



Perancangan Ruang Pembakaran *Incinerator* dan Analisis Efisiensi Pembakaran Menggunakan *Double Blower*

Tandhu Bizaq Noriansyah¹⁾, Sigit Mujiarto^{1*)}, Nur Hayati¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

e-mail: sigitmujiarto@untidar.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan pengelolaan sampah yang semakin kompleks di Indonesia mendorong perlunya inovasi dalam teknologi pengolahan limbah. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan *incinerator* untuk mengurangi volume sampah secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ruang pembakaran *incinerator* berkapasitas 45 kg dengan menggunakan *double blower* serta menganalisis efisiensinya. Proses perancangan dilakukan dengan pendekatan *Computer-Aided Design (CAD)*, sedangkan simulasi efisiensi pembakaran dianalisis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Dimensi ruang pembakaran ditentukan berdasarkan volume sampah dan massa jenisnya, menghasilkan total volume sebesar 0,2995 m³. *Double blower* dirancang untuk meningkatkan distribusi udara dan efisiensi pembakaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa menggunakan ini menghasilkan fraksi massa CO sebesar 0,415597 dan CO₂ sebesar 0,424972, dengan efisiensi pembakaran mencapai 49,39%. Hasil tersebut membuktikan bahwa penggunaan menggunakan *double blower* mampu meningkatkan proses oksidasi, menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, serta mendukung pengembangan teknologi pengolahan limbah yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *incinerator*, ruang pembakaran, *double blower*, efisiensi pembakaran, simulasi *CFD*

ABSTRACT

The increasingly complex waste management problem in Indonesia requires innovative solutions, one of which is the use of *incinerators* to significantly reduce waste volume. This study aims to design a combustion chamber for a 45 kg-capacity *incinerator* with a *double blower* and to analyze its combustion efficiency. The design process was carried out using *Computer-Aided Design (CAD)* software, while combustion efficiency was evaluated through *Computational Fluid Dynamics (CFD)* simulation. The combustion chamber dimensions were determined based on the volume and density of waste, resulting in a total volume of 0.2995 m³. The *double blower* was implemented to improve airflow distribution and combustion performance. Simulation results show that the system produced a CO mass fraction of 0.415597 and CO₂ mass fraction of 0.424972, achieving a combustion efficiency of 49.39%. These findings indicate that the *double blower* configuration enhances the oxidation process, leads to more complete combustion, and supports the development of more efficient and environmentally friendly waste treatment technologies.

Keywords: *incinerator*, combustion chamber, *double blower*, combustion efficiency, *CFD* simulation

1. Pendahuluan

Masalah pengelolaan sampah di Indonesia semakin kompleks seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas manusia. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLH) menyebutkan bahwa timbulan sampah di Indonesia mencapai 175.000 ton per hari [1]. Berdasarkan data Menggunakan Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), timbulan sampah meningkat dari 28,7 juta ton pada tahun 2019 menjadi 36,2 juta ton pada tahun 2022 [2]. Kondisi

ini menimbulkan tantangan baru, termasuk keterbatasan tempat pembuangan akhir (TPA), kurangnya sarana transportasi, serta rendahnya tingkat pelayanan pengelolaan sampah di berbagai daerah [3].

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan *incinerator*, yaitu alat pembakar limbah padat yang mampu mengurangi volume sampah hingga lebih dari 90% [4]. Namun demikian, proses pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan emisi

gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), serta partikel halus (PM2.5 dan PM10) yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan [5][6]. Selain itu, gas buang hasil pembakaran juga membawa berbagai senyawa kimia toksik lainnya yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan masyarakat sekitar [7]. Pembakaran di tempat terbuka menyebabkan pembakaran tidak terkontrol, sehingga dapat mengganggu lingkungan sekitar [8].

Efisiensi proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh suplai oksigen dalam ruang bakar. Salah satu cara meningkatkan suplai oksigen adalah dengan penggunaan blower. Penelitian oleh Sudrajat pada tahun 2022 menunjukkan bahwa variasi bukaan katup udara pada blower mempengaruhi *Air-Fuel Ratio* (AFR), yang berdampak pada efisiensi pembakaran. Namun, penelitian tersebut terbatas pada penggunaan *single blower*, tanpa mengevaluasi kinerja menggunakan dengan *double blower* [9].

Penelitian lain oleh Saputra pada tahun 2021 pada *incinerator* biomassa juga menunjukkan bahwa penambahan blower mampu meningkatkan suhu pembakaran dan menurunkan emisi CO. Namun demikian, studi tersebut tidak membandingkan langsung efektivitas antara menggunakan *single dan double blower*. Padahal, menggunakan *double blower* diyakini dapat meningkatkan distribusi udara dalam ruang bakar secara lebih merata, mempercepat proses oksidasi, dan meningkatkan efisiensi pembakaran [10]. Di sisi lain, pembakaran limbah juga dapat menghasilkan residu berupa *fly ash* yang mengandung logam berat berbahaya seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan kromium (Cr), yang tingkat kelarutannya dipengaruhi oleh ukuran partikel [11]. Selain emisi gas dan limbah padat, fase *start-up* pada proses pembakaran juga berpotensi menghasilkan polutan spesifik seperti PBDE (*polybrominated diphenyl ethers*) [12].

Pendekatan desain menggunakan *software Computer-Aided Design* (CAD) dan simulasi aliran serta emisi dengan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD), penelitian ini bertujuan untuk merancang ruang pembakaran *incinerator* kapasitas 45 kg dengan menggunakan *double blower*, serta menganalisis pengaruhnya terhadap efisiensi pembakaran dan emisi gas CO dan CO₂. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengolahan sampah yang lebih efisien, cepat, dan ramah lingkungan, terutama di wilayah dengan keterbatasan fasilitas pengelolaan limbah.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan secara simulasi numerik untuk merancang ruang pembakaran *incinerator* dengan menggunakan *double blower* dan menganalisis efisiensi pembakarannya. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Komputer Teknik Mesin Universitas Tidar, menggunakan *software* CAD untuk merancang model geometri dan *software* CFD untuk simulasi *Computational Fluid Dynamics*. Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini, yang

melibatkan perhitungan teknis, desain 3D, dan analisis distribusi gas buang.

Tahapan awal dimulai dengan studi literatur untuk menentukan parameter desain, kapasitas ruang bakar, serta konfigurasi blower. Setelah itu, dilakukan perancangan ruang pembakaran berdasarkan kapasitas sampah sebesar 45 kg *per batch*. Volume ruang pembakaran dihitung berdasarkan rumus [13]:

$$V = \frac{m}{\rho} \dots (1)$$

Dengan V adalah volume ruang bakar (m³), m adalah massa sampah (kg), dan ρ adalah massa jenis sampah (kg/m³).

Sementara itu, efisiensi pembakaran dievaluasi dari hasil simulasi fraksi massa gas CO dan CO₂, dan dihitung dengan persamaan [13]:

$$\eta = \left(\frac{[CO_2]}{[CO_2] + [CO]} \right) 100\% \dots (2)$$

Di mana $[CO_2]$ dan $[CO]$ adalah fraksi massa dari masing-masing gas hasil simulasi. Semakin tinggi nilai η , semakin efisien pembakaran yang terjadi.

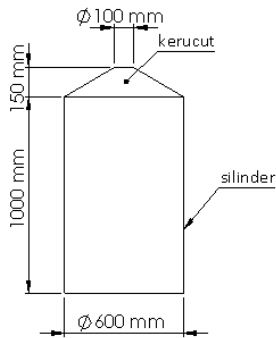
Simulasi dilakukan dengan menganalisis penyebaran emisi CO dan CO₂ pada model *incinerator* dengan menggunakan *double blower*. Variabel *boundary condition* seperti debit udara, massa bahan bakar CNG, dan temperatur awal disesuaikan dengan data lapangan dan parameter hasil perhitungan. Data primer diperoleh dari hasil simulasi CFD berupa profil fraksi massa gas. Data sekunder diperoleh dari literatur, seperti komposisi sampah nasional tahun 2025 dan spesifikasi teknis blower sentrifugal.

Hasil dari penelitian ini meliputi model desain ruang pembakaran *incinerator* dengan menggunakan *double blower* dan hasil evaluasi efisiensi pembakaran berdasarkan perbandingan fraksi massa CO dan CO₂.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perancangan Ruang Pembakaran (*Combustion Chamber*)

Dalam penelitian ini, kapasitas pembakaran ditetapkan sebesar 45 kg sampah *per batch*. Untuk menentukan volume ruang pembakaran, digunakan pendekatan geometris gabungan antara silinder dan kerucut terpancung (*truncated cone*), dengan perhitungan berdasarkan massa jenis sampah. Untuk geometri ruang pembakaran ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Geometri ruang pembakaran

Volume total ruang pembakaran dihitung dengan rumus:

$$V_{total} = V_{silinder} + V_{kerucut} \dots (3)$$

Di mana:

$$V_{silinder} = \pi r_1^2 h_1 \dots (4)$$

$$V_{kerucut} = \frac{1}{3} \pi h_2 (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \dots (5)$$

Dengan mengacu pada massa jenis sampah nasional yaitu 159 kg/m^3 [14]. Maka, volume minimum ruang pembakaran dihitung sebagai berikut:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{45}{159} = 0,2830 \text{ m}^3$$

Desain akhir ruang pembakaran menggunakan konfigurasi berikut:

- Jari-jari silinder/Jari-jari bawah kerucut (r_1): 0,3 m
- Tinggi silinder (h_1): 1 m
- Jari-jari atas kerucut (r_2): 0,05 m
- Tinggi kerucut (h_2): 0,15 m

Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh:

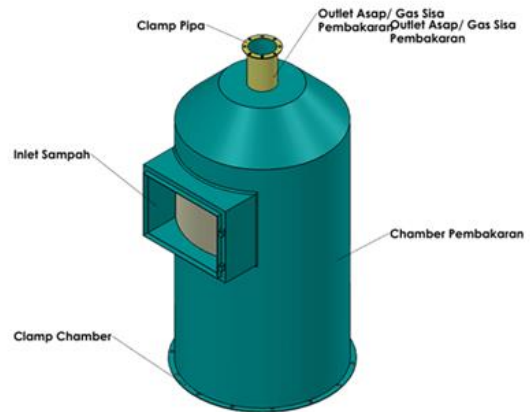
- Volume silinder:

$$V_{silinder} = \pi (0,3)^2 (1) = 0,2827 \text{ m}^3$$
- Volume kerucut terpancung

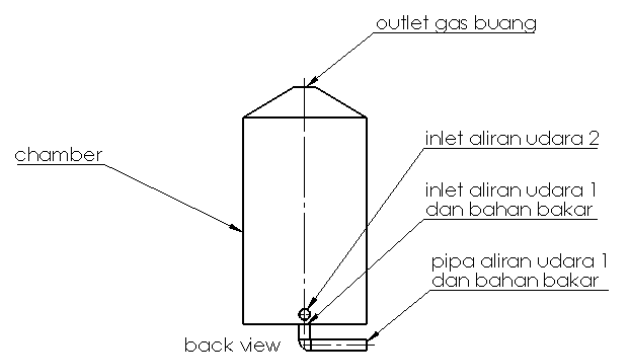
$$V_{kerucut} = \frac{1}{3} \pi (0,15) [(0,3)^2 + (0,3)(0,05) + (0,05)^2] = 0,0168 \text{ m}^3$$
- Total volume ruang pembakaran:

$$V_{total} = 0,2827 + 0,0168 = 0,2995 \text{ m}^3$$

Dimensi ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam pemodelan 3D menggunakan software CAD, untuk memastikan kesesuaian antara volume ruang pembakaran dan kapasitas sampah. Gambar model 3D ruang pembakaran ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Model 3D ruang pembakaran



Gambar 3. Model 2D ruang pembakaran dengan menggunakan *double blower*

Gambar 3. menunjukkan desain 2D dari ruang pembakaran (*combustion chamber*) dengan menggunakan *double blower*, yang memiliki dua jalur suplai udara terpisah untuk mendukung proses pembakaran. Komponen utamanya yaitu *inlet* aliran udara dan bahan bakar yang terhubung dengan pipa aliran udara dan bahan bakar dari blower pertama, serta tambahan *inlet* aliran udara 2 dan pipa aliran udara 2 yang berasal dari blower kedua. Blower pertama berfungsi menyuplai udara dan bahan bakar untuk memulai serta mempertahankan pembakaran, sedangkan blower kedua menyuplai udara tambahan ke bagian atas ruang pembakaran (*combustion chamber*) untuk memastikan pembakaran gas dan partikel sisa berlangsung sempurna. Gas hasil pembakaran kemudian dibuang melalui *outlet* gas buang di bagian atas ruang pembakaran (*combustion chamber*).

3.2 Analisis Efisiensi Pembakaran

Analisis efisiensi pembakaran dilakukan untuk menilai kinerja menggunakan *double blower* dalam mengoptimalkan proses pembakaran pada ruang pembakaran *incinerator* berkapasitas 45 kg. Evaluasi dilakukan melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan software

CFD, dengan fokus pada distribusi emisi gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Efisiensi pembakaran dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = \left(\frac{[CO_2]}{[CO_2] + [CO]} \right) 100\%$$

Berdasarkan hasil simulasi, menggunakan *double blower* menghasilkan fraksi massa karbon monoksida sebesar 0,415597 dan karbon dioksida sebesar 0,424972. Dengan demikian, efisiensi pembakaran dihitung sebagai berikut:

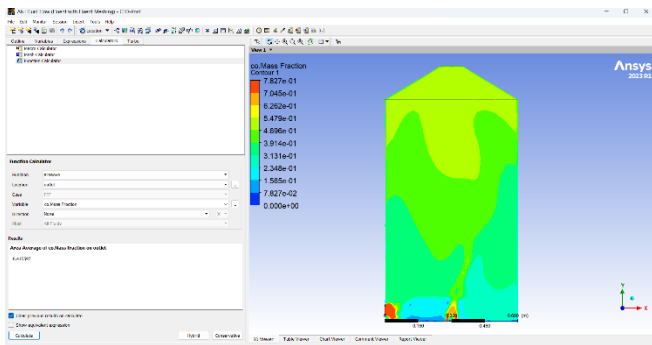
$$\eta = \left(\frac{0,424972}{0,424972 + 0,415597} \right) 100\% = 49,39\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa hampir setengah dari hasil pembakaran berupa CO₂, yang merupakan produk dari pembakaran sempurna, dan sisanya CO sebagai produk tidak sempurna. Untuk memperjelas, Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil simulasi emisi dan efisiensi pembakaran pada menggunakan *double blower*.

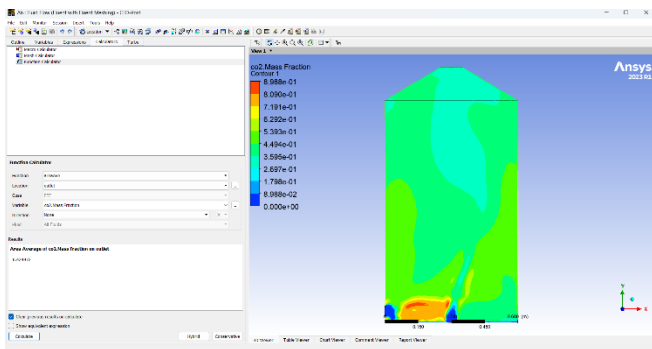
Tabel 1. Hasil simulasi emisi dan efisiensi pembakaran

No	Parameter	Nilai
1.	Fraksi massa CO	0,415597
2.	Fraksi massa CO ₂	0,424972
3.	Efisiensi pembakaran	49,39%

Distribusi emisi CO dan CO₂ juga divisualisasikan dalam simulasi CFD, seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 4. Distribusi fraksi massa CO



Gambar 5. Distribusi fraksi massa CO₂

Gambar 4 menunjukkan sebaran gas CO yang relatif rendah, dengan konsentrasi tertinggi berada pada bagian *inlet udara* 2 dan sedikit di bagian bawah ruang bakar. Hal ini menandakan bahwa sebagian besar reaksi pembakaran telah berlangsung secara optimal, sehingga sisa pembakaran yang tidak sempurna hanya menyisakan CO dalam jumlah terbatas dan terkonsentrasi secara lokal [15].

Gambar 5 menunjukkan distribusi fraksi massa CO₂ yang menyebar merata di seluruh volume ruang pembakaran. Warna pada visualisasi menunjukkan intensitas konsentrasi CO₂ yang tinggi, terutama pada bagian atas ruang bakar, yang merupakan indikasi terjadinya pembakaran sempurna akibat pasokan oksigen yang cukup dan distribusi udara yang merata dari dua arah.

4. Kesimpulan

Ruang pembakaran *incinerator* dirancang untuk kapasitas pembakaran 45 kg sampah per siklus, menggunakan pendekatan geometris silinder dan kerucut terpancung, dengan volume total sebesar 0,297 m³. Dimensi ini ditentukan berdasarkan perhitungan massa jenis sampah dan kebutuhan ruang bakar untuk memastikan pembakaran berlangsung optimal. Hasil simulasi menggunakan *software* CFD menunjukkan bahwa menggunakan *double blower* menghasilkan fraksi massa karbon monoksida (CO) sebesar 0,415597 dan karbon dioksida (CO₂) sebesar 0,424972, dengan efisiensi pembakaran mencapai 49,39%. Nilai ini mengindikasikan bahwa menggunakan *double blower* mampu meningkatkan proses oksidasi dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna serta efisien.

Ucapan Terimakasih

Penulis memberikan apresiasi yang tinggi dan mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu proses penelitian secara maksimal hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] R. S. G. Ginting, I. N. S. Winaya, and I. G. P. A. Suryawan, "Uji Variasi Kadar Air (Moisture Content) Sampah Residu Terhadap Performansi Insinerator," *Tek. Desain Mek.*, vol. 10, no. 2, pp. 1293–1297, 2021.
- [2] V. A. Simbolon, Tarisa, and H. Horiza, "Prediksi Tingkat Timbulan Sampah 5 Tahun Mendatang (2023-2027) di TPA Ganet Kota Tanjungpinang," *Sulolipu Media Komun. Sivitas Akad. dan Masy.*, vol. 23, no. 2, pp. 303–310, 2023.
- [3] R. P. Mahyudin, "Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah dan Dampak Lingkungan di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir)," *Tek. Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 66–74, 2017.
- [4] J. L. Saragih and W. Herumurti, "Evaluasi Fungsi Insinerator dalam Memusnahkan Limbah B3 di Rumah Sakit TNI Dr. Ramelan Surabaya," *Tek.*

- POMITS, vol. 2, no. 2, pp. 138–143, 2013.
- [5] J. Wahyudi, “Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Dari Pembakaran Terbuka Sampah Rumah Tangga Menggunakan Model IPCC,” *Litbang*, vol. 25, no. 1, pp. 65–76, 2019.
- [6] S. Sundari, “Polusi Udara Kendaraan Bermotor Tidak Berpengaruh Terhadap Penyakit Ispa,” *Kesehat. Lingkung.*, vol. 16, no. 1, pp. 697–706, 2019.
- [7] B. Wahyudi, R. N. Faila, and A. D. Ardianti, “Analisis Pengaruh Campuran Bahan Bakar Pertamina dengan Bioetanol dari Tuak Tuban terhadap Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor,” *AutoMech J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 51–56, 2024.
- [8] Junaidi, E. Kurniawan, and A. Lasmana, “Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap Beban Pembakaran Sampah pada Incinerator Berbahan Bakar Limbah Oli Bekas,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 1, pp. 17–23, 2021.
- [9] A. Sudrajad, H. Apriliyanti, and N. K. Caturwati, “Analisa Air Fuel Ratio Pembakaran Incinerator Kapasitas 25 kg,” pp. 1–5, 2022.
- [10] A. I. Saputra, “Pengolahan Limbah Medis Menggunakan Incinerator Biomassa Dengan Perbandingan Komposisi Biomassa Dan Limbah Medis Melalui Intervensi Blower Sebagai Suplay Oksigen,” *J. Nurs. Public Heal.*, vol. 9, no. 1, pp. 10–15, 2021, doi: 10.37676/jnph.v9i1.1430.
- [11] S. Sukandar, K. Yasuda, M. Tanaka, and I. Aoyama, “Metals leachability from medical waste incinerator fly ash: A case study on particle size comparison,” *Environ. Pollut.*, vol. 144, no. 3, pp. 726–735, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.02.010>.
- [12] F. M. Redfren, S.-L. Lin, L.-C. Wang, J.-L. Wu, and M. P. Endah Mutiara, “PBDE Emissions during the Start-up Procedure of an Industrial Waste Incinerator by the Co-Combustion of Waste Cooking Oil and Diesel Fuel,” *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 17, no. 4, pp. 975–989, 2017, doi: 10.4209/aaqr.2017.02.0066.
- [13] M. Y. Fadilah, I. Irawadi, M. F. Akbar, A. F. Oktavian, and L. A. Islami, “Rancangan Insenerator Pembakar Sampah Upaya Menanggulangi Tumpukan Sampah di Desa Ciselok,” *J. Pengabd. Masy. Pemberdayaan, Inov. dan Perubahan*, vol. 4, no. 4, pp. 133–139, 2024, doi: 10.59818/jpm.v4i4.914.
- [14] G. Tchobanoglous, *Solid Waste Management*. California, USA, 1981.
- [15] N. E. Jayanti, M. Hakam, and I. Santiasih, “Emisi Gas Carbon Monooksida (Co) Dan Hidrocarbon (Hc) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor ‘Supra X 125 Tahun 2006,’” *Rotasi J. Tek. Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 1–6, 2014, doi: 10.14710/rotasi.16.2.1-5.