

Perbandingan Nilai Kalor Bio-Char Pada Jenis Biomassa Yang Dikarbonisasi
Comparison of the Calorific Value of Bio-Char in Types of Carbonized Biomass

Moh. Syamsi Qurtubi¹⁾, Mokh. Hairul Bakhri^{2*)}, Asroful Abidin³⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: qurtubimohsyamsi@gmail.com

²⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: mhairulbahri@unmuhjember.ac.id

³⁾Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: asrofulabidin@unmuhjember.ac.id

^{*)} *Corresponden author:* mhairulbahri@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Biomassa merupakan sumber bahan energi terbarukan yang bersifat alami, biomassa bisa digunakan sebagai bahan baku alternatif bio-char. Contohnya, limbah yang dihasilkan oleh tanaman pisang dan tanaman kelapa yaitu daun pisang yang kering, daun kelapa yang kering, dan tempurung kelapa yang kering. Penelitian ini menguji nilai kalor bio-char daun pisang (A), daun kelapa (B) dan tempurung kelapa (C) pada suhu 450 °C menggunakan metode pirolisis dan kalorimeter. Dalam tabung reaktor pirolisis terjadi proses pembakaran tanpa oksigen atau miskin udara. Fase pirolisis diatas suhu 200 °C. Massa berat sampel awal sejumlah 500 gram. Lama pembakaran selaa 1 jam dan penurunan suhu pirolisis setiap 10 menit sebesar 100 °C. Bio-char adalah hasil dari proses karbonisasi atau pengarangan pada waktu pembakaran itu sendiri, melalui fase pirolisis menjadi residu atau karbon aktif. Hasilnya produk biochar (A) sebanyak 215 gram, bio-char (B) sebanyak 229 gram dan bio-char (C) sebanyak 170 gram. Nilai kalor bio-char daun pisang (A) sebesar 1856,61 Cal/gram, daun kelapa (B) sebesar 2368,76 Cal/gram dan tempurung kelapa (C) sebesar 2831,32 Cal/gram. Perbandingan nilai kalori bio-char tertinggi pada tempurung kelapa dan nilai kalori bio-char terendah pada daun pisang dan bio-char atau arang terbanyak pada daun kelapa.

Kata Kunci: Biomassa, Bio-char, Karbonisasi, Nilai Kalor dan Pirolisis

Abstract

Biomass is a natural source of renewable energy, biomass can be used as an alternative raw material for bio-char. For example, the waste produced by banana plants and coconut plants is dry banana leaves, dry coconut leaves and dry coconut shells. This research tested the calorific value of bio-char of banana leaves (A), coconut leaves (B) and coconut shells (C) at a temperature of 450 °C using pyrolysis and calorimeter methods. In the pyrolysis reactor tube, the combustion process occurs without oxygen or is poor in air. Pyrolysis phase above 200 °C. The mass of the initial sample was 500 grams. The burning time is between 1 hour and the pyrolysis temperature decreases every 10 minutes by 100 °C. Bio-char is the result of the carbonization or combustion process during combustion itself, through the pyrolysis phase to become residue or active carbon. The result was 215 grams of bio-char (A), 229 grams of bio-char (B) and 170 grams of bio-char (C). The calorific value of banana leaf bio-char (A) is 1856.61 Cal/gram, coconut leaf (B) is 2368.76 Cal/gram and coconut shell (C) is 2831.32 Cal/gram. Comparison of the highest bio-char calorific value in coconut shells and the lowest bio-char calorific value in banana leaves and the highest bio-char or charcoal in coconut leaves.

Keywords: Biomass, Bio-char, Carbonization, Calorific Value and Pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki berbagai sumber energi terbarukan dari alam, seperti biomassa yang bisa digunakan sebagai bahan baku alternatif bio-char dan bio-oil. Umumnya, biomassa yang dipirolisis tergantung jenis dan bentuk bahannya, biomassa sendiri memiliki sifat dan komposisi kimia yang beragam. Biomassa tanaman pisang dan tanaman kelapa adalah jenis tanaman yang paling banyak ditemui di iklim tropis seperti di Indonesia.

Data dari laman Badan Pusat Statistik Indonesia menyebutkan, luas perkebunan kelapa di Indonesia sebesar 3,33 juta hektare pada tahun 2023. (BPS, 2024). Produksi tanaman kelapa Kabupaten Jember sejumlah 13,348 ton pada tahun 2022. (BPS Jatim, 2024). Sementara, produksi tanaman pisang di Indonesia sebesar 9,33 Juta Ton pada tahun 2023 (BPS, 2024). Sedangkan, jumlah tanaman pisang di Kabupaten Jember menghasilkan 1,92 Juta (Pohon) dengan produktifitas 0,95 juta (kw/Pohon) dan produksi 1,83 juta (kw) pada 2020. (BPS Jember, 2022).

Pirolisis adalah proses termokimia yang memecah bahan organik seperti kayu dan serbuk kayu menjadi elemen fase gas melalui pembakaran atau memanaskan bahan mentah dengan sedikit udara atau tidak ada oksigen. Dua fase pirolisis adalah fase pirolisis, yang terjadi di atas suhu 200 °C, dan fase evolusi gas, yang terjadi di bawah suhu 500 °C.

Hasil pirolisis yaitu produk berupa bio-char atau arang yang tidak berbau dan bio-oil atau asap cair yang berbau tajam serta gas. Arang yang terkarbonisasi menghasilkan nilai kalor yang tinggi. Asap cair atau minyak hasil pirolisis biasanya digunakan sebagai bahan pengawet makanan atau campuran produk tertentu. Minyak pada proses kondensasi dari gas yang terbentuk, disebut juga asap cair. Jenis bahan biomassa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampah organik yang sudah di buang begitu saja, tidak terpakai atau di langsung bakar oleh masyarakat awam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Biomassa adalah bahan biologis dari kehidupan atau organisme hidup yang mempunyai struktur karbon dan campuran

kimia bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen dan sejumlah kecil atom dan unsur lainnya. Umumnya, biomassa yang dimanfaatkan untuk sumber energi yaitu limbah setelah diambil produk primernya seperti limbah tanaman, limbah pertanian, limbah rumah tangga dan sebagainya.

Energi biomassa sangat menguntungkan sebagai sumber energi alternatif yang hemat biaya yang dapat diperbaharui (*renewble*) sehingga dapat menyediakan sumber energi yang selalu berkesinambungan (*sustainble*). (Parinduri & Parinduri, 2020). Pemanfaatan energi biomassa dapat dilakukan melalui tujuh macam proses konversi energi biomassa antara lain *biobriket, gasifikasi, pirolisis, liqification, biokimia, densifikasi dan karbonisasi*. Pirolisis, yaitu proses penguraian dengan panas lebih dari 150 °C, sehingga keberadaan O₂ dihindari karena dapat memicu reaksi pembakaran. Karbonisasi, yaitu proses konversi biomassa dari bahan organik menjadi arang.

Daun pisang yang kering atau klaras adalah salah satu bagian dari pohon pisang yang sudah mati dan menempel pada bagian batang pisang. Daun pisang klaras pada pelepah pisang jarang diperhatikan dan mempunyai nilai kandungan selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Pemanfaatan daun pisang atau klaras bisa dipakai pada pertanian. Daun pisang yang kering memiliki kandungan seperti tabel dibawah ini:

Tabel 1. Kandungan Daun Pisang

Daun Pisang	Presentase %
Selulosa	10,80
Lignin	18,20
Hemiselulosa	19,50

Sumber: Rahman et al., 2021.

Daun janur kelapa tua yang jatuh dari pohon kelapa diambil lidinya untuk dijadikan alat sapu lidi atau dibiarkan menjadi sampah biomassa, belum dimanfaatkan dengan baik.

Tempurung kelapa bisa juga disebut batok kelapa, batok kelapa adalah bagian paling keras dari hasil produk buah kelapa. Batok kelapa adalah golongan kayu yang memiliki unsur kimia yang tidak jauh berbeda dan kandungannya seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2. Kandungan Tempurung Kelapa

Tempurung Kelapa	Presentase %
Selulosa	33,61
Lignin	36,51
Hemiselulosa	29,27

Sumber: Ridhuan et al., 2019.

Pirolisis lambat atau slow pyrolysis adalah pirolisis dengan pembakaran lambat hingga sedang 5 sampai 7 Kalor per menit. Pirolisis lambat memuat sedikit cairan, tetapi lebih banyak gas dan arang. (Ridhuan et al., 2019).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian berbahan baku limbah daun pisang kering, daun kelapa kering, dan tempurung kelapa kering dari tanaman pisang dan tanaman kelapa yang jatuh mengering dan telah diambil produknya, biasanya limbah biomassa tersebut hanya dibiarkan atau dibuang begitu saja oleh kebanyakan masyarakat awam. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui nilai bio-char dan bio-oil dari variasi bahan biomassa melalui proses pembakaran dengan metode pirolisis atau pembakaran tanpa oksigen O_2 pada suhu $450^\circ C$. Prosedur penelitian ini melalui tahapan preparasi bahan baku dan peralatan penelitian, proses pembakaran dengan metode pirolisis menjadi bio-char lalu dilakukan pengujian nilai kalor pada 3 jenis sampel hasil karbonisasi tersebut.

Bahan (sampel) dalam penelitian adalah tiga limbah biomassa antara lain daun pisang yang mengering dipohonnya, daun kelapa yang jatuh mengering dari pohonnya dan tempurung kelapa yang kering sudah tidak terpakai atau dibuang. Jumlah sampel biomassa tersebut diambil sesuai kebutuhan dalam penelitian.



Gambar 1. Alur Sederhana Bio-char

Sumber: Data Pribadi, 2024.

Ruang lingkup penelitian ini adalah bidang konversi energi dan objek penelitian ini adalah limbah biomassa.

A. Bahan-Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Daun pisang kering (Klaras) A
2. Daun kelapa kering (Janur) B
3. Tempurung kelapa (Batok) C

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat pirolisis yaitu alat pembakaran tanpa oksigen berkapasitas 12 liter
2. Pisau dan Gunting
3. Timbangan digital (gram)
4. Palu besi sebagai alat penghancur dan penumbuk tempurung kelapa.
5. Kunci T 10 dan Kunci Kombinasi 10.
6. Stopwatch dan Timer
7. Termogan digital pengukur suhu
8. Gelas takaran dan botol plastik untuk wadah bio-oil hasil pirolisis.
9. Plastik sedang untuk wadah bio-char
10. Sabun Colek untuk bersihkan peralatan.
11. Isolasi kertas, buku dan pulpen.
12. Alat pengujian nilai kalor yaitu Bomb Kalorimeter Type XRY-1A (*Oxygen Bomb Calorimeter*)
13. Timbangan Neraca Analitik Model/Type OHAUS PA 214
14. Komputer (*Microsoft excel*)
15. Botol kaca kecil 10 ml dan Pipet 1 gram
16. Aquades 3 liter dan Gas 30 detik
17. Kawat kecil 0,1 mg
18. Stopwatch
19. Alat pengujian kadar air yaitu oven.
20. Botol timbang
21. Timbangan gram
22. Cawan sampel
23. Kamera

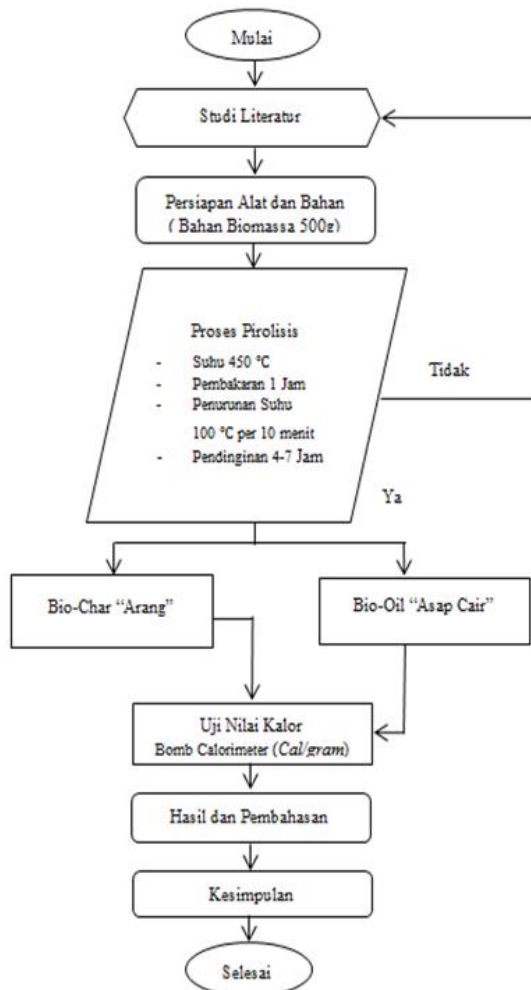
B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian ini di laksanakan pada bulan Juni-Juli 2024 dan tempat penelitiannya dilakukan di tempat laboratorium berbeda:

1. Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember dalam persiapan bahan baku dan pirolisis.

2. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dalam uji nilai kalor.
3. Laboratorium Biosains Politeknik Negeri Jember dalam uji kadar air

Data yang dikumpulkan berupa limbah biomassa daun kering (klaras) dari tanaman pisang, daun kelapa dan batok kelapa dari tanaman kelapa. Limbah biomassa tersebut yang mempunyai karakteristik dedaunan, kayu-kayuan dan komposisi lignin, selulosa, hemiselulosa dan berpotensi sebagai bahan baku bio-char atau arang. Berat bahan yang digunakan sejumlah 500 gram dalam pirolisis, dan massa bio-char yang diujikan nilai kalornya seberat 0,6 gram sampai 0,99 gram. Berikut merupakan diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian
 Sumber: Data Peneliti, 2024.

F. Teknik Pengolahan Data

Analisa perlakuan sebelum dan sesudah pirolisis menggunakan rendemen, perhitungan secara manual. Stopwatch dan timer digunakan untuk menghitung waktu pembakaran, dimulai waktu suhu naik (40 menit), lama pembakaran (1 jam), waktu suhu turun (100°C/10 menit), waktu pendinginan kepada suhu ruang sekitar (27-30°C) hingga benar-benar dingin dan menghasilkan produk bio-char atau arang lalu diukur berat akhir (gram).

Analisa pengujian nilai kalor menggunakan kalorimeter dengan standar perhitungan benzoid acid dan rumus-rumusannya, massa sampel adalah 0,6-1 gram, dihitung suhu rendah dan suhu tinggi, sehingga hasilnya adalah nilai kalor (J/gram) lalu dikonversi ke (Cal/gram).

Analisa parameter kadar air (%) menggunakan metode pengovenan dengan standar (AOAC, 2016) dan *microsoft excel*, dimana rumus yang di hitung adalah botol timbang ditambah berat sampel lalu dikurangi setelah di oven dan dibagi berat sampel kemudian dikalikan 100%.

F. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian disebabkan oleh adanya variabel bebas, variabel kontrol dan variabel tetap. Ketiga variabel tersebut dijelaskan sebagai berikut;

1) Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang berpengaruh terhadap variabel kontrol. Variabel bebasnya antara lain jenis biomassa daun pisang kering, daun kelapa kering, dan tempurung kelapa kering.

2) Variabel Kontrol

Variabel kontrol yaitu variabel yang dipengaruhi akibat dari adanya variabel bebas, variabel kontrolnya antara lain rendemen awal dan akhir, suhu 450 °C dan nilai kalor (Cal/gram).

3) Variabel Tetap

Variabel tetap menjadi faktor utama adanya pengaruh dari variabel bebas dan variabel kontrol. Variabel tetap tersebut antara lain berat bahan baku per sampel 500 gram, pembakaran pirolisis dengan suhu 450 °C dan waktu pembakaran selama 1 jam dengan penurunan suhu 100 °C per 10 menit.

G. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang telah dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari persiapan bahan baku, proses pirolisis, pengujian kadar air dan uji nilai kalor. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan:

- a) Persiapan Bahan Baku
 1. Bahan baku daun kulit pisang kering, daun kelapa kering, dan tempurung kelapa kering yang sudah dikumpulkan untuk dilakukan penyortiran.
 2. Bahan baku berupa daun tersebut di cacah atau di pisahkan dari pelepah atau tangkainya sedangkan tempurung atau batok kelapa di hancurkan.
 3. Bahan baku selanjutnya di potong menjadi potongan kecil-kecil.
 4. Bahan baku yang sudah siap, kemudian di timbang sejumlah 500 gram.
- b) Proses Pirolisis
 1. Pertama, siapkan alat pirolisis.
 2. Bahan yang sudah siap dimasukkan ke tabung reaktor dan dikunci rapat..
 3. Nyalakan alat pirolisis tersebut dengan sambungkan kelistriik.
 4. Catat waktu pembakaran dimulai dari suhu ruang hingga suhu 450°C.
 5. Lama pembakaran pirolisis lebih kurang 1 jam memakai stopwath atau timer.
 6. Setelah 1 jam dilakukan penurunan suhu 100 °C per 10 menit agar fase normal hingga pengatur mencapai titik 0 °C.
 7. Setelah proses pirolisis selesai, tabung reaktor dikeluarkan dari alat pirolisis untuk didinginkan supaya menghasilkan kualitas bio-char atau arang yang baik
 8. Pendinginan tanpa melepas tutup tabung biomassa selama lebih kurang 4-7 jam.
 9. Bio-char (arang) dan bio-oil (asap cair) dikeluarkan untuk diukur hasilnya (g/v).

c) Kadar Air

Perhitungan persentase kadar air yang terkandung di dalam biomassa mentah tersebut menggunakan standar (AOAC 2016, 2.7.3 967.03) dengan persamaan:

$$\text{Presentase \%} = (a+b+c)/a \times 100\%$$

Dengan, a = Massa botol timbang

b = Massa awal biomassa 3 (gram)

c = Massa biomassa setelah di oven 105 °C (gram)

b) Uji Nilai Kalor

Uji nilai kalor bio-char menggunakan Bomb Kalorimeter di (Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data pengujian nilai kalor bio-char dalam penelitian ini menggunakan perhitungan manual dan excel yang akan dijelaskan pada uraian-uraian dibawah ini:

A. Rendemen Bio-char

Tabel 3. Rendemen Bio-char

Sampel	Massa (g)	Biochar (g)	(%)
A	500	215	0,27
B	500	229	0,28
C	500	170	0,30

Sumber: Data Peneliti, 2024.

Perhitungan presentase (%) rendemen bio-char dan bio-oil dari variasi bahan biomassa sample A, B dan C dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{ bio-char} = (\text{Massa Bio Char} / \text{Massa Biomassa}) \times 100\%$$

1. Sampel A (Daun Pisang Kering)

Lama waktu pembakaran yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 450°C di mulai dari suhu ruang 29°C adalah 53 menit 48 detik. Kemudian dilakukan proses pembakaran selama 1 jam dengan berat awal sampel A 500 gram. Asap cair mulai menetes pada waktu ±48 menit. Penurunan suhu 100°C dilakukan per 10 menit hingga pengatur suhu 0 °C. Bio-char dikeluarkan setelah pendinginan selama ±7 jam hingga mencapai suhu ruang. Jumlah produk bio-char yang dihasilkan 215 gram.



Gambar 3. Bio-char (A)

Sumber: Data Peneliti, 2024.

2. Sampel B (Daun Kelapa Kering)

Waktu lama pembakaran yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 450°C di mulai dari suhu ruang 27 °C adalah 40 menit 15 detik. Kemudian proses pembakaran selama 1 jam dengan berat awal sampel **B** 500 gram. Asap cair mulai menetes pada waktu ± 25 menit. Penurunan suhu 100°C dilakukan per 10 menit hingga pengatur suhu 0 °C. Bio-char dikeluarkan setelah pendinginan selama ± 5 jam hingga mencapai suhu ruang. Jumlah produk bio-char yang dihasilkan 229 gram.



Gambar 4. bio-char (B)

Sumber: Data Peneliti, 2024.

3. Sampel C (Tempurung Kelapa Kering)

Waktu titik nyala lama pembakaran yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 450°C di mulai dari suhu ruang 28 °C adalah 40 menit 35 detik. Kemudian proses pembakaran selama 1 jam dengan berat awal sampel **C** 500 gram. Asap cair mulai menetes pada waktu ± 26 menit. Penurunan suhu 100°C dilakukan per 10 menit hingga pengatur suhu 0 °C. Bio-char dikeluarkan setelah pendinginan selama ± 4 jam hingga mencapai suhu ruang. Jumlah produk bio-char yang dihasilkan 229 gram.



Gambar 5. Bio-char (C)

Sumber: Data Peneliti, 2024.

Spesifikasi metode perhitungan persentase kadar air yang terkandung di dalam bahan biomassa mentah pada Tabel 4.2 dibawah ini menggunakan standar (AOAC 2016, 2.7.03 967.03) melalui pengovenan selama 4 jam pada suhu 105 °C dengan hasil presentase (%) kadar air sebagai berikut:

Tabel 4. Kadar Air Bahan Biomassa

No	Nama	Rata-Rata Kadar Air (%)
1.	Daun Pisang Kering	9,475
2.	Daun Kelapa Kering	9,759
3.	Tempurung Kelapa Kering	7,353

Sumber: Data Peneliti, 2024.

B. Hasil Uji Nilai Kalori

Parameter terpenting dari kualitas biochar atau pengarangan adalah nilai kalorinya. Nilai kalori yaitu panas yang dihasilkan ketika satu satuan bahan bakar (massa) dibakar, dan hasilnya berupa abu, gas, CO₂, SO₂, nitrogen dan air, tetapi air menjadi uap. Semakin tinggi suhu pembakaran semakin tinggi nilai kalori, dan semakin tinggi pula kualitas bio-char tersebut. (Ilma et al., 2024). *Benzoic Acid* berfungsi sebagai standar penghitungan nilai kalor yang digunakan pada Alat Bomb Calorimeter Type XRY-1A.

Nilai kalori suatu bahan bakar dapat ditentukan dengan menggunakan kalorimeter. Sampel A B C yang akan diuji nilai kalornya dibakar dengan menggunakan kumparan pembawa arus dalam ruangan yang disebut bomb kalorimeter atau *oxygen bomb calorimeter* dan sampel direndam dalam air suling atau aquades sebanyak 3 liter. Sampel ABC bereaksi dengan oksigen menghasilkan panas sehingga menyebabkan suhu kalorimeter meningkat.

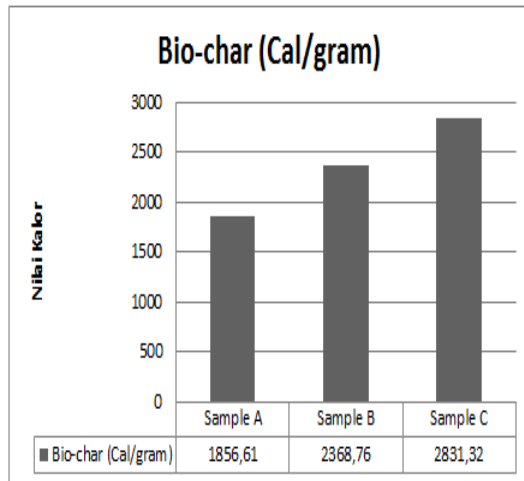
Untuk mencegah panas yang dihasilkan dari reaksi sampel ABC dengan oksigen menyebar ke lingkungan luar, kalorimeter ditutup dengan bahan isolator atau bahan yang tidak dapat menghantarkan panas dengan baik. Adapun hasil perhitungan kalorimeter dari penelitian ini ditunjukkan pada tabel 5 dan gambar 6 berikut.

Tabel 5. Hasil Uji Nilai Kalori Bio-char

No	Nama	(Cal/gram)
1.	Daun Pisang Kering	1856,61
2.	Daun Kelapa Kering	2368,76
3.	Tempurung Kelapa Kering	2831,32

Sumber: Data Peneliti, 2024.

Berdasarkan data di atas, hasil uji nilai kalor dengan bomb kalorimeter setelah di pirolisis yaitu pada Daun pisang kering sebesar 1856,61 Cal/gram (A), Daun kelapa kering 2368,76 Cal/gram (B), dan Tempurung kelapa kering 2831,32 Cal/gram (C). Nilai kalor bio-char tertinggi pada tempurung kelapa dan nilai kalor terendah pada daun pisang kering.



Gambar 6 . Grafik Perbandingan Nilai Kalor Bio-char A, B dan C.

Sumber: Data Peneliti 2024.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Perhitungan kalorimeter pada jenis biomassa menunjukkan perbandingan nilai kalor bio-char pada 3 sampel A, B, C yaitu; sampel A (daun pisang kering) sebesar 1856,61 Cal/gram, sampel B (daun kelapa kering) sebesar 2368,76 Cal/gram dan sampel C (tempurung kelapa kering) sebesar 2831,32 Cal/gram. Nilai kalor tertinggi pada sampel bio-char tempurung kelapa, hal ini dipengaruhi sifat dan unsur kimia seperti kandungan senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Selain itu, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kalor bio-char adalah kadar air, kadar abu, dan kandungan senyawa volatil. Semakin rendah kadar airnya, maka semakin tinggi kandungan karbon aktifnya dan semakin tinggi juga nilai kalorinya. Massa biomassa, suhu temperatur dan waktu pembakaran pirolisis serta lama pendinginan berpengaruh terhadap nilai kalor bio-charnya.

B. Saran

Bahan biomassa diperlukan analisis lebih lanjut, sebelum dan sesudah di pirolisis perlu diuji analisa proksimat, sehingga bisa diketahui kadar air, kadar abu, kadar senyawa yang volatile (mudah menguap) serta nilai kalornya.

6. DAFTAR PUSTAKA^[M.1]

- Abidin, A., Purnomo, C. W., & Cahyono, R. B. 2018. Hydro-char production from press-mud wastes of the sugarcane industry by hydrothermal treatment with natural zeolite addition. In *AIP Conference Proceedings*. 2026; No. 1.
- Abidin, A., Yanuar, S. F., Mufarida, N. A., & Gunasti, A. 2023. Inovasi Sistem Otomasi Vacuum Frying Pada Alat Penggoreng Keripik Ikan Kunir. *Abdimastek*. 2(2): 94-102.
- Abidin, A., & Bahri, M. H. 2024. Pengaruh Variasi Jenis Busi Dan Variasi Ecu Terhadap Performa Engine Motor 4 Langkah 155 Cc. *National Multidisciplinary Sciences*. 3(1); 382-388.
- Abidin, A. 2020. Strategi Pengembangan Kecamatan Tapen Kabupaten Bondowoso Berbasis Energi Minihidro. *Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*. 5(1); 6-15.
- Bahri, M. H., & Irawan, D. 2021. Comparison of Inverter Types for Home Appliance Using Push-Pull Amplifier. *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*. 21(1); 74-79.
- Bahri, M. H., Masruroh, L., Inkasari, N. Y., Sandy, D. N., Aini, T. P. N.,

- Mediarso, K. D. S., ... & Dewi, S. 2023. Pelatihan Membuat Pupuk Organik Berbahan Limbah Ternak Untyk Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan. *Abdimastek*. 2(2); 69-75.
- Bahri, M. H. 2021. Effect of natural zeolite on biomass pyrolysis. *Materials Science and Engineering*. 1034; 1.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2024. Produksi Tanaman Buah-Buahan. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjIjMg==/produksi-tanaman-buah-buahan.html>. Diakses tanggal 29 Juni 2024
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2024. Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMxIzI=/luas-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi--ribu-hektar-.html>. Diakses tanggal 29 Juni 2024.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. 2024. Produksi Tanaman Perkebunan Menurut Komoditas Dan Kabupaten/Kota (Ton), 2020-2022. <https://jatim.bps.go.id/indicator/54/563/1/produksi-tanaman-perkebunan-menurut-komoditas-dan-kabupaten-kota.html> Diakses tanggal 29 Juni 2024.
- Badan Pusat Statistik Jember. 2021. Jumlah Tanaman Menghasilkan, Rata-rata Produksi dan Total Produksi Buah-buahan Menurut Jenis Buah. <https://jemberkab.bps.go.id/statistictable/2021/11/08/324/jumlah-tanaman-menghasilkan-rata-rata-produksi-dan-total-produksi-buah-buahan-menurut-jenis-buah-di-kabupaten-jember-2020.html>. Diakses tanggal 29 Juni 2024.
- Gobel, A. P., & Arief, T. 2022. Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*. 5(1); 48.
- Illma, R. Z., Abidin, a, & Bahri, M. H. 2024. Produksi Briket Bioarang dari Limbah Serbuk Kayu Jati dengan Metode Pirolisis. *National Multidisciplinary Sciences*. 3(1); 423–432.
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. 2017. Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*. 12(1); 28–34.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. 2020. Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*. 5(2); 88–92.
- Rahman, Z. A., Hernawati, H., & Wahyuni, A. 2021. Karakteristik Sifat Mekanik Wadah Makanan dari Limbah Daun Pisang Kering. *Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*. 6(1); 27–34.
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78.
- Ridhuan, K., & Suranto, J. 2017. Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. 5(1); 50–56.
- Suroso, E., Utomo, T. P., Rasyid, H. Al, & Fauzi, A. 2023. Karakteristik Asap Cair Daun Pisang Kering Redestilasi Characteristics of Redestilled Dried Banana Leaves Liquid Smoke. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 23(4); 518–524.