# ANALISIS PEFORMA TUNGKU ROCKET STOVE BERBAHAN BAKAR BAMBU DAN TEMPURUNG KELAPA PADA PEMBUATAN MINYAK KELAPA

**Raja Rahmat Alwi[1], Andre Kurniawan[2], Arwizet K[3], Yolli Fernanda[4]**

[1,2,3,4]*Universitas Negeri Padang*
E-mail : rajarahmat.alwi03@gmail.com

**ABSTRACT**

The increasing demand for energy and dependence on fossil fuels are driving the development of more environmentally friendly renewable energy sources, one of which is the use of biomass in rocket stove technology for coconut oil production. This study aims to analyze the performance of rocket stoves fueled by bamboo and coconut shells in the coconut oil production process. The method used was a true experiment with three fuel variations: 100% bamboo, a mixture of 50% bamboo and 50% coconut shell, and 100% coconut shell. Parameters analyzed included combustion chamber temperature, thermal efficiency, combustion efficiency, fuel consumption rate, oil production duration, oil volume, and flame color. The results showed that the use of 100% coconut shell resulted in the highest combustion chamber temperature of 632°C and the highest thermal efficiency of 4.571%. Meanwhile, the use of 100% bamboo resulted in the fastest oil production time of 7 minutes 42 seconds, the highest combustion efficiency of 60.95%, and a fuel consumption rate of 8,004 kg/hour. All fuel variations produced the same oil volume, 45 mL, while the flame color was predominantly bright red, indicating stable combustion. The research results concluded that 100% coconut shell provided the best performance in rocket stoves based on combustion temperature and thermal efficiency. However, the low thermal efficiency value indicates that the rocket stove design still needs to be optimized to utilize heat energy more effectively.

**Keywords :** *Rocket Stove, Biomass, Bamboo, Coconut Shell, Coconut Oil.*

**ABSTRAK**

Peningkatan kebutuhan energi serta ketergantungan terhadap bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan biomassa pada teknologi ***rocket stove*** yang dapat digunakan pada proses pembuatan minyak kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa *rocket stove* berbahan bakar bambu dan tempurung kelapa pada proses pembuatan minyak kelapa. Metode yang digunakan adalah eksperimen murni (*true experiment*) dengan tiga variasi bahan bakar, yaitu 100% bambu, campuran 50% bambu dan 50% tempurung kelapa, serta 100% tempurung kelapa. Parameter yang dianalisis meliputi temperatur ruang bakar, efisiensi termal, efisiensi pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, durasi pembuatan minyak, volume minyak, dan warna nyala api. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 100% tempurung kelapa menghasilkan temperatur ruang bakar tertinggi sebesar 632°C dan efisiensi termal tertinggi sebesar 4,571%. Sementara itu, penggunaan 100% bambu menghasilkan waktu pembuatan minyak tercepat, yaitu 7 menit 42 detik, efisiensi pembakaran tertinggi sebesar 60,95%, serta laju konsumsi bahan bakar sebesar 8,004 kg/jam. Seluruh variasi bahan bakar menghasilkan volume minyak yang sama, yaitu 45 mL, sedangkan warna nyala api didominasi merah terang yang menunjukkan pembakaran berlangsung stabil. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tempurung kelapa 100% memberikan performa terbaik pada *rocket stove* berdasarkan temperatur pembakaran dan efisiensi termal. Namun, nilai efisiensi termal yang masih rendah menunjukkan bahwa desain *rocket stove* masih perlu dioptimalkan agar pemanfaatan energi panas menjadi lebih efektif.

**Kata Kunci :** *Rocket Stove*, Biomassa, Bambu, Tempurung Kelapa, Minyak Kelapa.

## PENDAHULUAN

Kondisi energi konvensional di Indonesia saat ini masih didominasi oleh penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Ketergantungan tersebut menyebabkan meningkatnya konsumsi energi tak terbarukan dan memperbesar risiko krisis energi di masa mendatang akibat keterbatasan cadangan energi fosil. Selain itu, sektor rumah tangga masih menjadi salah satu penyumbang konsumsi energi yang cukup besar, terutama untuk kebutuhan memasak. Penggunaan bahan bakar konvensional yang tidak efisien juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dan pencemaran udara (Suharyati *et al*., 2023). Oleh karena itu, pemerintah Indonesia terus mendorong pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai upaya mencapai ketahanan energi nasional dan mengurangi dampak lingkungan.

Upaya pengembangan energi alternatif tersebut didukung oleh kebijakan pemerintah melalui Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi yang menegaskan bahwa energi baru dan terbarukan perlu dikembangkan untuk menjamin keberlanjutan penyediaan energi nasional. Selain itu, Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) juga menargetkan peningkatan kontribusi Energi Baru dan Terbarukan dalam bauran energi nasional. Kebijakan tersebut mendorong pemanfaatan berbagai sumber energi terbarukan, termasuk biomassa, sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil dalam sektor rumah tangga maupun industri kecil (Kementerian ESDM, 2022).

Energi biomassa merupakan salah satu dari banyak energi alternatif yang terus digunakan untuk mengurangi penggunaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil seperti gas, minyak bumi, dan lainnya (Almuzakkir *et al*., 2021). Biomassa berasal dari bahan organik seperti kayu, limbah pertanian, tempurung kelapa, sekam padi, serta bambu yang dapat diperoleh dengan mudah dan berkelanjutan (Addriani *et al*., 2024). Biomassa termasuk salah satu bentuk Energi Baru dan Terbarukan yang banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi pada kompor biomassa karena ketersediaannya melimpah, mudah diperoleh, dan memiliki nilai kalor yang cukup baik. Pemanfaatan biomassa pada kompor dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap LPG maupun bahan bakar minyak, terutama pada masyarakat pedesaan yang masih memiliki akses terbatas terhadap energi modern (Gopan *et al*., 2024). Salah satu jenis biomassa yang memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif adalah bambu dan tempurung kelapa.

Bambu dan tempurung kelapa merupakan biomassa yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan karena ketersediaannya yang melimpah dan nilai kalor yang cukup tinggi. Bambu berpotensi sebagai bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mampu menghasilkan energi panas yang tinggi dan pembakaran yang stabil pada tungku biomassa (Gopan *et al.,* 2024; Almuzakkir *et al*., 2021). Selain itu, tempurung kelapa yang merupakan limbah hasil pengolahan kelapa juga memiliki kandungan karbon dan nilai kalor yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa dalam bentuk arang maupun briket. Pemanfaatan kedua biomassa tersebut tidak hanya mendukung pengembangan energi terbarukan, tetapi juga meningkatkan nilai guna sumber daya lokal dan limbah pertanian (Gobel & Arief, 2021; Qistina *et al*., 2016).

Penggunaan teknologi tungku biomassa yang efisien menjadi salah satu solusi dalam meningkatkan pemanfaatan bahan bakar biomassa. Salah satu jenis tungku biomassa modern yang banyak dikembangkan adalah *rocket stove*. *Rocket stove* merupakan tungku pembakaran dengan desain khusus yang memungkinkan proses pembakaran berlangsung lebih efisien, cepat, dan

menghasilkan asap lebih sedikit dibandingkan pembakaran terbuka konvensional (Maulana *et al.*, 2025). Desain *rocket stove* memungkinkan pencampuran udara dan bahan bakar secara optimal sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih stabil dan mengurangi kehilangan panas ke lingkungan. Penelitian Yahya & Ningrum (2023) menunjukkan bahwa *rocket stove* dapat menekan emisi hingga 60–80% dibandingkan metode konvensional.

*Rocket stove* memiliki beberapa jenis dan desain yang dikembangkan sesuai kebutuhan penggunaannya. Jenis *rocket stove* yang umum digunakan antara lain *L-type rocket stove*, *J-type rocket stove*, dan *batch box rocket stove*. *L-type rocket stove* memiliki bentuk sederhana menyerupai huruf "L" dengan saluran bahan bakar horizontal dan ruang pembakaran vertikal. *J-type rocket stove* merupakan pengembangan dengan tambahan ruang isolasi sehingga menghasilkan pembakaran lebih sempurna dan efisiensi panas yang lebih tinggi. Sementara itu, *batch box rocket stove* menggunakan sistem ruang bakar tertutup dengan kapasitas bahan bakar lebih besar sehingga cocok digunakan untuk kebutuhan panas dalam waktu lama (Aprovecho Research Center, 2021). Perbedaan desain tersebut mempengaruhi efisiensi pembakaran, konsumsi bahan bakar, distribusi panas, serta jumlah emisi yang dihasilkan.

Penggunaan *rocket stove* sangat potensial untuk diterapkan pada berbagai kegiatan yang membutuhkan energi panas dalam waktu lama, salah satunya pada proses pembuatan minyak kelapa secara tradisional. Pembuatan minyak kelapa umumnya dilakukan dengan metode pemanasan santan secara langsung hingga terjadi pemisahan minyak dari air dan padatan. Proses ini membutuhkan waktu yang relatif lama serta energi panas yang stabil agar kualitas minyak yang dihasilkan tetap baik (Hansang *et al*., 2021). Oleh karena itu, pemilihan jenis tungku dan bahan bakar yang tepat sangat mempengaruhi waktu pemanasan, konsumsi bahan bakar, serta efisiensi energi selama proses berlangsung.

Meskipun berbagai penelitian mengenai *rocket stove* dan bahan bakar biomassa telah dilakukan, namun penelitian yang secara khusus mengkaji penggunaan bahan bakar bambu dan tempurung kelapa pada *rocket stove* untuk proses pembuatan minyak kelapa masih relatif terbatas. Oleh karena itu diperlukan kajian lebih lanjut guna mengetahui performa *rocket stove* berbahan bakar bambu dan tempurung kelapa dalam aplikasi nyata, khususnya pada proses pembuatan minyak kelapa secara tradisional.

Berdasarkan latar belakang penelitian, permasalahan yang diidentifikasi adalah masih tingginya ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil sehingga diperlukan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan. Bambu dan tempurung kelapa memiliki potensi sebagai bahan bakar biomassa karena ketersediaannya melimpah dan memiliki nilai kalor yang tinggi, namun pemanfaatannya masih belum optimal. Selain itu, performa pembakaran biomassa dipengaruhi oleh jenis tungku dan bahan bakar yang digunakan, sehingga diperlukan evaluasi terhadap penggunaan **rocket stove** dalam proses pembuatan minyak kelapa. Penelitian ini dibatasi pada penggunaan **rocket stove** dengan bahan bakar bambu dan tempurung kelapa, sedangkan aspek yang dianalisis meliputi efisiensi termal, efisiensi pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, warna dan temperatur nyala api, durasi proses, serta volume minyak kelapa yang dihasilkan. Berdasarkan batasan tersebut, rumusan masalah penelitian difokuskan pada bagaimana performa **rocket stove**, nilai efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, serta waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan minyak kelapa menggunakan bahan bakar bambu dan campuran tempurung kelapa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa **rocket stove** berbahan bakar bambu dan campuran tempurung kelapa, menganalisis efisiensi termal dan laju konsumsi bahan bakar,

serta menentukan waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan minyak kelapa. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam pemanfaatan **rocket stove** sebagai tungku biomassa yang efisien pada pembuatan minyak kelapa, menyediakan data kuantitatif mengenai efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, waktu proses, dan kestabilan pembakaran, serta menjadi referensi bagi pengembangan teknologi tungku biomassa yang lebih hemat energi, efisien, dan ramah lingkungan.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen murni (*true experiment*) yang bertujuan untuk menguji secara langsung performa **rocket stove** berbahan bakar bambu dan tempurung kelapa pada proses pembuatan minyak kelapa dalam kondisi yang terkontrol. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, dengan rangkaian kegiatan yang meliputi penyusunan dan seminar proposal, pembuatan alat, pengujian, analisis hasil penelitian, hingga penyusunan laporan dan pelaksanaan sidang skripsi. Objek penelitian adalah **rocket stove** yang menggunakan variasi bahan bakar biomassa berupa bambu 100%, campuran bambu dan tempurung kelapa 50%:50%, serta tempurung kelapa 100%, dengan masing-masing variasi diuji sebanyak dua kali untuk memperoleh data rata-rata. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi komposisi bahan bakar, sedangkan variabel terikat meliputi performa tungku yang diukur melalui efisiensi termal, efisiensi pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, temperatur pembakaran, warna nyala api, durasi pembuatan minyak kelapa, dan volume minyak yang dihasilkan. Sementara itu, variabel kontrol meliputi desain dan ukuran **rocket stove**, volume santan, ukuran wadah pemanas, kondisi lingkungan pengujian, serta metode dan alat pengukuran yang digunakan.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas **rocket stove** sebagai objek utama penelitian, termokopel atau termometer digital untuk mengukur temperatur pembakaran, timbangan digital untuk mengukur massa bahan bakar sebelum dan sesudah pembakaran, stopwatch untuk mencatat waktu proses, panci atau wajan sebagai wadah pemanasan santan, serta gelas ukur untuk mengukur volume santan. Adapun bahan yang digunakan meliputi bambu sebagai bahan bakar utama, tempurung kelapa sebagai bahan bakar pembanding maupun campuran, serta santan kelapa sebagai bahan yang diproses menjadi minyak. Rocket stove yang digunakan dirancang menggunakan material pipa baja, baja hollow, dan plat baja dengan spesifikasi dimensi tertentu yang meliputi ruang bakar, cerobong, saluran udara, pintu bahan bakar, saluran pembuangan, dan komponen pendukung lainnya sehingga mampu menghasilkan proses pembakaran yang efisien.

Prosedur penelitian diawali dengan memotong dan mengeringkan bambu serta tempurung kelapa, kemudian menimbang massa awal bahan bakar sesuai variasi yang telah ditentukan. Selanjutnya bahan bakar disusun di dalam ruang bakar **rocket stove**, dinyalakan hingga pembakaran stabil, kemudian digunakan untuk memanaskan 250 ml santan kelapa. Selama proses berlangsung dilakukan pengukuran temperatur menggunakan termokopel, pencatatan waktu menggunakan stopwatch, serta pengadukan santan secara berkala hingga terjadi pemisahan minyak dari air dan padatan. Setelah proses selesai, pembakaran dihentikan, temperatur dan waktu pembakaran dicatat, sisa bahan bakar ditimbang untuk menghitung konsumsi bahan bakar, kemudian seluruh hasil pengamatan, termasuk kondisi pembakaran dan volume minyak kelapa yang dihasilkan, didokumentasikan sebagai data penelitian untuk dianalisis.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kinerja *rocket stove* dalam penelitian ini dievaluasi berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu temperatur ruang bakar, volume minyak yang dihasilkan, durasi pembuatan minyak, sisa abu pembakaran, efisiensi termal, efisiensi pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, dan karakteristik warna nyala api. Variasi bahan bakar yang digunakan terdiri atas 100% bambu, campuran 50% bambu dan 50% tempurung kelapa, serta 100% tempurung kelapa, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik masing-masing bahan bakar biomassa terhadap proses pembakaran dan performa *rocket stove* dalam pembuatan minyak kelapa.

**Data Pengujian**

Pengujian performa *rocket stove* yang pertama adalah temperatur pembakaran, merupakan salah satu indikator utama kualitas proses pembakaran karena menunjukkan besarnya energi panas yang dihasilkan dari reaksi oksidasi bahan bakar.

**Tabel 1. Temperatur Ruang Bakar**

| Bahan Bakar | Temperatur |
|---|---|
| 100% Bambu | 569°C |
| 50% Bambu, 50% Tempurung Kelapa | 546°C |
| 100% Tempurung Kelapa | 632°C |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 8, temperatur ruang bakar tertinggi diperoleh pada penggunaan **100% tempurung kelapa** yaitu sebesar **632°C**, diikuti oleh **100% bambu** sebesar **569°C**, sedangkan temperature terendah diperoleh pada campuran **50% bambu dan 50% tempurung kelapa** yaitu **546°C**. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis biomassa yang digunakan memberikan pengaruh terhadap temperatur pembakaran yang dihasilkan oleh *rocket stove*. Semakin tinggi temperatur ruang bakar, semakin besar energi panas yang dapat dimanfaatkan untuk proses pemanasan sehingga performa tungku menjadi lebih baik (Aljufri *et al*., 2024; Ahmad *et al*., 2022).

Temperatur yang lebih tinggi pada penggunaan tempurung kelapa dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia bahan bakar tersebut. Tempurung kelapa memiliki kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) yang tinggi, kadar abu yang rendah, serta nilai kalor sekitar 19,43 MJ/kg, sehingga mampu menghasilkan energi panas lebih besar selama proses pembakaran. Kandungan lignin yang tinggi juga menyebabkan tempurung kelapa terbakar lebih lambat namun menghasilkan bara api yang stabil dengan temperatur tinggi. Kondisi ini sangat mendukung terjadinya pembakaran sempurna pada *rocket stove* sehingga suhu ruang bakar meningkat dibandingkan biomassa lain (Ahmad *et al*., 2022; Najib & Darsopuspito, 2012).

Sebaliknya, bambu menghasilkan temperatur yang sedikit lebih rendah dibandingkan tempurung kelapa meskipun masih berada pada kisaran temperatur pembakaran biomassa yang baik. Hal ini disebabkan bambu memiliki kandungan zat mudah menguap (*volatile matter*) yang lebih tinggi sehingga proses pembakaran berlangsung lebih cepat. Pada tahap awal pembakaran, senyawa volatil terbakar dengan cepat sehingga menghasilkan nyala api yang besar, tetapi panas yang dihasilkan cenderung tidak bertahan lama karena karbon tetap yang tersisa lebih sedikit dibandingkan tempurung kelapa. Selain itu, kadar air dan struktur serat bambu juga memengaruhi kestabilan pembakaran sehingga temperatur ruang bakar tidak setinggi penggunaan tempurung kelapa (Awogbemi & Desai, 2025).

Sementara itu, penggunaan campuran 50% bambu dan 50% tempurung kelapa menghasilkan temperatur terendah. Kondisi ini diduga terjadi karena karakteristik pembakaran kedua biomassa yang berbeda menyebabkan proses pelepasan gas volatil dan pembentukan bara tidak berlangsung secara optimal. Bambu terbakar lebih cepat, sedangkan tempurung kelapa membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai fase pembakaran maksimum. Perbedaan laju pembakaran tersebut menyebabkan distribusi panas di dalam ruang bakar kurang seragam sehingga temperatur maksimum yang dicapai menjadi lebih rendah. Fenomena tersebut sesuai dengan teori pembakaran biomassa yang menyatakan bahwa keseragaman karakteristik bahan bakar berpengaruh terhadap kestabilan nyala api, distribusi temperatur, serta efisiensi perpindahan panas (Turns, 2012; Drysdale, 2011).

**Tabel 2. Volume dan Durasi Pembuatan Minyak**

| Bahan Bakar | Volume Minyak | Durasi |
|---|---|---|
| 100% Bambu | 45 ml | 7 menit 42 detik |
| 50% Bambu, 50% Tempurung Kelapa | 45 ml | 9 menit 57 detik |
| 100% Tempurung Kelapa | 45 ml | 8 menit 17 detik |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9 diketahui bahwa seluruh variasi bahan bakar menghasilkan volume minyak kelapa yang sama, yaitu 45 mL, namun memiliki durasi pembuatan yang berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa jenis biomassa tidak memengaruhi volume minyak yang dihasilkan, tetapi berpengaruh terhadap kecepatan proses pemanasan santan. Keseragaman volume minyak mengindikasikan bahwa seluruh perlakuan menggunakan jumlah santan dan prosedur pemanasan yang sama, sehingga rendemen minyak lebih dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku kelapa daripada jenis bahan bakar yang digunakan. Menurut Karouw *et al*. (2019), jumlah minyak yang dihasilkan pada metode pemanasan dipengaruhi oleh kualitas santan, kandungan lemak, suhu pemanasan, dan lama pemanasan hingga emulsi santan terpecah.

Perbedaan yang paling nyata terdapat pada durasi pembuatan minyak. Penggunaan **100% bambu** menghasilkan proses tercepat karena memiliki kandungan ***volatile matter*** yang tinggi sehingga mudah terbakar dan mampu melepaskan panas dengan cepat, yang mempercepat perpindahan panas secara konduksi dan konveksi ke santan (Awogbemi & Desai, 2025; Çengel & Ghajar, 2020). Sebaliknya, **100% tempurung kelapa** menghasilkan temperatur ruang bakar lebih tinggi, tetapi memerlukan waktu sedikit lebih lama karena kandungan ***fixed carbon*** yang tinggi menyebabkan panas dilepaskan secara bertahap selama pembakaran (Ahmad *et al.*, 2022).

Campuran 50% bambu dan 50% tempurung kelapa menghasilkan durasi pembuatan minyak paling lama karena karakteristik pembakaran kedua biomassa berbeda, sehingga laju pelepasan panas menjadi kurang seragam. Bambu cenderung terbakar lebih cepat, sedangkan tempurung kelapa masih berada pada fase pembentukan bara, menyebabkan intensitas panas yang diterima panci berfluktuasi dan perpindahan panas menjadi kurang efektif. Akibatnya, proses pemanasan santan berlangsung lebih lama dibandingkan penggunaan bahan bakar tunggal.

**Tabel 3. Sisa Abu Pembakaran *Rocket Stove***

| Bahan Bakar | Sisa Abu Pembakaran |
|---|---|
| 100% Bambu | 385 g |
| 50% Bambu, 50% Tempurung Kelapa | 491 g |
| 100% Tempurung Kelapa | 652 g |

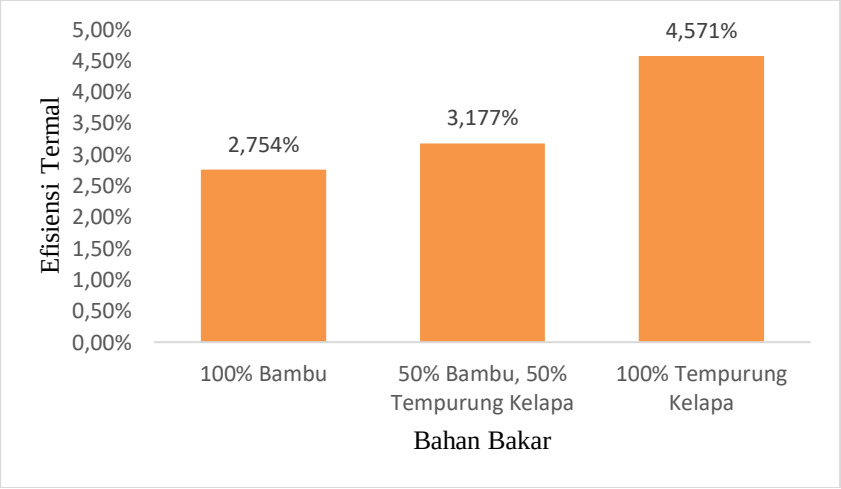
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 10 diketahui bahwa sisa abu pembakaran terbesar diperoleh pada penggunaan 100% tempurung kelapa sebesar 652 g. Perbedaan jumlah residu pembakaran menunjukkan adanya perbedaan karakteristik dekomposisi termal masing-masing biomassa selama proses pembakaran.

Jumlah residu pembakaran dipengaruhi oleh kandungan lignin, karbon tetap, mineral, serta mekanisme pembentukan arang (*char*) selama pembakaran biomassa. Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan bambu sehingga menghasilkan pembentukan arang yang lebih banyak sebelum akhirnya mengalami oksidasi sempurna. Oleh karena itu, meskipun temperatur pembakaran tinggi, sebagian besar karbon tetap masih berada dalam bentuk arang sehingga massa residu yang tersisa lebih besar dibandingkan bambu (Ahmad *et al*., 2022).

Sebaliknya, bambu menghasilkan residu paling sedikit karena kandungan *volatile matter* yang tinggi menyebabkan sebagian besar massa bahan bakar berubah menjadi gas yang kemudian terbakar menjadi $CO_2$ dan uap air. Akibatnya, sisa padatan setelah pembakaran menjadi lebih sedikit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bambu mengalami pembakaran yang lebih cepat sehingga sebagian besar bahan bakar habis teroksidasi selama proses pemanasan. Fenomena ini sesuai dengan teori pembakaran biomassa yang menjelaskan bahwa biomassa dengan kandungan zat mudah menguap tinggi cenderung menghasilkan residu padat lebih sedikit dibandingkan biomassa yang kaya lignin dan karbon tetap (Turns, 2012; Drysdale, 2011).

**Efisiensi Termal dan Efisiensi Pembakaran**

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter utama dalam mengevaluasi kinerja ***rocket stove***, yang menunjukkan kemampuan tungku dalam mengubah energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang benar-benar dimanfaatkan untuk proses pemanasan. Semakin tinggi nilai efisiensi termal, semakin besar proporsi energi hasil pembakaran yang berhasil ditransfer ke media yang dipanaskan, sehingga kehilangan panas ke lingkungan menjadi semakin kecil.




**Grafik 1. Efisiensi Termal *Rocket Stove***

Berdasarkan hasil pengujian pada Grafik 1, nilai efisiensi termal rata-rata tertinggi diperoleh pada penggunaan 100% tempurung kelapa, yaitu sebesar 4,571%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jenis bahan bakar berpengaruh terhadap kemampuan *rocket stove* dalam memanfaatkan energi panas hasil pembakaran. Tingginya efisiensi termal pada penggunaan tempurung kelapa berkaitan dengan karakteristik bahan bakar yang memiliki nilai kalor tinggi,

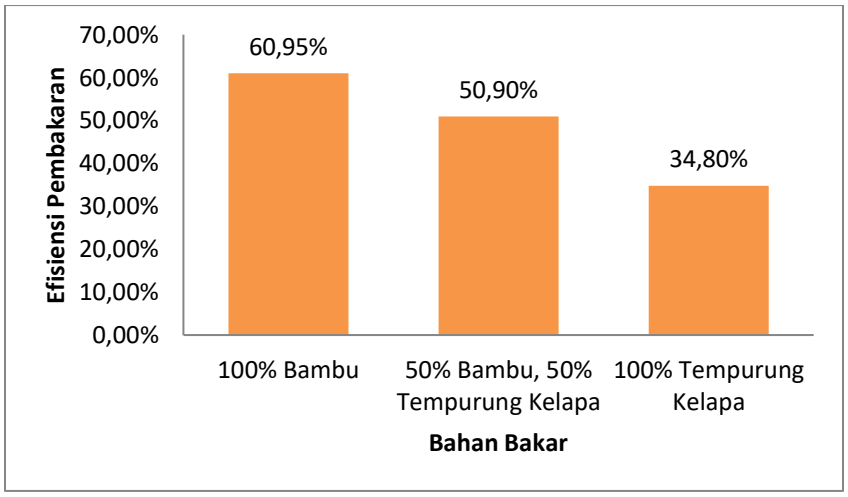
kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) yang besar, serta densitas yang lebih tinggi dibandingkan bambu. Karakteristik tersebut menyebabkan pembakaran berlangsung lebih stabil dan mampu mempertahankan temperatur ruang bakar yang lebih tinggi, sehingga perpindahan panas menuju panci berlangsung lebih efektif melalui mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi (Ahmad *et al*., 2022; Çengel & Ghajar, 2020).

Sebaliknya, penggunaan 100% bambu menghasilkan efisiensi termal terendah meskipun mampu mempercepat proses pembuatan minyak. Hal ini disebabkan bambu memiliki kandungan *volatile matter* yang tinggi sehingga pembakaran berlangsung lebih cepat dan menghasilkan nyala api yang besar pada tahap awal. Akan tetapi, pelepasan panas yang berlangsung dalam waktu relatif singkat menyebabkan sebagian energi tidak seluruhnya terserap oleh media pemanas, sehingga efisiensi pemanfaatan energi menjadi lebih rendah dibandingkan tempurung kelapa. Sementara itu, campuran 50% bambu dan 50% tempurung kelapa menghasilkan efisiensi termal yang berada di antara kedua bahan bakar tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua biomassa mampu menghasilkan karakteristik pembakaran yang lebih seimbang, meskipun belum mampu melampaui performa tempurung kelapa sebagai bahan bakar tunggal (Awogbemi & Desai, 2025; Ahmad *et al.*, 2022).

Meskipun demikian, nilai efisiensi termal yang diperoleh pada penelitian ini masih relatif rendah apabila dibandingkan dengan hasil penelitian *rocket stove* pada umumnya yang berkisar antara **20–45%** (Almuzakkir *et al*., 2021; Hailu, 2020). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar energi hasil pembakaran masih hilang ke lingkungan sebelum dimanfaatkan untuk memanaskan santan. Kehilangan panas dapat terjadi melalui permukaan dinding tungku, gas hasil pembakaran yang keluar melalui cerobong, maupun perpindahan panas secara radiasi ke udara sekitar.

Selain kehilangan panas selama proses pembakaran, rendahnya efisiensi termal pada penelitian ini juga diduga dipengaruhi oleh ketidaksesuaian antara kapasitas ***rocket stove*** dan beban pemanasan. Kapasitas ruang bakar yang relatif besar dibandingkan dengan volume santan yang dipanaskan menyebabkan sebagian energi panas tidak terserap secara optimal, melainkan terbuang melalui dinding tungku, gas buang, dan radiasi. Menurut Çengel dan Ghajar (2020), efisiensi pemanfaatan energi dipengaruhi oleh kesesuaian antara laju pelepasan panas (*heat release rate*) dan kebutuhan energi beban pemanasan. Oleh karena itu, meskipun temperatur ruang bakar yang dihasilkan cukup tinggi, terutama pada penggunaan tempurung kelapa, nilai efisiensi termal yang diperoleh masih relatif rendah karena sebagian energi panas belum dimanfaatkan secara maksimal.

Selanjutnya efisiensi pembakaran, merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kesempurnaan proses pembakaran bahan bakar, yang umumnya ditentukan oleh banyaknya bahan bakar yang terbakar secara efektif dibandingkan dengan sisa bahan bakar atau arang setelah proses pembakaran.



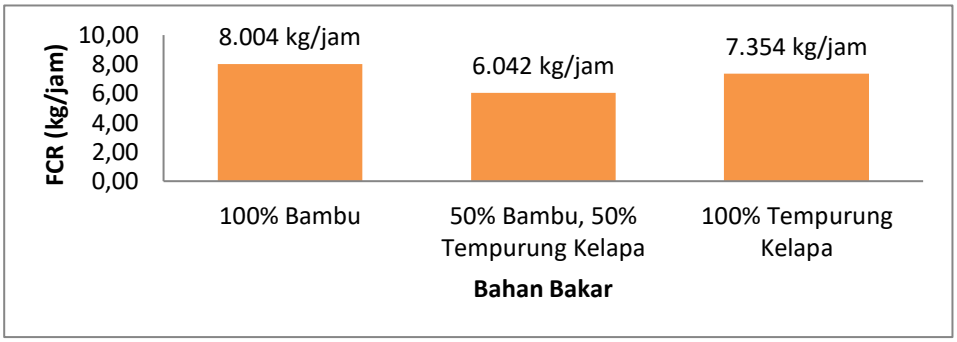

**Grafik 2. Efisiensi Pembakaran *Rocket Stove***

Hasil pengujian pada **Grafik 2** menunjukkan kecenderungan yang berbeda, yaitu nilai efisiensi pembakaran tertinggi diperoleh pada penggunaan **100% bambu** sebesar **60,95%.** Tingginya efisiensi pembakaran pada bambu menunjukkan bahwa sebagian besar massa bahan bakar berhasil mengalami pembakaran selama proses pengujian. Bambu memiliki kandungan ***volatile matter*** yang tinggi sehingga lebih mudah mengalami proses devolatilisasi dan menghasilkan nyala api yang cepat ketika memperoleh suplai oksigen yang cukup. Kondisi tersebut menyebabkan bahan bakar lebih banyak teroksidasi selama proses pembakaran sehingga sisa arang yang tertinggal relatif sedikit dibandingkan tempurung kelapa. Sebaliknya, tempurung kelapa yang memiliki kandungan lignin dan karbon tetap lebih tinggi menghasilkan pembentukan arang (*char*) yang lebih banyak sehingga massa sisa pembakaran meningkat dan nilai efisiensi pembakarannya menjadi lebih rendah (Awogbemi & Desai, 2025; Ahmad *et al*., 2022).

Nilai efisiensi pembakaran pada bahan bakar campuran (50,9%) yang berada di antara kedua nilai ekstrem tersebut turut memperkuat hubungan antara komposisi bahan bakar dan kesempurnaan oksidasinya. Proporsi bambu dalam campuran membantu menciptakan celah udara di antara tumpukan tempurung kelapa yang lebih padat, sehingga distribusi oksigen menjadi lebih baik dibandingkan penggunaan 100% tempurung kelapa, namun tetap tidak semaksimal penggunaan 100% bambu. Dengan demikian, penggunaan tempurung kelapa lebih berpotensi menghasilkan pemanfaatan energi panas yang optimal pada *rocket stove*, sedangkan bambu lebih unggul dalam menghasilkan proses pembakaran yang cepat dan lebih sempurna.

**Laju Konsumsi Bahan Bakar**

Laju konsumsi bahan bakar atau *Fuel Consumption Rate* (FCR) adalah jumlah massa bahan bakar yang terbakar habis per satuan waktu selama proses pembakaran berlangsung, umumnya dinyatakan dalam satuan kg/jam. Parameter ini menjadi salah satu indikator penting dalam menilai performa suatu tungku atau kompor biomassa, karena mencerminkan seberapa cepat bahan bakar dikonsumsi untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan (Suheri *et al*., 2026).




**Grafik 3. Laju Konsumsi Bahan Bakar**

Berdasarkan Grafik 3, laju konsumsi bahan bakar rata-rata tertinggi diperoleh pada 100% bambu (8,004 kg/jam). Tingginya laju konsumsi pada 100% bambu berkaitan dengan struktur bambu yang berongga, ringan, dan memiliki luas permukaan reaktif yang lebih besar dibandingkan tempurung kelapa, sehingga proses pelepasan zat menguap (*volatile matter*) dan pembakarannya berlangsung lebih cepat. Bahan bakar dengan densitas rendah dan kadar zat menguap tinggi seperti bambu cenderung memiliki laju pembakaran yang lebih cepat, sehingga dalam rentang waktu yang sama, massa bahan bakar yang habis terbakar menjadi lebih besar dibandingkan bahan bakar yang lebih padat (Azhar, 2009). Hal ini juga sejalan dengan hasil efisiensi pembakaran pada Grafik 2 sebelumnya, di mana 100% bambu memiliki efisiensi pembakaran tertinggi (60,95%), yang mengindikasikan proses oksidasi yang berlangsung cepat dan relatif menyeluruh sehingga bahan bakar terkonsumsi dalam laju yang lebih tinggi pula.

Sebaliknya, penggunaan **100% tempurung kelapa** menghasilkan laju konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan bambu meskipun memiliki temperatur ruang bakar tertinggi. Hal ini disebabkan tempurung kelapa memiliki struktur yang lebih padat, kandungan lignin dan ***fixed carbon*** yang tinggi, sehingga proses pembakarannya berlangsung lebih lambat dan menghasilkan bara yang mampu mempertahankan panas dalam waktu lebih lama. Pelepasan energi yang terjadi secara bertahap menyebabkan massa bahan bakar berkurang lebih lambat dibandingkan bambu, sehingga nilai FCR menjadi lebih rendah.

Sementara itu, penggunaan campuran **50% bambu dan 50% tempurung kelapa** menghasilkan nilai FCR paling rendah. Perbedaan karakteristik pembakaran kedua biomassa menyebabkan pelepasan panas berlangsung lebih bertahap sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih lambat. Selain itu, keberadaan tempurung kelapa dalam campuran berperan mempertahankan bara api, sedangkan bambu menyediakan nyala api pada tahap awal pembakaran, sehingga laju pengurangan massa bahan bakar menjadi lebih kecil dibandingkan penggunaan biomassa tunggal (Ahmad *et al.*, 2022).

**Warna Nyala Api**

Warna nyala api merupakan salah satu indikator visual yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas proses pembakaran biomassa pada ***rocket stove***. Warna api dipengaruhi oleh temperatur pembakaran, rasio udara dan bahan bakar (*air-fuel ratio*), serta komposisi gas hasil pirolisis biomassa yang terbentuk selama proses pembakaran. Sebelum biomassa terbakar sempurna, bahan bakar akan mengalami tahapan pengeringan, pirolisis, oksidasi, dan pembakaran arang (*char combustion*). Pada tahap pirolisis terbentuk gas-gas mudah terbakar atau ***syngas*** yang terdiri atas karbon monoksida (CO), hidrogen ($H_2$), metana ($CH_4$), dan hidrokarbon ringan lainnya. *Syngas* tersebut kemudian bereaksi dengan oksigen sehingga menghasilkan nyala api yang tampak

selama proses pembakaran. Oleh karena itu, karakteristik warna nyala api dapat digunakan sebagai indikator berlangsungnya proses pembentukan dan pembakaran *syngas* di dalam ruang bakar (Basu, 2018; Turns, 2012).

**Tabel 4. Warna Nyala Api**

| Bahan Bakar | Warna Api | Visualisasi |
|---|---|---|
| 100% Bambu | Merah terang |  |
| 50% Bambu,<br>50% Tempurung Kelapa | Merah terang |  |
| 100% Tempurung Kelapa | Merah terang |  |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 11, seluruh variasi bahan bakar menghasilkan warna nyala api yang relatif sama, yaitu merah terang. Kesamaan warna nyala api menunjukkan bahwa mekanisme pembakaran pada ketiga variasi bahan bakar berlangsung dengan karakteristik yang hampir serupa. Secara teori, nyala api berwarna merah terang mengindikasikan bahwa pembakaran biomassa masih didominasi oleh pijaran partikel karbon (*incandescent carbon particles*) yang terbentuk akibat oksidasi yang belum berlangsung secara sempurna. Warna merah muncul karena temperatur nyala masih berada pada kisaran yang lebih rendah dibandingkan nyala

api biru, sehingga radiasi termal dari partikel karbon lebih dominan daripada emisi pembakaran gas yang sempurna. Kondisi tersebut umum dijumpai pada pembakaran biomassa padat, terutama ketika suplai udara primer belum sepenuhnya mampu mengoksidasi seluruh gas hasil pirolisis (Drysdale, 2011; Basu, 2018).

Warna merah terang yang diperoleh juga berkaitan dengan proses pembentukan *syngas* selama pembakaran biomassa. Bambu dan tempurung kelapa mengalami dekomposisi termal sehingga menghasilkan *syngas* berupa CO, $H_2$, $CH_4$, dan gas mudah terbakar lainnya. Akan tetapi, apabila pencampuran *syngas* dengan oksigen kurang optimal atau waktu tinggal (*residence time*) gas di zona pembakaran relatif singkat, sebagian *syngas* tidak terbakar secara sempurna dan masih menghasilkan partikel karbon berpijar yang menyebabkan warna api tampak merah terang. Dengan kata lain, *syngas* tetap terbentuk dan ikut terbakar, namun proses oksidasinya belum berlangsung secara sempurna sehingga nyala api belum berubah menjadi biru yang merupakan ciri pembakaran gas yang lebih sempurna (Lv *et al.*, 2007; Turns, 2012).

Meskipun seluruh variasi bahan bakar menghasilkan warna nyala api yang sama, hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan temperatur ruang bakar, di mana 100% tempurung kelapa menghasilkan temperatur tertinggi dibandingkan bambu maupun campuran keduanya. Hal ini menunjukkan bahwa warna nyala api tidak selalu berbanding lurus dengan temperatur ruang bakar karena warna api lebih dipengaruhi oleh karakteristik pembakaran *syngas* dan kecukupan suplai udara, sedangkan temperatur ruang bakar dipengaruhi pula oleh nilai kalor bahan bakar, kandungan karbon tetap (*fixed carbon*), dan kestabilan pembentukan bara selama pembakaran. Tempurung kelapa memiliki nilai kalor dan kandungan karbon tetap yang lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan pelepasan panas dalam waktu lebih lama, sedangkan bambu lebih cepat terbakar akibat kandungan *volatile matter* yang tinggi. Oleh karena itu, meskipun warna nyala api yang dihasilkan sama, performa termal ketiga variasi bahan bakar tetap menunjukkan perbedaan (Ahmad *et al.*, 2022; Awogbemi & Desai, 2025).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *rocket stove* telah mampu mempertahankan nyala api yang stabil pada seluruh variasi bahan bakar, namun warna api yang masih didominasi merah terang mengindikasikan bahwa proses pembakaran belum berlangsung secara optimal. Kondisi tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh suplai udara yang belum mencukupi untuk mengoksidasi seluruh *syngas* hasil pirolisis atau desain ruang bakar yang belum mampu menghasilkan pencampuran udara dan gas secara maksimal. Oleh karena itu, peningkatan suplai udara sekunder, perbaikan desain ruang bakar, atau optimalisasi cerobong diharapkan dapat meningkatkan pembakaran *syngas* sehingga menghasilkan nyala api yang lebih terang kebiruan, meningkatkan efisiensi termal, serta mengurangi pembentukan jelaga dan emisi hasil pembakaran (Jetter *et al*., 2012; Aljufri *et al.*, 2024)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai performa **rocket stove** berbahan bakar bambu dan tempurung kelapa pada proses pembuatan minyak kelapa, dapat disimpulkan bahwa variasi jenis bahan bakar berpengaruh terhadap performa pembakaran, terutama pada temperatur ruang bakar, efisiensi termal, efisiensi pembakaran, laju konsumsi bahan bakar, dan durasi proses pembuatan minyak. Penggunaan 100% tempurung kelapa menghasilkan temperatur ruang bakar tertinggi sebesar **632°C** serta efisiensi termal tertinggi sebesar **4,571%,** sedangkan penggunaan 100% bambu menghasilkan waktu pembuatan minyak tercepat, yaitu **7 menit 42 detik,** efisiensi

pembakaran tertinggi sebesar **60,95%,** dan laju konsumsi bahan bakar terbesar, yaitu **8,004 kg/jam.** Meskipun demikian, seluruh variasi bahan bakar menghasilkan volume minyak yang sama, yaitu **45 mL**, serta menunjukkan warna nyala api merah terang yang menandakan proses pembakaran berlangsung stabil. Rendahnya efisiensi termal pada seluruh perlakuan diduga disebabkan oleh ketidaksesuaian kapasitas **rocket stove** dengan jumlah santan yang dipanaskan sehingga pemanfaatan energi panas belum berlangsung secara optimal. Secara keseluruhan, penggunaan **100% tempurung kelapa** memberikan performa terbaik karena mampu menghasilkan temperatur ruang bakar dan efisiensi termal yang paling tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA


Addriani, R., Hamdi, H., & Razi, P. (2024). Systematic literature review: Biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, *8*(3), 47482–47490. https://doi.org/10.31004/jptam.v8i3.24269

Ahmad, R. K., Sulaiman, S. A., Yusup, S., Dol, S. S., Inayat, M., & Umar, H. A. (2022). Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production. *Ain Shams Engineering Journal*, *13*(1), Article 101499. https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.013

Aljufri, A., Putra, R., Rahman, A., & Mardian, R. (2024). Design of a portable solid-fuel rocket stove. *Jurnal Teknologi*, *16*(1), 153–160.

Almuzakkir, A., Mulyadi, M., & Abdullah, A. (2021). Performance test of a household rocket stove fired with coconut frond, coconut shell and bamboo. *International Journal of Research and Review*, *8*(1), 54–60.

Aprovecho Research Center. (2021). *Rocket stove design principles*. https://aprovecho.org/category/rocket-stoves/

Awogbemi, O., & Desai, D. A. (2025). Harnessing the potentials of bamboo as a sustainable feedstock for bioenergy production. *Advances in Bamboo Science*, *12*, Article 100173. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2025.100173

Basu, P. (2018). *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: Practical design and theory* (3rd ed.). Academic Press.

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2021). Pengaruh karbonisasi terhadap karakteristik tempurung kelapa berdasarkan uji proksimat dan nilai kalor. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, *5*(1). https://doi.org/10.31315/jmel.v5i1.5370

Gopan, G., Krishnan, R., & Arun, M. (2024). Review of bamboo biomass as a sustainable energy. *International Journal of Low-Carbon Technologies, 19*, 2733–2745. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctae237

Hailu, G. (2020). Performance evaluation and characteristics co-product of energy efficient institutional bio-char rocket stove. *Irish Interdisciplinary Journal of Science & Research*, *4*(4), 41–62.

Hansang, D. I. C., Tooy, D., & Ludong, D. P. M. (2021). Kajian proses produksi minyak kelapa dengan menggunakan alat dan mesin pengolahan kelapa skala industri kecil. *Cocos*, *8*(8).

Jetter, J., Zhao, Y., Smith, K. R., Khan, B., Yelverton, T., Decarlo, P., & Hays, M. D. (2012). Pollutant emissions and energy efficiency under controlled conditions for household

biomass cookstoves and implications for metrics useful in setting international test standards. *Environmental Science & Technology, 46*(19), 10827–10834. https://doi.org/10.1021/es301693f

Karouw, S., Santosa, B., & Maskromo, I. (2019). Teknologi pengolahan minyak kelapa dan hasil ikutannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 38*(2), 86–95.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Outlook Energi Indonesia 2022*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Lv, P., Xiong, Z., Chang, J., Wu, C., Chen, Y., & Zhu, J. (2007). Biomass air-steam gasification in a fluidized bed to produce hydrogen-rich gas. *Energy & Fuels, 21*(3), 1711–1715. https://doi.org/10.1021/ef060261h

Maulana, M. A., Kurniatillah, N., Salfadilla, N., Nurjanah, I., Wahyuni, T., & Rosdiyani, T. (2025). Rocket stove sebagai inovasi teknologi tepat guna dalam mendukung program Serang Bersih di Kelurahan Kuranji.

Najib, L., & Darsopuspito, S. (2012). Karakterisasi proses gasifikasi biomassa tempurung kelapa sistem *downdraft* kontinyu dengan variasi perbandingan udara–bahan bakar (AFR) dan ukuran biomassa. *Jurnal Teknik ITS, 1*(1).

Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono. (2016). Kajian kualitas briket biomassa dari sekam padi dan tempurung kelapa. *Jurnal Kimia Valensi, 2*(2).

Suharyati, et al. (2023). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2023*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Suheri, S., Umar, H., Turnip, D., Safi'i, M., Sinaga, N., Yohana, E., & Setyoadi, Y. (2026). Kaji eksperimen pengaruh konsumsi bahan bakar kayu dan biopelet pada kompor biomassa terhadap efisiensi pembakaran. *Blend Sains Jurnal Teknik, 4*(3), 592–602.

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

Yahya, M. F., & Ningrum, D. A. (2023). Inovasi alat pembakaran sampah tanpa asap metode *rocket stove*. *Among: Jurnal Pengabdian Masyarakat, 5*(2), 42–49.