

Analisis Efisiensi Termal Kompor Biomassa Tipe *Gasifier Downdraft* dengan Variasi Massa Campuran Arang Kayu dan *Wood Pellet*

Thermal Efficiency Analysis of a Downdraft Gasifier-Type Biomass Stove with Variations in the Mass of Wood Charcoal and Wood Pellet Mixtures

Joel Hasoloan Simatupang¹, Jufrizal^{1*}, Supriatno¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan 20223, Indonesia

*Corresponding author: jufrizal@staff.uma.ac.id

Diterima: 28-04-2025

Disetujui: 11-08-2025

Dipublikasikan: 20-08-2025

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



Abstrak

Penelitian ini menganalisis efisiensi termal kompor biomassa tipe gasifier downdraft dengan variasi massa bahan bakar arang kayu dan wood pellet. Pengujian dilakukan menggunakan metode Water Boiling Test (WBT) dengan empat variasi massa: 0,5 kg, 0,75 kg, 1 kg, dan 1,5 kg. Parameter yang diamati mencakup efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar (FCR), daya masuk, dan daya keluar. Hasil menunjukkan efisiensi termal tertinggi sebesar 14% dicapai oleh wood pellet 1,5 kg, sedangkan arang kayu mengalami penurunan efisiensi pada massa 1 kg. FCR meningkat pada arang kayu, namun menurun pada wood pellet, menunjukkan efisiensi pembakaran lebih baik. Daya input dan output juga meningkat seiring bertambahnya massa bahan bakar. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan bahan bakar dan optimasi massa untuk meningkatkan efisiensi kompor biomassa sebagai bagian dari transisi energi terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: Efisiensi termal, Kompor biomassa, Arang kayu, Wood pellet.

Abstract

This study analyzes the thermal efficiency of a downdraft gasifier-type biomass stove using various fuel masses of wood charcoal and wood pellets. The Water Boiling Test (WBT) method was applied with fuel masses of 0.5 kg, 0.75 kg, 1 kg, and 1.5 kg. Observed parameters included thermal efficiency, fuel consumption rate (FCR), power input, and power output. The highest thermal efficiency, 14%, was achieved with 1.5 kg of wood pellets, while charcoal showed a decrease in efficiency at 1 kg. FCR increased with charcoal but decreased with wood pellets, indicating better combustion efficiency. Power input and output increased with higher fuel mass. These findings highlight the importance of fuel type and mass optimization in improving biomass stove performance, thereby supporting Indonesia's transition to renewable energy.

Keywords: Thermal efficiency, Biomass stove, Wood charcoal, Wood pellet.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi nasional. Saat ini, pasokan energi masih didominasi oleh minyak bumi dan batu bara yang ketersediaannya semakin terbatas. Kondisi ini memicu kenaikan harga serta menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlanjutan energi fosil di masa depan. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi agenda penting dalam mendukung ketahanan energi nasional (KESDM 2023).

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensinya melimpah di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), potensi biomassa nasional mencapai sekitar 32,6 GW, setara dengan 146 juta ton minyak per tahun. Namun, hingga saat ini kapasitas pembangkit listrik tenaga biomassa yang terpasang baru sekitar 2 GW, atau kurang dari 7% dari total potensi yang tersedia (KESDM 2023). Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif masih sangat terbatas, padahal sumber ini dapat diperoleh dari limbah pertanian, kehutanan, maupun perkebunan yang jumlahnya melimpah dan tersedia sepanjang tahun (Darmawan, Surachman, and Rahmawati 2020).

Dalam skala rumah tangga, biomassa banyak digunakan sebagai bahan bakar kompor. Sejumlah penelitian telah mengembangkan desain kompor biomassa untuk meningkatkan efisiensi pembakaran. Santoso dan Iromo (2018), misalnya, merancang kompor berbahan plat besi dan beton dengan tambahan blower sehingga mampu menampung hingga 4,5 kg bahan bakar. Akan tetapi, penelitian tersebut belum menelaah secara detail hubungan antara jenis bahan bakar dan efisiensi termal. Padahal, efisiensi termal merupakan parameter penting untuk menilai sejauh mana energi dalam bahan bakar dapat dimanfaatkan secara efektif (Nurhuda 2011).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis efisiensi termal kompor biomassa tipe *gasifier downdraft* dengan variasi massa campuran arang kayu dan *wood pellet*. Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan performa dua jenis bahan bakar biomassa yang berbeda karakteristiknya. Arang kayu memiliki kadar karbon tetap yang tinggi tetapi nilai kalor relatif lebih rendah, sedangkan *wood pellet* memiliki densitas dan nilai kalor yang lebih besar. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam memahami pengaruh variasi bahan bakar terhadap efisiensi termal kompor biomassa, serta menjadi dasar pengembangan teknologi kompor yang lebih efektif dan berkelanjutan.

2. Metode

2.1. Desain Eksperimental

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Medan Area (UMA). Penelitian difokuskan pada pengukuran efisiensi termal kompor biomassa tipe *gasifier downdraft* dengan variasi massa dan jenis bahan bakar, yaitu arang kayu dan *wood pellet*. Adapun variasi massa bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 0,5 kg, 0,75 kg, 1 kg, dan 1,5 kg.

2.2. Alat dan Bahan

Rinci alat dan material yang digunakan dalam Penelitian ini dijabarkan pada Tabel 1. Adapun bahan bakar utama dalam untuk validitas hasil diperlihatkan pada Gambar 1. Dan ini kompor biomassa digunakan dilengkapi dengan 20 lubang burner seperti pada Gambar 2.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No.	Alat dan Bahan	Keterangan
1	Kompor biomassa	<i>Gasifier downdraft</i> kapasitas 20 lubang burner
2	Termokopel tipe K	mengukur temperatur api dan temperatur air
3	Timbangan digital	menimbang massa awal dan massa akhir bahan bakar
4	<i>Stopwatch</i> digital	mencatat durasi waktu pembakaran
5	Bejana air (panci aluminium)	uji pendidihan air
6	Bahan bakar	arang kayu dan <i>wood pellet</i> .



Gambar 1. Arang kayu dan wood pellet



Gambar 2. Kompor biomassa UB standar

2.3. Prosedur Kerja

Metode pengujian yang digunakan adalah *Water Boiling Test* (WBT), sesuai dengan standar internasional untuk mengukur kinerja kompor biomassa. Prosedur pengujian meliputi langkah: Menimbang massa bahan bakar sesuai variasi yang telah ditentukan; Mengisi bejana dengan volume air tertentu (3 liter) pada suhu awal yang dicatat; Menyalakan kompor dengan bahan bakar uji, kemudian mencatat perubahan suhu api (T_{Api}) dan suhu air (T_{Air}) secara berkala. Mengamati waktu yang dibutuhkan hingga air mendidih (100°C) atau sampai bahan bakar habis terbakar; Menghitung jumlah bahan bakar yang digunakan selama proses, serta mencatat sisa bahan bakar bila ada.

2.4. *Water Boiling Test* (WBT)

Water Boiling Test (WBT) merupakan metode pengujian efisiensi termal dengan cara mengukur jumlah air yang menguap selama pembakaran, konsumsi dan efektivitas bahan bakar, menghitung parameter kinerja seperti daya input, panas sensible, panas laten, efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar (FCR), dan daya keluaran.

- 1) Energi input adalah total energi panas yang dihasilkan dapat, dengan Persamaan 1 (Hakim et al., 2023).

$$Q_n = \frac{M_w \times E_s}{T} \quad (1)$$

Keterangan: Q_n adalah Energi yang dibutuhkan (kkal/jam); M_w adalah Massa air (kg); E_s adalah Energi spesifik (kkal/kg); T adalah Waktu memasak (Jam).

- 2) *Sensible Heat* yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air, ditunjukkan pada Persamaan 2. (Yuliati et al., 2019) .

$$SH = M_w \times C_p \times (T_f - T_i) \quad (2)$$

Keterangan: SH adalah *Sensible heat* (kkal); C_p adalah Panas spesifik air, $1 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C}$; T_f adalah Suhu air mendidih ($^{\circ}\text{C}$); T_i adalah Suhu air sebelum mendidih ($^{\circ}\text{C}$).

- 3) *Latent Heat* dihitungannya dengan Persamaan 3 (Yuliati et al., 2019)

$$LH = W_e \times HFG \quad (3)$$

Keterangan: LH adalah Panas laten (kkal); We adalah Berat air yang menguap (Kg); HFG adalah Panas laten penguapan air, 539,4 kkal/kg (tabel entalpi uap).

- 4) *Heat Energy* Input dihitung dengan Persamaan 4 (Yuliati et al., 2019).

$$QF = WFU \times HVF \quad (4)$$

Keterangan: QF adalah Energi panas yang tersedia pada bahan bakar (kkal); WFU adalah Berat bahan bakar yang digunakan (kg); HVF adalah *Heating value of fuel*/ nilai kalor bahan bakar (kkal/kg).

- 5) Efisiensi termal dihitung menggunakan Persamaan 5, sesuai metode *Water Boiling Test* (WBT) (Muslikhin et al., 2024).

$$\eta = \frac{SH+LH}{HVF \times WFU} \quad (5)$$

Keterangan: η adalah Efisiensi termal (%); HVF adalah *Heating value of fuel*/ nilai kalor bahan bakar (kkal/kg)

- 6) Laju konsumsi bahan bakar spesifik, dihitung dengan Persamaan 6 (Nugraha et al., 2024).

$$FCR = \frac{Q_n}{HVF \times \eta} \quad (6)$$

Keterangan: FCR adalah *Fuel consumption rate*/ tingkat konsumsi bahan bakar (kg/jam); Qn adalah *Heat energy needed*/ energi panas yang dibutuhkan (kkal/hr).

- 7) *Power Input* energi dari bahan bakar dihitung dengan Persamaan 7 (Yuliati et al., 2019).

$$P_i = FCR \times HVF \quad (7)$$

Keterangan: P_i adalah *Power input* (kw)

- 8) *Power Output* merupakan energi panas kompor dihitung dengan Persamaan 8 (Yuliati et al., 2019).

$$P_o = FCR \times HVF \times \eta \quad (8)$$

Keterangan: P_o adalah *Power output*

2.5. Analisis Data

Data hasil pengujian kemudian dihitung menggunakan persamaan sesuai metode WBT. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis.

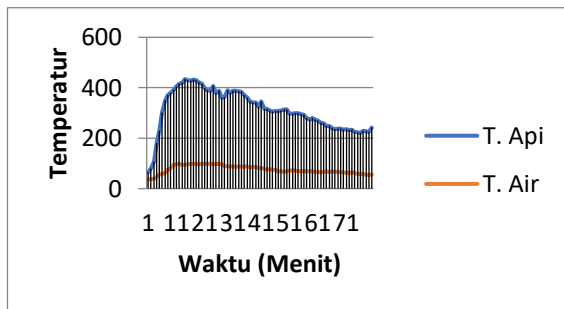
3. Hasil dan Pembahasan

Grafik pengujian pertama ditunjukkan pada Gambar 3 Suhu api cepat naik hingga puncak pada menit ke-15, lalu menurun dan stabil, sedangkan suhu air naik lebih lambat dan tidak setinggi api. Hal ini menunjukkan perbedaan laju penyerapan panas antara api dan air. Tabel 2 adalah hasil rata-rata dari pengukuran temperatur dan sisa bahan bakar yang diperoleh dalam setiap percobaan.

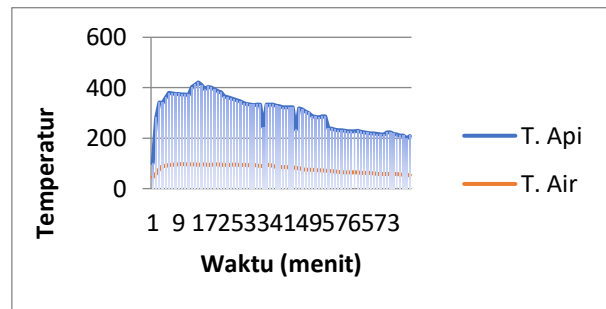
Tabel 2. Rata-rata temperatur pengukuran dan sisa bahan bakar

Percobaan	Massa Awal Bahan Bakar (kg)	Temperatur Api (°C)	Temperatur Air (°C)	Massa Akhir Air (liter)	Massa Akhir Bahan Bakar (kg)
1	0,5	311,943	75,4738	0,544	0,125
2	0,75	300,661	79,3288	1,351	0,298
3	1	319,959	83,375	1,285	0,404
4	1,5	293,634	88,1388	0,572	0,205

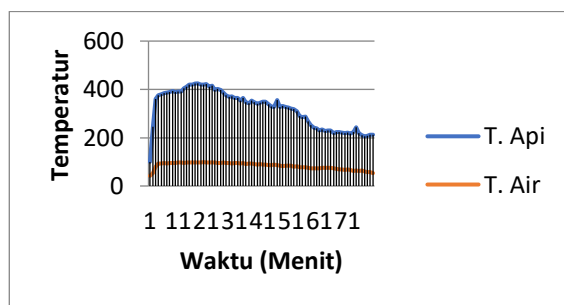
Pada percobaan kedua (Gambar 4), suhu api cepat naik di awal dengan puncak sedikit lebih rendah dari percobaan pertama, lalu menurun bertahap hingga stabil. Suhu air meningkat lebih lambat dan tetap lebih rendah dari api. Hal ini menunjukkan pengaruh variasi faktor percobaan seperti volume air atau intensitas api.



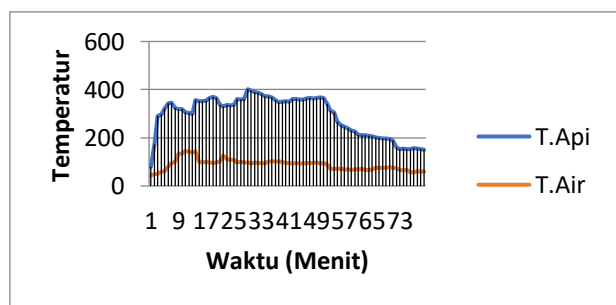
Gambar 3. Hasil Pengukuran percobaan ke-1



Gambar 4. Hasil Pengukuran percobaan ke-2



Gambar 5. Hasil Pengukuran percobaan ke-3



Gambar 6. Hasil Pengukuran percobaan ke-4

Grafik ketiga (Gambar 5) menunjukkan pola serupa, dengan puncak suhu api sedikit lebih tinggi dan waktu stabilisasi serupa. Suhu air sempat fluktuatif di tengah percobaan. Hal ini kemungkinan dipengaruhi faktor eksternal, seperti gangguan pada api atau laju penguapan air.

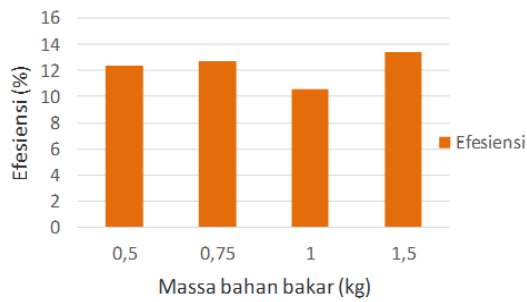
Gambar 6 menunjukkan percobaan keempat. Suhu api beberapa kali mencapai puncak tetapi lebih rendah dari percobaan sebelumnya. Suhu air meningkat perlahan dan tetap stabil di bawah 100°C. Pola ini menunjukkan kemungkinan perbedaan kondisi awal atau variasi intensitas pemanasan.

Suhu api pada percobaan keempat, naik cepat di awal hingga puncak sekitar menit ke-15, lalu menurun perlahan hingga stabil. Tinggi puncak suhu api berbeda antar percobaan: percobaan kedua lebih rendah, ketiga lebih tinggi, keempat beberapa puncak kecil. Suhu air meningkat lebih lambat dan relatif stabil setelah beberapa saat. Pada percobaan keempat, suhu air tetap di bawah 100°C. Pola ini menunjukkan perbedaan laju penyerapan panas antara air dan api serta pengaruh faktor seperti volume air, intensitas api, atau kondisi pembakaran.

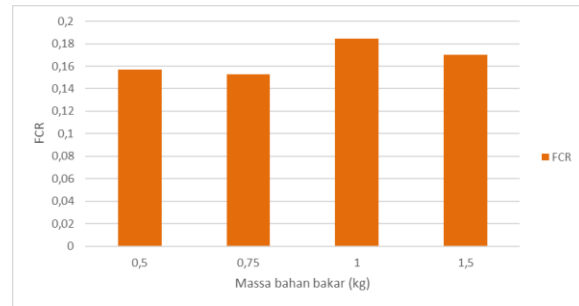
Perhitungan input dan output dilakukan untuk menentukan efisiensi termal pada setiap pengujian volume air menggunakan metode WBT. Hasil pengujian penguapan air ditampilkan pada Gambar 7, yang menunjukkan hubungan massa bahan bakar dengan efisiensi termal kompor biomassa. Pada massa 0,5 kg dan 0,75 kg, efisiensi tercatat sekitar 12% dan 13%, sedangkan pada 1 kg efisiensi menurun menjadi 11% akibat pembakaran kurang optimal. Menariknya, pada 1,5 kg bahan bakar *wood pellet*, efisiensi meningkat hingga 14%.

Grafik Gambar 8 menunjukkan hubungan massa bahan bakar dengan *Fuel Consumption Rate* (FCR). Pada massa 0,5 kg dan 0,75 kg, FCR relatif stabil sekitar 0,16. Pada massa 1 kg, FCR meningkat hingga 0,19, menandakan pembakaran kurang efisien. Sedangkan pada 1,5 kg bahan

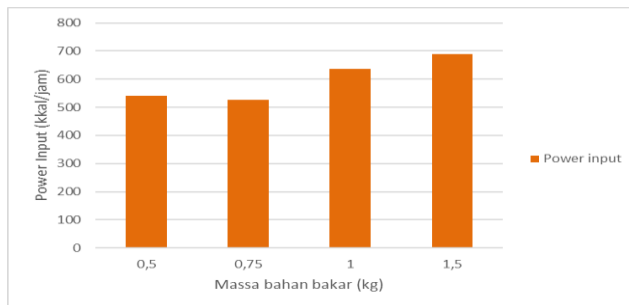
bakar *wood pellet*, FCR menurun ke 0,17. Hal ini menunjukkan pembakaran lebih stabil dan konsumsi bahan bakar lebih terkendali dengan bahan bakar yang tepat.



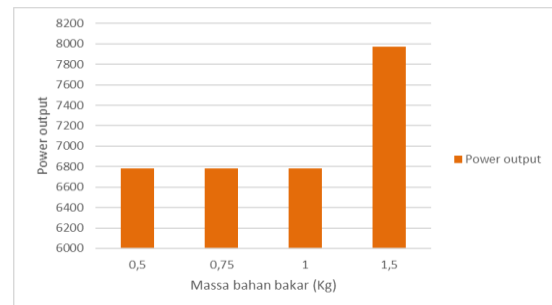
Gambar 7. Grafik Efisiensi Thermal



Gambar 8. Grafik laju konsumsi bahan bakar



Gambar 9. Grafik Power input kompor



Gambar 10. Grafik power output Kompor

Grafik Gambar 9 menunjukkan hubungan massa bahan bakar dengan *Power Input*. Pada 0,5 kg, *Power Input* sekitar 500 kkal/jam dan sedikit menurun pada 0,75 kg. Massa 1 kg meningkatkan *Power Input* mendekati 600 kkal/jam. Pada 1,5 kg dengan *wood pellet*, *Power Input* mencapai sekitar 650 kkal/jam. Pola ini menunjukkan bahwa massa dan kualitas bahan bakar berpengaruh terhadap energi panas yang masuk ke sistem pembakaran.

Analisis Gambar 10 menunjukkan *power output* kompor dengan berbagai bahan bakar. Arang kayu pada massa 0,5–1 kg menghasilkan *power output* relatif stabil sekitar 6.800. Wood pellet pada massa 1,5 kg memberikan lonjakan power output mendekati 8.000. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan massa bahan bakar memengaruhi daya panas. Selain itu, jenis bahan bakar juga penting, karena *wood pellet* lebih efisien dibanding arang kayu. *Wood pellet* mampu menghasilkan *output* panas lebih optimal, meningkatkan efisiensi pembakaran.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja kompor biomassa tipe *gasifier downdraft* sangat dipengaruhi oleh massa dan jenis bahan bakar. Efisiensi termal arang kayu berkisar 12–13% pada massa 0,5–0,75 kg, menurun menjadi 11% pada 1 kg, sedangkan *wood pellet* 1,5 kg mampu mencapai 14% dengan pembakaran lebih stabil dan efisien. *Fuel Consumption Rate* (FCR) meningkat pada arang kayu, tetapi menurun pada *wood pellet* 1,5 kg yang menandakan efisiensi bahan bakar lebih baik. *Power input* dan *output* juga meningkat seiring bertambahnya massa, dengan peningkatan signifikan pada *wood pellet*. Optimasi massa dan pemilihan *wood pellet* sebagai bahan bakar terbarukan menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi termal sekaligus mendukung transisi energi berkelanjutan di Indonesia.

Daftar Pustaka

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 Perakat 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>.
- Bahri Widodo, Syamsul, Zainal Arif, Iskandar Yakob, Suheri Suheri, dan Dicky Maranata Sembiring. 2025. "Studi Pemanfaatan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Sebagai Bio-Briket Ramah Lingkungan: Studi Eksperimental". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 4 (1):48-58. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.193>.
- Darmawan, A., T. Asyhari, I. Dunggio, Salmahaminati, and M. Aziz. 2024. "Energy Harvesting from Tropical Biomasses in Wallacea Region: Scenarios, Technologies, and Perspectives." *Biomass Conversion and Biorefinery* 14(17): 20017–20035. <https://doi.org/10.1007/S13399-023-04223-8/FIGURES/1>.
- Gautam, Gopal. 2010. *Parametric Study of a Commercial-Scale Biomass Downdraft Gasifier: Experiments and Equilibrium Modeling*. Auburn, AL: Auburn University.
- 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>.
- Hakim, M. A., M. S. K. T. S. Utomo, and M. Muchammad. 2023. "Pengaruh Penggunaan Biomasa Wood Pellet pada Proses Co-Firing terhadap Suhu Pembakaran." *Jurnal Teknik Mesin* 11(3): 121–126. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/itm/article/view/40161>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). 2023. *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Muslikhin, A., E. Marlina, and A. Raharjo. 2024. "Pengaruh Desain Burner Cone dengan Variasi Sudut terhadap Karakteristik Pembakaran pada Wood Pellet Stove." *Jurnal Teknik Mesin* 21(1): 10–15. <https://iim.unisma.ac.id/index.php/its/article/view/23945/18019>.
- Nugraha, A., H. Irawansyah, Muhammad, M. N. Afifuddin, and R. N. Al'Arisko. 2024. "Analisis Kualitas dan Nilai Ekonomis Pellet Kayu Gelam." *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika* 9(2): 264–271. <https://doi.org/10.20527/SJMEKINEMATIKA.V9I2.571>.
- Primadanty, R. P., P. K. Jurusan, I. Ekonomi, K. Biomassa, and T. Energi. 2023. "Potensi Biomassa dalam Transisi Energi di Indonesia." *Parahyangan Economic Development Review* 2(2): 136–143. <https://doi.org/10.26593/PEDR.V2I2.7707>.
- Putra, N. 2022. *Rancang Bangun Kompor Biomassa Sebagai Kompor Ramah Lingkungan*. <https://repository.universitaspahlawan.ac.id/1925/>.
- Santoso, H., H. Iromo. 2018. *Rancang Bangun Kompor Biomassa Berbahan Dasar Plat Besi dan Beton Dilengkapi dengan Teknologi Blower*. Jurnal Reaktom. <https://www.academia.edu/download/104426219/320.pdf>.
- Setyono, A. E., B. Fajar, and T. Kiono. 2021. "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020–2050." *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* 2(3): 154–162. <https://doi.org/10.14710/JEBT.2021.11157>.
- Trejo, Fernando. 2025. "Review of Biomass Gasification Technologies with a Particular Focus on a Downdraft Gasifier." *Processes* 13 (9): 2717. <https://doi.org/10.3390/pr13092717>.
- Tumurbat, Tulgaochir. 2019. *Energy and Exergy Analysis of Biomass Gasification in a Downdraft Gasifier*. MS thesis, Marmara University, Turkey.
- Yuliati, L., N. Hamidi, M. N. Sasongko, and I. A. Ibadurrohman. 2019. "Karakteristik Pembakaran Wood Pellet Stove dengan Variasi Geometri dan Blockage Ratio Flame Connector." *Jurnal Rekayasa Mesin* 10(3): 327–338. <https://doi.org/10.21776/UB.JRM.2019.010.03.13>.