PERFORMA *GASIFIER STOVE UPDRAFT* BERBAHAN BAKAR PELEPAH KELAPA UNTUK APLIKASI RUMAH TANGGA RAMAH LINGKUNGAN

M. Faizul Fikri[1], Andre Kurniawan[2], Yolli Fernanda[3], Dori Yuvenda[4]

[1,2,3,4]*Universitas Negeri Padang*
E-mail : mfaizulfikri732@gmail.com

ABSTRACT

Household thermal energy needs in Indonesia are still largely dependent on fossil fuels and conventional stoves, which are inefficient and have negative environmental impacts. The utilization of local biomass waste such as coconut fronds through gasifier stove technology offers a renewable and environmentally friendly energy alternative. This study aims to evaluate the performance of an updraft-type gasifier stove fueled by coconut fronds for household applications, focusing on combustion characteristics, thermal efficiency, and fuel consumption rate. This research employed a true experimental method conducted at the Energy Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Universitas Negeri Padang, using variations in fuel mass of 250 g, 500 g, and 1000 g. The observed parameters included flame temperature, combustion duration, thermal efficiency, and fuel consumption rate (FCR). The results indicate that increasing fuel mass leads to higher flame temperatures and longer combustion durations, with the highest values obtained at a fuel mass of 1000 g. However, the highest thermal efficiency was achieved at a fuel mass of 250 g, while higher fuel masses resulted in increased fuel consumption rates and reduced thermal efficiency. These findings demonstrate that the mass of coconut frond fuel has a significant effect on gasifier stove performance. Therefore, determining the optimal fuel mass is essential to achieve a balance between heat output and efficient energy utilization for sustainable and environmentally friendly household energy applications.

Keywords : *Gasifier Stove, Coconut Fronds, Biomass, Thermal Efficiency, Fuel Consumption Rate.*

ABSTRAK

Kebutuhan energi termal rumah tangga di Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil dan tungku konvensional yang kurang efisien serta berdampak negatif terhadap lingkungan. Pemanfaatan biomassa lokal berupa pelepah kelapa melalui teknologi gasifier stove menjadi alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa gasifier stove tipe updraft berbahan bakar pelepah kelapa dalam aplikasi rumah tangga, ditinjau dari karakteristik pembakaran, efisiensi termal, dan laju konsumsi bahan bakar. Penelitian ini merupakan eksperimen murni yang dilaksanakan di Laboratorium Energi Departemen Teknik Mesin Universitas Negeri Padang dengan variasi massa bahan bakar sebesar 250 g, 500 g, dan 1000 g. Parameter yang diamati meliputi temperatur api, durasi pembakaran, efisiensi termal, serta fuel consumption rate (FCR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan massa bahan bakar menyebabkan kenaikan temperatur api dan durasi pembakaran, dengan nilai tertinggi pada massa 1000 g. Namun demikian, efisiensi termal tertinggi justru diperoleh pada massa bahan bakar 250 g, sedangkan peningkatan massa bahan bakar mengakibatkan peningkatan laju konsumsi bahan bakar dan penurunan efisiensi termal. Temuan ini menunjukkan bahwa massa bahan bakar pelepah kelapa berpengaruh signifikan terhadap performa gasifier stove, sehingga diperlukan penentuan massa bahan bakar optimal untuk memperoleh keseimbangan antara energi panas yang dihasilkan dan efisiensi pemanfaatannya dalam aplikasi rumah tangga ramah lingkungan.

Kata Kunci : *Gasifier Stove, Pelepah Kelapa, Biomassa, Efisiensi Termal, Laju Konsumsi Bahan Bakar.*

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas industri, kebutuhan akan energi termal di Indonesia terus meningkat, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun industri kecil. Selama ini, sebagian besar kebutuhan energi tersebut masih bergantung pada sumber energi fosil seperti LPG dan minyak tanah, yang harganya cenderung naik serta pasokannya semakin terbatas, terutama di daerah pedesaan dan terpencil (Cassiophea *et al*., 2024).

Di sisi lain, praktik penggunaan kayu bakar secara tradisional dengan tungku terbuka (*open fire*) juga masih banyak dijumpai, terutama di daerah pedesaan. Penggunaan tungku konvensional dinilai kurang efisisen karena menggunakan kayu bakar yang dapat menyebabkan hutan menjadi gundul (Almuzakkir et al., 2021). Selain itu, kayu bakar memiliki sejumlah kelemahan, seperti kadar air yang tinggi, produksi asap yang berlebihan, banyaknya sisa abu, serta nilai kalor yang rendah, sehingga kurang optimal jika digunakan secara langsung sebagai bahan bakar (Maulana et al., 2020). Oleh karena itu, pengembangan teknologi tungku hemat energi yang memanfaatkan sumber bahan bakar alternatif, seperti limbah biomassa lokal, menjadi solusi yang sangat relevan.

Salah satu solusi yang berkembang adalah pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar, di antaranya limbah pertanian seperti pelepah kelapa. Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa terbesar dunia dengan rata-rata luas lahan kelapa di Indonesia sebesar 3.386.380 hektar. Produksi kelapa tertinggi di Indonesia tercatat pada tahun 2022 mencapai 2.867.100 ton/tahun (Lubis et al., 2025). Berdasarkan peneitian oleh Almuzakkir et al. (2021), menunjukkan bahwa pelapah kelapa menghasilkan efisiensi termal tertinggi dibandingkan tempurung kelapa dan bambu, menjadikannya bahan bakar paling efisien secara termal. Dengan pengolahan yang tepat, limbah ini dapat menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis, khususnya dalam pengoperasian tungku untuk produksi minyak kelapa.

Salah satu inovasi teknologi yang kini banyak dikembangkan untuk memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi adalah *gasifier stove*. Tungku ini dirancang khusus untuk meningkatkan efisiensi termal melalui optimalisasi proses pembakaran dan perpindahan panas yang lebih efektif (Widawati et al., 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kompor gasifikasi (gasifier stove) memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan tungku konvensional. Menurut Smith et al. (2020), gasifier stove mampu mencapai efisiensi termal antara 22% hingga 49%, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan 2,5 liter air dapat dipersingkat menjadi sekitar 15-18 menit. Sebaliknya, tungku konvensional hanya memiliki efisiensi termal sekitar 5% hingga 15%, yang menyebabkan waktu mendidihkan air menjadi lebih lama, yaitu lebih dari 20 menit (Johnson & Lee, 2018). Hal ini disebabkan oleh proses pembakaran yang lebih optimal pada gasifier stove, yang memanfaatkan gas hasil pirolisis biomassa sehingga menghasilkan suhu nyala api yang lebih tinggi dan pembakaran yang lebih bersih (Kumar et al., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa *gasifier stove* lebih unggul dalam hal pemanfaatan energi panas secara optimal.

Penggunaan *gasifier stove* dalam aplikasi rumah tangga memberikan sejumlah keunggulan dibandingkan dengan tungku biasa. Desainnya memungkinkan pembakaran bahan bakar pada suhu tinggi, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Hasilnya, energi panas yang dihasilkan lebih besar, produksi asap lebih sedikit, dan dampak lingkungan pun lebih minimal. Selain itu, tungku ini dirancang agar aliran udara dapat dikontrol, sehingga intensitas nyala api bisa disesuaikan dengan kebutuhan memasak. Menariknya, dengan jumlah bahan bakar

yang relatif sedikit, *gasifier stove* tetap mampu menghasilkan panas yang mencukupi (Cassiophea et al., 2024).

Namun, performa tungku sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar dan rancangan tungku itu sendiri. Pelepah kelapa memiliki kadar air, massa jenis, dan komposisi lignoselulosa yang khas, sehingga perlu dievaluasi performanya dalam pembakaran melalui parameter seperti efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar, waktu dan suhu pemanasan, serta. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk mengevaluasi performa gasifier stove berbahan bakar pelepah kelapa dalam aplikasi rumah tangga.

Penelitian ini tidak hanya menawarkan kontribusi terhadap efisiensi energi rumah tangga, tetapi juga memperkuat pemanfaatan limbah biomassa lokal dalam sistem energi berkelanjutan. Dengan demikian, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan teknologi tepat guna yang mendukung kemandirian energi masyarakat serta pengelolaan limbah pertanian secara produktif.

Penelitian ini dirumuskan untuk mengkaji karakteristik performa gasifier stove berbahan bakar pelepah kelapa dalam aplikasi rumah tangga ramah lingkungan. Fokus kajian meliputi tingkat efisiensi termal, laju konsumsi bahan bakar, serta waktu pemanasan dan suhu api yang dihasilkan selama pengoperasian tungku. Rumusan masalah tersebut bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai kinerja gasifier stove ketika menggunakan pelepah kelapa sebagai bahan bakar biomassa alternatif.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi performa gasifier stove, menganalisis laju konsumsi bahan bakar, serta mengetahui waktu pemanasan dan suhu api yang dihasilkan. Hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat sebagai acuan teknis dalam pemanfaatan gasifier stove berbahan bakar pelepah kelapa untuk kebutuhan rumah tangga. Selain itu, data kuantitatif yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi performa tungku, khususnya terkait efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, waktu pemanasan, dan kestabilan api.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni (true experiment) yang dilakukan untuk menguji secara langsung performa tungku gasifier stove berbahan bakar pelepah kelapa dalam aplikasi rumah tangga. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang setelah seminar proposal. Objek penelitian adalah tungku gasifier stove dengan bahan bakar pelepah kelapa yang difokuskan pada proses pemanasan air. Variabel bebas berupa variasi massa cincangan pelepah kelapa, sedangkan variabel terikat meliputi efisiensi termal, waktu pendidihan, suhu maksimum dan jumlah bahan bakar terbakar. Penelitian ini juga menggunakan variabel kontrol berupa desain tungku, volume air, lingkungan uji, serta prosedur pengukuran yang sama agar hasil penelitian bersifat objektif dan reliabel.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gasifier stove, timbangan digital, stopwatch, termokopel, serta wajan atau panci stainless sebagai media pemanasan. Bahan utama yang digunakan adalah cincangan pelepah kelapa yang telah dipersiapkan agar mudah terbakar dan menghasilkan panas yang stabil. Seluruh alat dan bahan tersebut digunakan untuk memperoleh data akurat terkait suhu, waktu, dan efisiensi pembakaran. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menilai performa tungku gasifier stove berbahan bakar pelepah kelapa sebagai alternatif energi ramah lingkungan untuk kebutuhan rumah tangga.

Parameter Pengujian

1. Efisiensi Thermal
   Efisiensi termal adalah perbandingan antara temperatur yang terpakai (temperatur rata-rata pada *output*) dengan temperatur yang tersedia (temperatur rata-rata pada ruang bakar) dan temperatur rata-rata pada input (Ahmad *et al.*, 2011).

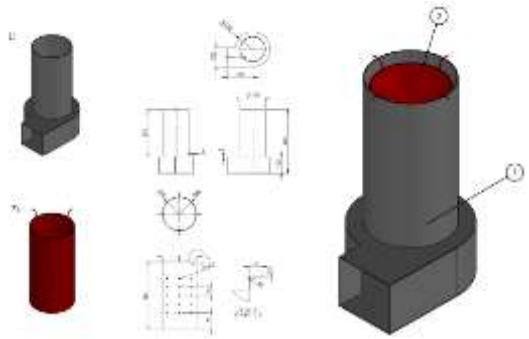
$$\eta = \frac{\mathcal{M}\ air.c.(T\ akhir - T\ awal)}{mbb.LHV} \times 100\%$$

   Dimana :
   T_{out} = rata-rata temperatur keluaran (ºC)
   T_{in} = rata-rata temperatur masukan (ºC)
   T_{rb} = rata-rata temperatur ruang bakar (ºC)
2. Laju Konsumsi Bahan Bakar
   Laju konsumsi bahan bakar *(Fuel Consumption Rate)* adalah jumlah bahan bakar yang digunakan dalam tungku biomassa dibagi dengan waktu operasi (Suyitno, 2011). Laju konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{FCR} = \frac{m_f}{t_f}$$

   Dimana:
   FCR = Laju konsumsi bahan bakar (Kg/jam)
   m_f = Berat bahan bakar yang digunakan (kg)
   t_f = Waktu Operasi (jam)
3. Temperatur dan Waktu Pembakaran
   Temperatur sangat penting untuk mengetahui kemampuan tungku dalam mencapai dan mempertahankan temperatur yang dibutuhkan untuk proses pemasakan atau peleburan. Sedangkan waktu pembakaran adalah lama pembakaran (menit) bahan bakar sampai habis.

Desain Alat



Gambar 1. Desain Gasifier Stove; 1) Body gasifier stove, 2) Inner reactor cylinder

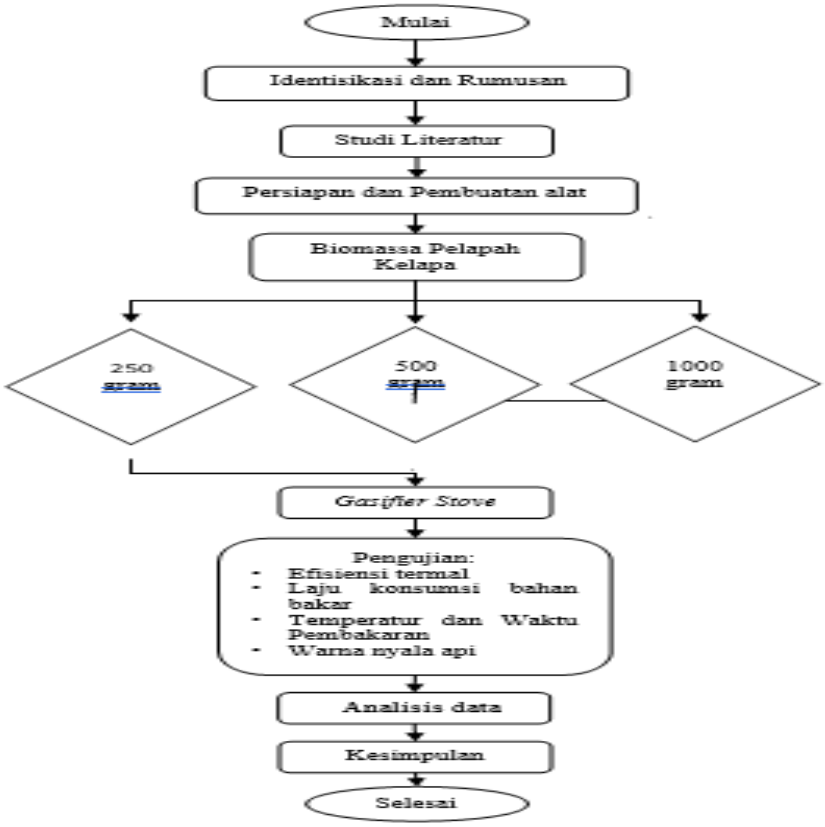
Prosedur Kerja

Pembuatan cincangan pelepah kelapa diawali dengan pengumpulan dan pembersihan pelepah kelapa kering dari kontaminan, kemudian dikeringkan hingga kadar air sekitar 10–15%. Pelepah yang telah kering dipotong menjadi ukuran lebih kecil untuk memudahkan proses

pencincangan, lalu dicacah hingga berukuran ±1–5 cm. Setelah pencincangan, bahan kembali dikeringkan hingga mencapai kadar air ideal sekitar 10%. Kadar air bahan bakar dipastikan berada di bawah 15% agar mudah terbakar dan menghasilkan pembakaran yang optimal pada saat pengujian.

Pengujian pembakaran dilakukan menggunakan gasifier stove terhadap cincangan pelepah kelapa dengan tiga kali ulangan untuk setiap perlakuan. Bahan bakar ditimbang terlebih dahulu, kemudian digunakan untuk memanaskan air dengan volume dan kondisi awal yang sama pada setiap pengujian. Proses pemanasan dimulai saat nyala api stabil dan panci diletakkan di atas tungku, sementara suhu air dan waktu pemanasan dicatat secara berkala hingga mencapai titik didih. Setelah pengujian selesai, sisa bahan bakar ditimbang untuk menentukan konsumsi bahan bakar bersih, selanjutnya data digunakan untuk menghitung laju konsumsi, suhu pemanasan, waktu pemanasan, dan efisiensi termal tungku.

Desain Penelitian



Gambar 2. Desai Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian serta pembahasan yang diperoleh dari pengujian performa gasifier stove tipe updraft dengan bahan bakar pelepah kelapa. Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembakaran dan kinerja tungku dalam aplikasi rumah tangga ramah lingkungan. Variasi massa bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 250 gram, 500 gram, dan 1000 gram, dengan tujuan untuk melihat pengaruh jumlah bahan bakar terhadap temperatur pembakaran, waktu pembakaran, efi*siensi termal, serta kestabilan nyala api.*

Temperatur dan Waktu Pembakaran

Tabel 1. Rata-Rata Temperatur dan Waktu Pembakaran

Parameter	250 g	500 g	1000 g
Temperatur api	493,6°C	649,3°C	812°C
Durasi pembakaran	791 detik	1089 detik	1505 ik

Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan temperatur api dan durasi pembakaran gasifier stove seiring bertambahnya massa bahan bakar pelepah kelapa. Pada berat 250 g diperoleh temperatur api sebesar 493,6°C dengan durasi pembakaran 791 detik, sedangkan pada 500 g temperatur meningkat menjadi 649,3°C dengan durasi 1089 detik. Temperatur dan durasi tertinggi dicapai pada berat 1000 g, yaitu 812°C dengan waktu pembakaran 1505 detik. Hal ini menandakan bahwa semakin besar massa bahan bakar, semakin besar pula energi panas yang dihasilkan dan semakin lama proses pembakaran berlangsung.

Peningkatan temperatur api tersebut berkaitan dengan bertambahnya jumlah energi panas yang dilepaskan selama pembakaran biomassa. Semakin besar massa bahan bakar, semakin banyak senyawa volatil dan karbon padat yang terlibat dalam reaksi oksidasi, sehingga panas yang dihasilkan meningkat. Pada gasifier stove, proses ini dipengaruhi oleh tahapan pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan reduksi, di mana massa bahan bakar yang lebih besar menghasilkan gas volatil lebih banyak dan pembakaran yang lebih intensif.

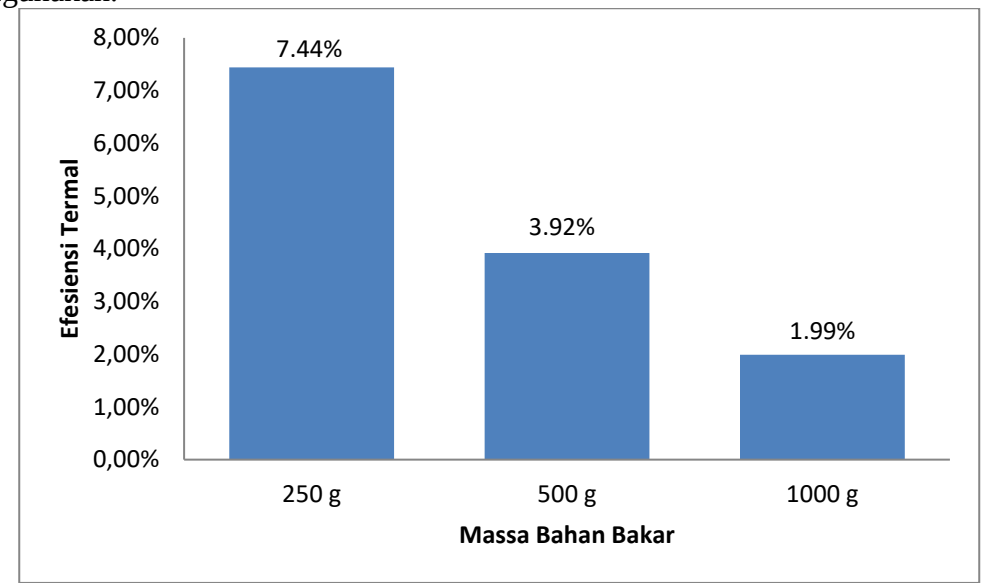
Selain temperatur, durasi pembakaran juga meningkat karena jumlah char yang terbentuk pada massa bahan bakar yang lebih besar semakin banyak. Char ini mengalami proses oksidasi dan reduksi secara bertahap, sehingga waktu pembakaran menjadi lebih panjang. Dengan demikian, gasifier stove yang menggunakan bahan bakar lebih berat cenderung menghasilkan nyala api yang lebih stabil dan bertahan lebih lama dibandingkan penggunaan bahan bakar dengan massa yang lebih kecil.

Meskipun peningkatan massa bahan bakar memberikan keuntungan berupa temperatur dan durasi pembakaran yang lebih tinggi, pengoperasiannya tetap perlu dikontrol. Keseimbangan antara jumlah bahan bakar dan suplai udara sangat penting agar pembakaran tetap sempurna dan emisi asap dapat diminimalkan. Secara keseluruhan, variasi berat bahan bakar pelepah kelapa terbukti berpengaruh signifikan terhadap karakteristik pembakaran gasifier stove, dengan berat 1000 g memberikan performa terbaik dalam hal temperatur dan waktu pembakaran.

Efisiensi Thermal

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja *gasifier stove*, karena menggambarkan kemampuan sistem dalam mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas yang bermanfaat. Berdasarkan data hasil pengujian efisiensi termal

gasifier stove dengan variasi berat bahan bakar pelapah kelapa sebesar 250 g, 500 g, dan 1000 g, diperoleh nilai efisiensi termal rata-rata berturut-turut sebesar 7,44%, 3,92%, dan 1,99%. Hasil ini menunjukkan adanya tren penurunan efisiensi termal seiring dengan meningkatnya berat bahan bakar yang digunakan.



Gambar 3. Grafik Efisiensi Thermal Gasifier Stove

Pada variasi berat bahan bakar 250 g, gasifier stove menghasilkan efisiensi termal tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa pada jumlah bahan bakar yang lebih kecil, proses pembakaran dan pemanfaatan panas berlangsung lebih efektif. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh rasio udara–bahan bakar yang lebih seimbang, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan kehilangan panas dapat diminimalkan.

Sebaliknya, pada variasi berat bahan bakar 500 g dan 1000 g terjadi penurunan efisiensi termal meskipun temperatur api dan durasi pembakaran meningkat. Penurunan ini disebabkan oleh distribusi panas yang kurang merata serta meningkatnya kehilangan panas melalui dinding tungku dan gas buang. Selain itu, temperatur yang lebih tinggi juga memperbesar kehilangan panas konveksi dan radiasi ke lingkungan sekitar.

Pada massa bahan bakar yang lebih besar, keterbatasan suplai udara dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, sehingga sebagian energi kimia bahan bakar tidak termanfaatkan secara optimal. Kondisi ini berdampak pada menurunnya efisiensi termal sistem. Dengan demikian, meskipun bahan bakar yang lebih banyak menghasilkan energi panas lebih besar, efisiensi termal tertinggi justru diperoleh pada berat bahan bakar 250 g, sehingga pemilihan massa bahan bakar optimal menjadi faktor penting dalam pengoperasian gasifier stove.

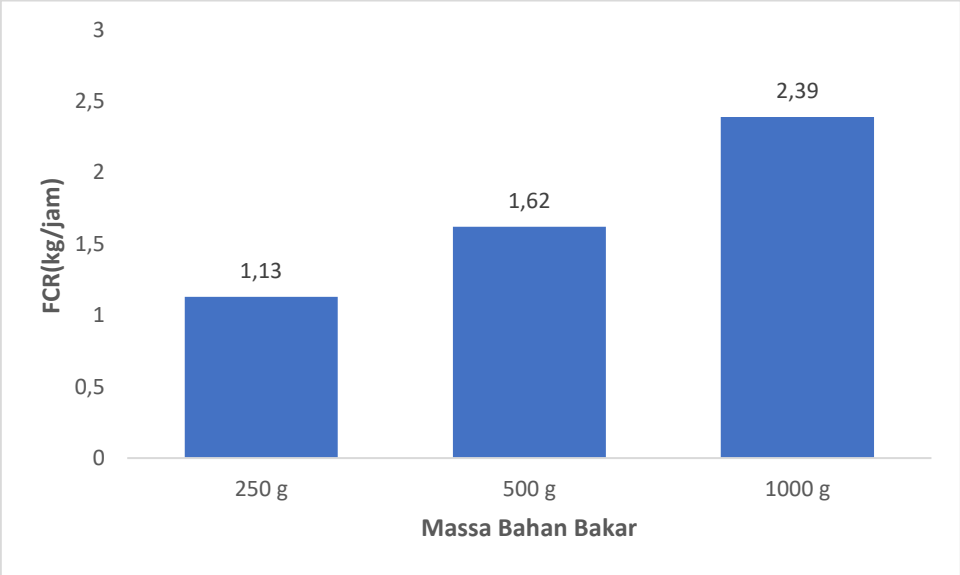
Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar (*fuel consumption rate*, FCR) merupakan salah satu parameter utama dalam mengevaluasi performa termal suatu kompor, termasuk gasifier stove. FCR menggambarkan massa bahan bakar yang dibakar per satuan waktu dalam kondisi operasi tertentu seperti pada *Water Boiling Test* (WBT). Secara umum, FCR memiliki hubungan terbalik dengan efisiensi termal: semakin rendah FCR, semakin efisien penggunaan energi bahan bakar untuk menghasilkan panas yang berguna (Bhattacharya et al., 2018)

Dalam penelitian ini, laju konsumsi bahan bakar diuji dengan tiga variasi massa pelapah kelapa yaitu 250 g, *500* g, dan 1000 g. Masing-masing variasi dilakukan tiga kali percobaan untuk mengurangi kesalahan percobaan dan memastikan konsistensi data. Hasil pengukuran FCR tercantum pada Tabel berikut:

Tabel 2. Laju Konsumsi Bahan Bakar

Massa bahan bakar	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Rata-Rata FCR(kg/jam)
250 g	1,11	1,16	1,14	1,13
500 g	1,62	1,69	1,65	1,65
1000 g	2,48	2,35	2,34	2,39



Gambar 4. Grafik Laju Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan data pengujian, rata-rata laju konsumsi bahan bakar (Fuel Consumption Rate/FCR) menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya massa bahan bakar. Pada massa 250 g, FCR tercatat sebesar 1,13 kg/jam, kemudian meningkat menjadi 1,65 kg/jam pada massa 500 g, dan mencapai 2,39 kg/jam pada massa 1000 g. Pola ini menunjukkan hubungan yang konsisten, yaitu semakin besar massa bahan bakar yang digunakan, semakin tinggi laju konsumsi bahan bakar pada sistem gasifier stove.

Peningkatan FCR tersebut sejalan dengan prinsip dasar pembakaran dan gasifikasi biomassa. Bertambahnya massa bahan bakar menyebabkan peningkatan jumlah material yang mengalami pirolisis dan pembakaran, sehingga produksi panas dan aliran gas buang ikut meningkat. Kondisi ini menuntut suplai energi yang lebih besar per satuan waktu, yang tercermin dari kenaikan FCR. Namun, peningkatan ini tidak selalu diimbangi oleh efisiensi aliran udara dan transfer panas yang optimal, sehingga sebagian energi bahan bakar terlepas ke lingkungan melalui radiasi dan konveksi, terutama pada beban bahan bakar yang lebih besar.

Lebih lanjut, tingginya FCR pada massa bahan bakar 1000 g berpotensi menurunkan efisiensi termal kompor karena peningkatan konsumsi bahan bakar tidak diikuti pemanfaatan energi panas secara efektif. Hal ini menegaskan pentingnya penentuan massa bahan bakar yang optimal dengan mempertimbangkan desain ruang bakar dan suplai udara. Dengan pengaturan

parameter operasional yang tepat, gasifier stove dapat mencapai keseimbangan antara konsumsi bahan bakar dan output panas yang efisien untuk kebutuhan praktis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa variasi massa bahan bakar pelepah kelapa berpengaruh signifikan terhadap performa gasifier stove tipe updraft dalam aplikasi rumah tangga. Peningkatan massa bahan bakar menyebabkan kenaikan temperatur api dan durasi pembakaran, dengan performa tertinggi dari sisi temperatur dan waktu pembakaran diperoleh pada massa 1000 g. Namun demikian, efisiensi termal tertinggi justru dicapai pada massa bahan bakar 250 g, yang menunjukkan bahwa pembakaran pada massa bahan bakar lebih kecil berlangsung lebih efektif dalam memanfaatkan energi panas. Selain itu, laju konsumsi bahan bakar meningkat seiring bertambahnya massa bahan bakar, yang berdampak pada penurunan efisiensi termal akibat meningkatnya kehilangan panas dan pembakaran yang kurang optimal. Oleh karena itu, penggunaan pelepah kelapa sebagai bahan bakar biomassa pada gasifier stove berpotensi menjadi alternatif energi rumah tangga yang ramah lingkungan, dengan catatan diperlukan penentuan massa bahan bakar yang optimal agar diperoleh keseimbangan antara temperatur, durasi pembakaran, dan efisiensi pemanfaatan energi.

DAFTAR PUSTAKA

Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5(3), 266–272. https://doi.org/10.1038/nclimate2491

Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*. Academic Press.

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Khan, A. A., Khan, M. A., & Khan, S. U. (2020). Effect of airflow and stove geometry on biomass combustion efficiency. *Energy Reports*, 6, 123–131. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.012

Kumar, A., Jones, D. D., & Hanna, M. A. (2011). Thermochemical biomass gasification: A review of the current status of the technology. *Energies*, 4(2), 556–581. https://doi.org/10.3390/en4020556

Prins, M. J., Ptasinski, K. J., & Janssen, F. J. J. G. (2006). More efficient biomass gasification via torrefaction. *Energy*, 31(15), 3458–3470. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.03.008

Rahman, M. M., Salam, P. A., & Kumar, S. (2019). Performance analysis of biomass cookstoves under different fuel loading conditions. *Renewable Energy*, 135, 136–145. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.032

Reed, T. B., & Larson, R. (1996). A wood-gas stove for developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 3(2), 34–37. https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60359-0

Smith, K. R., & Chaudhury, Z. (2019). Fuel consumption and emissions performance of biomass stoves. *Energy for Sustainable Development*, 52, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.05.001

Susastriawan, A. A. P., Saptoadi, H., & Purnomo, P. (2017). Small-scale downdraft gasifiers for biomass energy conversion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 989–1003. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.112

Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.