Terbit online pada laman web jurnal
http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm

JURNAL TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI PADANG

Vol. 19 No. 1 (2026) 39 - 47 ISSN Media Elektronik: 2655-5670

Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Arang Terhadap Laju Pembakaran Dan Stabilitas Nyala Briket Biomassa Pohon Pinang

Andrey Mirino[1], Jusuf Haurissa[2*], Marthina Mini[3]
[1,2,3]Department of Mechanical Engineering, Universitas Sains dan Teknologi Jayapura
[*2] jhaurissa@yahoo.com

Abstract

The utilization of biomass waste as an alternative energy source can reduce dependence on fossil fuels. Areca palm (Areca catechu) stems are abundant biomass residues in Papua, but their potential as solid fuel remains underutilized. This study investigated the effect of charcoal particle size on the combustion characteristics of areca palm stem briquettes and determined the particle size providing the best thermal performance. Laboratory experiments were conducted using two particle-size variations, 60 mesh and 80 mesh. Briquettes were prepared from 800 g of areca palm stem charcoal and 200 g of tapioca starch binder mixed with 800 mL of hot water, then compressed into 3 × 3 cm cubes at 100 kgf/cm². The evaluation included proximate characteristics, calorific value, combustion temperature, combustion duration, and conductive heat-transfer rate. The results showed that 80-mesh briquettes produced a calorific value of 6021 kcal/kg, a maximum temperature of 660.1 °C, a combustion duration of 2 h 40 min 48 s, and a conductive heat-transfer rate of 13.325 W. In comparison, 60-mesh briquettes produced 5987 kcal/kg, approximately 630 °C, 2 h 26 min 1 s, and 5.366 W, respectively. Although 60-mesh briquettes had slightly lower moisture and ash contents, the finer 80-mesh particles formed a denser and more homogeneous structure, resulting in improved heat retention and thermal performance. Therefore, the 80-mesh particle size is recommended as the optimum formulation for producing areca palm stem charcoal briquettes with better combustion performance and flame stability for locally available biomass-based alternative fuel applications.

Keywords: biomass briquette; areca palm stem; particle size; burning rate; flame stability.

Abstrak

Pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Batang pohon pinang (Areca catechu) merupakan limbah biomassa yang melimpah di Papua, namun potensinya sebagai bahan bakar padat masih belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini menganalisis pengaruh ukuran partikel arang terhadap karakteristik pembakaran briket batang pinang serta menentukan ukuran partikel yang menghasilkan kinerja termal terbaik. Pengujian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan dua variasi ukuran partikel, yaitu mesh 60 dan mesh 80. Briket dibuat dari 800 g arang batang pinang dan 200 g tepung tapioka sebagai perekat yang dicampur dengan 800 mL air panas, kemudian dicetak berbentuk kubus berukuran 3 × 3cm pada tekanan 100 kgf/cm². Evaluasi meliputi karakteristik proksimat, nilai kalor, temperatur pembakaran, durasi pembakaran, dan laju perpindahan panas konduksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket mesh 80 menghasilkan nilai kalor sebesar 6021 kkal/kg, temperatur maksimum 660,1 °C, durasi pembakaran 2 jam 40 menit 48 detik, dan laju perpindahan panas konduksi sebesar 13,325 W. Sebagai perbandingan, briket mesh 60 menghasilkan nilai kalor 5987 kkal/kg, temperatur maksimum sekitar 630 °C, durasi pembakaran 2 jam 26 menit 1 detik, dan laju perpindahan panas konduksi sebesar 5,366 W. Meskipun briket mesh 60 memiliki kadar air dan kadar abu yang sedikit lebih rendah, partikel yang lebih halus pada mesh 80 membentuk struktur yang lebih rapat dan homogen sehingga meningkatkan kemampuan mempertahankan panas dan kinerja termalnya. Oleh karena itu, ukuran partikel mesh 80 direkomendasikan sebagai formulasi optimum untuk menghasilkan briket arang batang pinang dengan kinerja pembakaran dan stabilitas nyala yang lebih baik sebagai bahan bakar alternatif berbasis biomassa lokal.
Kata kunci: briket biomassa; batang pinang; ukuran partikel; laju pembakaran; stabilitas

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri, sementara ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih tinggi. Kondisi ini mendorong pengembangan

sumber energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh dari limbah biomassa lokal [1].

Salah satu bentuk pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar padat adalah briket. Briket biomassa memiliki keunggulan berupa nilai kalor yang relatif tinggi, sisa pembakaran yang sedikit, serta proses pembuatan yang sederhana dan berbiaya rendah [2][3]. Berbagai limbah pertanian dan perkebunan telah diteliti sebagai bahan baku briket, di antaranya tempurung kenari [4], cangkang sawit [5], sabut dan tempurung kelapa [6], maupun campuran biomassa ranting pohon dengan batubara [7].

Pohon pinang (Areca catechu L.) merupakan salah satu tanaman yang buah dan limbahnya melimpah di banyak daerah di Indonesia, namun pemanfaatannya sebagai sumber energi masih terbatas. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah biomassa pinang, baik berupa kulit, serat, maupun buahnya, berpotensi diolah menjadi briket arang dengan kualitas yang memenuhi standar bahan bakar alternatif [8],[9]. Pemanfaatan limbah pinang untuk keperluan lain seperti biosorben logam berat juga telah dilaporkan, yang menegaskan kandungan selulosa dan karbon di dalamnya cukup tinggi untuk diolah lebih lanjut [10].

Kualitas dan performa pembakaran briket biomassa sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik bahan baku, salah satunya ukuran partikel arang. Ukuran partikel menentukan porositas, densitas, serta luas kontak antara bahan bakar dan udara pembakaran, yang pada akhirnya memengaruhi laju pembakaran dan stabilitas nyala api briket [11],[12]. Semakin kecil ukuran partikel umumnya meningkatkan kerapatan dan kekuatan briket, tetapi juga dapat mengubah pola aliran udara di dalam briket sehingga berdampak pada kecepatan dan kestabilan nyala [13],[14].

Selain ukuran partikel, jenis dan komposisi bahan perekat turut memengaruhi karakteristik pembakaran briket. Penelitian mengenai variasi bahan perekat, seperti sagu dan tapioka, menunjukkan bahwa jenis perekat memengaruhi kadar air, kadar abu, dan laju pembakaran briket yang dihasilkan [15],[16],[17]. Proses karbonisasi dan torefaksi bahan baku sebelum pencetakan briket juga terbukti memengaruhi nilai kalor dan kestabilan nyala, sebagaimana ditunjukkan pada pengolahan kayu jabon [18], maupun serat pinang [9].

Di sisi lain, performa pembakaran briket juga tidak lepas dari aspek perpindahan panas, khususnya perpindahan panas secara konduksi dari briket menuju media yang dipanaskan [19],[20]. Kajian mengenai laju perpindahan panas konduksi pada kompor briket menunjukkan bahwa jarak pembakaran dan sifat konduktif media penghantar panas berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu selama proses pembakaran berlangsung [21],[22]. Pemahaman terhadap mekanisme konduksi ini menjadi penting untuk menjelaskan bagaimana ukuran partikel arang, melalui perubahan densitas dan porositas briket, dapat memengaruhi laju hantaran panas dan stabilitas nyala briket biomassa.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai pengaruh variasi ukuran partikel arang terhadap laju pembakaran dan stabilitas nyala briket biomassa pohon pinang menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data eksperimental mengenai hubungan antara ukuran partikel, laju pembakaran, dan perpindahan panas konduksi pada briket biomassa pinang, sekaligus mendukung upaya pemanfaatan limbah biomassa lokal sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

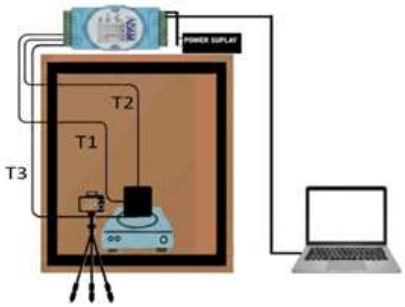
Penelitian ini bersifat eksperimental dan dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik termal briket yang terbuat dari batang pinang. Variabel yang diamati meliputi: suhu pembakaran, waktu penyalaan, dimensi briket, dan laju perpindahan panas melalui konduksi. Briket yang digunakan memiliki dimensi tetap (persegi 3×3 cm), dan dua jenis diuji dengan ukuran mesh yang berbeda (mesh 60 dan mesh 80). Bahan baku terdiri dari 800 gram arang batang pohon pinang yang dicampur dengan 200 gram tepung tapioka sebagai pengikat, dengan penambahan air panas 800 ml.

Analisis proksimat juga dilakukan untuk menentukan parameter kualitas bahan bakar, termasuk kadar air, kadar abu, zat mudah menguap, dan karbon tetap. Selain itu, analisis laju pembakaran dilakukan untuk membandingkan kinerja termal di antara kedua jenis bahan bakar berbasis ukuran mesh tersebut.

Desain eksperimental menggunakan ukuran mesh dan suhu pembakaran sebagai variabel bebas, sedangkan dimensi briket dikendalikan, dan variabel terikat adalah perpindahan panas melalui konduksi.

Suhu dicatat secara terus menerus pada tiga titik pengukuran: T1 (bagian tengah briket selama penyalaan), T2 (bagian atas), dan T3 (bagian bawah saat pembakaran berlangsung). Pengaturan ini memberikan gambaran komprehensif tentang distribusi suhu vertikal selama pembakaran.

Gambar 1. Briket 3×3 cm



Gambar 2. Posisi pengukuran T1, T2, T3

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pencatat data (Gambar 3), termokopel sebagai sensor suhu (Gambar 4), dan kompor listrik sebagai sumber panas (Gambar 5), masing-masingdisertai dengan spesifikasi teknis singkat.

Gambar 3. Data Logger

Advantech USB-4018 merupakan alat akuisisi data (data acquisition/DAQ) berbasis USB yang digunakan dalam penelitian ini untuk merekam data suhu selama proses pembakaran briket. Termokopel Tipe K digunakan sebagai sensor suhu utama, yang dirancang khusus untuk memantau dan mengukur dinamika suhu, terutama dalam menganalisis laju pembakaran briket secara akurat.

Termokopel digunakan untuk mengukur suhu pembakaran dan distribusi panas briket, dengan rentang pengukuran antara 0°C dan 1000°C. Sensor yang digunakan adalah termokopel Tipe K (NiCr–NiSi atau Chromel–Alumel), dilengkapi dengan konektor mini plug Tipe K yang kompatibel dengan perangkat DAQ USB-4018 (Gambar 4).

Gambar 4. Termokopel

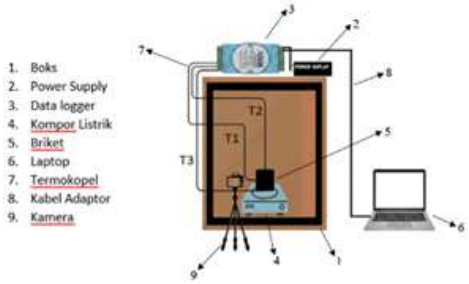
Proses pemanasan awal dilakukan menggunakan kompor listrik 600 watt, yang berfungsi sebagai sumber panas untuk mentransfer energi termal ke briket, sehingga proses pembakaran dapat terjadi secara optimal (Gambar 5).

Gambar 5. Kompor Listrik

Instalasi Pengambilan Data

Untuk memperoleh data akurat tentang laju perpindahan panas briket, peneliti merancang sebuah perangkat eksperimental khusus yang memungkinkan pengukuran suhu pada berbagai titik kritis selama proses pembakaran. Susunan eksperimental tersebut dirancang untuk mensimulasikan pembakaran aktual. Kondisi tersebut memungkinkan pemantauan distribusi panas vertikal secara real-time melalui briket.

Dengan menggunakan termokopel Tipe K yang dipasang di tiga titik berbeda (bagian tengah T1, bagian atas T2, dan bagian bawah T3 dari briket) dan mengintegrasikannya dengan sistem perekaman suhu berbasis pencatat data (DAQ USB-4018), peneliti mampu menganalisis variasi suhu dari waktu ke waktu (Gambar 6).



Gambar 6.

$$q = -k.A\left(\frac{dt}{dx}\right) q = -k.A\left(\frac{dt}{dx}\right)$$

Persamaan (1)

q = Laju perpindahan panas konduksi (Watt)

k = konduktivitas termal bahan (Batang Pinang) (w/m.K)

A = luas penampang (m^2)

dt/dx = gradien suhu (perubahan suhu pada arah x)

Δt = Perbedaan suhu °C

ΔX = Jarak permukaan tinggi briket (cm)

Susunan ini dirancang tidak hanya untuk mengamati suhu permukaan tetapi juga untuk mengevaluasi laju konduksi panas internal, yang sangat dipengaruhi oleh sifat fisik briket seperti densitas, kadar air, dan struktur pori. Dengan kompor listrik sebagai sumber panas terkontrol, energi termal secara stabil ditransfer ke bagian bawah briket, memulai proses pembakaran dan memungkinkan studi termal dilakukan secara

terkontrol dan berulang. Penataan instrumen dan sensor yang sistematis memberikan dasar penting untuk menghitung dan membandingkan kinerja termal setiap sampel briket dengan ukuran mesh yang berbeda. Dalam penelitian ini, peneliti menentukan laju perpindahan panas melalui konduksi dengan menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Penelitian

a. Proses Pembakaran

Proses pembakaran dalam penelitian ini dilakukan pada dua jenis sampel briket, masing-masing dengan ukuran mesh yang berbeda yaitu mesh 60 dan mesh 80. Setiap sampel ditempatkan di atas pelat logam yang telah dipanaskan hingga suhu 340°C, yang berfungsi sebagai sumber panas utama. Pemanasan ini bertujuan untuk memulai pembakaran briket melalui perpindahan panas konduktif dari pelat ke permukaan briket. Pengukuran suhu dicatat secara terus menerus menggunakan sensor termokopel, mulai dari saat briket pertama kali bersentuhan dengan pelat panas hingga api pada briket benar-benar padam.

Pemantauan suhu bertujuan untuk merekam profil suhu selama proses pembakaran, meliputi fase penyalaan, pembakaran aktif, dan pemadaman. Data suhu yang diperoleh memberikan wawasan berharga tentang respons termal briket terhadap berbagai kadar air dan membantu dalam menganalisis efisiensi pembakaran dan karakteristik perpindahan panas dari setiap sampel. Informasi ini sangat berguna untuk pengembangan briket biomassa yang lebih efisien dan ramah lingkungan, khususnya untuk aplikasi energi alternatif di daerah pedesaan.

b. Pengujian Analisis Proksimat Briket

Data rinci mengenai kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Laboratorium Analisis Proksimat Briket batang pinang

		Komposisi(%)			
No	Kode Sampel	Air (%)	Abu (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)
1	Briket Batang Pinang Mesh 60	20,20	8,95	27,06	43,78
2	Briket Batang Pinang Mesh 80	20,34	9,82	24,94	44,90

c. Hasil Uji Nilai Kalor

Data rinci dari uji laboratorium nilai kalor untuk ketiga model sampel briket disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji Laboratorium Nilai Kalor Briket

No	Kode Sampel	Energi (Kkal/Kg)
1	Briket Batang Pinang (Mesh 60)	5987
2	Briket Batang Pinang (Mesh 80)	6021

d. Perpindahan Panas Konduksi

Hasil perhitungan perpindahan panas konduksi untuk Briket batang Pinang dengan ukuran mesh 60 dan mesh 80, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Konduksi

No	Bahan	Perpindahan Panas Konduksi (watt)
1	Briket Batang Pinang (Mesh 60)	207.87 Watt
2	Briket Batang Pinang (Mesh 80)	209.27 Watt

Penjelasan Perhitungan Konduksi Panas

Nilai perpindahan panas konduksi pada Tabel 3 dihitung menggunakan Persamaan (1) dengan parameter sebagai berikut: konduktivitas termal briket batang pinang k = 0,26 W/m.K, luas penampang A = 0,09 m2, dan jarak ΔX = 0,03 m yang diukur di antara titik-titik termokopel (T1 dan T2) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan parameter tersebut, perbedaan suhu (ΔT) yang menghasilkan laju konduksi masing-masing sampel diperoleh melalui penurunan Persamaan (1), yaitu $\Delta T = q \bullet \Delta X/(k \bullet A) =$

Mesh 60: $\Delta T = (268{,}3 \times 0{,}03) / (0{,}26 \times 0{,}09) = 207.87$ Watt

Mesh 80: $\Delta T = (266{,}5 \times 0{,}03) / (0{,}26 \times 0{,}09) = 209{,}27$ Watt

Gradien suhu efektif pada briket Mesh 80 (209.27 W) lebih besar dibandingkan Mesh 60 (207.87 W), sejalan dengan struktur briket Mesh 80 yang lebih rapat dan homogen sehingga lebih efektif menghantarkan dan menahan panas dari pelat pemanas menuju bagian dalam briket.

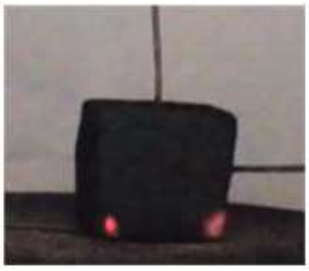
Pembahasan

a. Waktu Penyalaan Briket

Proses pembakaran awal menunjukkan bahwa ketika pelat logam mencapai suhu target 340°C, energi termal yang tinggi mulai berpindah secara efektif ke permukaan briket. Kontak langsung antara briket dan pelat logam menghasilkan perpindahan panas melalui mekanisme konduksi termal, di mana energi bergerak dari pelat bersuhu tinggi ke bahan briket tanpa adanya perpindahan massa. Perpindahan panas ini secara bertahap meningkatkan suhu permukaan briket hingga mencapai titik di mana penyalaan dimulai. Pengamatan ini menunjukkan bahwa tahap awal pembakaran sangat dipengaruhi oleh efektivitas konduksi panas dari pelat logam ke briket, yang menentukan seberapa cepat briket dapat mencapai

kondisi termal yang diperlukan untuk memulai reaksi oksidasi dari kandungan karbonnya.

Sebagai hasil dari perpindahan panas ini, bagian bawah briket lambat laun mengalami kenaikan suhu, ditandai dengan perubahan warna menjadi kemerahan (membara) sebagai tanda awal penyalaan (Gambar 7). Selanjutnya, panas mulai merambat menuju bagian tengah struktur briket (Gambar 8), memicu pembakaran menyeluruh (Gambar 9). Tahap ini sangat penting dalam menentukan efisiensi pembakaran, karena kemampuan briket untuk menyerap dan mendistribusikan panas sangat dipengaruhi oleh sifat fisiknya, seperti densitas, kadar air, dan struktur pori. Dokumentasi visual dari proses ini mengilustrasikan posisi briket dari tahap pemanasan awal hingga titik di mana briket terbakar sepenuhnya.



Gambar 7. Proses Perambatan Api dari Pelat ke Briket

Gambar 8. Proses Perambatan Pembakaran di Bagian Tengah

Gambar 9. Proses Perambatan Api dari Tengah ke Permukaan Briket

b. Durasi Pembakaran

Berdasarkan hasil pengamatan eksperimen (Tabel 4), waktu pembakaran terlama tercatat pada briket batang pinang dengan ukuran mesh 80, yaitu selama 2 jam, 40 menit, dan 48 detik. Sementara itu, briket dengan ukuran mesh 60 menunjukkan durasi pembakaran yang lebih singkat yaitu 2 jam, 26 menit, dan 01 detik. Perbedaan durasi pembakaran ini menunjukkan bahwa ukuran mesh pada briket memainkan peran penting dalam menentukan laju pembakaran dan kestabilan nyala api.

Tabel 4. Durasi Pembakaran Briket batang pinang

No	Ukuran Briket Mesh	Waktu Pembakaran (jam, menit detik)
1	60	2:36:01
2	80	2:40:48

Pada awal pembakaran, adanya api atau bara merah di bagian bawah briket berfungsi sebagai indikator visual yang signifikan. Bara ini menandakan bahwa energi termal yang ditransfer dari pelat logam telah mencapai ambang batas yang diperlukan untuk memicu dekomposisi termal komponen organik di dalam briket. Proses ini dikenal sebagai pirolisis awal, di mana senyawa volatil mulai terurai dan melepaskan gas-gas yang mudah terbakar. Reaksi tersebut kemudian merambat ke seluruh bagian briket hingga mencapai permukaan atas, menghasilkan pembakaran yang lengkap dan efisien.

Temuan ini mendukung hipotesis bahwa ukuran partikel (mesh) dalam komposisi briket secara langsung memengaruhi durasi pembakaran, laju perpindahan panas, dan efisiensi termal. Briket dengan ukuran mesh lebih besar/halus (Mesh 80) memiliki waktu pembakaran yang lebih lama (2 jam 40 menit 48 detik). Partikel yang sangat halus meningkatkan luas permukaan spesifik secara signifikan, sehingga mempercepat laju reaksi pembakaran dan memicu pelepasan energi panas secara lebih instan, meskipun hal ini membuat briket lebih cepat habis terbakar.

Sebaliknya, briket dengan ukuran mesh lebih kasar (Mesh 60) memiliki waktu pembakaran yang lebih singkat (2 jam 26 menit 1 detik). Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel yang lebih besar, yang menghasilkan luas permukaan spesifik kontak oksigen lebih kecil per satuan massa, sehingga laju reaksi oksidasi berlangsung secara lebih bertahap dan terkendali.

Selama proses pembakaran, perpindahan panas di dalam briket terjadi secara bertahap dari bawah ke atas melalui mekanisme konduksi termal pada material padat. Perpindahan panas ini membentuk gradien suhu vertikal, memberikan informasi penting tentang respon termal material briket. Untuk memetakan distribusi suhu di sepanjang proses pembakaran, pengukuran terus-menerus dilakukan pada tiga titik berbeda menggunakan sensor termokopel yang terhubung ke data logger. Pengaturan ini memungkinkan akuisisi data suhu secara waktu nyata (real-time) di sepanjang durasi pembakaran.

Di antara ketiga titik pengukuran tersebut, sensor suhu yang ditempatkan di bagian tengah briket memainkan peran paling signifikan, karena mewakili suhu inti (core temperature) material. Suhu inti ini menjadi indikator kunci untuk menilai seberapa efektif panas

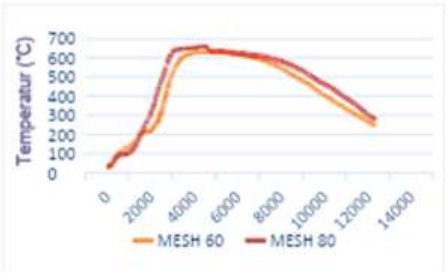
telah menembus dan menyebar di dalam struktur briket. Suhu inti dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan sifat fisik dan struktural briket, seperti ukuran dan distribusi pori, densitas, serta homogenitas susunan ukuran partikel (mesh) arang. Karakteristik tersebut menentukan konduktivitas termal dan kapasitas panas spesifik briket, yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi perpindahan panas dan stabilitas pembakaran.

Pada kondisi eksperimen dan komposisi yang digunakan dalam penelitian ini, Mesh 80 menunjukkan kinerja termal keseluruhan yang lebih baik, meskipun memiliki kadar air dan kadar abu sedikit lebih tinggi. Sebagaimana ditunjukkan oleh laju perpindahan panas konduksi tertinggi (209.27 Watt). Kerapatan struktur ini juga meningkatkan kandungan karbon terikat sehingga briket mampu mempertahankan pembakaran dalam durasi yang lebih lama. Sementara itu, briket dengan ukuran partikel lebih kasar (Mesh 60) memiliki struktur yang lebih berongga dengan luas permukaan spesifik kontak oksigen yang lebih kecil per satuan massa, sehingga laju konduksi panasnya sedikit lebih rendah (207.87 Watt) dan durasi pembakarannya lebih singkat. Oleh karena itu, memantau suhu inti sangat penting untuk mengevaluasi kinerja termal dan mengoptimalkan desain material briket biomassa berbasis variasi ukuran partikel.

c. Laju Pembakaran

Laju pembakaran briket dengan variasi ukuran partikel (mesh) diamati mulai dari tahap penyalaan hingga akhir fase pembakaran. Fenomena ini dianalisis dengan mempertimbangkan pengaruh dimensi fisik (ukuran butiran) briket terhadap laju pembakaran. Pola hubungan antara suhu dan waktu penyalaan untuk briket yang terbuat dari batang pinang dengan variasi Mesh 60 dan Mesh 80 menunjukkan bahwa ukuran partikel dan struktur pori dalam campuran memegang peranan penting dalam memengaruhi distribusi panas serta efisiensi pembakaran.

Data ini divisualisasikan dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara perubahan suhu dan waktu untuk setiap variasi mesh, yang mencerminkan karakteristik termal dan respon pembakaran masing-masing sampel. Ukuran partikel (mesh) dalam campuran briket memengaruhi mikrostrukturnya, termasuk kerapatan (density) dan porositas ruang antar butir, yang sangat menentukan seberapa cepat panas dapat merambat serta seberapa optimal oksigen dapat bersirkulasi ke dalam material guna mendukung pembakaran sempurna.



Gambar 10. Hubungan Suhu dan Waktu Penyalaan Briket (Variasi Ukuran Mesh)

Berikut adalah grafik hasil pengolahan data terbaru yang merepresentasikan perbandingan profil suhu (°C) terhadap waktu (Detik) pada briket Mesh 60 dan Mesh 80, penjelasannya:

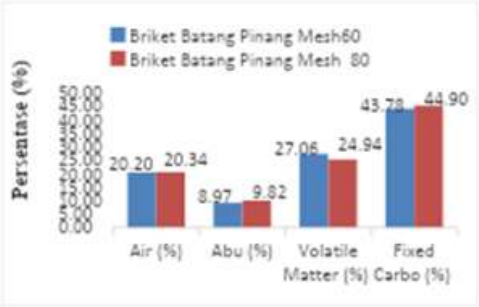
Pada fase awal pembakaran (sekitar detik ke-1 hingga 1800-an), kedua kurva menunjukkan kenaikan suhu yang relatif berdekatan, bahkan briket Mesh 60 sempat naik sedikit lebih cepat dibanding Mesh 80 pada rentang waktu paling awal. Namun memasuki fase pertengahan (sekitar detik ke-1800 hingga 3200), suhu briket Mesh 80 melonjak lebih tajam dan mendahului Mesh 60. Briket Mesh 80 kemudian mencapai suhu puncak tertinggi, yaitu sekitar 660°C, sedangkan Mesh 60 hanya mencapai puncak sekitar 630°C. Setelah melewati titik puncak (fase stabil, sekitar detik ke-3200 hingga 5000), kedua kurva bergerak relatif berdampingan dengan suhu yang cenderung stabil di kisaran 600–650°C, meski Mesh 80 tetap konsisten sedikit lebih tinggi. Memasuki fase akhir/pendinginan (setelah detik ke-6000 hingga akhir pengukuran), kedua kurva menurun secara bertahap, namun garis Mesh 80 tetap berada di atas Mesh 60 hingga akhir pengukuran menandakan briket Mesh 80 mempertahankan panas lebih lama dan melepaskan energi secara lebih bertahap dibandingkan Mesh 60 panasnya berkurang.

d. Urutan Proses Pembakaran

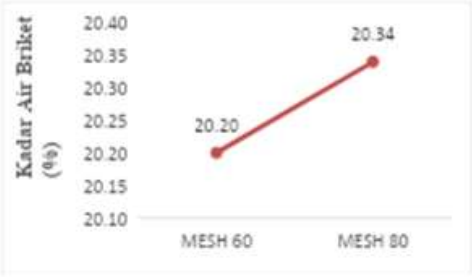
Proses pembakaran dalam penelitian ini didokumentasikan secara berkala dengan interval 5 menit. Sebanyak dua jenis sampel telah diuji. Untuk tujuan ilustrasi, visualisasi tahap pembakaran disajikan menggunakan satu sampel sebagai perwakilan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Gambar 11. Urutan Proses Pembakaran

Berdasarkan hasil uji laboratorium dari kedua sampel briket batang pinang, briket dengan ukuran Mesh 60 menunjukkan karakteristik proksimat yang sedikit lebih baik dibandingkan Mesh 80 jika ditinjau dari parameter kadar air, kadar abu, serta kandungan zat terbang (Gambar 12). Briket batang pinang dengan ukuran Mesh 60 memberikan kadar air yang lebih rendah (20,20% dibanding 20,34% pada Mesh 80) serta persentase kadar abu yang lebih minim (8,95% dibanding 9,82% pada Mesh 80). Rendahnya kadar abu ini sangat krusial karena mencegah penumpukan sisa pembakaran yang dapat menyumbat aliran udara pada briket. Selain itu, kandungan zat terbang (volatile matter) yang lebih tinggi pada Mesh 60 (27,06% dibanding 24,94% pada Mesh 80) mendukung kemudahan briket untuk menyala awal. Meskipun demikian, sebagaimana ditunjukkan pada hasil nilai kalor (Tabel 2) dan durasi pembakaran (Tabel 4), briket Mesh 80 tetap unggul dari sisi efisiensi termal dan kestabilan nyala dalam durasi yang lebih panjang, sehingga ukuran Mesh 80 tetap direkomendasikan sebagai formulasi optimum secara keseluruhan dengan mempertimbangkan trade-off pada parameter proksimatnya.



Gambar 12. Persentase Kadar Air, Kadar Abu, Zat Terbang, dan Karbon Terikat



Gambar 13. Hubungan Antara Ukuran Mesh dan Kadar Air Briket Batang Pinang

Pada Gambar 13, grafik tersebut memperlihatkan hubungan antara variasi ukuran partikel (mesh) yang digunakan dalam pembuatan briket batang pinang dengan kadar air akhir yang dikandung oleh briket. Terlihat jelas bahwa:

1. Ukuran partikel memengaruhi kemudahan pelepasan air: Semakin besar ukuran partikel (mesh lebih kecil/kasar), kadar air akhir briket cenderung lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh pori-pori makro pada struktur kasar yang memperlancar jalur penguapan air selama proses pengeringan.
2. Mesh 60 menghasilkan kadar air yang lebih rendah: Penggunaan ukuran Mesh 60 menghasilkan kadar air sebesar 20,20%, yang lebih rendah dibandingkan Mesh 80. Penurunan kadar air ini sangat menguntungkan karena meminimalkan energi panas yang terbuang untuk menguapkan air bebas pada awal pembakaran, sehingga efisiensi pembakaran menjadi lebih optimal.
3. Mesh 80 mempertahankan lebih banyak air: Ukuran partikel yang sangat halus pada Mesh 80 menghasilkan kerapatan massa yang tinggi dan memampatkan rongga antarbutir. Ketiadaan ruang sirkulasi ini menghambat pelepasan uap air terperangkap selama proses pengeringan, sehingga menyisakan kadar air yang sedikit lebih tinggi, yaitu 20,34%.

e. Nilai Kalor

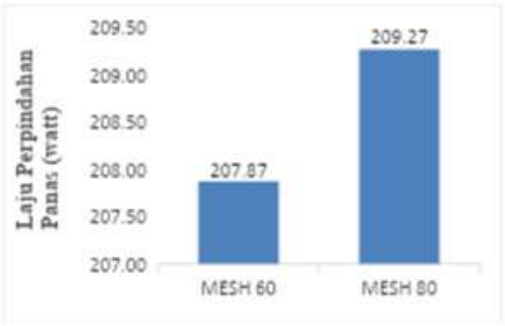
Berdasarkan hasil uji nilai kalor dan analisis komposisi kimia, briket batang pinang dengan variasi ukuran Mesh 80 terbukti menghasilkan nilai kalor yang sedikit lebih tinggi dan paling efisien secara termal. Briket dengan ukuran partikel halus (Mesh 80) menghasilkan 6021 Kkal/kg, sedangkan briket berukuran Mesh 60 menghasilkan 5987 Kkal/kg (Gambar 14). Oleh karena itu, optimasi ukuran partikel di atas Mesh 80 direkomendasikan sebagai formulasi ukuran optimum untuk memproduksi briket kayu pinang berkualitas tinggi menggunakan perekat berbahan dasar Tapioca.

Gambar 14. Nilai Kalor

Nilai kalor adalah ukuran jumlah energi panas yang dihasilkan ketika 1 kg bahan bakar terbakar sempurna. Satuan yang umum digunakan adalah Kkal/kg (kilokalori per kilogram). Nilai kalor merupakan faktor kunci dalam menentukan apakah suatu bahan bakar efisien atau tidak. Menurut standar nasional (SNI 01-6235-2000), nilai kalor minimum yang dapat diterima untuk briket kayu adalah minimal 5000 Kkal/kg. Oleh karena itu, kedua sampel briket ukuran Mesh 60 maupun Mesh 80 telah berhasil memenuhi standar tersebut.

Nilai kalor berkorelasi positif dengan kandungan karbon terikat (fixed carbon) serta kerapatan briket. Sampel Mesh 80 memiliki kerapatan massa dan ikatan

antar partikel yang lebih rapat, sehingga kandungan karbon terikatnya cenderung lebih tinggi yang berdampak langsung pada nilai kalor optimalnya (6021 Kkal/kg). Sebaliknya, ukuran Mesh 60 menghasilkan rongga udara yang lebih besar di dalam struktur briket, menghasilkan nilai kalor sebesar 5987 Kkal/kg. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi ukuran mesh sangat krusial untuk memproduksi briket yang efisien dan ekonomis sebagai sumber bahan bakar alternatif.



Gambar 15. Perpindahan Panas Konduksi

Berdasarkan Gambar 15, terlihat bahwa laju perpindahan panas konduksi pada briket dengan variasi Mesh 80 mencapai 209.27 Watt, lebih tinggi dibandingkan dengan briket Mesh 60 yang menghasilkan laju perpindahan panas sebesar 207.87 Watt.

Hasil pengujian ini sangat konsisten dengan data nilai kalor briket kayu pinang, di mana sampel Mesh 80 memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 6021 Kkal/kg, diikuti oleh briket Mesh 60 sebesar 5987 Kkal/kg. Hubungan antara nilai kalor dan laju perpindahan panas konduksi menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar, semakin besar jumlah energi panas yang dilepaskan selama pembakaran berlangsung, sehingga memungkinkan proses perpindahan panas menjadi lebih cepat dan efisien.

Briket batang pinang berukuran Mesh 80 dengan nilai kalor tertinggi menghasilkan densitas energi panas yang lebih padat, yang secara langsung mempercepat laju konduksi panas melalui material. Sebaliknya, briket Mesh 60 yang memiliki partikel lebih renggang menghasilkan ikatan antar-pori yang lebih besar, sehingga menyisakan sedikit lebih banyak hambatan termal dan menghasilkan laju perpindahan panas konduksi yang relatif lebih rendah. Hal ini menegaskan bahwa nilai kalor serta struktur kerapatan partikel (mesh) bahan bakar merupakan faktor kunci dalam menentukan efisiensi perpindahan panas selama pembakaran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa briket batang pinang dengan variasi ukuran partikel halus (Mesh 80) memberikan kinerja paling optimal dibandingkan dengan variasi lainnya. Nilai kalornya mencapai 6021 Kkal/kg, secara signifikan melebihi standar minimum energi biomassa menurut SNI 01-6235-2000 (≥5000 Kkal/kg), sehingga diklasifikasikan sebagai briket berkualitas tinggi.

Dengan demikian, penelitian ini mengonfirmasi bahwa optimasi ukuran mesh serta kontrol kadar air yang ketat merupakan faktor utama dalam meningkatkan efisiensi pembakaran dan nilai kalor, memposisikan formulasi briket kayu pinang berbasis ukuran partikel halus sebagai formulasi paling efisien yang memenuhi standar nasional maupun tolok ukur penelitian biomassa lainnya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi ukuran partikel arang batang pinang (Mesh 60 dan Mesh 80) berpengaruh signifikan terhadap kinerja pembakaran briket biomassa. Briket Mesh 80 menghasilkan nilai kalor tertinggi (6021 Kkal/kg) dibandingkan Mesh 60 (5987 Kkal/kg), dengan kedua sampel telah memenuhi standar SNI 01-6235-2000 (≥5000 Kkal/kg). Laju perpindahan panas konduksi pada Mesh 80 juga jauh lebih tinggi (209.27 Watt) dibandingkan Mesh 60 (207.87 Watt), sejalan dengan durasi pembakaran Mesh 80 yang lebih lama (2 jam 40 menit 48 detik dibandingkan 2 jam 26 menit 1 detik pada Mesh 60) dan suhu penyalaan puncak yang lebih tinggi (660,1°C dibandingkan sekitar 630°C pada Mesh 60).

Meskipun demikian, hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa Mesh 60 memiliki kadar air (20,20% vs 20,34%) dan kadar abu (8,95% vs 9,82%) yang lebih rendah, serta kandungan zat terbang yang lebih tinggi (27,06% vs 24,94%), sehingga lebih mudah menyala pada tahap awal pembakaran. Secara keseluruhan, ukuran partikel yang lebih halus (Mesh 80) terbukti menghasilkan struktur briket yang lebih rapat dan homogen, sehingga meningkatkan konduktivitas termal, efisiensi pembakaran, dan stabilitas nyala, meskipun terdapat trade-off berupa kadar air dan abu yang sedikit lebih tinggi.

Berdasarkan temuan ini, ukuran Mesh 80 direkomendasikan sebagai formulasi optimum untuk produksi briket arang batang pinang berperekat tapioka, khususnya untuk aplikasi energi alternatif berbasis biomassa lokal di wilayah dengan ketersediaan limbah batang pinang, seperti Papua. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengkaji variasi komposisi perekat dan tekanan kompresi guna menekan kadar air dan kadar abu pada briket ukuran partikel halus, serta melakukan pengujian pada skala pembakaran yang lebih besar untuk memvalidasi konsistensi performa termalnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Roman, K., Grzegorzewska, E., 2024. Biomass Briquetting Technology for Sustainable Energy Solutions: Innovations in Forest Biomass Utilization. *Energies*, 17 (24), pp.1-24.

[2] Ariyanto, E., Karim, M.A, Firmansyah, A., 2014. Biobriket Enceng Gondok (Eichhornia Crassipes)

Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan. *Reaktor*, 15 (1), pp. 59, 2014, pp.59-63.

[3] Jamilatun, S., 2012. Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu. *Jurnal Rekaya Proses*, 2 (2), pp. 37–40.

[4] Asmiani, N., Nawir, A., Az, M. A., Bakri, S., Budiman, A. A., Yusuf, F. N., 2022. Analisis Pemanfaatan Briket Tempurung Kenari Sebagai bahan Bakar. *Jurnal Geomine*, 10 (1), pp.75–79.

[5] Kalsum, U., Ibrahim, A., 2023. the Influence of Particle Size and Composition on the Quality of Briquettes From a Mixture of Coal and Palm Shells. 14 (02), pp. 136–146.

[6] O. Nurhilal., 2018. Pengaruh Komposisi Campuran Sabut dan Tempurung Kelapa terhadap Nilai Kalor Biobriket dengan Perekat Molase. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2 (1), pp. 8–14.

[7] Maktub, Z.A., Lanya, B., Kuncoro, S., 2026. Karakteristik Fisik dan Performa Pembakaran Briket Biocoal Berbasis Campuran Biomassa Ranting Pohon dan Batubara pada Berbagai Komposisi. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering,* 5 (2), pp. 181–192.

[8] Iskandar, T., Rofiatin, U., 2017. Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12 (1), pp. 28–34.

[9] Silak, K., Haurissa, J., Mini, M., 2025. Analysis Of The Impact Of Different Water Volumes In The Mixture Of Charcoal And Tapioca Flour On The Combustion Rate Of Biomass Briquettes. *ROTOR*, 18 (2), pp.28-35.

[10] Rosalina, F., Febriadi, I., 2007. Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Pinang dan Batang Sagu dalam Pembuatan Pupuk Organik Cair. *Median*, 11 (3), pp. 13–18.

[11] Tarka, A.j., Anebi, E.L., Bobby, M.K., 2023. Evaluation of physical and combustion characteristics of briquettes of palm fruit fibre and maize chaff using cassava extract as binder. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 9 (2), pp.351–358.

[12] Nazari, M. M., San, C. P., Atan, N. A., 2019. Combustion performance of biomass composite briquette from rice husk and banana residue. *IJASEIT*, 9 (2), pp. 455–460.

[13] As-silmy, M. A., Pramana, Y., Pratama, W. R., Zharif, E. A., 2026. Analisis Struktur dan Sifat Termal Briket Biomassa Terhadap Efisiensi Pembakaran : Analisis Bibliometrik. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 9 (2), pp. 1592-1601.

[14] Shobar, S., Sribudiani, E., Somadona, S., 2020. Karakteristik Briket Arang dari Limbah Kulit Buah Pinang dengan Berbagai Komposisi Jenis Perekat (Characteristics of Charcoal Briquette from the Skin Waste of Areca catechu Fruit with Various Compositions of Adhesive Types). *Jurnal Sylva Lestari*, 8 (2), pp. 189–196..

[15] Smith, H., Idrus, S., 2017. Pengaruh Penggunaan Perekat Sagu Dan Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Dari Biomassa Limbah Penyulingan Minyak Kayu Putih Di Maluku. *Majalah BIAM*, 13 (2), pp. 21.

[16] Sulistyanto, A., 2017. Pengaruh Variasi Bahan Perekat Terhadap Laju Pembakaran Biobriket Campuran Batubara Dan Sabut Kelap. *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, 8 (2), pp. 45–52.

[17] Tyassena, F. Y. P., Pertiwi, S., Prasetia, F., 2025. Pengaruh Variasi Jenis Perekat Terhadap Kualitas Briket Dari Kulit Rambutan. *Jurnal Teknol. Kim. Miner*, 4 (1), pp. 15–22.

[18] Qanitah, Q., Akbar, Y. D. F., Ulma, Z., Hananto, Y., 2023. Peningkatan Kualitas Briket Ampas Kopi Menggunakan Perekat Kulit Jeruk Melalui Metode Torefaksi Terbaik. *J. Eng. Sci. Techno,* 1 (1), pp. 32–43.

[19] Bakar, R. Y. H., Nurfirman, E., 2022. Analisis Jenis Cairan Pendingin Terhadap Laju Perpindahan Kalor Pada Sistem Pendingin Radiator. *Saintesa*, 2 (1), pp. 1-9.

[20] Haurissa, J., Foisa, B,, 2023. Efek Perekat Getah Damar Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Dalam Proses Pembakaran Briket Sarang Lebah Ampas Sagu. *Jurnal Dinamis*, 20 (2), pp. 92–98.

[21] Riupassa, H.., Nanlohy, H. Y., 2024. Pengaruh Penambahan Adjuster Pada Kompor Briket Terhadap Jarak Pembakaran Dan Laju Perpindahan Panas Konduksi. *Jurnal Rekayasa Mesin,* 15 (1), pp.83–92.

[22] Arrahma, D. Z., Tasya, N.A., Febriana, I., Bow, Y., Ningsih, A.S., 2021. Analisis Kinerja Kompor Briket Ditinjau Dari Variasi Udara Masuk Dan Jumlah Lubang Pada Ruang Bakar. *J. Pendidik. dan Teknol. Indones*, 1 (11), pp. 439–446.