

Pengaruh Variasi Laju Aliran Massa Oksigen Terhadap Performansi Insinerator *Dual Chamber* Berbahan Bakar RDF

Muhammad Alif Madhani Harahap, I Nyoman Suprapta Winaya, dan Made Sucipta

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Oxyfuel adalah proses pembakaran bahan bakar dengan menggunakan oksigen murni dengan konsentrasi tinggi mencapai 95%. Pembakaran dengan oksigen murni bertujuan untuk menghasilkan gas buang yang hampir seluruhnya terdiri dari CO₂ dan H₂O (pembakaran sempurna), sehingga memungkinkan untuk memisahkan atau menangkap CO₂ dari gas buang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi dari proses pembakaran sampah menggunakan insinerator *fixed grate dual chamber* berbahan bakar RDF dengan setiap variasi laju aliran massa oksigen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan secara eksperimental dengan penambahan oksigen pada ruang kedua insinerator *dual chamber* dengan memvariasikan laju aliran massa oksigen bertujuan untuk memperoleh kinerja optimal dari insinerator tersebut. Pengujian dilakukan dengan empat variasi, dimulai dari variasi terkecil sebesar $178,30 \times 10^{-4}$ kg/s, $196,13 \times 10^{-4}$ kg/s, $213,96 \times 10^{-4}$ kg/s, dan $231,79 \times 10^{-4}$ kg/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diperoleh nilai laju konsumsi bahan bakar padat pada pertama hingga variasi keempat berturut-turut adalah 49,720 kg/jam, 49,010 kg/jam, 49,300 kg/jam, dan 49,910 kg/jam. Efisiensi pembakaran diperoleh pada variasi pertama hingga keempat secara berurutan adalah 92,61%; 90,38%; 88,99%; dan 87,92%. Sehingga variasi pertama memiliki nilai efisiensi tertinggi.

Kata kunci: *Insinerator Fixed Grate Dual Chamber, Oxyfuel, Performansi*

Abstract

Oxyfuel combustion is the process of burning fuel using pure oxygen with a high concentration of up to 95%. Combustion with pure oxygen aims to produce exhaust gases consisting almost entirely of CO₂ and H₂O (complete combustion), enabling the separation or capture of CO₂ from the exhaust gases. This study aims to analyze the performance of the waste incineration process using a *fixed grate dual chamber* incinerator fueled by RDF with varying oxygen mass flow rates. The method used in this research is an experimental approach, where oxygen is added to the second chamber of the *dual-chamber* incinerator by varying the oxygen mass flow rate to achieve optimal performance from the incinerator. The tests were conducted with four variations, starting from the smallest variation of 178.30×10^{-4} kg/s, 196.13×10^{-4} kg/s, 213.96×10^{-4} kg/s, and 231.79×10^{-4} kg/s. The results show that the solid fuel consumption rate for the first to the fourth variation were 49.720 kg/h, 49.010 kg/h, 49.300 kg/h, and 49.910 kg/h, respectively. The combustion efficiency for the first to the fourth variation were 92.61%, 90.38%, 88.99%, and 87.92%, respectively. Therefore, the first variation had the highest efficiency value..

Keywords: *Flow measurement, orifice meter, pressure differential*

1. Pendahuluan

Pengolahan sampah menjadi energi memiliki beberapa tahapan yang kompleks namun bermanfaat. Langkah pertama adalah mengumpulkan sampah dari berbagai sumber seperti rumah tangga, industri, dan institusi. *Refused derived fuel* (RDF) merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari pengolahan sampah yang menghasilkan energi panas tinggi. Pemanfaatan sampah menjadi RDF dapat merupakan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan sampah. Pengelolaan sampah dengan menggunakan RDF merupakan suatu metode pengolahan sampah untuk didaur ulang atau dibuang dengan cara mengubah sampah menjadi bahan bakar yang dapat digunakan [1].

Insinerasi merupakan metode pengolahan sampah dengan cara membakar sampah. Proses ini akan mengubah sampah menjadi panas dan abu yang akan menghasilkan gas buang untuk dibuang ke atmosfer. Proses insinerasi dapat mengurangi volume, massa dan sifat berbahaya dari sampah, dan dapat mengurangi

masa padat sampah sebesar 80-85% serta volumenya sebesar 95-96% [2]. Faktor utama dalam proses pembakaran adalah suhu pembakaran dan waktu pembakaran yang terbuang, selain itu penting juga untuk memperhatikan kuantitas dan kontinuitas sampah. Kuantitasnya harus mencukupi untuk produksi energi yang berkesinambungan sehingga pasokan energi tidak terganggu [3].

Insinerator adalah teknologi pengolahan sampah dengan proses pembakaran yang mengubah sampah menjadi gas dan abu [4]. Insinerator *dual chamber* adalah sistem pembakaran sampah yang dirancang dengan dua ruang pembakaran. Teknologi ini membantu mengurangi volume residu dan emisi polutan. Selain itu, insinerator *dual chamber* berperan penting dalam mengurangi emisi gas buang dan polutan berbahaya, karena desainnya memungkinkan pembakaran yang lebih optimal. Teknologi ini juga efektif dalam menangani limbah berbahaya yang sulit terurai, mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan memudahkan penanganan sisa bahan.

Berdasarkan analisis perkiraan emisi insinerator *dual chamber*, ruang bakar primer dirancang untuk beroperasi pada suhu antara 750°-980°C, sedangkan ruang bakar sekunder dirancang untuk beroperasi pada suhu minimum 1100°C [5]. Emisi yang dihasilkan dari sisa pembakaran antara lain CO, HCl, NO_x, SO₂ [6].

Pembakaran oksigen (*oxy fuel*) adalah proses pembakaran bahan bakar dalam lingkungan di mana oksigen murni atau hampir murni digunakan sebagai pengganti udara biasa untuk mendukung proses pembakaran. Dalam proses pembakaran konvensional, udara yang digunakan terdiri dari sekitar 21% oksigen dan 79% nitrogen. Dalam pembakaran *oxy fuel*, oksigen yang digunakan berasal dari sumber murni atau hampir murni, oksigen dengan kemurnian di atas 95% dan menghilangkan nitrogen dari oksidator [7]. Teknologi ini secara signifikan dapat mengurangi emisi NO_x, CO dan partikel, serta meningkatkan efisiensi termal proses pembakaran dengan mengurangi volume gas buang sekitar 80%.

Sebuah penelitian dilakukan oleh [8] mengenai kinerja dua insinerator dengan ruang tunggal yang dirancang berbeda untuk pembakaran limbah pembalut wanita. Hasil penelitian pada suhu 800°C menunjukkan bahwa efisiensi insinerator dengan pembakaran dari samping membantu pengurangan sampah lebih optimal dibandingkan pembakaran dari bawah ke atas, selain itu emisi CO₂ juga lebih rendah yaitu 3547 ppm namun masih diatas standar emisi yang diperbolehkan.

Teknologi ini secara signifikan dapat mengurangi emisi NO_x, CO dan partikel, serta meningkatkan efisiensi termal proses pembakaran dengan mengurangi volume gas buang sekitar 80%. Pada proses ini, nitrogen dikeluarkan dari gas oksidator, sehingga gas pembakaran yang keluar dari ruang bakar kaya akan CO₂ dan H₂O, artinya proses pembakaran berlangsung dalam lingkungan O₂/CO₂ [9]. Hal ini menjelaskan bagaimana teknologi pembakaran oksigen dapat diterapkan untuk mengendalikan emisi atau emisi udara.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis performansi dari proses pembakaran sampah menggunakan insinerator *fixed grate dual chamber* berbahan bakar RDF dengan setiap variasi laju aliran massa oksigen.

2. Dasar Teori

Sampah (*Waste*) merupakan material sisa pakai yang telah digunakan untuk manfaat dan kebutuhan manusia. Sampah sering kali dipandang sebagai sesuatu yang tidak ada manfaatnya dan dipersepsikan tidak memiliki nilai [10]. Pengertian sampah menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah menyebutkan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat. Sampah seringkali dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik adalah

sampah sisa-sisa organisme hidup seperti sampah kayu, daun-daun kering, sisa makanan, dan lain-lain. Sampah anorganik merupakan sampah yang tidak berasal dari makhluk hidup, seperti jajanan plastik, kaleng, gelas, botol minuman, dan lain-lain. Sampah selalu ada seiring dengan kehidupan manusia. Jika tidak dikelola dengan baik, sampah dapat menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan dan lingkungan [11].

3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan dengan berbagai rangkaian percobaan sehingga memerlukan dan menghasilkan data yang beragam. Data dikumpulkan dengan metode eksperimental dan studi pustaka. Adapun data yang dikumpulkan dibagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini merupakan data yang diperoleh dari eksperimen serta observasi dari pengujian yang dilakukan, dan data sekunder adalah data yang diperoleh melalui studi pustaka. Data primer yang didapat berupa hasil pengukuran berat abu, kandungan gas buang, rentang waktu pembakaran dan distribusi temperatur. Data sekunder dalam penelitian ini berupa teori umum yang mendukung terlaksananya penulisan dari instrumen buku, jurnal dan skripsi yang berkaitan dengan *insinerator dual chamber* dengan pembakaran *oxyfuel*. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen yang dilakukan selanjutnya akan diolah dan disusun secara sistematis serta untuk mengambil kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.1. Alat Penelitian

a. Insinerator *Dual Chamber*

Insinerator *dual chamber* yang digunakan merupakan insinerator *fixed grate* dengan ruang bakar ganda (*dual chamber*). Ruang bakar pertama pada insinerator berfungsi untuk membakar sampah RDF padat, dan ruang bakar kedua berfungsi untuk membakar gas dan abu terbang hasil dari pembakaran pada *chamber* pertama.

b. Gas Analyzer

Gas analyzer berfungsi untuk mengukur proporsi serta komposisi kandungan gas buang yang dihasilkan dari proses insenerasi. Senyawa gas yang akan diukur adalah oksigen (O₂), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), *hydrogen* (H₂), nitrogen (N₂), dan metana (CH₄).

c. Anemometer

Anemometer adalah alat pengukur kecepatan udara yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara tambahan yang di suplai dari *blower* untuk membantu proses pembakaran.

d. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat RDF yang akan diinsenerasi dan juga berat abu hasil pembakaran untuk mengetahui efektivitas pembakaran.

e. Flowmeter

(fixed carbon) dan bahan menguap (volatile). Uji proximate dilakukan menggunakan alat TGA 701 dengan standar ASTM D7582. Berikut adalah hasil pengujian uji proximate

Tabel 1. Hasil uji proximate bahan bakar RDF

Bahan Bakar	Kadar Air (%)	Bahan Menguap (%)	Karbon Tetap (%)	Abu (%)
RDF	13,56	67,34	6,77	12,33

Berdasarkan tabel 1. diatas, didapatkan nilai dari sampel pengujian uji proximate di mana RDF memiliki kadar air sebanyak 13,56%, bahan menguap sebanyak 67,34%, karbon tetap sebanyak 6,77%, dan abu sebanyak 12,33%.

4.3. Uji Bomb Calorimeter

Uji bomb calorimeter dilakukan untuk mengetahui jumlah energi panas yang terlepas untuk tiap satuan massa dari sampel bahan bakar. Berikut merupakan tabel hasil pengujian nilai kalor RDF. Uji bomb calorimeter dilakukan menggunakan alat Parr 1341 Oxygen Bomb Calorimeter dengan standar ASTM Standard Test Method D5865. Berikut tabel hasil pengujian bomb calorimeter dari RDF.

Tabel 2. Hasil uji bomb calorimeter bahan bakar RDF

Bahan Bakar	Berat Sampel (gram)	Nilai Kalor Sampel RDF					
		Suhu (ΔT)		Massa H ₂ O (gram)	Panas Laten H ₂ O (cal/gr am)	Nilai Kalor (Q _c)	
		T ₁ (°C)	T ₂ (°C)			HHV (cal/g r)	LHV (cal/g r)
RDF	1,02782	27,685	30,06	0,6435	542,4	4439,681	4090,647

Berdasarkan data pada tabel 2. dapat diketahui nilai kalor dari RDF yang digunakan sebagai bahan bakar sebesar 17,126 MJ/kg.

4.4. Uji Ultimate

Uji ultimate dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan unsur kimia dari RDF berupa unsur C, H, O, N dan S. Berdasarkan Report of Analysis (ROA) RDF Bali 26-06-2023, telah dilakukan Uji Ultimate oleh PT. Sucofindo dan diperoleh hasil uji ultimate dari RDF pada tabel berikut.

Tabel 3. Kandungan unsur kimia RDF

Bahan Bakar	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
RDF	35,97	4,22	22,85	1,07	0,15

Hasil pada tabel 3.3 diketahui bahwa bahan bakar RDF memiliki kandungan karbon 35,97%, hidrogen 4,22%, oksigen 22,85%, nitrogen 1,07%, dan sulfur 0,15%.

4.5. Kebutuhan Suplai Oksigen Pembakaran RDF

Kebutuhan oksigen pembakaran RDF dapat dihitung mengacu dari kandungan bahan bakar RDF, maka perlu diketahui kandungan C, H, O, dan S dari RDF terlebih dahulu melalui hasil Analisa uji ultimate.

Total kebutuhan oksigen yang diperlukan dari unsur C, H, dan S agar menjadi pembakaran sempurna (stoikiometri), dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 O_{2 \text{ stoi}} &= (OC + OH + OS) - O \\
 &= (0,9592kg + 0,3376kg + 0,0015kg) - 0,2285kg \\
 &= 1,0698kg
 \end{aligned}$$

Berat massa bahan bakar RDF dalam penelitian ini sebesar 3 kg, sehingga total kebutuhan oksigen dari unsur C, H, dan S akan dikali dengan berat massa bahan bakar RDF sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 O_{2 \text{ stoi}} \times \text{Massa bahan bakar RDF} \\
 &= 1,0698kg \times 3 \\
 &= 3,2094 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

4.6. Variasi Laju Aliran Massa Oksigen

Variasi laju aliran massa oksigen terhadap bahan bakar RDF dapat dihitung dengan hasil perhitungan kebutuhan suplai oksigen dari unsur C, H, dan S per 1 kg massa bahan bakar RDF dikali dengan berat massa bahan bakar RDF, lalu dibagi dengan waktu Pembakaran RDF melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 O_{2 \text{ stoi}} &= 3,2094 \text{ kg} \\
 \text{Waktu pembakaran} &= 3 \text{ menit} \\
 &= \frac{3,2094}{180} \\
 &= 0,01783 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Maka kebutuhan oksigen bahan bakar RDF agar menjadi pembakaran sempurna dengan massa bahan bakar RDF sebesar 3 kg adalah 0,01783 Kg/s dengan rentang waktu pembakaran selama 3 menit.

Perhitungan dari tiap-tiap variasi laju aliran massa oksigen sebagai berikut:

a) Variasi I

$$\begin{aligned}
 &\frac{O_{2 \text{ stoi}}}{\text{Waktu pembakaran}} \\
 &= \frac{3,2094}{180} \\
 &= 0,01783 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Maka variasi laju aliran massa oksigen pertama adalah 0,01783 kg/s

b) Variasi II

$$\begin{aligned}
 &\frac{O_{2 \text{ stoi}}}{\text{Waktu pembakaran}} + O_{2 \text{ stoi}} 10\% \\
 &= \frac{3,2094}{180} + (0,01783 \times 10\%) \\
 &= 0,01783 + 0,001783 \\
 &= 0,019613 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Maka variasi laju aliran massa oksigen kedua adalah 0,019613 kg/s

c) Variasi III

$$\frac{O_{2stoi}}{Waktu pembakaran} + O_{2stoi} 20\%$$

$$= \frac{3,2094}{180} + (0,01783 \times 20\%)$$

$$= 0,01783 + 0,003566$$

$$= 0,021396 \text{ kg/s}$$

Maka *variasi* laju aliran massa oksigen ketiga adalah 0,021396 kg/s

d) Variasi IV

$$\frac{O_{2stoi}}{Waktu pembakaran} + O_{2stoi} 30\%$$

$$= \frac{3,2094}{180} + (0,01783 \times 30\%)$$

$$= 0,01783 + 0,005349$$

$$= 0,023179 \text{ kg/s}$$

Maka variasi laju aliran massa oksigen keempat adalah 0,023179 kg/s

4.7. Data Hasil Pengujian Insinerasi

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, data yang diperoleh berupa massa bahan bakar padat atau RDF, kebutuhan bahan bakar gas, massa abu, waktu pembakaran, waktu nyala *burner* dan kandungan pada gas buang beserta nilai kalornya. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali secara berurutan: variasi pertama sebesar 0,01783 kg/s, variasi kedua sebesar 0,019613 kg/s, variasi ketiga sebesar 0,021396 kg/s, dan variasi keempat sebesar 0,023179 kg/s. Berikut adalah tabel dari data hasil pengujian yang telah diperoleh:

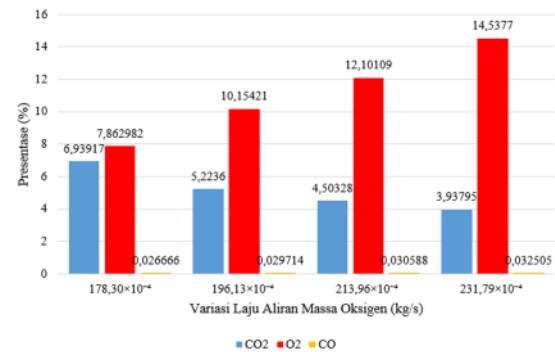
Tabel 3. Hasil pengujian insinerasi

No	Variasi laju aliran massa oksigen	Bahan bakar padat		Kebutuhan bakar gas (kg)	Waktu nyala burner (menit)
		Massa RDF (gram)	Massa abu (gram)		
1	$178,3 \times 10^{-4}$	3000,9	515	0.93	05.00
2	$196,13 \times 10^{-4}$	3000,5	550	0.882	05.00
3	$213,96 \times 10^{-4}$	3000,2	535	0.715	05.00
4	$231,79 \times 10^{-4}$	3000,7	505	0.795	05.00

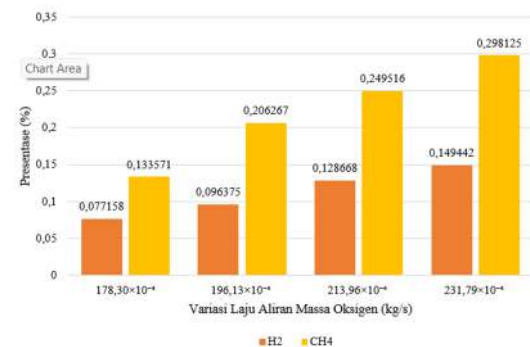
Tabel 3. Kandungan dan nilai kalor dari gas buang

No	Variasi laju aliran massa oksigen	Kandungan gas (%)						LHV Mj/Kg
		CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	O ₂	
1	$178,3 \times 10^{-4}$	0,026	6,939	0,077	0,133	79,71	7,86	0,3772
2	$196,13 \times 10^{-4}$	0,029	5,223	0,096	0,206	81,88	10,15	0,4158
3	$213,96 \times 10^{-4}$	0,030	4,503	0,128	0,249	83,23	12,10	0,5782
4	$231,79 \times 10^{-4}$	0,032	3,937	0,149	0,298	84,95	14,53	0,5968

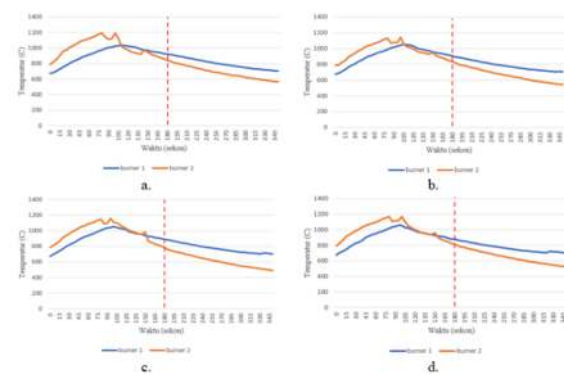
Dari tabel 3 dan diperoleh data yang berbeda-beda dari setiap variasi suplai oksigen yang telah diujikan. Data yang telah diperoleh tersebut akan digunakan untuk menghitung laju konsumsi bahan bakar dan efisiensi dari pembakaran sesuai dengan metode penelitian.



Gambar 3. Diagram Kandungan CO, CO₂ dan O₂ pada Gas Buang



Gambar 4. Diagram Kandungan H₂ dan CH₄ pada Gas Buang



Gambar 4. Grafik Temperatur Ruang Bakar pada, a. variasi $178,3 \times 10^{-4}$ kg/s; b. variasi $196,13 \times 10^{-4}$ kg/s; c. variasi $196,13 \times 10^{-4}$ kg/s; d. variasi $231,79 \times 10^{-4}$ kg/s

4.8. Pengolahan Data Hasil Pengujian Insinerasi

a. Laju Konsumsi

Laju konsumsi bahan bakar atau FCR dihitung melalui perbandingan antara selisih massa bahan bakar sebelum digunakan dan massa bahan bakar setelah digunakan dengan waktu pembakaran. Dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu laju konsumsi bahan bakar padat dan laju konsumsi bahan bakar gas. Untuk laju konsumsi bahan bakar padat diperoleh melalui perbandingan antara selisih massa RDF sebelum diinsinerasi dan massa abu hasil insinerasi

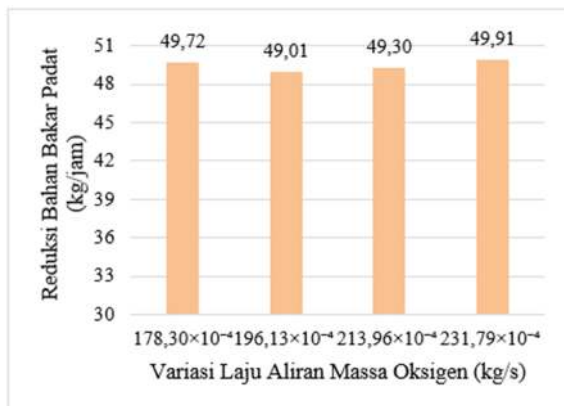
dengan waktu pembakaran. Waktu pembakaran dihitung dari awal masuknya RDF ke dalam ruang bakar pada temperatur yang telah diatur hingga RDF habis terbakar dan *burner* dimatikan. Sedangkan untuk laju konsumsi bahan bakar gas dapat dihitung melalui selisih antara massa tabung gas LPG sebelum digunakan dan setelah digunakan untuk proses insinerasi dibagi dengan waktu nyala *burner*. Waktu nyala *burner* dihitung dari awal dihidupkannya *burner* untuk pemanasan sampai proses pembakaran selesai dan *burner* dimatikan.

Berdasarkan perhitungan laju konsumsi bahan bakar dapat dilihat pengaruh laju aliran massa oksigen terhadap waktu yang dibutuhkan untuk membakar RDF dalam jumlah tertentu didalam ruang bakar. Laju konsumsi bahan bakar padat dapat dihitung sebagai berikut.

i. Variasi I

$$\begin{aligned} FCRs &= \frac{\text{massa RDF (gram)} - \text{massa abu (gram)}}{\text{waktu pembakaran (menit)}} \\ &= \frac{3000,9 - 515}{3} \\ &= \frac{2.485,9}{3} \\ &= 826,63 \text{ gram/menit} \\ &= 49.720 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan melakukan perhitungan yang serupa menggunakan persamaan diatas diperoleh nilai laju konsumsi bahan bakar padat pada variasi kedua, variasi ketiga, dan variasi keempat berturut-turut adalah 49,010 kg/jam, 49,300 kg/jam, dan 49,910 kg/jam. Berikut adalah diagram dari nilai laju konsumsi bahan bakar padat tiap variasi laju aliran massa oksigen:



Gambar 5. Diagram Laju Konsumsi Bahan Bakar Padat setiap Variasi

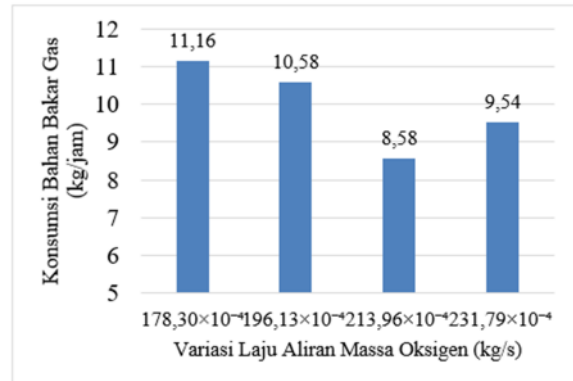
Laju konsumsi bahan bakar gas dapat dihitung sebagai berikut.

i. Variasi I

$$\begin{aligned} FCRg &= \frac{\text{massa tabung gas lpg sebelum (kg)} - \text{massa tabung gas lpg sesudah (kg)}}{\text{waktu nyala burner (sekon)}} \\ &= \frac{7,900 - 6,970}{300} \\ &= \frac{0,930}{300} \\ &= 0,0031 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

= 11,16 kg/jam

Dengan melakukan perhitungan yang serupa menggunakan persamaan diatas, diperoleh nilai laju konsumsi bahan bakar padat pada variasi kedua, variasi ketiga, dan variasi keempat berturut-turut adalah 10,58 kg/jam, 8,58 kg/jam, dan 9,54 kg/jam. Berikut adalah diagram dari nilai laju konsumsi bahan bakar padat tiap variasi laju aliran massa oksigen:



Gambar 6. Diagram Laju Konsumsi Bahan Bakar Gas setiap Variasi

b. Efisiensi Pembakaran

Untuk menghitung total kalor yang dipakai saat proses pembakaran, volume dari gas buang perlu dihitung terlebih dahulu. Diperoleh data setiap variasi memiliki kecepatan gas buang sebesar 3,71 m/s, luas penampang cerobong sebesar 0,0314 m², dan waktu pembakaran selama 3 menit, maka volume gas buang sebagai berikut:

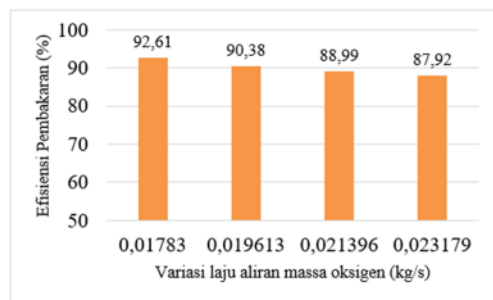
$$\begin{aligned} v &= V \cdot A \cdot t \\ v &= 3,71 \text{ m/s} \times 0,0314 \text{ m}^2 \times 180 \text{ s} \\ v &= 20,969 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan data yang didapatkan dan laju yang diperoleh, maka dapat diketahui kebutuhan massa bahan bakar dan volume dari gas buang. Sehingga efisiensi pembakaran didapatkan seperti berikut:

a. Variasi I

$$\begin{aligned} &= \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{kalor RDF} - \text{kalor gas buang}}{\text{kalor RDF}} \times 100\% \\ &= \frac{51,393 - 3,797}{51,393} \times 100\% \\ &= 92,61\% \end{aligned}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama di setiap variasi maka diperoleh efisiensi pembakaran pada variasi kedua, ketiga dan keempat secara berurutan adalah 90,38%; 88,99%; dan 87,92%



Gambar 7. Diagram Efisiensi Pembakaran

5. Kesimpulan

Pembakaran paling efisien dan optimal terjadi pada laju aliran oksigen sesuai stoikiometri. Penambahan oksigen di atas stoikiometri meningkatkan konsumsi bahan bakar dan suhu, tetapi menurunkan efisiensi dan menghasilkan gas buang yang tidak diinginkan.

Daftar Pustaka

- [1] Darajat, Y. F., Kasam, M., Teknik, J., & Fakultas, L. 2017. Studi karakteristik sampah dan potensi pemanfaatan sebagai RDF (Studi Kasus Di Kampung Nelayan, Cilacap).
- [2] Nidoni, P. G. 2017. *Incineration Process For Solid Waste Management And Effective Utilization Of By Products. International Research Journal of Engineering and Technology*.
- [3] Utami, R. D., Okayadnya, D. G., & Mirwan, D. M. 2022. Meningkatkan Kinerja Incinerator Pada Pemusnahan Limbah Medis RSUD Dr. Soetomo Surabaya. In *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* (Vol. 7, Issue 2).
- [4] Annisa Jasmine Rudend, & Joni Hermana. 2020. Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, Vol 9, No. 2
- [5] Obuka, N. S. P. 2018. *Design And Evaluation Of A Double Chamber Incinerator For Low Emissions. International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences Impact*, 7(6). www.garph.co.uk
- [6] Yusrizal, & Qadri, M. 2017. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 1000 Watt Dengan Proses Insinerasi.
- [7] Wienchol, P., Szlęk, A., & Ditaranto, M. 2020. *Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities. Energy*, 198.
- [8] Borooah, R., Chanakya, H. N., & Dasappa, S. 2020. *Investigations into the performance of single chamber sanitary napkin incinerators with emphasis on CO and CO2 emissions. Waste Management*, 102, 667–676.

- [9] Kosowska-Golachowska, M., Luckos, A., Kijo-Kleczkowska, A., Musiał, T., Wolski, K., & Środa, K. 2020. *Gaseous emissions during oxy-fuel combustion of sewage sludge in a circulating fluidized bed. Powder Technology*, 371, 209–216.



Muhammad Alif Madhani Harahap

Menyelesaikan program sarjana di program studi Teknik Mesin Universitas Udayana tahun 2025.

Judul Tugas Akhir Pengaruh Variasi Laju Aliran Massa Oksigen Terhadap Performansi Insinerator Dual Chamber Berbahan Bakar RDF



Prof. I Nyoman Suprpta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Dalhousie University pada tahun 2000, dan S3 di Niigata University pada tahun 2008. Prof. I Nyoman Suprpta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.



Prof. Dr. Eng. Ir. Made Sucipta, S.T., M.T., IPM Menyelesaikan Studi S1 dan Magister di Insitut Teknologi Sepuluh November surabaya dalam bidang Konversi Energi dan Teknologi Energi, untuk Pendidikan Pogram Doctor ditempuh di Shibaura Institute Of Technolog dalam bidang regional environment system, sedangkan untuk profesi Insinyur ditempih di program Pasca Sarjana Universitas Udayana. Prof. Dr. Eng. Ir. Made Sucipta, S.T., M.T., IPM memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.