

KARAKTERISTIK ARANG DARI LIMBAH KAYU DAN TEMPURUNG KELAPA DENGAN METODE PIROLISIS SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Restu Priyo S¹⁾ ✉, Bambang Sugiantoro²⁾.

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin,
STT WIWOROTOMO PURWOKERTO
Jl. semingkir No. 01 Purwokerto,
Banyumas, Jawa Tengah, INDONESIA -
53134
restupriyo8@gmail.com

²⁾ Jurusan Teknik Mesin,
STT WIWOROTOMO PURWOKERTO
Jl. semingkir No. 01 Purwokerto,
Banyumas, Jawa Tengah, INDONESIA -
53134
blotech.machining@gmail.com

Abstract

This study focuses on identifying the physical and chemical properties of charcoal produced from the pyrolysis of wood and coconut shell. The pyrolysis process was carried out at specific temperatures and durations to obtain high-quality charcoal. An experimental method was applied, where the process took place in the absence of oxygen for 6 hours 30 minutes on wood and 8 hours on coconut shells, conducted at the Laboratory of Wiworotomo Engineering College, Purwokerto. Data collection included testing for yield, moisture content, ash content, combustion rate, and examining the macrostructure of the resulting charcoal. The findings revealed that wood charcoal produced a yield of 66.5%, while coconut shell charcoal reached 55.2%. The complete burning times recorded were 244 minutes for wood and 305 minutes for coconut shell. Both materials showed moisture content levels below 10%, with wood charcoal having a higher ash content compared to coconut shell. Observation of the macrostructure indicated that wood charcoal had a denser and coarser texture, while coconut shell charcoal appeared finer and more porous. In summary, the type of raw material and the conditions of the pyrolysis process significantly affect the characteristics of the charcoal. Both wood and coconut shell charcoals demonstrate potential as efficient, high-quality fuels, offering an environmentally friendly and sustainable energy source from organic waste.

Keywords: Pyrolysis, biomass, coconut shell, hardwood, charcoal briquettes, SRF, PLTU.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia yang terus meningkat mendorong upaya pencarian sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Biomassa merupakan salah satu solusi potensial karena sifatnya terbarukan, mudah diperoleh, serta melimpah di Indonesia dengan potensi mencapai sekitar 123,5 juta ton per tahun atau setara 1455,97 GJ/tahun¹. Namun, pemanfaatan biomassa masih terbatas dan umumnya dilakukan melalui pembakaran langsung yang menghasilkan nilai kalor rendah, densitas kecil, serta emisi polutan tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi besar biomassa sebagai sumber energi dengan pemanfaatannya yang belum optimal. Salah satu contoh nyata adalah limbah serbuk gergaji dan potongan kayu dari industri pembuatan kapal pinisi di Sulawesi Selatan yang seringkali hanya dibakar atau dibuang tanpa pemanfaatan lebih lanjut.

Penelitian sebelumnya telah banyak mengkaji konversi biomassa melalui proses pembakaran atau gasifikasi, namun kajian mengenai pemanfaatan limbah kayu lokal dengan teknologi pirolisis masih terbatas. Salah satunya Penelitian yang dilakukan oleh². Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah kayu pinisi melalui proses pirolisis untuk menghasilkan arang, asap cair, dan gas yang memiliki nilai ekonomi serta ramah lingkungan. Penerapan teknologi ini diharapkan mampu mengurangi pencemaran akibat pembakaran langsung, meningkatkan nilai tambah limbah organik, serta berkontribusi terhadap penyediaan energi alternatif yang berkelanjutan.

2. METODE DAN BAHAN

a. Metode

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan bentuk penelitian yang dilakukan secara sistematis, terstruktur, serta terperinci. Pada pelaksanaannya, metode riset ini fokus pada penggunaan angka, tabel, grafik, dan diagram untuk menampilkan hasil data atau informasi yang diperoleh. Teknik pengambilan data penelitian berdasarkan arang bioamassa yang dihasilkan. Pengujian ini mencakup karakteristik fisik seperti analisis foto makro untuk melihat struktur permukaan, pengujian laju pembakaran untuk menilai efisiensi energi, serta pengukuran kadar air dan kadar abu guna menentukan kualitas dan kestabilan arang.

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa kayu bekas dan tempurung kelapa yang diperoleh dari limbah rumah tangga serta industri lokal di sekitar area penelitian. Pemilihan bahan tersebut dilakukan karena mudah didapat, murah, dan memiliki potensi tinggi sebagai sumber energi alternatif.

Gambar 1 Limbah Kayu Keras



Gambar 2 Limbah Tempurung Kelapa



2.1. Pengujian Karakteristik Arang Hasil Pirolisis Biomassa

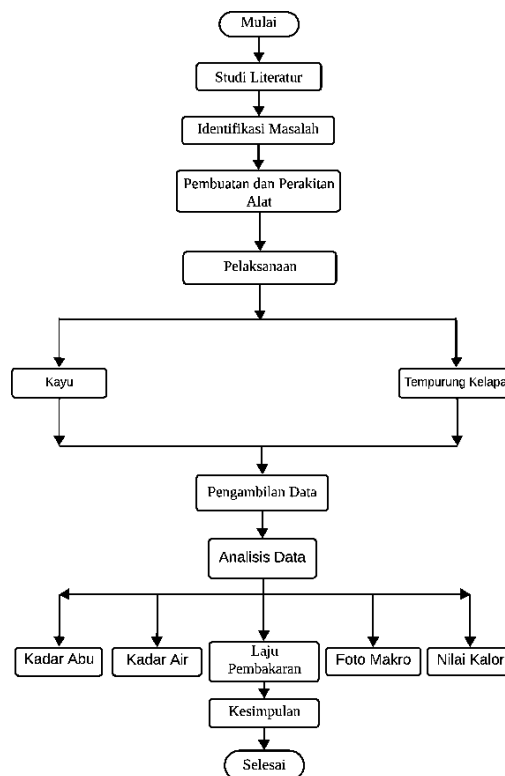
Pengukuran karakteristik arang dilakukan untuk menilai kualitas produk sekaligus memastikan kesesuaiannya dengan standar mutu arang SNI 01-6235-2000⁴. Analisis foto makro digunakan untuk mengamati morfologi permukaan arang, termasuk distribusi pori, kerapatan, dan homogenitas struktur. Arang dengan permukaan padat dan pori yang merata umumnya memiliki pembakaran lebih stabil serta nilai kalor yang tinggi, sehingga sesuai dengan kriteria mutu yang diharapkan. Uji laju pembakaran dilakukan untuk menilai kecepatan arang saat terbakar, di mana arang yang baik memiliki laju pembakaran seimbang, tidak terlalu cepat agar panas tidak terbuang sia-sia, namun juga tidak terlalu lambat agar energi yang dihasilkan tetap efisien.

Selain itu, kadar air merupakan parameter penting karena sangat berpengaruh terhadap kemudahan penyalaan dan stabilitas api. Standar SNI mensyaratkan kadar air arang berada di bawah 8–10% agar nilai kalor tetap tinggi dan asap yang dihasilkan minimal. Sementara itu, kadar abu diuji untuk mengetahui jumlah residu padat setelah pembakaran⁵. Menurut SNI, arang dengan kadar abu rendah (kurang dari 8%) dianggap berkualitas baik karena menghasilkan energi lebih efisien dan lebih mudah dalam penanganan sisa pembakaran. Dengan demikian, pengujian karakteristik ini tidak hanya berfungsi untuk menilai mutu produk, tetapi juga untuk memastikan arang layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang efisien, ramah lingkungan, dan sesuai standar nasional.

2.2. Diagram Alur Penelitian

1. Mulai
Proses penelitian diawali dengan tahapan inisiasi penelitian.
2. Studi Literatur
Melakukan kajian pustaka untuk mencari referensi terkait teori, metode, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik pirolisis dan arang biomassa.
3. Identifikasi Masalah
Menentukan permasalahan utama yang akan diteliti, yaitu kebutuhan energi alternatif serta pemanfaatan limbah biomassa seperti kayu dan tempurung kelapa.

4. **Pembuatan dan Perakitan Alat**
Menyiapkan serta merakit peralatan yang dibutuhkan, termasuk reaktor pirolisis, cetakan arang, dan instrumen uji.
5. **Persiapan Bahan**
Menyiapkan bahan baku penelitian berupa kayu dan tempurung kelapa yang akan diproses melalui pirolisis.
6. **Pelaksanaan Proses Pirolisis**
Melakukan pirolisis pada bahan baku di dalam reaktor dengan kondisi minim oksigen untuk menghasilkan arang.
7. **Pengumpulan Data**
Arang yang dihasilkan diuji dengan berbagai metode untuk mendapatkan data karakteristik.
8. **Uji Kadar Abu**
Mengukur jumlah residu padat yang tertinggal setelah pembakaran arang.
9. **Uji Laju Pembakaran**
Menilai kecepatan arang terbakar, yang berhubungan dengan efisiensi energi.
10. **Uji Kadar Air**
Menentukan kadar air yang tersisa dalam arang karena berpengaruh pada kemudahan penyalaan dan nilai kalor.
11. **Uji Foto Makro**
Mengamati morfologi permukaan arang (pori, kepadatan, homogenitas) melalui teknik foto makro.
12. **Analisa Data**
Data hasil pengujian diolah dan dianalisis untuk mengetahui karakteristik arang arang secara menyeluruh.
13. **Kesimpulan**
Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis terkait kualitas dan potensi arang arang sebagai bahan bakar alternatif.
14. **Selesai**
Proses penelitian diakhiri setelah kesimpulan diperoleh.



Gambar 3 Flow Chart

2.3. Langkah Proses Pirolisis

1. Bahan baku berupa tempurung kelapa dan kayu keras dibersihkan dari kotoran, dijemur sekitar lima hari hingga kadar air berkurang, lalu ditimbang untuk memastikan rasio bahan dan konsistensi proses sebelum masuk tahap pirolisis.
2. Bahan yang telah ditimbang lalu dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Penataan dilakukan merata agar pemanasan optimal, sehingga proses dekomposisi termokimia berjalan efektif dan terkendali.
3. Pada tahap pengarangan, bahan dipanaskan secara bertahap dalam kondisi minim oksigen. Proses ini mengubah biomassa menjadi arang, gas, dan tar dengan kualitas baik serta nilai kalor tinggi.



Gambar 4 Proses Pengarangan

4. Selama proses pirolisis, suhu reaktor, tekanan, dan suhu kondensor dipantau setiap 30 menit untuk memastikan proses berlangsung optimal dan aman. Pemantauan ini penting agar kenaikan suhu bertahap, tekanan tetap stabil, serta proses pendinginan pada kondensor berjalan baik sehingga asap cair dapat terbentuk dengan kualitas optimal.
5. Setelah pirolisis selesai (6 jam 30 menit untuk kayu, 8 jam untuk tempurung kelapa), reaktor dibiarkan dingin hingga suhu ruang. Selanjutnya, arang dapat dikeluarkan dengan struktur berpori dan kandungan karbon tinggi. Lalu setelah arang dikeluarkan timbang untuk menghitung nilai yield sebagai parameter keberhasilan proses.



Gambar 6 Hasil Arang Pirolisis

6. Pengujian kadar abu dilakukan dengan membakar sampel arang hingga habis sehingga hanya tersisa mineral yang tidak terbakar. Residu abu ditimbang untuk menghitung persentasenya, dengan waktu pembakaran kayu 244 menit dan tempurung kelapa 305 menit.



Gambar 8 Hasil pengujian Kadar Abu



Gambar 7 Foto Pengujian kadar Abu

7. Pengujian laju pembakaran dilakukan dengan menimbang sampel arang terlebih dahulu, kemudian arang dibakar hingga habis sambil dicatat menggunakan stopwatch untuk mengetahui durasi pembakaran. Proses ini penting guna menilai kestabilan panas yang dihasilkan. Hasil menunjukkan kayu terbakar selama 244 menit, sedangkan tempurung kelapa mencapai 305 menit dengan nyala api lebih konsisten.
8. Pengujian kadar air dilakukan dengan cara menimbang sampel arang sebelum dipanaskan, lalu memanaskannya hingga seluruh uap air hilang. Setelah pendinginan, arang ditimbang kembali untuk mengetahui perbedaan berat. Nilai kadar air ini berpengaruh langsung terhadap kemudahan penyalaan, stabilitas pembakaran, dan efisiensi energi yang dihasilkan pada proses penggunaan arang sebagai bahan bakar alternatif.
9. Foto makro arang dilakukan menggunakan kamera makro atau mikroskop digital. Pengujian foto makro pada arang dilakukan dengan menggunakan kamera makro maupun mikroskop digital untuk mengamati morfologi permukaan, distribusi pori, serta adanya retakan pada sampel arang. Proses pengambilan gambar dilakukan pada tingkat pembesaran berbeda, yaitu 100x, 150x, dan 200x, untuk memperoleh detail yang lebih menyeluruh. Setiap tahap pengamatan dilengkapi dengan pencatatan kondisi sampel, tingkat pembesaran, serta pencahayaan secara sistematis agar hasil dokumentasi lebih valid, akurat, dan dapat digunakan sebagai dasar analisis kualitas arang.



Gambar 9 Pengujian Kadar abu

2.4. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan uji coba pada proses pirolisis biomassa berupa tempurung kelapa dan kayu keras untuk menghasilkan arang. Data yang dikumpulkan dalam pengujian mencakup kadar air, kadar abu, laju pembakaran, serta analisis foto *makro* guna mengetahui karakteristik fisik dan kualitas energi dari arang yang dihasilkan.

3. DATA HASIL PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan mengetahui perbedaan jenis bahan baku, yaitu kayu dan tempurung kelapa, memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik arang yang dihasilkan melalui proses pirolisis. Proses pirolisis terbukti mampu mengonversi biomassa menjadi arang berkualitas sekaligus menghasilkan produk samping berupa asap cair yang berpotensi dimanfaatkan serta mendukung upaya pengurangan pencemaran lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa arang kayu memiliki nilai yield sebesar 42,66%, lebih tinggi dibandingkan arang tempurung kelapa sebesar 40,8%. Namun demikian, arang tempurung kelapa memiliki keunggulan pada kadar abu yang lebih rendah, yakni 7,74% dibandingkan dengan kayu sebesar 8,02%, sehingga berpotensi menghasilkan panas yang lebih optimal saat digunakan sebagai bahan bakar.

Karakteristik lain yang turut membedakan kedua jenis arang adalah laju pembakaran, kadar air, dan struktur pori. Arang tempurung kelapa menunjukkan laju pembakaran yang lebih tinggi, sedangkan kayu memiliki kadar air yang relatif lebih besar, yaitu 7% dibandingkan tempurung kelapa 4,86%. Dari sisi morfologi, arang kayu memperlihatkan pori-pori besar, memanjang, dan tidak seragam, sehingga permukaannya tampak kasar. Sebaliknya, arang tempurung kelapa memiliki pori-pori yang kecil, padat, dan seragam menyerupai struktur sarang lebah mikroskopis. Kepadatan pori ini menjadikan arang tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang lebih besar per satuan volume, sehingga berpotensi lebih efektif untuk aplikasi adsorpsi seperti penjernihan air maupun filter udara.

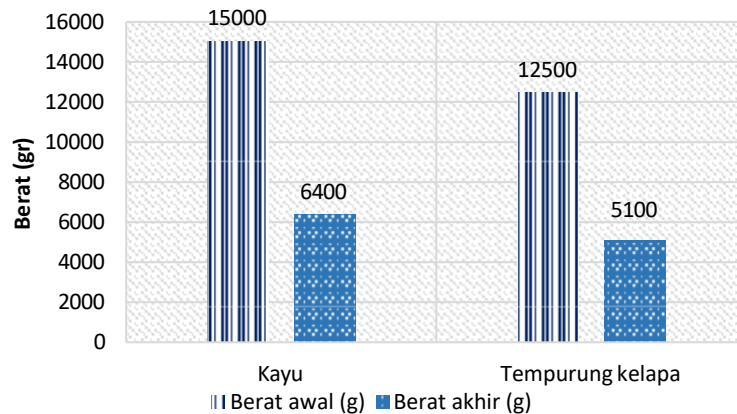
3.1. Analisa Data dan Pembahasan

3.1.1. Nilai Yield

Tabel 1. *Nilai Yield*

No	Jenis	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Nilai <i>yield</i> (%)
1	Kayu	15000	6400	42,66
2	Tempurung kelapa	12500	5100	40,8

Nilai *yield* merupakan persentase massa arang yang dihasilkan setelah proses pengarangan atau pirolisis dibandingkan dengan berat awal bahan baku. Parameter ini merefleksikan tingkat efisiensi konversi biomassa menjadi arang, sehingga semakin besar nilainya berarti semakin banyak bahan yang berhasil bertahan setelah proses karbonisasi. Hasil penelitian menunjukkan kayu memiliki nilai *yield* lebih tinggi (42,66%) dibandingkan tempurung kelapa (40,8%). Jika dibandingkan dengan jurnal ⁶ menghasilkan *yield* arang sekam padi sebesar 30,25–38,47%, nilai *yield* pada penelitian ini lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kayu dan tempurung kelapa memiliki efisiensi konversi lebih baik karena kandungan lignin dan kerapatan seratnya lebih tinggi. Namun, *yield* yang besar tidak selalu mencerminkan kualitas pembakaran terbaik, sehingga perlu dianalisis lebih lanjut melalui nilai kalor, kadar abu, dan kecepatan pembakaran.



Grafik 1 *Nilai Yield*

Perbedaan *yield* ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis biomassa, kadar air awal, struktur serat, serta kandungan kimia bahan baku. Dalam pembuatan arang, nilai *yield* yang tinggi memang menghasilkan arang dalam jumlah lebih banyak, namun kualitas pembakaran tetap perlu dianalisis lebih lanjut melalui parameter lain, misalnya nilai kalor dan kecepatan pembakaran.

3.1.2. Karakteristik Suhu dan Tekanan Operasional

Tabel 2. *Karakteristik Suhu dan Tekanan Operasional*

No	Jenis	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Tekanan (PSI)	Thermometer Kondensor (°C)	
					IN	OUT
1	Kayu Keras	30	80	0	48.9	36.5
2		60	100	0	83.2	40.0
3		90	100	0	84.0	42.9
4		120	100	0	84.0	42.6
5		150	100	0	82.1	42.2
6		180	110	0	80.3	41.7
7		210	110	0	75.8	40.6
8		240	115	0	79.1	40.9
9		270	120	0	69.8	40.6
10		300	150	0	52.9	42.6
11		330	170	0	67.1	43.3
12		360	170	0	46.1	44.9

No	Jenis	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	Tekanan (PSI)	Thermometer Kondensor (°C)	
					IN	OUT
1	Tempurung Kelapa	30	90	0	36.4	35.4
2		60	100	0	73.0	38.9
3		90	100	0	65.8	40.0
4		120	110	0	63.5	39.1
5		150	120	0	49.1	38.3
6		180	120	0	55.1	38.9
7		210	125	0	39.3	37.1
8		240	140	0	41.4	42.1
9		270	150	0	41.3	42.9
10		300	160	0	43.4	42.6
11		330	160	0	42.5	42.3
12		360	160	0	42.3	41.5
13		390	160	0	82.1	44.0
14		420	155	0	81.0	43.3
15		450	150	0	75.4	43.5
16		480	150	0	70.9	43.6

Data pengukuran pada kolom waktu diambil setiap interval 30 menit, dimulai dari menit ke-30 hingga menit ke-480 sebagai penanda durasi serta perkembangan proses eksperimen yang sedang berlangsung. Hasil pengamatan pada kolom temperatur reaktor menunjukkan adanya peningkatan suhu secara bertahap dari 90°C hingga mencapai titik maksimum sebesar 160°C, sebelum akhirnya relatif stabil pada rentang tersebut. Kenaikan suhu ini mengindikasikan bahwa proses pemanasan di dalam sistem berlangsung secara konsisten hingga mendekati kondisi optimum pirolisis yang diharapkan. Sementara itu, pengukuran pada kolom tekanan menunjukkan nilai konstan 0 PSI sepanjang eksperimen, yang dapat ditafsirkan bahwa sistem beroperasi dalam kondisi tekanan atmosfer normal atau tekanan internal yang sangat rendah sehingga tercatat, jika Dibandingkan dengan jurnal ⁷ yang mengkaji pengaruh suhu 200–400°C dan tekanan tinggi terhadap peningkatan kerapatan serta nilai kalor arang serbuk meranti merah, penelitian ini berbeda pada kondisi operasional. Penelitian ini dilakukan pada tekanan atmosfer dan suhu maksimum 160°C, dengan fokus pada stabilitas proses pirolisis dan efisiensi kondensor, bukan pada karakteristik fisik arang.

Selanjutnya, pada kolom temperatur kondensor terdapat dua titik pengukuran, yaitu suhu masuk (Tin) dan suhu keluar (Tout). Nilai Tin menunjukkan variasi yang cukup signifikan, dimulai dari 36,4°C dan meningkat hingga 81,0°C pada menit ke-420, sedangkan Tout lebih stabil dengan kisaran 35,4°C hingga 44,0°C. Perbedaan suhu antara Tin dan Tout (ΔT) menggambarkan proses perpindahan panas yang terjadi pada kondensor, di mana penurunan suhu fluida setelah melewati sistem menegaskan bahwa terjadi pelepasan panas secara efektif. Hal ini menunjukkan bahwa kondensor berfungsi dengan baik dalam menyerap panas dari fluida sehingga berperan penting dalam menjaga stabilitas termal sistem selama proses pirolisis berlangsung. Dengan demikian, kinerja kondensor yang optimal tidak hanya memastikan efisiensi proses penyerapan panas, tetapi juga berkontribusi pada kelancaran reaksi pirolisis, mencegah kenaikan suhu berlebih, serta meningkatkan keamanan dan konsistensi kualitas arang yang dihasilkan.

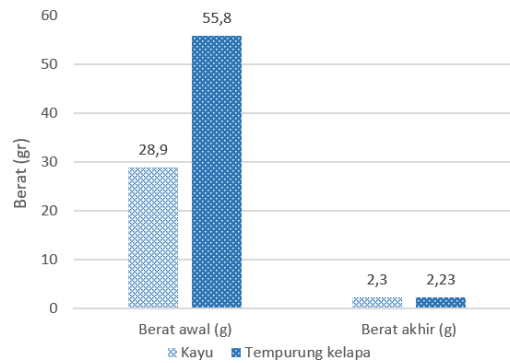
3.1.3. Laju Pembakaran

Tabel 3. Laju Pembakaran

No	Jenis	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Waktu (menit)	Hasil (g/menit)
1	Kayu	28,9	2,3	244	0,1
2	Tempurung kelapa	55,8	2,23	305	0,17

Laju pembakaran merupakan parameter penting yang digunakan untuk menilai tingkat kecepatan suatu bahan dalam mengalami kehilangan massa akibat proses oksidasi termal. Pada sampel arang kayu, massa awal sebesar 28,9 gram berkurang menjadi 2,3 gram setelah proses pembakaran selama 244 menit. Perhitungan menunjukkan laju pembakaran rata-rata sebesar 0,1 g/menit, yang mengindikasikan bahwa setiap menit

terjadi penurunan massa arang kayu sebesar 0,1 gram. Hal ini menunjukkan bahwa arang kayu terbakar dengan laju relatif lambat dan stabil, sehingga lebih cocok digunakan untuk kebutuhan pembakaran jangka panjang, seperti pada proses pemanasan berkelanjutan. Karakteristik ini memberikan keuntungan dari sisi efisiensi energi karena panas dapat dipertahankan lebih lama, meskipun laju pelepasan energi berlangsung secara bertahap.



Grafik 3 Laju Pembakaran

Sebaliknya, arang tempurung kelapa dengan massa awal 55,8 gram menyisakan 2,23 gram setelah 305 menit pembakaran. Laju pembakaran yang diperoleh sebesar 0,17 g/menit, lebih tinggi dibandingkan arang kayu. Kondisi ini memperlihatkan bahwa arang tempurung kelapa mengalami degradasi massa lebih cepat, sehingga proses pembakarannya berlangsung lebih intensif. Implikasi dari perbedaan laju ini adalah arang kayu cenderung lebih tahan lama dalam proses pembakaran, sementara arang tempurung kelapa lebih efisien dalam menghasilkan panas dalam waktu yang lebih singkat.

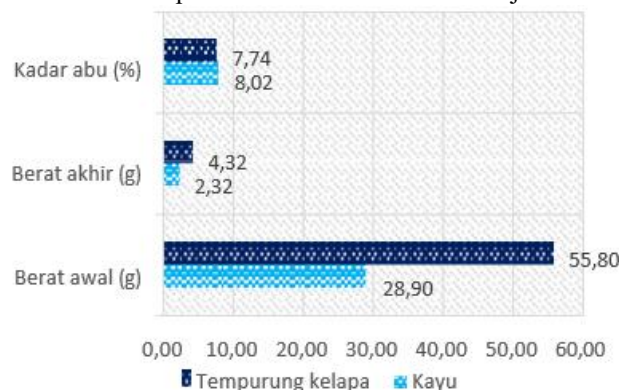
Jika dibandingkan dengan penelitian⁸ yang meneliti karakteristik arang campuran Akasia daun kecil (*Acacia auriculiformis*) dan Alaban (*Vitex pubescens*), laju pembakaran arang dalam penelitian ini tergolong lebih lambat. Sugiyati dkk. melaporkan bahwa arang campuran tersebut memiliki laju pembakaran berkisar antara 0,12–0,18 g/menit, yang menunjukkan pembakaran lebih cepat akibat kandungan volatil dan porositas yang lebih tinggi. Dengan demikian, arang kayu pada penelitian ini memiliki keunggulan dari segi efisiensi panas dan durasi pembakaran, meskipun menghasilkan pelepasan energi yang lebih lambat dibandingkan arang campuran Akasia–Alaban.

3.1.4. Kadar Abu

Tabel 4. Kadar abu

No	Jenis	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Kadar abu (%)
1	Kayu	28,90	2,32	8,02
2	Tempurung kelapa	55,80	4,32	7,74

Kadar abu merupakan persentase residu padat yang tertinggal setelah suatu bahan mengalami pembakaran sempurna. Pada sampel arang kayu dengan massa awal 28,90 gram, setelah dibakar hingga habis, diperoleh sisa abu sebesar 2,32 gram. Berdasarkan perhitungan, nilai kadar abu yang dihasilkan adalah 8,02%, yang didapat dari perbandingan berat abu terhadap berat awal sampel dikalikan 100%. Hasil ini mengindikasikan bahwa sekitar 8,02% dari total massa arang kayu merupakan kandungan abu, sehingga dapat menggambarkan tingkat kemurnian serta efisiensi energi bahan bakar padat ini secara lebih jelas dalam proses pembakaran.





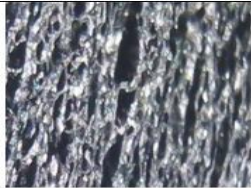

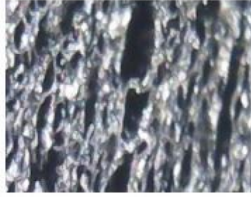

Grafik 4 Komparasi Pengujian Kadar Air

Sementara itu, pada sampel arang tempurung kelapa dengan massa awal 55,80 gram, setelah proses pembakaran sempurna, tersisa abu sebanyak 4,32 gram. Nilai kadar abu yang dihasilkan adalah 7,74%, sehingga dapat dinyatakan bahwa hanya sebagian kecil dari massa arang tempurung kelapa berupa abu. Perbandingan kedua hasil menunjukkan bahwa arang tempurung kelapa memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan arang kayu, karena kadar abu yang lebih rendah mencerminkan tingkat kemurnian yang lebih tinggi serta potensi menghasilkan panas lebih optimal saat digunakan, terutama dalam aplikasi energi terbarukan maupun kebutuhan rumah tangga sehari-hari.

Jika dibandingkan dengan penelitian ⁹ yang mengidentifikasi karakteristik arang kelapa untuk pasar ekspor Arab Saudi, hasil penelitian ini tergolong sejalan. Haryati dan Amir melaporkan bahwa arang kelapa dengan kadar abu kurang dari 8% memiliki nilai jual dan kualitas ekspor yang tinggi karena menghasilkan panas lebih besar dan meninggalkan residu minimal. Dengan demikian, kadar abu arang tempurung kelapa dalam penelitian ini (7,74%) sudah memenuhi kriteria arang berkualitas baik dan berpotensi sebagai bahan bakar alternatif yang efisien dan bernilai komersial tinggi.

3.1.5. Foto Makro

Tabel 5. Foto Makro

No	Pembesaran lensa	Kayu	Tempurung kelapa
1	100x		
2	150x		
3	200x		

Analisis hasil foto makro pada arang kayu menunjukkan bahwa pada pembesaran 100x hingga 200x, struktur pori-pori cenderung berukuran lebih besar, berbentuk memanjang menyerupai kanal, dan menampilkan pola yang tidak seragam. Pori-pori tersebut merupakan bekas serat kayu yang terbakar sehingga menghasilkan permukaan yang lebih kasar dengan celah-celah jelas akibat proses karbonisasi. Pada pembesaran lebih tinggi, terlihat variasi bentuk dan ukuran pori, bahkan beberapa saling terhubung, serta adanya fragmen kecil yang pecah akibat paparan panas. Hal ini mencerminkan karakteristik arang kayu yang berpori lebih longgar dan permukaannya relatif tidak homogen.

Sebaliknya, arang tempurung kelapa pada berbagai tingkat pembesaran menampilkan pori-pori berukuran sangat kecil, rapat, serta tersusun padat tanpa pola yang teratur. Pada pembesaran 150x dan 200x, kerapatan pori semakin jelas, di mana strukturnya menyerupai sarang lebah mikroskopis yang halus dan homogen. Permukaan padat dengan pori-pori seragam ini menunjukkan bahwa arang tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang besar dalam volume kecil. Kondisi tersebut membuatnya lebih potensial dalam aplikasi seperti adsorpsi maupun pemanfaatan energi, karena strukturnya memungkinkan penyerapan panas dan partikel dengan lebih efektif dibandingkan arang kayu.

Jika dibandingkan dengan jurnal ¹⁰ yang menganalisis sifat fisika dan kimia arang berbasis limbah biji salak, hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan morfologi yang searah. Pada penelitian tersebut, struktur arang dengan pori-pori berukuran halus dan tersusun rapat terbukti memberikan peningkatan signifikan terhadap kemampuan adsorpsi serta efisiensi pembakaran, dibandingkan dengan arang yang memiliki pori-pori

berukuran besar dan tidak seragam. Fenomena serupa teramati dalam hasil pengamatan mikroskopis pada penelitian ini, di mana arang tempurung kelapa memperlihatkan pori-pori berukuran kecil, padat, dan homogen, sedangkan arang kayu menunjukkan morfologi berpori besar dengan bentuk kanal yang tidak beraturan.

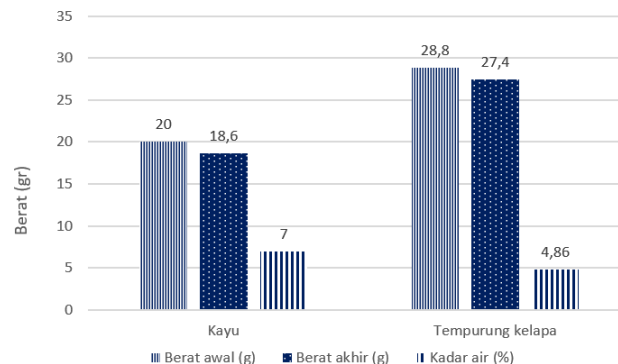
Perbandingan tersebut mengindikasikan bahwa tingkat kerapatan dan keseragaman struktur mikro berkontribusi langsung terhadap kualitas termal dan karakteristik adsorptif arang. Dengan demikian, hasil foto makro pada penelitian ini memperkuat temuan Harahap dan Jumiati bahwa struktur pori yang rapat dan homogen merupakan salah satu indikator utama arang dengan mutu fisik dan fungsional yang lebih tinggi.

3.1.6. Kadar Air

Tabel 6 Kadar air

No	Jenis	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Kadar air (%)
1	Kayu	20	18,6	7
2	Tempurung kelapa	28,8	27,4	4,86

Kadar air merupakan parameter yang menyatakan persentase kandungan air dalam suatu material, yang dihitung berdasarkan selisih antara massa awal sebelum proses pengeringan dan massa akhir setelah pengeringan. Pada sampel arang kayu dengan massa awal 20 gram, setelah pengeringan diperoleh massa akhir sebesar 18,6 gram, sehingga kadar airnya ditentukan sebesar 7%. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 7% dari total massa arang kayu tersusun atas kandungan air.



Sementara itu, sampel arang tempurung kelapa dengan massa awal 28,8 gram setelah proses pengeringan mengalami penurunan massa menjadi 27,4 gram. Berdasarkan hasil perhitungan, kadar airnya diperoleh sebesar 4,86%. Nilai ini mengindikasikan bahwa hanya 4,86% dari total massa tempurung kelapa mengandung air. Jika dibandingkan, arang kayu memiliki kadar air yang lebih tinggi daripada arang tempurung kelapa, yang berarti arang kayu cenderung menyimpan kelembapan lebih besar. Kondisi ini dapat memengaruhi sifat pembakaran, di mana kadar air yang lebih rendah pada tempurung kelapa mendukung kualitas pembakaran yang lebih efisien.

Jika dibandingkan dengan jurnal ¹¹ yang melakukan tinjauan mengenai potensi dan tantangan biomassa sebagai bahan bakar pada PLTU dan PLTBm, hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dalam konteks hubungan antara kadar air dan efisiensi termal bahan bakar. Dalam studi tersebut dijelaskan bahwa kandungan air yang rendah pada biomassa berkontribusi signifikan terhadap peningkatan nilai kalor, efisiensi konversi energi, serta penurunan emisi hasil pembakaran. Temuan tersebut sejalan dengan hasil pengujian pada penelitian ini, di mana arang tempurung kelapa menunjukkan kadar air lebih rendah (4,86%) dibandingkan arang kayu (7%), yang menandakan tingkat kelembapan lebih minimal dan karakteristik pembakaran yang lebih efisien.

4. KESIMPULAN

Penelitian Karakteristik dan Produk Proses Pirolisis Biomassa untuk Kebutuhan PLTU Solid Recovery Fuel (SRF) Arang yang telah dilakukan oleh penulis memperoleh hasil sebagai berikut :

1. Perbedaan bahan baku, yaitu kayu dan tempurung kelapa, memengaruhi karakteristik

- arang hasil pirolisis, baik dari aspek fisik maupun kimia. Arang kayu menghasilkan nilai yield sebesar 42,66% dengan kadar abu 8,02% dan kadar air 7%. Struktur porinya cenderung besar, memanjang, dan kurang seragam, sehingga permukaan terlihat kasar. Hal ini membuat arang kayu memiliki efisiensi pengarangan yang relatif baik, namun kandungan air dan abu yang lebih tinggi menurunkan kualitas pembakarannya.
2. Arang tempurung kelapa memiliki nilai yield sebesar 40,8% dengan kadar abu 7,74% dan kadar air 4,86%, yang lebih rendah dibandingkan arang kayu. Selain itu, arang tempurung kelapa memiliki pori-pori yang sangat kecil, rapat, dan homogen menyerupai sarang lebah mikroskopis. Struktur ini menjadikan luas permukaan arang lebih besar per unit volume, sehingga lebih efektif untuk aplikasi adsorpsi. Dengan laju pembakaran 0,17 g/menit, arang tempurung kelapa terbakar lebih cepat dan berpotensi menghasilkan panas lebih optimal.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pembimbing Bambang Sugiantoro S.T., M.T. yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel pada jurnal ITEKS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wahyudi dan D. Tanggasari, "Uji karakteristik arang serbuk gergaji kayu jati dengan pencampuran ampas tebu berdasarkan jumlah variasi perekat (tepung beras ketan)," *Sultra J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, hal. 17–28, 2023, doi: 10.54297/sjme.v2i1.426.
- [2] F. Maharani, M. Muhammad, J. Jalaluddin, E. Kurniawan, dan Z. Ginting, "Pembuatan Arang dari Arang Serbuk Gergaji Kayu dengan Perekat Tepung Singkong sebagai Bahan Bakar Alternatif," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 11, no. 2, hal. 207–216, 2022, doi: 10.29103/jtku.v11i2.9458.
- [3] J. F. N. Maurits, A. F. Walukow, dan J. Siallagan, "Pemanfaatan Limbah Industri Pengolahan Kayu Sebagai Sumber Energi Arang Alternatif di Kota Jayapura," *J. Biol. Papua*, vol. 15, no. 1, hal. 39–47, 2023, doi: 10.31957/jbp.2700.
- [4] P. Wirawan, F. Fatriani, dan H. Arryati, "KARAKTERISTIK ARANG ARANG ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) DAN KAYU ULIN (*Eusideroxylon zwageri*)," *J. Sylva Sci.*, vol. 4, no. 4, hal. 719, 2021, doi: 10.20527/jss.v4i4.3950.
- [5] R. A. Bazenet, W. Hidayat, S. M. Ridjayanti, dan M. Riniarti, "Pengaruh Kadar Perekat Terhadap Karakteristik Arang Arang Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell . Arg) The Effect of Adhesive Content on The Characteristics of Rubber Wood (*Hevea brasiliensis* Muell . Arg) Charcoal Briquettes," *Tek. Pertan. Lampung*, vol. 10, no. 3, hal. 283–295, 2021.
- [6] N. A. Sutisna, F. Rahmiati, dan G. Amin, "Optimalisasi Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Arang Arang Sekam untuk Menambah Pendapatan Petani di Desa Sukamaju, Jawa Barat," *Agro Bali Agric. J.*, vol. 4, no. 1, hal. 116–126, 2021, doi: 10.37637/ab.v4i1.691.
- [7] J. Titarsole dan J. J. Fransz, "Pengaruh Tekanan Dan Suhu Terhadap Kerapatan Dan Nilai Kalor Arang Arang Limbah Serbuk Meranti Merah," *J. Hutan Pulau-Pulau Kecil*, vol. 7, no. 1, hal. 97–104, 2023, doi: 10.30598/jhpk.v7i1.9017.
- [8] F. Y. Sugiyati, B. Sutiya, dan Y. -, "KARAKTERISTIK ARANG ARANG CAMPURAN ARANG AKASIA DAUN KECIL (*Acacia auliculiformis*) DAN ARANG ALABAN (*Vitex pubescens* vhal)," *J. Sylva Sci.*, vol. 4, no. 2, hal. 274, 2021, doi: 10.20527/jss.v4i2.3337.
- [9] T. Haryati dan I. Amir, "Identifikasi Karakteristik Arang Arang Kelapa Yang Diminati Pasar Arab Saudi Dan Prosedur Ekspornya," *Ilm. Ekon. Dan Bisnis*, vol. 11, no. 1, hal. 39–45, 2021.
- [10] N. S. Harahap dan E. Jumiaty, "Analisis Sifat Fisika dan Kimia terhadap Pembuatan Arang Arang Limbah Biji Salak dengan Variasi Perekat Tepung Tapioka dan Tepung Sagu," *J. Fis. Unand*, vol. 12, no. 1, hal. 116–124, 2022, doi: 10.25077/jfu.12.1.115-123.2023.
- [11] A. V. Febriani, F. F. Hanum, dan A. Rahayu, "Review : Analisis Potensi dan Tantangan Biomassa Sebagai Bahan Bakar pada PLTU dan PLTBm," no. April 2024, hal. 1–11, 2025.