

Studi Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) sebagai Bio-briket Ramah Lingkungan: Studi Eksperimental

*Study of Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) as Environmentally Friendly Bio-Briquettes: Experimental Study*

Syamsul Bahri Widodo¹, Zainal Arif^{1*}, Iskandar Yakob¹, Suheri Suheri¹, Dicky Maranata Sembiring¹

¹ Prodi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Langsa 24416, Aceh, Indonesia

*Corresponding author: zainalarif@unsam.ac.id

Diterima: 25-03-2025

Disetujui: 21-04-2025

Dipublikasikan: 30-04-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah tanaman air yang tumbuh cepat dan sering dianggap gulma karena dampaknya terhadap ekosistem perairan. Meski melimpah, pemanfaatannya sebagai energi alternatif masih minim. Penelitian ini mengkaji potensi enceng gondok sebagai bahan bakar padat dalam bentuk bio-briket. Proses pembuatan meliputi pengeringan, karbonisasi, pengayakan, pencampuran dengan perekat, pencetakan, dan pengeringan akhir. Pengujian laboratorium mencakup analisis proksimat dan pengukuran nilai kalor. Hasil menunjukkan bio-briket memiliki kadar air 9,61%, abu 3,93%, zat menguap 7,89%, karbon terikat 78,57%, dan nilai kalor 25,8 kJ/g. Dibandingkan briket batok kelapa, briket ini menyala lebih lambat tetapi pembakarannya lebih stabil dan bersih. Dengan karakteristik tersebut, bio-briket enceng gondok layak sebagai energi terbarukan untuk skala rumah tangga maupun industri kecil.

Kata Kunci: Enceng gondok, bio-briket, bahan bakar alternatif, energi biomassa, nilai kalor.

Abstract

Eichhornia crassipes (water hyacinth) is a fast-growing aquatic plant in tropical regions like Indonesia. Though often considered a weed, it remains underutilized as an alternative energy source. This study explores its potential as a solid fuel in the form of eco-friendly bio-briquettes. The production process includes drying, carbonization, sieving, mixing with binder, molding, and final drying. Laboratory tests involved proximate analysis and calorific value measurement. Results showed that the briquettes contained 9.61% moisture, 3.93% ash, 7.89% volatile matter, 78.57% fixed carbon, and a calorific value of 25.8 kJ/g. Compared to coconut shell briquettes, water hyacinth briquettes burn more slowly but offer cleaner and more stable combustion. These characteristics make them a suitable renewable energy source for households and small industries.

Keywords: Water hyacinth, bio-briquette, alternative fuel, biomass energy, calorific value.

1. Pendahuluan

Enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan tanaman air yang dikenal sebagai gulma invasif di berbagai perairan tropis, termasuk Indonesia (Bekti et al., 2024; Prasetyo S, 2024; Sartika dan Hayati, 2024). Pertumbuhan yang cepat dan kemampuannya menutupi permukaan air secara masif menyebabkan berbagai permasalahan ekologis dan sosial, seperti penurunan keanekaragaman hayati, gangguan aktivitas perikanan, serta penyumbatan saluran air yang meningkatkan risiko banjir (Rifqi J. et al., 2021; Widjajanto D.W. et al., 2022). Namun, di balik

karakteristik invasifnya, eceng gondok memiliki potensi besar sebagai sumber biomassa untuk produksi energi terbarukan.

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi alternatif telah menjadi fokus penelitian dalam dekade terakhir, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan emisi gas rumah kaca (Fitroh et al., 2022; Apriliyanti dan Rizky, 2023). Briket biomassa, sebagai salah satu bentuk energi terbarukan, menawarkan keuntungan berupa efisiensi energi, pengurangan limbah, serta penghematan biaya (Simanjuntak et al., 2024). Berbagai bahan telah diteliti sebagai bahan baku briket, termasuk limbah pertanian dan tanaman invasif seperti eceng gondok (Kusman et al., 2024; Irvan et al., 2018).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa eceng gondok dapat diolah menjadi briket dengan karakteristik yang memenuhi standar bahan bakar alternatif (E Ariyanto et al., 2014; Irvan et al., 2018). Munjeri (2016) melaporkan bahwa briket dari eceng gondok memiliki nilai kalor sebesar 14,55 MJ/kg, mendekati nilai kalor kayu bakar (Munjeri et al., 2016). Sementara itu, penelitian oleh Rezanía (2016) mengungkap bahwa campuran eceng gondok dengan serat tandan kosong kelapa sawit menghasilkan briket dengan sifat fisik dan pembakaran yang baik (Rezanía et al., 2016). Di Indonesia, studi oleh Ariyanto (2014) menunjukkan bahwa briket berbahan dasar eceng gondok dengan perekat tepung tapioka memiliki potensi sebagai bahan bakar energi terbarukan (Ariyanto et al., 2014).

Selain itu, penelitian oleh Alfakihuddin (2023) menekankan pentingnya praktik berkelanjutan dalam mendaur ulang biomassa eceng gondok menjadi briket, yang tidak hanya mengatasi masalah lingkungan tetapi juga menyediakan sumber energi alternatif (Alfakihuddin et al., 2023). Di sisi lain, studi oleh Junaidi (2021) di Lombok Tengah menunjukkan bahwa pemanfaatan eceng gondok untuk briket dapat meningkatkan nilai ekonomi masyarakat setempat (Junaidi et al. 2021).

Berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kebutuhan untuk mengeksplorasi lebih lanjut mengenai optimasi proses produksi briket dari eceng gondok, termasuk pemilihan perekat yang tepat, kondisi karbonisasi, serta evaluasi karakteristik pembakaran yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan dasar briket bioarang yang ramah lingkungan, dengan fokus pada analisis karakteristik fisik dan energi dari briket yang dihasilkan. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan energi alternatif yang berkelanjutan serta solusi terhadap permasalahan lingkungan akibat pertumbuhan eceng gondok yang tidak terkendali.

Karakteristik briket dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran partikel, jenis dan jumlah bahan pengikat, tekanan pengepresan, temperatur pembentukan, dan komposisi karbon (Satmoko et al., 2013). Pada penelitian ini akan divariasikan persentase arang pada eceng gondok. Dengan menggabungkan eceng gondok diharapkan dapat menghasilkan briket dengan kualitas yang baik, nilai kalor yang tinggi, dan lebih unggul.

Proses produksi bio-briket perlu diperhatikan seperti nilai pembakaran, nilai kadar air, nilai kadar uap, dan lainnya. Kadar air dapat ditentukan menggunakan persamaan 1 (Rajabby, 2022) .

$$Kadar\ Air\ (\%) = \frac{(BB-KBT)}{KBT} \times 100\% \quad (1)$$

dimana, *BB* adalah Berat Basah (gram), dan *KBT* adalah Berat Kering Tanur (gram).

Perhitungan kadar abu dapat ditentukan menggunakan persamaan 2 (Saparudin et al., 2015).

$$Kadar Abu (\%) = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100\% \quad (2)$$

dimana, A adalah Berat contoh uji (gram), dan B adalah Berat sampel (gram).

Cara menghitung kadar karbon terikat dapat menggunakan persamaan 3 (Yuliza et al., 2013).

$$Kadar KT (\%) = 100\% - (\% Kadar Air + \% Kadar ZM + \% (Kadar ABU)) \quad (3)$$

dimana, KT adalah karbon terikat, dan ZM adalah zat menguap.

Cara menghitung nilai kalor dapat menggunakan persamaan 4 (Pratiwi dan Mukhaimin, 2021).

$$Nilai Kalor = \left[\frac{W \times (T_2 - T_1)}{A}\right] - B_1 + B_2 \quad (4)$$

dimana, W adalah nilai air dari calorimeter ($Kal^\circ C$), T_1 adalah Suhu awal, T_2 adalah suhu sesudah pembakaran, B_1 adalah Koreksi pada kawat besi, dan B_2 adalah Titrasi $NaCO_3$.

Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan dasar briket bio arang dapat digunakan untuk industri rumah tangga dan industri kecil, sehingga perlu eksplorasi karakteristik termal eceng gondok dibanding biomassa lain. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik bio-briket seperti kadar air, kadar abu, zat menguap, karbon terikat, dan nilai kalor.

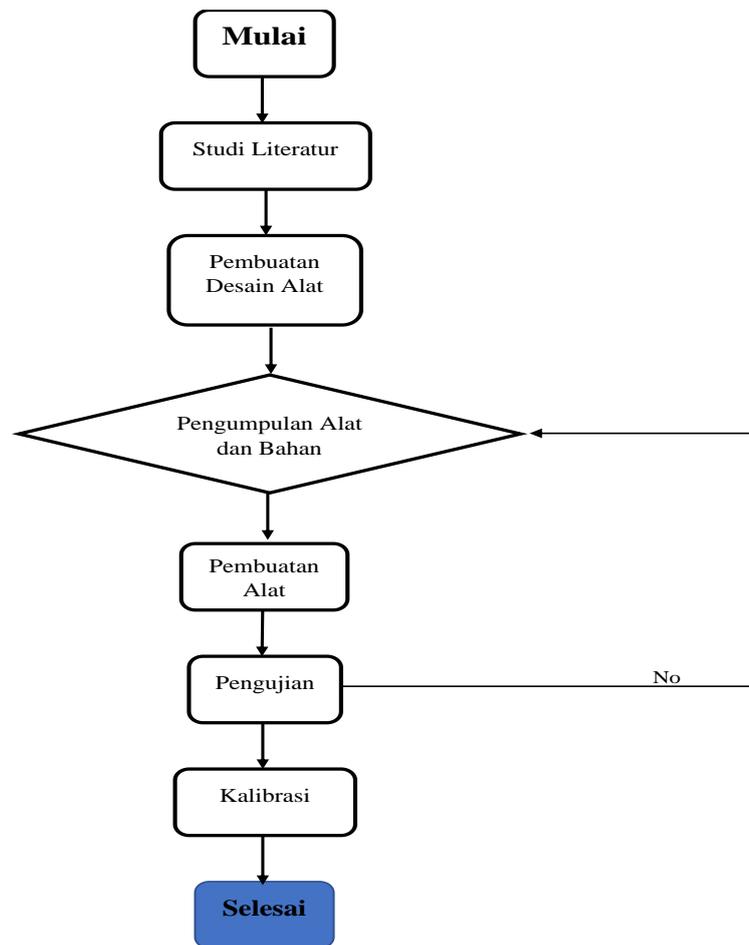
2. Metode

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental. Proses pengolahan bio-briket dengan bahan baku eceng gondok dilakukan berdasarkan referensi eksperimen yang telah dilakukan Agnes (2020) yaitu untuk mendapatkan nilai kadar air, kadar zat menguap, kadar karbon terikat dan kadar abu (Agness et al., 2020). Adapun alat dan bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

No.	Alat dan Bahan
1	Timbangan
2	Ayakan
3	Alat pres
4	Wadah
5	Baskom
6	Sendok
7	Gunting
8	Eceng gondok
9	Tepung kanji
10	Alu

Proses pembuatan Bio-briket dalam penelitian ini, sampel diperoleh dari rawa diwilayah Kampung Jawa belakang Kota Langsa. Proses pengolahan tumbuhan eceng gondok sebagai sampel ini dikeringkan dengan memanfaatkan sumber panas dari matahari. Setelah mengering dilakukannya proses pembakaran menggunakan reaktor karbonisasi sederhana dari plat baja/wadah pembakaran. Proses karbonisasi eceng gondok menjadi arang melalui pembakaran selesai, kemudian dilakukannya proses penyaringan untuk memisahkan antara arang kasar dan arang halus. Selanjutnya dilakukannya pencampuran antara arang halus dan perekat yaitu teung tapioka/tepung kanji. Adapun diagram alir penelitian keseluruhan ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.



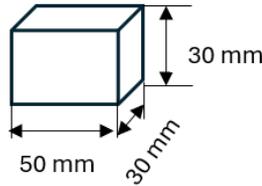
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Variabel penelitian adalah perbandingan antara arang halus dengan perekat. Adapun perbandingannya adalah 70% : 30% dengan metode pencampuran secara manual. Hasil pengujian sampel akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya menggunakan briket dari batok kelapa.

Proses penelitian dilakukan secara bertahap mulai dari pengambilan bahan baku hingga proses pengeringan bio-briket. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan bio-briket dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengadaan Eceng gondok dirawa-rawa sebanyak 120 kg.
2. Eceng gondok dikeringkan menggunakan panas matahari 2-3 hari menjadi 12 kg.
3. Eceng gondok yang sudah kering dipotong-potong menjadi kecil dan akar dari eceng gondok tersebut dibuang.
4. Eceng gondok yang sudah dipotong-potong dimasukkan reaktor karbonisasi sederhana dari plat baja/ wadah pembakaran.
5. Wadah reaktor karbonisasi dibakar pada tungku pembakaran sampai sample menghitam seperti arang.
6. Eceng gondok yang sudah dibakar kemudian dihaluskan dengan alu dan diayak menggunakan ayakan sampai benar-benar halus.
7. Serbuk arang yang telah halus tersebut ditimbang dengan berat total 2,7 kg.
8. Kemudian serbuk arang halus tersebut campur dengan perekat (tepung kanji) dengan konsentrasi 30% tepung kanji dan 70% serbuk halus.
9. Campuran dicetak dengan menggunakan alat Pres.

10. Briket yang sudah dicetak dikeringkan selama 2-3 hari di bawah terik matahari.
11. Setelah kering bio-briket sudah dapat digunakan. Adapun bentuk bio-briket dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain bio-briket

Untuk menentukan karakteristik bio-briket, serangkaian pengujian laboratorium, termasuk analisis proksimat dan pengujian nilai kalor. Sampel bio-briket diuji kadar airnya menggunakan oven pada suhu konstan. Kadar abu diperoleh dengan membakar sampel pada suhu tinggi dalam tungku hingga menghasilkan residu anorganik. Kandungan zat menguap dianalisis dengan pemanasan tertutup pada suhu 950°C. Karbon terikat dihitung sebagai selisih antara massa total dan jumlah kadar air, abu, serta zat menguap. Nilai kalor diukur menggunakan kalorimeter bom.

3. Hasil dan Pembahasan

Proses pencetakan bio-briket dilakukannya dengan alat cetak dilakukan dengan cara manual dengan ukuran sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Hasil pembuatan bio-briket dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pembuatan Bio-briket

Bio-briket dari eceng gondok yang dihasilkan dari penelitian ini kemudian dilakukan di pengujian di Laboratorium. Hasil pengujian dengan metode *Moisture Analyzer* diperoleh besarnya kadar air adalah sebesar 9,61 %. Adapun Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian kadar air

LAPORAN HASIL PENGUJIAN KADAR AIR			
Wo Number	230052		
Customer	Syamsul Bahri Widodo		
Lab Sampel	Customer Sample IDE	Jenis Sampel	
A60		Briket	
No	Deskripsi sampel	Persentase (%)	Metode
1	Briket	9,61	Moisture Analysis

Sedangkan hasil pengujian kadar abu yang dilakukan yaitu pada kondisi operasi dengan massa sampel 33,56 gram, diperoleh hasil sebesar 3,93 % pada massa sampel kondisi akhir adalah

1,31 gram. Kondisi temperatur pada saat pengujian adalah 600°C, selama pembakaran 4 jam. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kadar abu

DATA HASIL FURNACE								
NAMA : Syamsul Bahri Widodo			TEMPERATUR : 600°C					
WO : 230052			TIME : 4Jam					
Sampel : Briket								
Nama Sampel	Kondisi Operasi			Kondisi Akhir			Kehilangan Berat	% Kadar Abu
	Cawan (gr)	Cawan & Sampel (gr)	Sampel (gr)	Cawan (gr)	Cawan & Sampel (gr)	Sampel (gr)		
Briket	114,23	147,79	33,56	114,23	115,55	1,32	32,24	3,93

Penentuan kadar zat menguap yang diuji di Laboratorium mendapatkan hasil pengujian pada kondisi operasi dengan massa sampel adalah 36,87 gram, besarnya kadar zat menguap bio-braket enceng gondok dalam penelitian ini adalah 7,89 % dengan besar massa sampel kondisi akhir adalah 2,91 gram. Temperatur pengujian adalah 950°C, lama pemanasan adalah 1 jam. Adapun hasil uji sample dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji zat menguap pada bio-briket

DATA HASIL FURNACE								
NAMA : Syamsul Bahri Widodo			TEMPERATUR : 950°C					
WO : 230052			TIME : 1Jam					
Sampel : Briket								
Nama Sampel	Kondisi Operasi			Kondisi Akhir			Kehilangan Berat	% Kadar Zat Menguap
	Cawan (gr)	Cawan & Sampel (gr)	Sampel (gr)	Cawan (gr)	Cawan & Sampel (gr)	Sampel (gr)		
Briket	104,98	141,85	36,87	104,98	107,89	2,91	33,96	7,89%

Guna mendapatkan kadar karbon terikat pada penelitian ini dilakukan pengujian dilaboratorium untuk mengetahui nilai ekonomis briket. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode ASTM D 5142 diperoleh besarnya kadar karbon terikat pada bio-briket ini adalah sebesar 78,57 %. Adapun data hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kadar Karbon Terikat pada Bio-briket

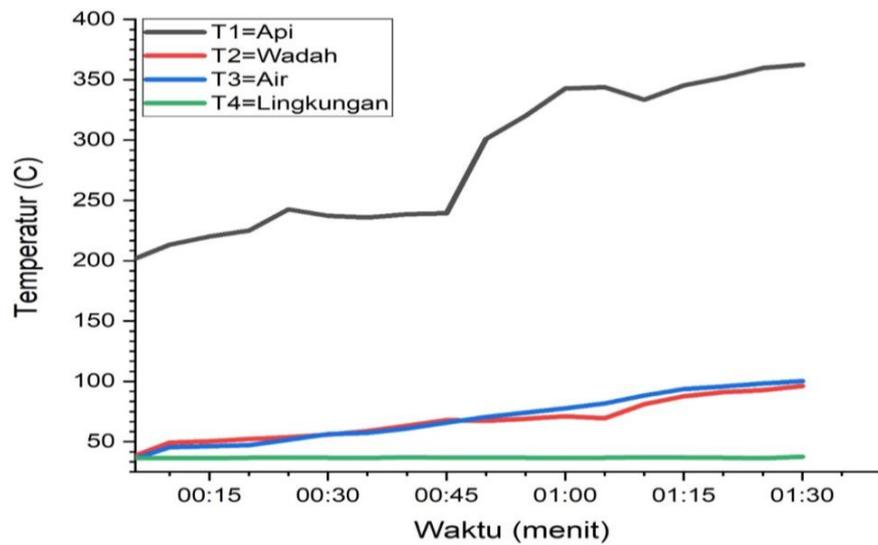
LAPORAN HASIL PENGUJIAN KADAR KARBON TERIKAT			
WO Number: 230052			
Customer: Syamsul Bahri Widodo			
Lab. Sampel	Customer Sampel	Jenis Sampel	
A60		Briket	
No.	DESKRIPSI SAMPEL	Persentase (%)	Metode
1	Briket	78,57	ASTM D 5142

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kalor bio-briket enceng gondok dengan metode ASTM D 5142-02 diperoleh angka nilai kalor adalah 6167,4 kal/g. Adapun untuk hasil uji laboratorium ini dapat dilihat pada Tabel 6.

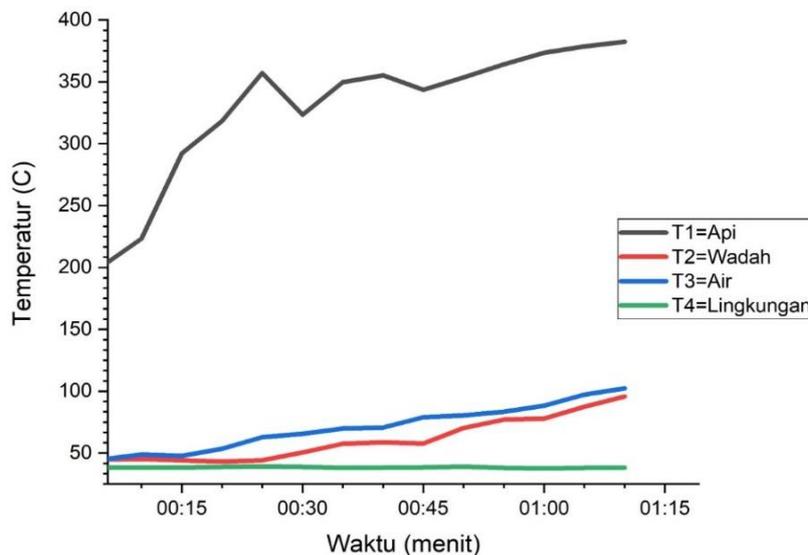
Tabel 6. Hasil uji Laboratorium nilai kalor Bio-briket

No	Nama Sampel	Spesifikasi	Metode Uji	Nilai Kalor (KJ/g)	Keterangan
1	Briket	1	ASTM D 5142-02	25,8	LHV (gas)

Data hasil pada Gambar 4 memberikan informasi bahwa temperatur api yang bersuhu 200,2°C pada 5 menit pertama, lalu temperature api naik di 30 menit bersuhu 237,3°C. Temperatur api naik di 1 jam bersuhu 342,75°C dan temperatur api naik di 1 jam 30 menit bersuhu 362,5°C. Temperatur wadah yang bersuhu 37°C pada 5 menit pertama, lalu temperature wadah naik di 30 menit bersuhu 55,76°C. Temperatur wadah naik di 1 jam bersuhu 71°C dan temperatur wadah naik di 1 jam 30 menit bersuhu 96,25°C. Temperatur air yang bersuhu 34,75°C pada 5 menit pertama, lalu temperature air naik di 30 menit bersuhu 51,5°C. Temperatur air naik di 1 jam bersuhu 77,75°C dan temperatur air naik di 1 jam 30 menit bersuhu 100,25°C. Temperatur lingkungan yang bersuhu 36,25°C pada 5 menit pertama, lalu temperature lingkungan naik di 30 menit bersuhu 36,75°C. Temperatur lingkungan naik di 1 jam bersuhu 36,5°C dan temperatur lingkungan naik di 1 jam 30 menit bersuhu 37,5°C.



Gambar 4. Grafik pengujian briket eceng gondok



Gambar 5. Grafik pengujian berbahan batok kelapa

Data hasil pada Gambar 5, menunjukkan bahwa temperatur api yang bersuhu 200,5°C pada 5 menit pertama, lalu temperatur api naik di 30 menit bersuhu 323,5°C. Temperatur api naik di 1 jam bersuhu 373,5°C dan temperatur api naik di 1 jam 10 menit bersuhu 382,5°C. Temperatur wadah yang bersuhu 44,75°C pada 5 menit pertama, lalu temperatur wadah naik di 30 menit bersuhu 50,5°C. Temperatur wadah naik di 1 jam bersuhu 78°C dan temperatur wadah naik di 1 jam 10 menit bersuhu 95,75°C. Temperatur air yang bersuhu 44,75°C pada 5 menit pertama, lalu temperatur air di 30 menit bersuhu 65,5°C. Temperatur air naik di 1 jam bersuhu 88,25°C dan temperatur air naik di 1 jam 10 menit bersuhu 102,2°C. Temperatur lingkungan yang bersuhu 38,25°C pada 5 menit pertama, lalu temperature lingkungan naik di 30 menit bersuhu 38,75°C. Temperatur lingkungan naik di 1 jam bersuhu 37,5°C dan temperatur lingkungan naik di 1 jam 10 menit bersuhu 38,25°C.

Grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 memberikan data informasi tentang perubahan temperatur pada empat variabel yaitu temperatur api, temperatur wadah, temperatur air, dan temperatur lingkungan selama proses pembakaran masing-masing briket. Bio-briket dari eceng gondok menunjukkan peningkatan temperatur api secara bertahap, dengan suhu awal 200,2°C pada menit ke-5 dan mencapai maksimum 362,5°C pada menit ke-90. Sementara itu, briket batok kelapa mengalami peningkatan suhu yang lebih cepat dan mencapai suhu maksimum lebih tinggi, yaitu 382,5°C dalam waktu 70 menit. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa briket batok kelapa memiliki laju pembakaran dan energi lepas panas yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan temperatur api yang lebih cepat naik dan lebih tinggi secara keseluruhan. Sebaliknya, briket eceng gondok menunjukkan karakter pembakaran yang lebih lambat dan bertahap, yang dapat menguntungkan pada aplikasi yang memerlukan panas stabil dalam jangka waktu lebih lama. Temperatur wadah pada briket eceng gondok meningkat dari 37°C menjadi 96,25°C dalam 90 menit, sementara pada briket batok kelapa meningkat dari 44,75°C menjadi 95,75°C dalam waktu 70 menit.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun energi pembakaran briket batok kelapa lebih tinggi, distribusi panas pada wadah relatif sebanding dengan briket eceng gondok. Ini menunjukkan efisiensi transfer panas dari bahan bakar ke wadah pada kedua jenis briket memiliki pola serupa, dengan keunggulan pada stabilitas suhu pada briket eceng gondok. Temperatur air pada percobaan briket eceng gondok meningkat dari 34,75°C menjadi 100,25°C dalam waktu 90 menit. Pada briket batok kelapa, suhu air mencapai 102,2°C dalam waktu 70 menit.

Tabel 7. Perbandingan Bio-briket eceng gondok dan briket batok kelapa

No	Sifat	Bio-briket Eceng Gondok	Briket Batok Kelapa
1	Kadar Air (%)	9,61	1,2
2	Kadar Abu (%)	3,93	7,5
3	Kadar Zat Menguap (%)	7,89	14,7
4	Kadar Karbon Terikat (%)	78,57	76,6
5	Nilai Kalor (KJ/Gram)	28,78	25,80

Briket batok kelapa lebih cepat memanaskan air karena nilai kalorinya lebih tinggi (28,78 KJ/g vs 25,80 KJ/g). Namun, briket eceng gondok tetap mampu mencapai titik didih air, meskipun dalam waktu lebih lama, yang menunjukkan kemampuannya sebagai bahan bakar rumah tangga yang efisien untuk pemanasan dengan konsumsi energi yang stabil. Temperatur lingkungan pada kedua percobaan relatif konstan, berkisar antara 36°C hingga 38°C. Perbedaan ini tidak signifikan dan tidak mempengaruhi hasil pembakaran secara langsung. Adapun hasil perbandingan bio-briket eceng gondok dan briket batok kelapa dapat dijabarkan pada Tabel 7. Hasil pengujian pada

penelitian ini menunjukkan hasil pembakaran bio-briket eceng gondok lebih lambat namun lebih stabil, sehingga cocok digunakan pada aplikasi pemanasan jangka panjang dan lebih ramah lingkungan. Bio-briket eceng gondok dapat dijadikan alternatif bahan bakar terbarukan, terutama di wilayah yang mengalami pertumbuhan gulma air berlebih.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, bio-briket yang dibuat dari eceng gondok memiliki karakteristik sebagai berikut: kadar air sebesar 9,61%, kadar abu 3,93%, kadar zat menguap 7,89%, karbon terikat 78,57%, dan nilai kalor sebesar 25,80 KJ/g. Jika dibandingkan dengan briket dari batok kelapa, bio-briket eceng gondok menunjukkan waktu pembakaran yang lebih lambat, namun menghasilkan proses pembakaran yang stabil dan relatif bersih. Hasil ini menunjukkan bahwa eceng gondok memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan bakar alternatif berbasis biomassa yang ramah lingkungan. Pemanfaatan tanaman invasif ini tidak hanya berkontribusi dalam penyediaan energi terbarukan, tetapi juga membantu mengatasi permasalahan lingkungan akibat pertumbuhan gulma air yang berlebihan di perairan tropis. Pengembangan bio-briket eceng gondok dapat diarahkan pada skala rumah tangga maupun industri kecil-menengah, dengan optimalisasi proses karbonisasi dan formulasi perekat untuk meningkatkan efisiensi energi serta kestabilan pembakaran. Untuk pengembangan penelitian berkelanjutan dapat dilakukan dengan variasi desain tungku dan produksi lebih besar. Serta pengaruh kelembaban atau variasi material spesimen.

Daftar Pustaka

- Agnes, A., H. Hamsina, and N. Ainy. 2020. "Penentuan Karakteristik Briket Arang Bambu dengan Menggunakan Perekat Tepung Sagu dan Tapioka." *Jurnal Sainis* 1(2): 31–36. <https://journal.ft.unibos.ac.id/index.php/sainis/article/view/125>.
- Alfakihuddin, M. L. B., R. Sunartaty, D. Satriawan, T. Purnomo, E. S. Sahabuddin, and O. S. R. Darsini. 2023. "Pengendalian Limbah Industri." *ResearchGate*. Accessed April 17, 2025. https://www.researchgate.net/profile/Gregorio-Bani/publication/370630775_PENGENDALIAN_LIMBAH_INDUSTRI/links/670b367d68e0f20a61106ca4/PENGENDALIAN-LIMBAH-INDUSTRI.pdf.
- Apriliyanti, K., and D. Rizki. n.d. "Kebijakan Energi Terbarukan: Studi Kasus Indonesia dan Norwegia dalam Pengelolaan Sumber Energi Berkelanjutan." *Jurnal Ilmu Pemerintahan Widya Praja*. Accessed April 17, 2025. <http://ejournal.ipdn.ac.id/JIPWP/article/view/3684>.
- Ariyanto, E., M. A. Karim, and A. Firmansyah. 2014. "Biobriket Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan." *Reaktor* 15(1): 59–63. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.1.59-63>.
- Aulia, Sekar, Zainuddin Ginting, Dede Ibrahim Muthawali, Ishak Ishak, Muhammad Muhammad, Eddi Kurniawan, dan Budhi Santri Kusuma. 2024. "Karakteristik Biopellet Dari Limbah Kulit Kelapa Muda Dan Batok Kelapa Menggunakan Perekat Getah Pinus Sebagai Bahan Bakar Alternatif". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):119-29. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.61>.
- Bekti, R. P., A. Afri, D. Dewi, K. Kunci, E. Gondok, and K. Sumber Belajar. 2024. "Karakteristik Struktur Morfologi dan Anatomi Tumbuhan Kiambang dan Eceng Gondok sebagai Sumber Belajar pada Mata Kuliah Tumbuhan Air." *Sendja* 2(2). <https://doi.org/10.59923/sendja.v2i2.246>.

- Fitroh Rifa'i, A., Awaludin, W. A. Pamungkas, R. B. Setyawati, C. P. Setiawan, and J. Waluyo. 2022. "Kajian Teknoekonomi Bioetanol Berbahan Molasses sebagai Alternatif Substitusi BBM." *Equilibrium* 6(1): 61–72. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.63158>.
- Idris, Muhammad, Indra Hermawan, dan Verianto Sihombing. 2022. "Pengaruh Kombinasi Cangkang Kemiri Dengan Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kalor Briket". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (2):35-44. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v1i2.22>.
- Irvan Purwazi, A., R. B. Kuncoro, R. D. Atmaja, A. S. Sanjaya, J. Sambaliung, S. Utara, and K. Timur. 2018. "Analisa Perbandingan Persentase Perekat terhadap Nilai Uji Kalor dan Proksimat Biobriket Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Menggunakan Metode." *Jurnal Ilmiah Pertanian* 7(1): 20–25. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/iip/article/view/2777>.
- Junaidi, R., M. Zaini, R. Ramadhan, M. Hasan, B. Y. Z. B. Ranti, M. W. Firmansyah, S. Umayasari, A. Sulisty, R. D. Aprilia, and F. Hardiansyah. 2021. "Pembuatan Eco-Enzyme sebagai Solusi Pengolahan Limbah Rumah Tangga." *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (JP2M)* 2(2): 118–23. <https://doi.org/10.33474/JP2M.V2I2.10760>.
- Kirana, K., D. Kristianti, and I. S. Roidah. 2023. "Sosialisasi Pemanfaatan Jantung Pisang Menjadi Produk Abon di LMDH Watu Blorok." *Journal of Community Service (JCOS)* 1(3): 160–67. <https://doi.org/10.56855/JCOS.V1I3.507>.
- Munjeri, K., S. Ziuku, H. Maganga, B. Siachingoma, and S. Ndlovu. 2016. "On the Potential of Water Hyacinth as a Biomass Briquette for Heating Applications." *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 7(1): 37–43. <https://doi.org/10.1007/s40095-015-0195-8>.
- Prasetyo, S. 2024. "Ragam Metode Pengendalian Gulma Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm) di Danau Rawapening Jawa Tengah, Indonesia." *Bioma* 26(1). <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/bioma/article/view/54731>.
- Pratiwi, V. D., and I. Mukhaimin. 2021. "Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi." *Academia.edu*. Accessed April 19, 2025. <https://www.academia.edu/download/94844869/pdf.pdf>.
- Rajabby, A. K. 2022. "Analisis Pencampuran Bio-briket Tongkol Jagung dan Tanah Gambut sebagai Pengganti Alternatif Bahan Bakar." <http://repository.unas.ac.id/id/eprint/6207>.
- Rezania, S., M. F. Md Din, S. F. Kamaruddin, S. M. Taib, L. Singh, E. L. Yong, and F. A. Dahalan. 2016. "Evaluation of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a Potential Raw Material Source for Briquette Production." *Energy* 111: 768–73. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.026>.
- Rifqi Junaidi, M., M. Zaini, M. Hasan, B. Y. Z. B. Ranti, M. W. Firmansyah, S. Umayasari, A. Sulisty, R. D. Aprilia, and F. Hardiansyah. 2021. "Pembuatan Eco-Enzyme sebagai Solusi Pengolahan Limbah Rumah Tangga." *JP2M* 2(2): 118–23. <https://riset.unisma.ac.id/index.php/JP2M/article/view/10760>.
- Saparudin, S., S. Syahrul, and N. Nurchayati. 2015. "Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Kadar Hasil dan Nilai Kalor Briket Campuran Sekam Padi-Kotoran Ayam." *Dinamika Teknik Mesin* 5(1). <https://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/article/view/46>.
- Sartika Nisa L. Tobing, and R. Hayati. 2024. "Dampak Adanya Pertumbuhan Eceng Gondok dalam Skala Besar terhadap Ekosistem di Kawasan Danau Toba." *Jurnal Ilmu Sosial dan Politik* 5(2). <https://doi.org/10.56552/jisipol.v5i2.133>.
- Satmoko, M. E. A., D. D. Saputro, and A. Budiyo. 2013. "Karakterisasi Briket dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon dengan Metode Cetak Panas." *Journal of Mechanical Engineering Learning*. Accessed April 19, 2025. <https://journal.unnes.ac.id/sju/jmel/article/view/1942>.

- Simanjuntak, J. P., R. Silaban, and A. N. Putra. 2024. "Teknologi Pirolisis Biomassa Energi Terbaru." <https://digilib.unimed.ac.id/id/eprint/56931/>.
- Tampubolon, Heriansyah, Dede Ibrahim Muthawali, Zainuddin Ginting, Jalaluddin Jalaluddin, dan Budhi Santri Kusuma. 2024. "Pembuatan Biobriket Dari Campuran Bottom Ash Dengan Limbah Padat Kelapa Muda Menggunakan Lem Molase Sebagai Bahan Bakar Alternatif". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):108-18. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.39>.
- Widjanto, D. W., Sumarsono, and A. Syah. 2022. "Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* Solms) dalam Mendukung Implementasi Pertanian Berkelanjutan." *Penerbit Indonesian Food Technologists*. Accessed April 17, 2025. www.ift.or.id.
- Yuliza, N., N. Nazir, and M. Djalal. 2013. "Pengaruh Komposisi Arang Sekam Padi dan Arang Kulit Biji Jarak Pagar terhadap Mutu Briket Arang." *Jurnal Litbang Industri* 3(1): 21–30. <https://core.ac.uk/download/pdf/230030773.pdf>.