

# Inovasi Rocket Stove Sebagai Solusi Pengurangan Limbah Padat Domestik di Kota Palangka Raya

Gusti Iqbal Tawaqal, Rudy Yoga Lesmana\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Palangka Raya

\*Koresponden email:yogalesmanaryl@gmail.com

Diterima: 20 November 2025

Disetujui: 25 November 2025

## Abstract

Direct waste incineration is frequently adopted by some communities as an immediate solution for waste management; however, this practice contributes air pollution and the release of dioxins. Open burning releases plumes of thick black smoke containing fine particulate matter, carbon monoxide, and other hazardous compounds. There is a pressing need for appropriate technology capable of significantly reducing waste volume at the source, while remaining environmentally safe and economically viable. The rocket stove, renowned for its high combustion efficiency and low emissions, presents potential as a thermal solution for managing non-hazardous combustible waste. This study was conducted by performing a comparative experimental analysis between the rocket stove method and open burning/conventional, utilizing three experimental replications. The results indicated that the average waste reduction effectiveness of the rocket stove was 98.7% with minimal smoke production, whereas open burning achieved 81.3% with very poor emission quality. Furthermore, the rocket stove demonstrated superior supplemental fuel efficiency, requiring only a single fuel addition compared to the three to five additions necessitated by open burning. Consequently, the rocket stove design significantly mitigates air pollution compared to traditional methods (evidenced by the contrast between minimal smoke and thick smoke) rendering it a safer alternative for waste volume management.

**Keywords:** *rocket stove, waste management, domestic waste, waste reduction*

## Abstrak

Pengelolaan sampah dengan pembakaran langsung masih sering dijumpai sebagai solusi instan oleh sebagian masyarakat, yang sayangnya berkontribusi pada polusi udara dan pelepasan dioksin. Pembakaran secara terbuka ini melepaskan kepulan asap hitam pekat yang mengandung partikulat halus, karbon monoksida, dan senyawa berbahaya lainnya. Diperlukan sebuah teknologi tepat guna yang mampu mengurangi volume sampah secara signifikan di sumber, aman bagi lingkungan dan terjangkau secara ekonomi. *Rocket stove*, yang dikenal karena efisiensi pembakarannya yang tinggi dan emisi rendah, menawarkan potensi sebagai solusi thermal untuk mengelola limbah *combustible* (mudah terbakar) non-B3. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perbandingan percobaan pembakaran dengan cara *rocket stove* dan cara pembakaran terbuka sebanyak 3 kali. Efektivitas rata-rata reduksi sampah pembakaran dengan *rocket stove* adalah 98,7% dengan asap yang sangat minim sedangkan pembakaran terbuka adalah 81,3% dengan kualitas emisi yang sangat rendah. Efisiensi penggunaan bahan bakar tambahan pada *rocket stove* lebih baik dibandingkan pembakaran terbuka karena hanya membutuhkan 1 kali penambahan sedangkan pada pembakaran terbuka sebanyak 3 sampai 5 kali penambahan. Desain *rocket stove* ini secara signifikan mengurangi polusi udara dibandingkan metode tradisional (asap pekat vs. asap sangat minim), menjadikannya pilihan yang lebih aman untuk mengelola volume sampah.

**Kata Kunci:** *rocket stove, pengelolaan persampahan, sampah rumah tangga, pengurangan sampah*

## 1. Pendahuluan

Kota Palangkaraya, sebagai ibukota Provinsi Kalimantan Tengah, mengalami laju urbanisasi dan pertumbuhan penduduk yang signifikan. Konsekuensi langsung dari hal ini adalah peningkatan volume limbah padat domestik (sampah rumah tangga). Sistem pengelolaan sampah di Palangkaraya saat ini masih bertumpu pada pola konvensional pengumpulan dan pengangkutan ke pembuangan ke TPA yang sangat membebani TPA itu sendiri. Program seperti Bank Sampah dan TPS3R telah diinisiasi, namun belum mampu mengelola keseluruhan timbulan sampah secara optimal.

Pembakaran secara langsung sering dilakukan oleh masyarakat sebagai solusi instan, sayangnya berkontribusi pada polusi udara. Pembakaran terbuka ini melepaskan kepulan asap hitam pekat yang mengandung partikulat halus, karbon monoksida, dan senyawa berbahaya lainnya (Pope, D, 2021). Sisa abu yang tertinggal mengandung logam berat seperti timbal, merkuri, kadmium yang berasal dari cat, baterai, atau

lapisan plastik. Jika abu ini dibuang sembarangan atau terkena hujan, logam berat tersebut akan larut dan mencemari tanah serta sumber air tanah. Diperlukan sebuah teknologi tepat guna yang mampu mengurangi volume sampah secara signifikan di sumber, aman bagi lingkungan, dan terjangkau secara ekonomi. *Rocket stove*, yang dikenal karena efisiensi pembakarannya yang tinggi dan emisi rendah, menawarkan potensi sebagai solusi thermal untuk mengelola limbah *combustible* (mudah terbakar) non-B3.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan desain dan prototipe *rocket stove* yang dimodifikasi untuk insinerasi skala kecil, melakukan analisis tingkat reduksi volume dan massa limbah kering terpilah melalui pembakaran menggunakan *rocket stove*, dan memberikan rekomendasi teknis dan sosial untuk implementasi *rocket stove* sebagai alat bantu pengelolaan sampah di Kota Palangkaraya.

## 2. Metode Penelitian

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Palangkaraya. Sampel berasal dari TPS3R, lokasi ini dipilih karena memiliki aktivitas pemilahan sampah awal. Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan (September - Oktober 2025).

### Objek Penelitian

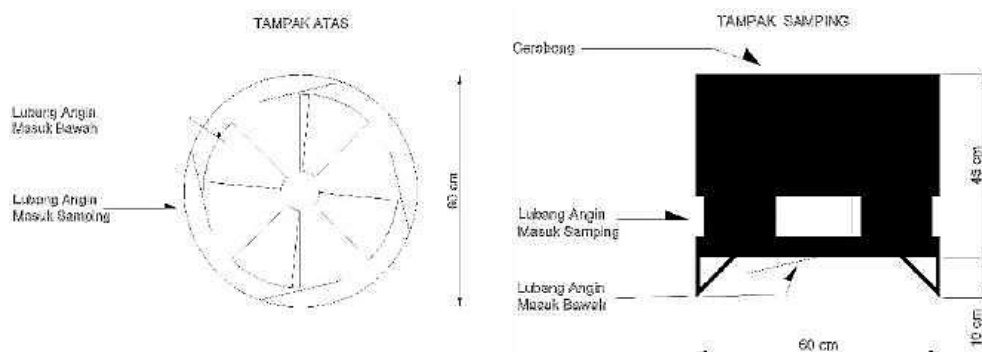
Objek penelitian ini adalah prototipe *rocket stove* dan sampel limbah padat. *Rocket stove* yang dibuat dari drum bekas kapasitas 200 liter dirancang dengan ruang bakar internal tahan api, serta cerobong asap. Sampel limbah berasal dari limbah domestik terpilah dari TPS3R, terdiri dari tiga kategori, yaitu kertas dan kardus kering, biomassa (ranting, daun kering, sisa kayu), limbah *campuran* kering (kain perca, kemasan non-plastik).

### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari tahap desain dan konstruksi, tahap pengambilan data eksperimen, dan analisis hasil eksperimen. Tahap desain dan konstruksi dilakukan survey dan pembuatan *blueprint* alat, termasuk pengukuran dan pemotongan komponen drum, pipa, dan insulasi. Kemudian pengumpulan peralatan serta perlengkapan seperti drum bekas dan material pendukung. Setelah pembuatan desain, pengumpulan peralatan dan perlengkapan dilakukan maka dibangunlah *rocket stove*. Pada tahap konstruksi dilakukan pemotongan dan memasang pipa untuk ruang bakar dan cerobong, pemasangan *grate* dan *loading chamber* (tempat memasukkan limbah) dan pengecatan.

### Pengambilan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan observasi yaitu Mengamati proses pembakaran, termasuk warna asap, durasi pembakaran, dan kemudahan operasional. Teknik pengumpulan data lainnya adalah dengan pengukuran, yaitu menimbang massa limbah sebelum (massa awal) dan massa residu/abu setelah pembakaran (massa akhir).



Gambar 1. Desain Rencana *Rocket Stove*

### Analisis Efektivitas Reduksi Limbah

Efektivitas reduksi massa dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Efektivitas Reduksi (\%)} = \left( \frac{\text{Massa Awal} - \text{Massa Akhir}}{\text{Massa Awal}} \right) \times 100\%$$

Data hasil reduksi *Rocket Stove* dibandingkan dengan hasil reduksi pembakaran konvensional. Selain efektivitas, analisis juga berdasarkan bagaimana proses yang terjadi selama pembakaran dilakukan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Hasil Percobaan Pembakaran

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perbandingan percobaan pembakaran dengan cara rocket stove dan cara terbuka sebanyak 3 kali. Sampah yang dibakar berupa ranting kayu beserta sampah kering rumah tangga. Berikut adalah rekapitulasi hasil percobaan pembakaran.

**Tabel 1.** Hasil Percobaan Pembakaran dengan Rocket Stove vs Pembakaran Terbuka

Percobaan	Massa Awal (kg)	Massa Akhir Rocket Stove (kg)	Efektivitas Rocket Stove (%)	Massa Akhir Cara Terbuka (kg)	Efektivitas Cara Terbuka (%)
1	5	0,05	99,0%	1,0	80,0%
2	5	0,08	98,4%	0,8	84,0%
3	5	0,07	98,6%	1,0	80,0%
<b>Rata-Rata</b>	5	0,07	98,7%	0,93	81,3%

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

#### Analisis Efisiensi

Analisis efisiensi pada penelitian ini berdasarkan pada efektivitas pembakaran dan efisiensi penambahan bahan bakar tambahan. Pembakaran dengan rocket stove menunjukkan efektivitas pengurangan massa yang tinggi, dengan rata-rata 98,7%. Residu (abu) yang dihasilkan hanya rata-rata 0,07 kg (sekitar 1,3% dari massa awal). Efisiensi ini membuktikan bahwa panas yang terisolasi dan tarikan udara yang kuat mampu mencapai pembakaran yang hampir sempurna dalam waktu 20 menit. Pada pembakaran terbuka hanya mencapai efektivitas rata-rata 81,3%, menyisakan rata-rata 0,93 kg residu yang tidak terbakar habis. Hal ini menegaskan bahwa metode tradisional bersifat sangat tidak efisien dan meninggalkan limbah padat (abu dan arang) yang signifikan.

Pembakaran tradisional membutuhkan 3 hingga 5 kali lebih banyak bensin (pemicu) dibandingkan rocket stove. Hal ini menunjukkan bahwa lemahnya pembakaran terbuka dalam mempertahankan suhu pembakaran secara mandiri (panas mudah hilang ke lingkungan), sehingga membutuhkan input energi eksternal yang berulang. Sebaliknya, rocket stove menggunakan panas yang terperangkap untuk mempertahankan pembakaran, membuktikan keunggulan desainnya dalam efisiensi energi.



**Gambar 2.** Proses Percobaan Pembakaran menggunakan Rocket Stove dan Cara Terbuka

#### Analisis Kualitas Emisi dan Stabilitas

Hasil observasi saat proses pembakaran berlangsung menunjukkan bagaimana kondisi dari masing-masing metode pembakaran. Terbentuknya asap pekat pada pembakaran terbuka adalah indikator utama pembakaran sangat tidak sempurna. Ini berarti gas-gas hasil pembakaran (asap) tidak terbakar habis. Emisi ini mengandung konsentrasi tinggi partikulat halus, karbon monoksida, dan potensi senyawa beracun seperti dioksin dan furan (terutama jika sampah mengandung plastik), menjadikannya metode yang sangat berbahaya bagi kesehatan.

Hasil observasi selama pembakaran pada *rocket stove* menghasilkan asap yang sangat minim, namun dibagian akhir terbentuk asap dibagian bawah sebelum sampah terbakar habis. Terbentuknya asap di akhir proses menunjukkan bahwa ketika volume bahan bakar menipis, suhu di cerobong panas (*heat riser*) turun di bawah ambang batas kritis (biasanya di bawah  $600^{\circ}\text{C}$ ). Penurunan suhu menyebabkan kegagalan dari pembakaran yang bersih. Bahan bakar dan gas sisa yang masih ada mulai menyala dengan tidak sempurna kemudian menghasilkan asap. Meskipun volume asap kecil dan durasinya singkat, pembakaran tidak sempurna ini berpotensi melepaskan emisi berbahaya, termasuk CO dan polutan lain dari sisa sampah yang tersisa. Kemunculan asap ini menunjukkan bahwa keadaan pembakaran bersih di *rocket stove* bersifat dinamis dan bergantung pada pasokan bahan bakar yang stabil untuk mempertahankan suhu tinggi.

#### *Analisis Desain Rocket Stove Terhadap Proses Pembakaran*

Proses pembakaran pada tungku roket dipengaruhi oleh konfigurasi saluran bahan bakar, ruang bakar (cerobong panas), dan insulasi. Desain saluran udara yang tepat akan menciptakan jalur udara yang sempit dan terfokus. Pemanasan cepat pada cerobong panas menciptakan efek tarikan alami (*natural draft*) yang kuat. Tarikan ini menyedot udara segar (Oksigen) langsung ke zona pembakaran dengan kecepatan tinggi. Pasokan Oksigen yang terkonsentrasi ini memastikan pembakaran yang cepat dan berkelanjutan. Konfigurasi ruang bakar vertikal (cerobong panas / *heat riser*) memaksa api dan gas panas naik dengan cepat, mencegah hilangnya panas ke samping. Sehingga menciptakan zona panas yang sangat terkonsentrasi. Desain tungku roket dirancang untuk mendorong terjadinya pembakaran sekunder. Pada suhu tinggi di cerobong panas, gas-gas yang tidak terbakar (yang kita kenal sebagai asap) diupapkan dan terbakar habis. Proses ini mengubah asap menjadi energi panas tambahan, meningkatkan suhu total dan kebersihan pembakaran.



**Gambar 3.** Desain *Rocket Stove*

Efisiensi pembakaran adalah perbandingan antara energi panas yang dihasilkan dan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar. Ruang bakar vertikal yang terbuat dari bahan yang tahan panas berperan agar energi tidak hilang ke udara sekitar, melainkan digunakan untuk menaikkan suhu pembakaran secara drastis. Suhu internal yang lebih tinggi memudahkan bahan bakar (kayu/ranting) terbakar habis. Dengan adanya suhu internal yang lebih tinggi tersebut dapat meminimalkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pembakaran serta menghasilkan efisiensi termal yang tinggi dari pada pembakaran terbuka.

Efektivitas pembakaran mengacu pada seberapa tuntas massa bahan bakar diubah menjadi energi dan gas, menyisakan residu (abu) yang minimal. Penyebab efektivitas tinggi adalah kombinasi dari suhu tinggi (dari insulasi) dan pasokan oksigen yang stabil. Adanya kombinasi tersebut memastikan bahwa tidak hanya kayu padat yang terbakar, tetapi juga semua zat volatil (gas) yang dikandungnya. Efektivitas pembakaran menjadi sangat tinggi mendekati 100%, seperti yang terlihat dari sisa abu yang sangat sedikit 0,07 kg atau 1,3% dari massa awal. Efektivitas ini membuktikan bahwa desain *rocket stove* berhasil meminimalkan sisa massa yang tidak terkonversi.

Kualitas emisi adalah tolok ukur yang paling penting bagi kesehatan dan lingkungan. Kualitas emisi dipengaruhi langsung oleh pembakaran sekunder. Desain ruang bakar yang terisolasi dan bersuhu tinggi memastikan sebagian besar asap (partikulat karbon) terbakar habis di dalam cerobong. Pembakaran yang sempurna (suhu tinggi dan Oksigen cukup) mengubah Karbon Monoksida (CO) menjadi Karbon

Dioksida (CO<sub>2</sub>). Emisi asap sangat minim atau hampir tidak ada, yang secara drastis mengurangi polusi udara dalam ruangan dan emisi partikulat halus. Meskipun pembentukan CO<sub>2</sub> terjadi, emisi CO yang jauh lebih berbahaya dapat diminimalisir.

#### 4. Kesimpulan

Desain prototipe rocket stove pada penelitian ini menghasilkan rata-rata efektivitas pembakaran (tingkat reduksi) 98,7%. Desain tungku roket ini dirancang untuk mendorong terjadinya pembakaran sekunder. Pada suhu tinggi di cerobong panas, gas-gas yang tidak terbakar (yang kita kenal sebagai asap) diupayakan dan terbakar habis. Proses ini mengubah asap menjadi energi panas tambahan, meningkatkan suhu total dan kebersihan pembakaran. Efisiensi penggunaan bahan bakar tambahan pada rocket stove lebih baik dibandingkan pembakaran terbuka. Ruang bakar vertikal yang terbuat dari bahan yang tahan panas berperan agar energi tidak hilang ke udara sekitar, melainkan digunakan untuk menaikkan suhu pembakaran secara drastis. Suhu internal yang lebih tinggi memudahkan bahan bakar (kayu/ranting) terbakar habis. Dengan adanya suhu internal yang lebih tinggi tersebut dapat meminimalkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pembakaran serta menghasilkan efisiensi termal yang tinggi dari pada pembakaran terbuka.

Pembakaran dengan rocket stove menghasilkan asap yang sangat minim, namun dibagian akhir terbentuk asap dibagian bawah sebelum sampah terbakar habis. Terbentuknya asap di akhir proses menunjukkan bahwa ketika volume bahan bakar menipis, suhu di cerobong panas (*heat riser*) turun di bawah ambang batas kritis (biasanya di bawah 600<sup>0</sup> C). Desain rocket stove ini secara signifikan mengurangi polusi udara dibandingkan metode tradisional (asap pekat vs. asap sangat minim), menjadikannya pilihan yang lebih aman untuk mengelola volume sampah.

Pembentukan asap di akhir proses mengindikasikan keterbatasan desain tungku roket dalam mempertahankan panas optimal ketika bahan bakar hampir habis. Untuk mengatasi hal ini dibutuhkan intervensi pengguna (seperti menambahkan sedikit bahan bakar lagi atau membuang residu segera setelah proses utama) untuk menghindari fase *smoldering* yang kurang bersih.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Anggono, W., Wibowo, B. T., & Priyanto, P. (2017). Analisis Nilai Kalor dan Efisiensi Pembakaran Briket Sampah Organik dan Anorganik dengan Penambahan Bio-Aditif. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(2), 79-86.
- [2] Aprovecho Research Center. (2015). *The Rocket Stove Design Guide: A Technical Manual*. Cottage Grove, Oregon: Aprovecho Research Center.
- [3] Pulikotil, A. G., & Chougule, N. K. (2024, June). Design and Numerical Analysis of a Multipurpose Rocket Stove. In *International Conference on Recent Advances in Design and Manufacturing* (pp. 261-275). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [4] Choudhury, H., Paul, B., & Chakraborty, A. (2021). Comparative study of rocket stove and traditional chulha in rural India. *Renewable Energy*, 174, 621-629.
- [5] Jiang, L., Wang, Y., & Zao, X. (2022). Emission factor of household of biomass fuel and improved stoves in China. *Science of the Total Environment*, 822, 153619.
- [6] Lemieux, P. M., Lutes, C. C., & Lu, R. (2004). Emissions of organic hazardous air pollutants from the open burning of household waste. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 54(1), 127-134.
- [7] Li, Z., Zhang, Y., & Chen H. (2021). Performance and emission characteristics of rocket stoves fueled with agricultural residues. *Renewable Energy*, 170, 1270-1278.
- [8] Oladeji, J. T. (2010). Development and performance testing of an efficient biomass stove. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 52-57.
- [9] Pariyar, P., Ghimire, A., & Pokharel, J. (2020). Comparative study of traditional and improved cookstoves on thermal performance and emission characteristics using agricultural residue briquettes. *Renewable Energy*, 162, 1024-1031.
- [10] Pope, D., Bruce, N., Dherani, M., Jagoe, K., & Rehfuess, E. (2021). Real-life effectiveness of 'improved' stoves and clean fuels in reducing PM<sub>2.5</sub> and CO: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 146, 106242.
- [11] Wisner, E., & Wisner, E. (2016). *The rocket mass heater builder's guide: Complete step-by-step construction, maintenance and troubleshooting*. New Society Publishers.
- [12] Still, D., & Winiarski, L. (2001). *Rocket Stove: Testing and Monitoring*. Aprovecho Research Center.
- [13] Tucho, G., T., & Nonhebel, S. (2020). Bio-residue based rocket stoves: Adoption and sustainability. *Energy Reports*, 6, 171-179.