Jurnal Ilmiah jurutera
Journal of Applied Engineering
ISSN 2356-5438

Thermal Characteristics Analysis of Bio-Oil and Biochar from Pyrolysis Process Using Red Calliandra Feedstock

Viviany Rouli Pasaribu[1], Nasruddin A Abdullah[2], Syamsul Bahri Widodo[3]

[1,2,3)] *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Samudra, Langsa 24416, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 9 Mei 2025
Direvisi dari 11 Mei 2025
Diterima 25 Mei 2025
Dipublikasi 30 Juni 2025

***Keywoard's*:**
Renewable energy, pyrolysis, red calliandra, heating value, thermal characteristics.

DOI:
doi.org/10.55377/jurutera.v12i01.11563

A B S T R A C T

The need for fuel oil is currently continuing to increase, while the amount of petroleum reserves is decreasing. New energy and renewable energy (EBT) are alternative energy sources because they not only cause little damage to the environment but also guarantee a sustainable energy future. To overcome this problem, alternative energy sources are needed that can be renewed as renewable energy, namely bio-oil and bio charcoal. The aim of this research is to analyze the thermal characteristics of bio-oil and bio charcoal produced through a pyrolysis process using red Calliandra wood as raw material. The pyrolysis process was carried out at varying temperatures of 300℃, 400℃, and 500℃ for 60 minutes. The research results show that the optimal pyrolysis temperature is 500℃, producing biochar with the highest calorific value of 7,145.17 cal/g and bio-oil with a calorific value of 3,276.21 cal/g. Thermal analysis showed significant activity at 283℃, indicating thermal decomposition of red Calliandra raw materials. The better the quality of the bio charcoal produced, with lower water and ash content and higher bound carbon content. These thermal characteristics show that red Calliandra wood has significant results as a raw material for renewable energy. This research contributes to the development of biomass-based renewable energy and opens up opportunities for further exploration in optimizing the pyrolysis process. Biomass is a material that is widely available in Indonesia, both in terms of quantity and type of biomass. Bio-arang is a biomass product that can be used as a new energy source.

A B S T R A K

Kebutuhan akan bahan bakar minyak saat ini terus meningkat, sementara jumlah cadangan minyak bumi semakin menipis. Energi baru dan energi terbarukan (EBT) merupakan sumber energi alternatif karena selain menimbulkan sedikit kerusakan terhadap lingkungan, juga menjamin masa depan energi yang berkelanjutan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sumber energi alternatif yang dapat diperbarui sebagai energi terbarukan yaitu bio oil dan bio charcoal. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis karakteristik termal dari bio oil dan bio charcoal yang dihasilkan melalui proses pirolisis dengan menggunakan bahan baku kayu kaliandra merah. Proses pirolisis dilakukan pada variasi suhu 300℃, 400℃, dan 500℃ selama 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pirolisis yang optimal adalah 500℃, menghasilkan biochar dengan nilai kalor tertinggi sebesar 7.145,17 kal/g dan bio oil dengan nilai kalor sebesar 3.276,21 kal/g. Analisis termal menunjukkan aktivitas yang signifikan pada suhu 283℃, yang mengindikasikan adanya dekomposisi termal pada bahan baku kaliandra merah. Semakin baik kualitas bioarang yang dihasilkan, dengan kadar air dan abu yang lebih rendah serta kadar karbon terikat yang lebih tinggi. Karakteristik termal tersebut menunjukkan bahwa kayu kaliandra merah memiliki hasil yang signifikan sebagai bahan baku energi terbarukan. Penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa dan membuka peluang eksplorasi lebih lanjut dalam mengoptimalkan proses pirolisis. Biomassa merupakan material yang banyak tersedia di Indonesia, baik dari segi kuantitas maupun jenis biomassanya. Bioarang merupakan produk biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi baru.

© 2025 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

E-mail Coresponden : nasruddin@unsam.ac.id
© 2025 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia yang terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan industri. Sumber energi fosil yang selama ini menjadi tulang punggung sistem energi global semakin menipis, sehingga diperlukan alternatif energi terbarukan yang berkelanjutan(1,2). Salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi besar adalah biomassa, yang terdiri dari bahan organik hidup maupun mati yang berasal dari makhluk hidup, baik yang berada di atas maupun di bawah tanah.

Indonesia memiliki sumber biomassa yang melimpah, baik dari limbah hasil hutan, industri, pertanian, maupun perkebunan. Potensi biomassa terbesar di Indonesia berasal dari limbah kayu hutan, serta limbah pertanian seperti padi, jagung, singkong, kelapa, kelapa sawit, dan tebu (3,4). Biomassa dapat dikonversi menjadi bioenergi melalui berbagai proses, salah satunya adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses termokimia yang berlangsung tanpa kehadiran oksigen, menghasilkan bio-oil dan biochar (bioarang) yang memiliki nilai kalor tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Biochar dihasilkan dengan cara mengurangi kadar air dalam biomassa melalui proses pengarangan sehingga meningkatkan kadar karbonnya (5). Pirolisis tidak hanya menghasilkan biochar, tetapi juga bio-oil yang memiliki potensi sebagai bahan bakar cair. Bio-oil yang diperoleh dari proses ini mengandung senyawa kompleks yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi energi dan industri kimia (6).

Salah satu jenis biomassa yang memiliki karakteristik unggul untuk proses pirolisis adalah kayu Calliandra calothyrsus, atau lebih dikenal sebagai kaliandra merah. Kayu ini memiliki densitas antara 0,5 hingga 0,8 g/cm³ dan kandungan energi berkisar antara 4600 hingga 7200 kkal/kg setelah melalui proses pirolisis (7). Ketersediaan yang melimpah serta tingginya kandungan energi membuat kayu kaliandra merah menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk produksi bio-oil dan biochar sebagai alternatif energi terbarukan.

Penelitian ini berfokus pada analisis karakteristik termal bio-oil dan biochar yang dihasilkan dari pirolisis kayu kaliandra merah. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai kalor bio-oil dan biochar serta memahami bagaimana variasi suhu pirolisis mempengaruhi sifat termal dari produk yang dihasilkan. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi konversi energi biomassa dan memperkuat basis ilmu pengetahuan dalam pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi berkelanjutan.

2. Metode

2.1 Prosedur Pirolisis Bahan Baku dan Asap Cair

Adapun proses pirolisis yaitu dilakukan sebagai berikut;

1. Kayu kaliandra merah dipotong memanjang dengan tebal 5 cm, lalu dijemur dibawah matahari untuk mengurangi kadar air yang terikat pada kayu kaliandra merah.
2. Potongan kayu kaliandra merah kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik.
3. Kayu kaliandra merah kemudian di pirolisis menggunakan tungku pemanas/*furnace* pada variasi suhu 300°C, 400°C, dan 500°C selama 60 menit.
4. Biorang hasil pirolisis kemudian didinginkan dengan menggunakan densikator untuk menghentikan proses pengarangan.
5. Asap cair hasil pirolisis untuk memperoleh kalor minyak yang terkandung pada asap cair

2.2 Metode Pengujian

Penelitian ini menghasilkan produk berupa arang dan minyak dari bahan baku kayu kaliandra merah setelah di pirolisis. Adapun proses pengujiannya yaitu sebagai brikut:

a. Proses pengujian sampel

1. Proses pengujian sampel menggunakan mesin TGA
   Proses pengujian termal menggunakan mesin TGA dimulai dengan menghidupkan komputer dan mesin, serta memastikan bahwa selang tabung oksigen dan nitrogen sudah terhubung dengan benar ke mesin TGA.

   Selanjutnya, penutup ruang sampel dibuka dan sampel dimasukan ke wadah dengan bantuan pinset. Setelah itu, penutup ruang sampel ditutup kembali.

   Langkah selanjutnya adalah mengatur suhu pemanasan pada 600°C, durasi 60 menit, dengan kecepatan aliran oksigen sebesar 20 mL/menit dan aliran nitrogen sebesar 80 mL/menit. Selanjutnya, proses pengujian dijalankan.

   dengan mengklik start pada program. Proses pengujian membutuhkan waktu 60 menit. Setelah itu, mesin otomatis menghentikan proses, dan sampel didiamkan di dalam mesin hingga temperatur ruang 30°C.

   Selanjutnya, sampel yang telah diuji dikeluarkan dari wadah, dan dilanjutkan dengan memasukan sampel berikutnya ke dalam wadah dengan proses pengujian yang sama. Mesin TGA yang digunakan pada penelitian ini yaitu NEXTA STA (Hitachi STA200RV with Real View Sample Observation.

b. Prosedur Pengujian Bioarang

Penelitian ini menghasilkan produk dalam bentuk bioarang dari kayu kaliandra merah yang perlu di uji. Uji proximat terhadap bioarang meliputi:

1. Penetapan Kadar Air (ASTM D 5142-02)
   Kadar air dalam bioarang menunjukkan jumlah udara hingga mencapai keseimbang dengan udara disekitarnya. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan satu gram (g) sampel ke dalam alumunium foil yang telah terbentuk menjadi cawan, lalu mengeringkannya dioven pada suhu 103 ± 2 °C hingga beratnya stabil. Setelah proses pengovenan, sampel di diamkan dengan ditempatkan dalam desikator selama 15 menit hingga suhu stabil, kemudian ditimbang.
   Rumus perhitungan kadar air:

$$\text{KA}(\%) = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\%$$

   Keterangan:
   KA = Kadar Air
   BB = Berat Basah (g)
   BKT = Berat Kering Tanur(g)

2. Penetapan Kadar Abu (ASTM D 5142-02)
   Prosedur pengujian kadar abu dilakukan dengan menempatkan satu gram sampel didalam cawa porselin. Sampel kemudian dioven menggunakan alat mufflefurna pada suhu antara 600-900°C selama 5 jam hingga 6 jam. Setelah itu, sampel di masukkan kedalam alat desikator untuk didiamkan dan ditimbang setelah suhunya stabil.
   Rumus untuk menentukan kadar abu:

$$\text{Kadar Abu}(\%) = \frac{Berat\ abu}{Berat\ Sampel} \div 100\%$$

3. Penetapan Zat Terbang (ASTM D 5142-02)
   Prosedur pengujian kadar zat terbang dilakukan dengan menempatkan satu gram sampel pada cawan porselin. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam alat muffle furnace yang telah disetel pada suhu 950±20°C selama 7 menit, setelah itu sampel dikeluarkan dan ditimbang setelah suhunya stabil.
   Rumus untuk menghitung zat terbang:

$$\text{Zat Terbang} = \frac{B - C}{W} \times 100\%$$

4. Kadar Karbon Terikat (ASTM D 5142-02)
   Perhitungan setelah mendapatkan hasil kadar air, kadar abu, dan zat terbang.
   Rumus perhitungan kadar karbon terikat:

$$\text{Karbon Terika} = 100\%(\text{kadar air} + \text{kadar abu} + \text{kadar zat terbang})$$

5. Penetapan Nilai Kalor (ASTM D 5142-02)
   Prosedur untuk menentukan nilai kalor dilakukan dengan menepatkan satu gram dalam cawan silika, kemudian menyimpannya kedalam tabung *Bomb Calorimeter*. Pengukuran dilakukan menggunakan alat *perioxide bomb calorimeter* manual. Perhitungan didasarkan pada jumlah kalor yang tersisa, yang sama dengan jumlah kalor yang diserap dengan mengunakan satuan kal/gram dengan persamaan rumus:

$$\text{Nilai Kalor} = \frac{w \times (T_2 - T_1)}{A} \text{B}_1 + \text{B}_2$$

   Keterangan:

   W = Nilai air dari calorimeter (kal°C)
   T_1 = Suhu awal
   T_2 = Suhu sesudah pembakaran
   B_1 = Koreksi pada kawat besi
   B_2 = Titrasi $NaCO_3$
   A = Berat contoh yang dibakar (gr)

c. Matriks Penelitian

Matriks penelitian yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 6 Sampel penelitian. 3 sampel penelitian merupakan bioarang hasil pirolisis dengan variasi suhu 300°C, 400°C dan 500°C dengan lama waktu pirolisis 60 menit. Dimana suhu pembakaran 300°C adalah A, suhu pembakaran 400°C adalah B, dan suhu pembakaran 500°C adalah C. 3 sampel penelitian merupakan asap cair hasil pirolisis dengan variasi suhu 300°C, 400°C, dan 500°C dengan lama waktu pirolisis 60 menit. Dimana suhu pembakaran 300°C adalah D, suhu pembakaran 400°C adalah E, dan suhu pembakaran 500°C adalah F.

Tabel 1. Matriks Penelitian

Hasil Pirolisis	**Suhu dan waktu pirolisis**		
	60 Menit		
	300 °C	**400 °C**	**500 °C**
Bioarang	A	B	C
Asap Cair	D	E	F

2.3 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium manufaktur Prodi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Samudra. Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama 1 bulan.

3. Hasil dan Pembahasan

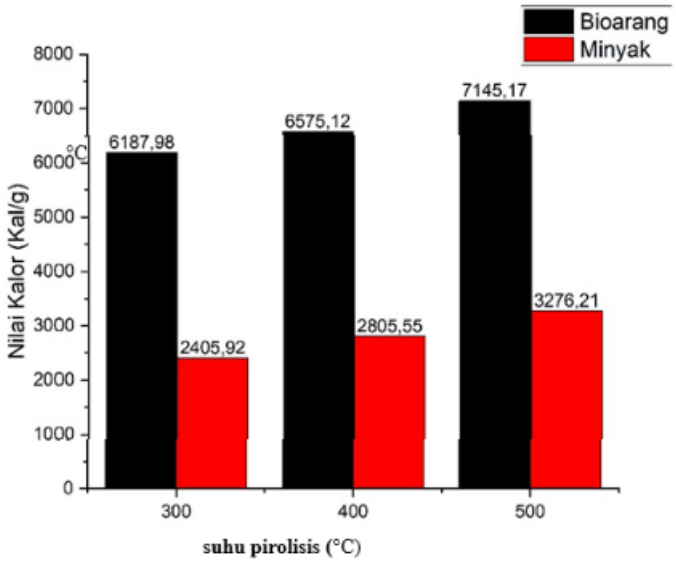
3.1 Nilai Kalor

Hasil perhitungan nilai kalor dapar dilihat pada tabel berikut ini;

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai Kalor

Keterangan Sampel	Sampel	Nilai Kalor (Cal/g)
Bioarang	A	6.187,98
	B	6.575,12
	C	7.145,17
Asap Cair	D	2.605,92
	E	2.805,55
	F	3.276,21

Pada **Tabel 2** nilai kalor tertinggi untuk bioarang mencapai 7.145,17 Cal/g pada sampel C dengan suhu pirolisis 500 °C selama 60 menit.



Gambar 1. Grafik Hasil Perhitungan Nilai Kalor.

Pada **Gambar 1** hasil dari rata rata nilai kalor tertinggi terdapat pada suhu 500 °C dibandingkan dengan 400 °C dan 300 °C. Peningkatan nilai kalor terjadi seiring dengan peningkatan suhu pirolisis yang digunakan. Walaupun demikian nilai kalor yang dihasilkan tidak berbeda signifikan dikarenaka selisih perbedaan suhu yang kecil. Nilai kalor yang dihasilkan pada bioarang maupun minyak tertinggi didominasi pada sampel C dan F. Hal ini terjadi karena suhu pirolisis yang digunakan lebih tinggi pada waktu yang sama sehingga proses pirolisisnya lebih optimal.

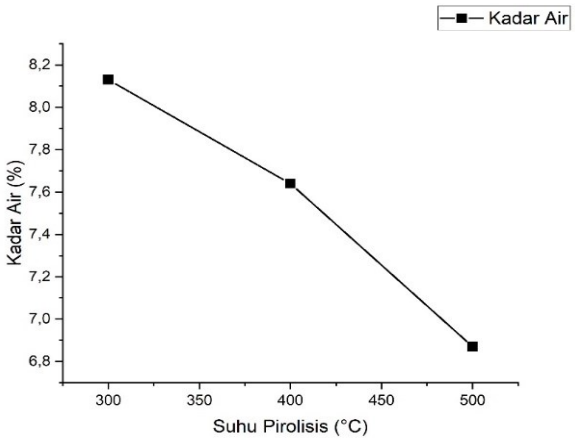
1. **Kadar Air**

   Hasil Perhitungan kadar air dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kadar Air

No	Sampel	Kadar Air (%)
1	A	8,13
2	B	7,64
3	C	6,87

Pada **Tabel 3** kadar air tertinggi dihasilkan pada sampel A dengan nilai 8,13%. Kadar air yang dihasilkan lebih tinggi disebabkan oleh suhu yang digunakan selama proses pirolisis. Pada sampel A suhu pirolisis yang digunkan adalah 300 °C selama 60 menit. Hal ini yang mengakibatkan proses pirolisis yang kurang optimal sehingga menyisakan kandungan air yang belum terbakar pada bahan baku kayu kaliandra merah. Sedangkan nilai kalor terendah dihasilkan pada sampel C dengan nilai 6,87 %. Hal ini juga dipengaruhi oleh suhu yang digunakan selama proses pirolisis berlangsung. Pada sampel C suhu yang digunakan adalah 500 °C selama 60 menit.



Gambar 2. Grafik Hasil Perhitungan Kadar air

Pada **Gambar 2** dapat dilihat bahwa hasil perhitungan kadar air yang dihasilkan semakin kecil seiring dengan peningkatan suhu pirolisis yang digunakan. Semakin tingggi suhu pirolisis yang digunakan maka kadar air yang dihasilkan pada bioarang akan semakin kecil juga.

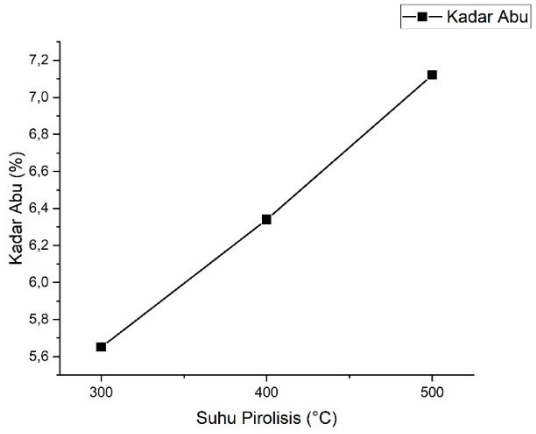
2. Kadar Abu

Hasil perhitungan kadar abu bioarang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. Hasil Perhitungan kadar abu

No	Sampel	Kadar Abu (%)
1	A	7,12
2	B	6,34
3	C	5,65

Pada **Tabel 4** hasil perhitungan kadar abu tertinggi yang dihasilkan mencapai 7,12 % yang merupakan hasil dari kadar abu pada sampel A dengan suhu pirolisis 300 °C selama 60 menit. Sedangkan hasil perhitungan kadar abu terendah yaitu 5,65 % dengan suhu pirolisis 500°C selama 60 menit yang merupakan hasil kadar abu pada sampel C.



Gambar 3. Grafik Hasil Perhitungan Kadar Abu

Pada **Gambar 3** dapat dilihat bahwa hasil perhitungan kadar abu tertinggi yaitu 7,12 % pada suhu pirolisis 300°C dan hasil perhitungan kadar abu terendah yaitu 5,65% dengan suhu pirolisis 500°C. Jadi semakin kecil hasil yang di dapatkan dengan seiring meningkatnya suhu pirolisis yang digunakan dengan waktu selama 60 menit. Sehingga hasil perhitungan kadar abu pada bioarang hasilnya semakin rendah jika suhu pirolisinya meningkat.

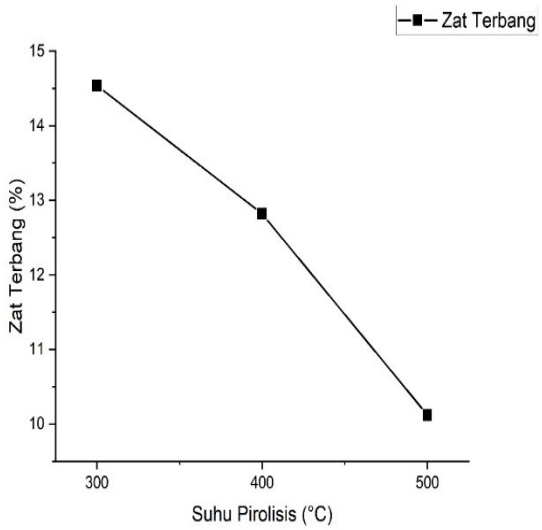
3. Zat Terbang

Hasil perhitungan zat tebang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. Hasil perhitungan zat terbang

No	Sampel	Zat Terbang (%)
1	A	14,54
2	B	12,82
3	C	10,12

Pada **Tabel 5** zat terbang tertinggi dihasilkan pada sampel A mencapai 14,54 % dengan suhu pirolisis 300 °C. Sedangkan kadar zat terbang terendah dihasilkan oleh sampel C mencapai 10,12 % pad suhu 500°C. Semakin rendah zat terbang yang dihasilkan maka kualitas briket yang dihasilkan akan semakin baik.



Gambar 4. Hasil Perhitungan Kadar Zat Terbang

Pada **Gambar 4** zat terbang yang dihasilkan seluruh sampel dipengaruhi oleh suhu pirolisis yang digunakan. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka hasil zat terbang yang dihasilkan akan semakin kecil juga. Dengan demikian maka suhu 500°C merupakan suhu yang paling optimal dengan nilai zat terbang 10,12 %.

4. Kadar Karbon Terikat

Hasil perhitungan kadar karbon terikat dapat di lihat pada tabel berikut ini:

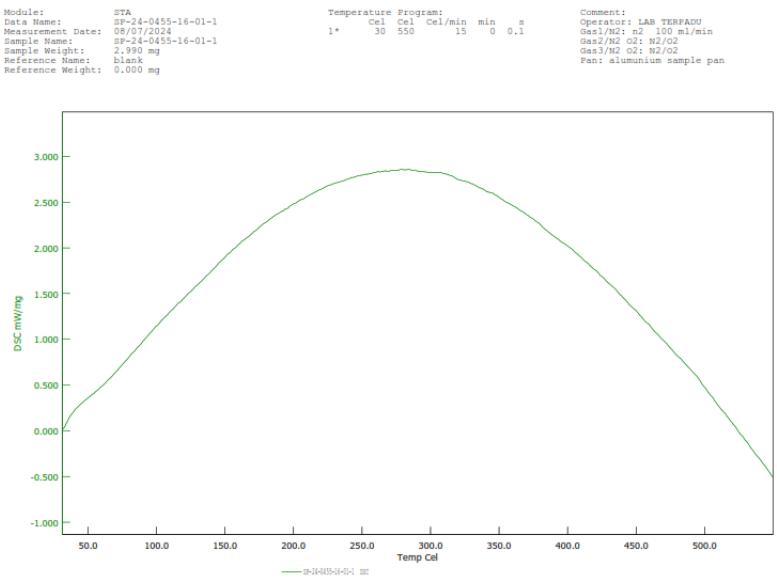
Tabel 6. Hasil perhitungan kadar karbon terikat

Sampel	**Kadar Abu**	**Kadar Air**	**Zat Terbang**	**Karbon Terikat**
A	7,12	8,13	14,54	70,21
B	6,34	7,64	12,82	73,2
C	5,65	6,87	10,12	77,36

Karbon terikat merupakan nilai total kandungan dari unsur karbon dalam suatu sampel. Kadar karbon ini akan mempengaruhi nilai kalor dan waktu pembakaran sampel. Karbon terikan dihitung setelah mendapatkan hasil dari kadar air, kadar abu dan zat terbang sampel. Kadar karbon terikat tertinggi mencapai 77,36% pada sampel C dengan suhu pirolisis 500°C.

5. Hasil Pengujian Differential Scanning Calorimetry Analysis

Hasil perhitungan differential scanning calorimetry analysis dapat dilihat pada grafik berikut ini:



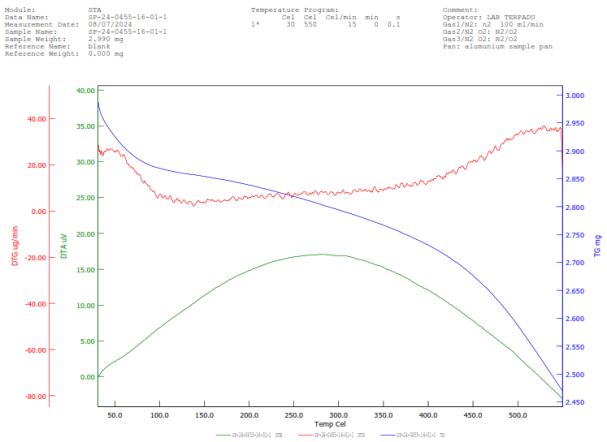
Gambar 5. Grafik Hasil dari pengujian Differential Scanning Calorimetry Analysis

Pada **Gambar 5** dapat kita lihat aliran panas atau perpindahan kalor yang terjadi pada kaliandra merah. Aliran panas tertinggi berada pada 2857,27 mW/mg pada suhu 283 °C. Aliran panas yang terjadi mengalami penaikan sampai pada suhu 283 °C dan terjadi penurunan setelah terjadi kenaikan suhu mencapai 500°C. Hal ini menunjukan sifat termal yang terjadi pada kaliandra merah selama proses pengujiannya. Dengan demikian kondisi penggunaan kaliandra sebagai bahan baku terbaik adalah pada suhu maksimal 300 °C karena titik aliran panas tertinggi berada pada interval suhu tersebut.

6. Hasil Pengujian Simultaneous *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dan *Differential Thermal Analysis* (DTA)

Berdasarkan **Gambar 6,** suhu 100°C terjadi penguapan air dan senyawa lain dari sampel kayu kaliandra merah, yang menyebabkan penurunan berat sampel, menandakan bahwa air dan senyawa lain mulai menguap. Selanjutnya, pada suhu 200°C hingga 300°C, material organik utama dalam kayu kaliandra merah mulai mengalami dekomposisi. Pada puncak endotermik yang menunjukkan penyerapan panas oleh material saat mengalami dekomposisi. Pada suhu sekitar 284°C, puncak eksotermik terjadi yang menunjukkan adanya reaksi kimia yang signifikan atau pelepasan panas dari dekomposisi material organik yang lebih kompleks. Pada suhu diatas 300°C hingga 500°C terjadi penurunan berat yang signifikan yang terlihat pada grafik TGA, menunjukkan dekomposisi lebih lanjut dari karbon yang lebih kompleks. Pada grafik DTA terjadi pelepasan panas yang lebih signifikan menunjukkan oksidasi atau pirolisis lebih lanjut. Suhu tertinggi pada suhu 500°C pada grafik DTA menunjukkan bahwa titik dimana sebagian besar bahan organik telah terdekomposisi menjadi arang.

Pada **Gambar 6** TG merupakan perubahan berat sebagai fungsi suhu, sedangkan DTG (Termogravimetri Derivatif) merupakan perubahan selisih pengukuran dari penurunan atau peningkatan berat sebagai fungsi waktu. Seperti yang kita lihat pada grafik 6 terjadi penurunan berat, penurunan massa membentuk kurfa menurun seiring dengan kenaikan suhu yang digunakan. Penurunan massa yang terjadi mencapai 518,02 mg. sedangkan untuk perubahan DTG yang tertinggi mecapai 34,92 ug/min pada suhu 500 °C.



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian Simultaneous Thermogravimetric Analysis (TGA) - Differential Thermal Analysis (DTA)

4. Kesimpulan

1. Penelitian menunjukkan bahwa pirolisis kayu kaliandra merah optimal pada suhu 500°C, menghasilkan bioarang dan minyak dengan nilai kalor tinggi. Bioarang mencapai 7.14517 Cal/g dan minyak 3.27621 Cal/g setelah 60 menit pirolisis.
2. Analisis termal (DSC dan TGA-DTA) menunjukkan bahwa kayu kaliandra merah mengalami dekomposisi signifikan pada suhu 283°C, ditandai dengan pelepasan panas dan pengurangan massa material, yang penting untuk produksi energi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Syabriyana M. Progress and Challenges of Renewable Energy Transition in Indonesia's Energy Mix Towards Net Zero Emissions. JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan [Internet]. 2024 Dec 30 [cited 2025 May 29];11(02):76–82. Available from: https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/11141
2. Sukuria Mungkur R, Umar H, A. Abdullah N, Amir F. Enhancing Thermal Efficiency of a Solar Water Heating System with a Parabolic Trough Collector. JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan [Internet]. 2024 Apr 29 [cited 2025 May 29];11(02):137–43. Available from: https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/11033
3. Ilham J, Mohamad Y, Oktaviani I. Pengujian Biobriket Dari Limbah Kayu Sebagai Sumber Energi Alternatif. Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering. 2022;4(2):119–25.
4. Fahrurazy I, Iskandar, Nazaruddin. Rekaya Mesin Konversi Sampah Plastik Menjadi Minyak Mentah Dengan Variasi Sampah Plastik Jenis Polypropilena (PP) dan Polyethylene Therephtalate (PET). JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan [Internet]. 2021 Dec 30 [cited 2025 May 29];8(02):7–13. Available from: https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/5293
5. Abdullah NA, Rahardian R, Hakim II, Putra N, Koestoer RA. Thermal Characteristic Study of Biomass for Heating Rate and Liquid Yield on Pyrolysis Process to Produce Bio-Oil. 2018;
6. Saparudin S, Syahrul S, Nurchayati N. Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Hasil Dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam. Dinamika Teknik Mesin. 2015;5(1):16–24.
7. Kehutanan F, Tanjungpura U, Tanjungpura U. (The Utilization of Kaliandra (Calliandra calothyrsus) as wood charcoal briquettes raw materials). 2023;13:34–42.