://doi.org/10.36055/jip.v9i1.8132>.

[24] REINEKE, E. P. 1946. "Thyroprotein in livestock investigations." *M. S. C. veterinarian* 6 (1): 1–8.

[25] Sutaryo, Dandun. 2009. "Penghitungan biomassa."

[26] Tremblay, Jean-marie, Mark D. Regnerus, Sociologia D A Sistema Nacional D E Educação, Fernando Tavares Júnior, José Luís Sanfelice, Fernando Tavares Júnior, Luiz Fernandes Dourado, et al. 2016. "No 主觀的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析 Title." *Educacao e Sociedade* 1 (1): 1689–99. http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Educacao_PereiraAS_1.pdf http://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_11/rbcs11_01.htm http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7845/1/td_2306.pdf <https://direitoufma2010.files.wordpress.com/2010/03/emi>.