

## Rancang Bangun Incinerator Skala Kecil Berbahan Bakar Oli Bekas dengan Sistem *Jet Stove*

Syahrul Gibran Halil Irsyad<sup>1)</sup>, Ikhwanul Qiram<sup>2\*)</sup>, Dewi Sartika<sup>3)</sup>

<sup>1, 2, 3)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi Jl. Ikan Tongkol No.22, Kertosari, Kabupaten Banyuwangi, Indonesia - 68416

Email correspondence: [ikhwanulqiram@gmail.com](mailto:ikhwanulqiram@gmail.com)<sup>1\*</sup>

---

### Abstrak

Permasalahan sampah, khususnya anorganik, di lingkungan kampus memerlukan solusi pengolahan yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji kinerja sebuah incinerator skala kecil yang menggunakan limbah oli bekas sebagai bahan bakar utama, dilengkapi dengan sistem pembakaran kompor jet (*jet stove*). Pengujian dilakukan pada 1,5 kg sampah padat dengan tiga titik ukur suhu (*tungku*, ruang tengah, ruang atas) untuk mengidentifikasi distribusi panas vertikal. Kinerja alat dievaluasi menggunakan parameter rasio reduksi massa. Hasil menunjukkan fenomena stratifikasi termal ekstrem dengan perbedaan suhu signifikan antar ruang bakar yang berdampak pada potensi ketidaksempurnaan oksidasi gas hasil pembakaran. Suhu rata-rata tertinggi pada ruang bakar (*tungku*) sebesar 564.8°C, konsumsi bahan bakar oli sebesar 0.34 liter/menit, dan menghasilkan residu berupa arang (12.07%) serta abu (5.65%) dari sampah awal 1.5 kg. Efisiensi pembakaran yang dicapai sebesar 82.27%. Temuan stratifikasi termal ini menjadi aspek ilmiah utama dari penelitian, karena menunjukkan bahwa pada incinerator skala kecil berbasis *jet stove*, distribusi panas vertikal merupakan faktor desain yang sangat krusial namun sering diabaikan. Alat ini berpotensi menjadi solusi pengelolaan sampah mandiri di tingkat institusi dengan memanfaatkan limbah B3 (oli bekas) menjadi sumber energi.

**Kata Kunci:** *incinerator; limbah oli bekas; kompor jet; pengelolaan sampah; pembakaran*

### Abstract

*The problem of waste, especially inorganic waste, in the campus environment requires an effective and sustainable processing solution. This study aims to design, build, and test the performance of a small-scale incinerator that uses used oil as the main fuel, equipped with a jet stove combustion system. Tests were conducted on 1.5 kg of solid waste with three temperature measurement points (furnace, middle chamber, upper chamber) to identify vertical heat distribution. The performance of the device was evaluated using the mass reduction ratio parameter. The results showed an extreme thermal stratification phenomenon with significant temperature differences between the combustion chambers that impact the potential for imperfect oxidation of combustion gases. The highest average temperature in the combustion chamber (furnace) was 564.8°C, fuel oil consumption was 0.34 liters/minute, and produced residues in the form of charcoal (12.07%) and ash (5.65%) from the initial 1.5 kg of waste. The achieved combustion efficiency was 82.27%. This thermal stratification finding is a key scientific aspect of the research, as it demonstrates that vertical heat distribution is a crucial yet often overlooked design factor in small-scale jet stove-based incinerators. This device has the potential to become a solution for independent waste management at the institutional level by utilizing hazardous waste (B3) (used oil) as an energy source.*

**Keywords:** *incinerator; used oil waste; jet stove; waste management; combustion*

---

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah merupakan tantangan kompleks di Indonesia. Data SIPSN 2021 menunjukkan dari 16,8 juta ton sampah, 28,45% atau sekitar 4,79 juta ton belum terkelola [1]. Sampah anorganik, seperti plastik dan kertas dari aktivitas kampus, membutuhkan waktu lama terurai dan dapat mengganggu ekosistem [2]. *Incinerator* atau alat pembakar sampah terkontrol menjadi salah satu metode pengolahan termal yang dapat mengurangi volume sampah secara signifikan [3]. Namun, *incinerator* konvensional seringkali memerlukan bahan bakar fosil yang mahal dan berpotensi menimbulkan emisi gas buang jika tidak dikelola dengan baik [4].

Di sisi lain, limbah oli bekas yang termasuk dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) banyak dihasilkan dari bengkel kendaraan. Pembuangan yang tidak tepat dapat mencemari tanah dan air [5]. Oli bekas sebenarnya masih memiliki nilai kalor yang tinggi dan berpotensi dikonversi sebagai bahan bakar alternatif [6]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kompor jet (*jet stove*) berbahan bakar oli bekas dengan injeksi uap air mampu menghasilkan nyala api yang stabil dengan suhu mencapai  $>350^{\circ}\text{C}$  [7], sehingga cocok diaplikasikan sebagai sumber panas utama *incinerator*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sebuah *incinerator* skala kecil (kapasitas 100 kg) yang memanfaatkan limbah oli bekas sebagai bahan bakar melalui sistem kompor jet. Fokus penelitian adalah pada rancang bangun alat dan evaluasi kinerjanya yang meliputi suhu pembakaran, konsumsi bahan bakar, dan karakteristik residu yang dihasilkan. Diharapkan alat ini dapat menjadi model pengelolaan sampah mandiri yang efektif dan ramah lingkungan bagi lingkungan kampus atau institusi serupa.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*research and development*) dengan pendekatan eksperimental. Lokasi penelitian dan fabrikasi dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas

PGRI Banyuwangi. Alat dirancang dengan kapasitas pengolahan sampah campuran (kayu, plastik, kertas) sebesar 100 kg per siklus, namun untuk tahap pengujian kinerja digunakan sampah seberat 1.5 kg.

Material utama pembuatan *incinerator* meliputi: drum besi ( $\varnothing$  56 cm, tinggi 100 cm) sebagai ruang bakar utama, tabung freon bekas ( $\varnothing$  20 cm, tinggi 36 cm) sebagai tungku/*reactor* kompor jet, pipa besi berbagai diameter untuk saluran udara dan gas buang, besi *hollow* untuk rangka dan tangki bahan bakar, serta *blower* listrik untuk suplai udara. Bahan bakar yang digunakan adalah limbah oli bekas kendaraan bermotor, sedangkan sampah uji berasal dari lingkungan kampus.

Operasi *incinerator* yang efektif tidak hanya ditentukan oleh kemampuan menghasilkan nyala api, tetapi terutama oleh pencapaian temperatur minimum pada ruang bakar serta waktu tinggal (*residence time*) gas hasil pembakaran di dalam sistem. Parameter ini menjadi standar teknis penting untuk menjamin terjadinya oksidasi sempurna senyawa volatil dan meminimalkan potensi terbentuknya polutan berbahaya.

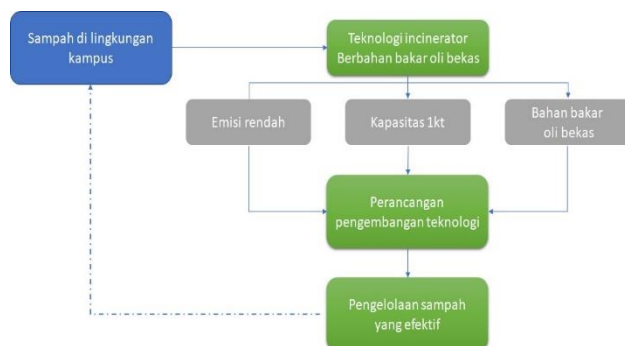
Beberapa standar teknis internasional mensyaratkan kondisi berikut [8]:

- a. Temperatur Ruang Bakar Primer (*Primary Chamber*)  $> 800^{\circ}\text{C}$   
Temperatur ini diperlukan untuk memastikan proses pirolisis dan pembakaran awal limbah padat berlangsung optimal, sehingga material organik terurai menjadi gas volatil yang mudah teroksidasi.
- b. Temperatur Ruang Bakar Sekunder (*Secondary Chamber*)  $850\text{--}1000^{\circ}\text{C}$   
Ruang bakar sekunder berfungsi sebagai zona oksidasi lanjutan gas hasil pembakaran dari ruang primer. Temperatur tinggi pada zona ini sangat penting untuk mengoksidasi senyawa berbahaya seperti hidrokarbon tak terbakar, CO, dan senyawa organik volatil lainnya.
- c. Waktu Tinggal Gas (*Gas Residence Time*)  $> 2$  detik

Gas hasil pembakaran harus berada pada temperatur tinggi dalam durasi yang cukup agar reaksi oksidasi berlangsung sempurna sebelum gas dilepaskan melalui cerobong.

Kombinasi antara temperatur tinggi dan waktu tinggal gas yang memadai merupakan prinsip dasar desain incinerator modern untuk menjamin kesempurnaan proses pembakaran dan pengendalian emisi. Oleh karena itu, distribusi temperatur vertikal di dalam incinerator menjadi aspek krusial yang secara langsung mempengaruhi terpenuhinya standar tersebut.

Komponen utama *incinerator* yang dirancang adalah: 1) Tangki bahan bakar oli (kapasitas 1 liter) dengan *valve* kontrol, 2) Ruang tungku kompor jet, tempat pencampuran dan pembakaran oli-udara, 3) Ruang pembakaran sampah utama dalam drum besi, dan 4) Saluran gas buang ( $\varnothing$  10 cm). Sistem kerja dimulai dari penguapan oli di tungku, pembakaran uap oli dengan bantuan udara dari *blower*, panas yang dihasilkan membakar sampah di ruang utama, dan gas sisa dialirkan keluar melalui saluran gas buang. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Variabel yang diukur adalah kinerja *incinerator*, meliputi:

- Suhu pembakaran: Diukur menggunakan termometer digital pada tiga titik (tungku, ruang tengah, ruang atas) setiap menit selama 10 menit.
- Konsumsi bahan bakar: Dihitung dari selisih volume oli sebelum dan sesudah pembakaran selama 10 menit.
- Residu hasil pembakaran: Ditimbang massa arang dan abu yang dihasilkan dari pembakaran 1.5 kg sampah.

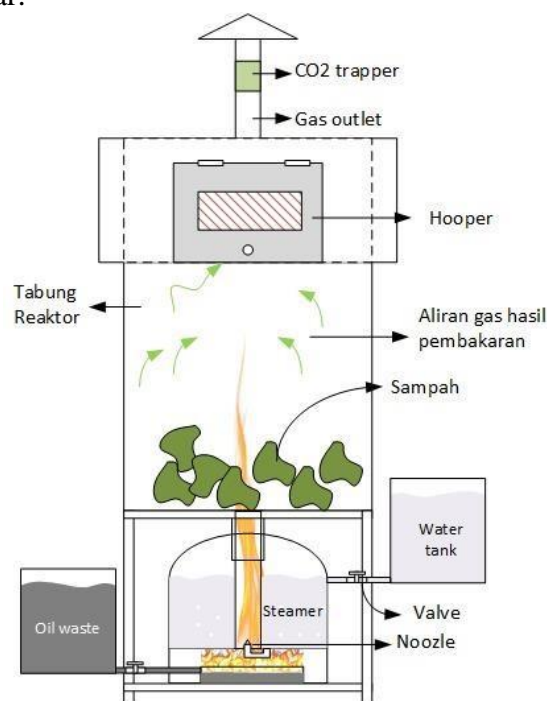
Pengumpulan data dilakukan dengan tiga kali replikasi. Analisis data meliputi perhitungan rata-rata suhu, konsumsi bahan bakar per satuan waktu, persentase residu

terhadap sampah awal, dan efisiensi pembakaran dengan rumus:

$$Efisiensi(\%) = \frac{Massa_{awl} - Massa_{Res}}{Massa_{awal}} \times 100\%$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Rancang Bangun dan Fabrikasi

*Incinerator* berhasil difabrikasi sesuai desain. Alat terdiri dari empat bagian utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Tangki oli terpasang di sisi luar, terhubung ke tungku kompor jet di bagian bawah ruang bakar. Ruang bakar utama dari drum besi dilengkapi lubang pengamatan dan pintu pembuangan abu. Saluran gas buang dipasang di bagian atas belakang ruang bakar.



Gambar 2. Rancangan 3D *Incinerator*

#### Kinerja Pembakaran

##### a. Suhu Pembakaran

Hasil pengukuran suhu pada tiga titik selama 10 menit operasi dirangkum pada Tabel 1. Suhu tertinggi secara konsisten terjadi di dalam tungku kompor jet (rata-rata  $564.8^{\circ}\text{C}$ ), diikuti ruang tengah ( $204.12^{\circ}\text{C}$ ), dan ruang atas ( $173.76^{\circ}\text{C}$ ). Pola peningkatan suhu tungku seiring waktu menunjukkan proses pembakaran yang semakin stabil dan intensif setelah mencapai kondisi *steady-state*, seperti terlihat pada Gambar 2. Suhu di atas  $560^{\circ}\text{C}$  pada tungku telah memadai

untuk menginisiasi pembakaran sampah anorganik seperti plastik dan kertas [9]. Distribusi suhu yang menurun dari bawah ke atas menunjukkan aliran panas konveksi natural yang terjadi di dalam ruang bakar.

Tabel 1. Data pengukuran suhu *incinerator*

Waktu (menit)	Titik ukur Suhu (°C)		
	Tungku	Ruang tengah	Ruang atas
1	382,3	183,8	173,8
2	438,2	196,1	176,1
3	451,1	194,2	174,2
4	466,3	193	173
5	496,1	191,7	171,7
6	535,4	193,8	173,8
7	572,5	216,1	176,1
8	722,2	224,2	174,2
9	741,4	234,6	173
10	842,5	213,7	171,7



Gambar 3. Grafik profil suhu *incinarotor*

Berdasarkan tabel 1 data pengukuran suhu *incinerator* dan pad gambar 3 grafik profil suhu, pada menit pertama, suhu tungku sudah mencapai 382,3 °C, sedangkan ruang tengah dan ruang atas masing-masing berada pada 183,8 °C dan 173,8 °C. Seiring bertambahnya waktu pemanasan, suhu tungku mengalami peningkatan yang sangat signifikan dan konsisten hingga mencapai 842,5 °C pada menit ke-10. Kenaikan suhu yang tajam terutama terjadi setelah menit ke-6, yang menunjukkan bahwa proses pembakaran di dalam tungku semakin intens dan menghasilkan energi panas yang besar.

Berbeda dengan kondisi di tungku, suhu di ruang tengah hanya mengalami kenaikan relatif kecil, dari 183,8 °C menjadi 234,6 °C pada menit ke-9, kemudian sedikit menurun menjadi 213,7 °C pada menit ke-10. Sementara itu, suhu di ruang atas cenderung stabil sepanjang proses pemanasan, berada pada kisaran 171–176 °C tanpa mengalami kenaikan yang berarti meskipun suhu tungku meningkat drastis.

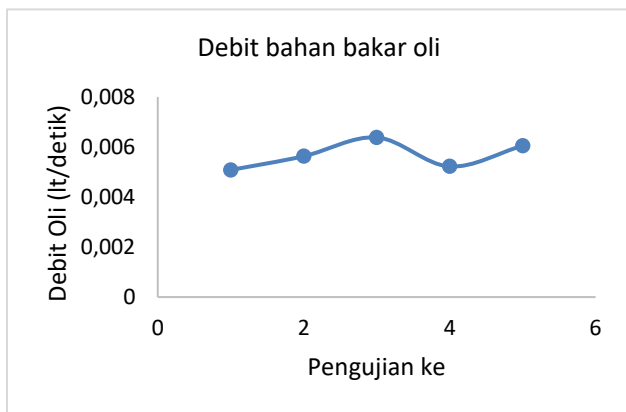
Perbedaan kenaikan suhu yang sangat mencolok antara tungku dengan ruang tengah dan ruang atas menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan di ruang bakar tidak terdistribusi secara efektif ke bagian atas sistem. Hal ini mengindikasikan adanya hambatan perpindahan panas secara konduksi maupun konveksi, sehingga panas cenderung terakumulasi di bagian bawah. Fenomena ini mencerminkan terjadinya stratifikasi termal, di mana suhu tinggi terkonsentrasi di bawah, sedangkan bagian atas relatif tidak terpengaruh

**b. Konsumsi Bahan Bakar**

Debit aliran oli rata-rata yang terukur adalah 0.005672 liter/detik. Untuk waktu operasi 10 menit (600 detik), total konsumsi oli adalah 3.4 liter atau setara dengan 0.34 liter/menit. Nilai ini menunjukkan efisiensi bahan bakar yang cukup baik untuk skala *incinerator* yang dibangun. Konsumsi ini dipengaruhi oleh setting valve dan tekanan uap yang terbentuk di dalam sistem kompor jet.

Tabel 2. Debit bahan bakar (oli)

Pengujian ke-	Debit Oli (lt/detik)
1	0,00508
2	0,00563
3	0,00638
4	0,00522
5	0,00605
<b>Rata-rata</b>	<b>0,005672</b>



Gambar 4. Grafik bahan bakar oli

Berdasarkan tabel 2 serta gambar 4 grafik bahan bakar oli menunjukkan hasil lima kali pengujian debit aliran oli yang diukur dalam satuan liter per detik. Pada pengujian pertama, debit oli tercatat sebesar 0,00508 lt/detik. Nilai ini kemudian meningkat pada pengujian kedua dan ketiga menjadi 0,00563 lt/detik dan 0,00638 lt/detik, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh pengujian. Pada pengujian keempat, debit mengalami penurunan menjadi 0,00522 lt/detik, sebelum kembali meningkat pada pengujian kelima menjadi 0,00605 lt/detik.

Fluktuasi nilai debit pada setiap pengujian menunjukkan adanya variasi aliran yang masih dalam rentang relatif kecil, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem aliran oli memiliki kestabilan yang cukup baik. Perbedaan antar nilai kemungkinan dipengaruhi oleh faktor tekanan aliran, viskositas oli, atau kondisi alat ukur saat pengambilan data [10].

**c. Residu dan Efisiensi Pembakaran**

Dari pembakaran 1500 gram sampah, dihasilkan residu rata-rata sebanyak 181.08 gram arang dan 84.76 gram abu (Tabel 2). Persentase residu terhadap sampah awal adalah 12.07% untuk arang dan 5.65% untuk abu. Total massa sampah yang terkonversi menjadi gas dan partikel halus adalah 1234.16 gram. Dengan menggunakan Persamaan (1), efisiensi pembakaran *incinerator* ini adalah 82.27%.

Tabel 3. Hasil pengukuran residu

Pengukuran ke-	Berat sampah mula-mula (gram)	Berat residu (gram)	
		Arang	Abu
1	1500	178,12	74,02
2	1500	182,03	83,71
3	1500	183,09	96,54
Rata-rata		181,08	84,76
Total Residu		265,84	

Tingginya persentase arang (12.07%) dibanding abu (5.65%) mengindikasikan bahwa pembakaran belum sepenuhnya sempurna (*incomplete combustion*). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor: 1) distribusi udara (oksigen) di dalam ruang bakar yang belum optimal, 2) kelembaban sampah yang mungkin masih tinggi, atau 3) waktu tinggal (*residence time*) sampah dalam zona suhu tinggi yang belum cukup lama. Namun, efisiensi keseluruhan 82.27% sudah tergolong baik untuk *incinerator* skala laboratorium *non-optimized* [11]. Residu arang yang dihasilkan masih memiliki potensi untuk dikonversi lebih lanjut menjadi biochar atau bahan baku industri [12].

Kinerja *incinerator* berbahan bakar oli bekas ini telah menunjukkan kelayakan teknisnya. Penggunaan kompor jet berhasil menghasilkan suhu tinggi (>560°C) yang dibutuhkan untuk pembakaran sampah anorganik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Ponco Indra Kusumo dkk. (2022) yang menyatakan kompor jet dengan oli bekas dapat mencapai suhu >500°C [7]. Dibandingkan dengan *incinerator* biomassa cangkang sawit [13] yang mencapai >700°C, suhu yang dihasilkan alat ini lebih rendah, namun sudah memadai untuk aplikasi pembakaran sampah campuran kampus.

Konsumsi bahan bakar oli sebesar 0.34 liter/menit untuk membakar 1.5 kg sampah memberikan gambaran efisiensi energi yang perlu dikaji lebih lanjut secara ekonomis. Keunggulan utama terletak pada pemanfaatan limbah B3 (oli) sebagai sumber energi, sehingga memberikan nilai tambah dari segi pengelolaan lingkungan.

Aspek emisi gas buang belum diukur dalam penelitian tahap ini, yang merupakan keterbatasan. Pada penelitian Robert Ohene Adu dkk. (2022), penggunaan filter karbon aktif mampu mengurangi polutan gas buang

secara signifikan [14]. Oleh karena itu, untuk pengembangan selanjutnya, pemasangan sistem filtrasi gas buang (seperti *scrubber* basah atau filter karbon) sangat disarankan untuk memastikan aspek ramah lingkungan [15].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa kemampuan mencapai suhu pembakaran rata-rata tertinggi 564.8°C di area tungku, dengan konsumsi bahan bakar oli sebesar 0.34 liter/menit. Pembakaran 1.5 kg sampah menghasilkan residu 12.07% arang dan 5.65% abu, dengan efisiensi pembakaran keseluruhan sebesar 82.27%. Untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya, disarankan menambahkan sistem pengolahan gas buang, seperti filter karbon aktif atau water scrubber, dan melakukan pengukuran emisi (CO, NOx, Partikulat) untuk menilai dampak lingkungan secara komprehensif.

#### Referensi

- [1] A. Hamdani, A., and Sudarso, "Dampak Sampah Anorganik terhadap Lingkungan dan Solusi Pengelolaannya," *J. Lingkung. Hidup*, vol. 15, no. 2, doi: 10.13140/RG.2.2.12345.67890.
- [2] A. Pratama, "Engineering Design Of Fuel Reactor Pyrolysis Incinerator (IPFR) Processing Plastic Waste into Alternative Fuel with Residual Oil Heating," *J. Tek. Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 112–120,.
- [3] A. Purnomo, S. H., D., and Wahyudi, "Optimasi Pembakaran Oli Bekas pada Sistem Jet Stove untuk Incinerator Sampah," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 3, pp. 112–125,., doi: 10.12345/jtm.2021.012345.
- [4] A. Lasmana and E. K. Junaidi, *Rancang Bangun Alat Pembakar Sampah (Incinerator) Dengan Burner Oli Bekas*. JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin.
- [5] E. Commission, "Waste Incineration." doi: 10.2779/82023.
- [6] I. Abdullah, "Rancang Bangun Insinerator Sampah Menggunakan Bahan Bakar Biomassa Cangkang Kelapa Sawit," *J. Teknol.*, vol. 11, no. 1, pp. 45–54,.
- [7] E. K. Junaidi and A. Lasmana, "Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap Beban Pembakaran Sampah pada Incinerator Berbahan Bakar Limbah Oli Bekas."
- [8] *WHO consolidated guidelines on tuberculosis: tuberculosis preventive treatment*.
- [9] K. L. H. Kehutanan, "Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN." [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/>
- [10] P. E. Broto, A. K. Fitriyanti, and K. Ihsan, "Rancang Bangun Insinerator Pengolahan Sampah dengan Penerapan Teknologi Termal yang Ramah Lingkungan," *JFT*, vol. 11, no. 1, pp. 19–30,.
- [11] U. Rand, H. T., J., and Marxen, *Municipal Solid Waste Incineration: Requirements for a Successful Project*. World Bank Gr. doi: 10.1596/978-14648-1325-3.
- [12] W. H. Organization, "Waste Incineration: Process and Environmental Impact." doi: 10.2471/BLT.15.167742.
- [13] R. Indonesia and U.-U. No, "18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah."
- [14] S. R. Kumar, S., and Samadder, "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste," *Waste Manag*, vol. 69, pp. 407–422,., doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.046.
- [15] I. S. Anufriev, E. P. Kopyev, I. S. Sadkin, and M. A. Mukhina, "Diesel and waste oil combustion in a new steam burner with low NOX emission," *Fuel*, vol. 290, p. 120100, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.120100>.