

Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Gas LPG Untuk Insinerator Limbah Medis *Dual Chamber Oxy-Fuel* Dengan Variasi Laju Volume Air Yang Diinjeksikan

I Made Pasek Purnama, I Nyoman Suprapta Winaya, I Wayan Arya Darma, dan I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi konsumsi bahan bakar gas LPG pada insinerator dual chamber oxy-fuel dengan variasi laju aliran volume air yang diinjeksikan. Setiap sampel limbah medis seberat 1 kg digunakan dalam pengujian. Proses insinerasi dilakukan pada suhu primary chamber 800°C dan secondary chamber 1000°C, dengan durasi pembakaran 3 menit. Uji coba menggunakan 4 variasi laju aliran volume air: 20 ml/menit, 30 ml/menit, 40 ml/menit, dan 50 ml/menit. Pada setiap variasi, injeksi oxy-fuel dengan laju 8 l/menit digunakan. Penting untuk memperhatikan pengaturan cermat laju aliran volume air, karena penambahan air yang terlalu banyak dapat mengganggu kinerja burner. Dengan mengoptimalkan pengaturan tersebut, industri dapat mencapai efisiensi dan kinerja terbaik dalam pengolahan limbah medis, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Kata Kunci: Insinerator Dual Chamber, Konsumsi Bahan Bakar Gas, Laju Aliran Volume Air, Limbah Medis, Pengolahan Limbah Medis, Injeksi Oxy-Fuel.

Abstract

This study aims to evaluate the consumption of LPG gas fuel in an oxy-fuel dual chamber incinerator with variations in the injected water flow rate. Each sample of medical waste weighing 1 kg was used in the experiments. The incineration process was carried out at a primary chamber temperature of 800°C and a secondary chamber temperature of 1000°C, with a burning duration of 3 minutes. Four different water flow rates were tested: 20 ml/minute, 30 ml/minute, 40 ml/minute, and 50 ml/minute. In each variation, an oxy-fuel injection rate of 8 l/minute was used. Careful adjustment of the water flow rate is crucial as excessive water addition can disrupt the burner's performance. By optimizing this adjustment, the industry can achieve the best efficiency and performance in medical waste treatment while reducing the environmental impact.

Keywords: Dual Chamber Incinerator, Gas Fuel Consumption, Volume Flow Rate, Medical Waste, Medical Waste Treatment, Oxy-Fuel Injection.

1. Pendahuluan

Limbah medis dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang memiliki karakteristik infeksius dan saat ini masih perlu pengoptimalan proses pengelolaan atau pemusnahan limbah medis. Menurut PerMenLHK No 6 tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah B3, pengolahan limbah medis dapat dilakukan dengan cara thermal. Insinerasi menggunakan insinerator merupakan salah satu metode untuk mengelola sampah padat dengan proses thermal dimana limbah diperlakukan pada batas minimum temperatur 800°C [1].

Insinerator adalah teknologi pengelolaan sampah dengan cara membakar zat organik dalam material sampah [2]. Untuk mengurangi dampak negatif pembakaran limbah, teknologi

insinerator dengan sistem ruang bakar ganda (dual chamber) menjadi solusi yang efisien. Melalui pendekatan ini, pembakaran dapat dioptimalkan, menghasilkan emisi yang lebih rendah dan mencapai penghancuran limbah yang lebih efektif [3]. Namun demikian, perlu dicatat bahwa penggunaan insinerator dengan tingkat suhu tinggi ini membutuhkan jumlah bahan bakar yang lebih besar untuk operasional burner jika dibandingkan dengan jenis insinerator lainnya [4]. Kekurangan alat ini termasuk hasil yang berbahaya, seperti residu APC yang membutuhkan pembuangan aman, produksi gas buang dalam jumlah besar, dan biaya pengoperasian dan pemeliharaan yang tinggi [5].

Permasalahan yang saat ini menjadi fokus adalah bagaimana mencapai tingkat pemusnahan limbah yang lebih efektif dengan mengurangi

konsumsi bahan bakar serta mampu menekan biaya proses insinerasi. Penggunaan teknologi oxy-fuel pada insinerator merupakan langkah efektif untuk mencapai profil temperatur yang terkontrol secara efisien di ruang bakar, yang berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar pada burner [6]. Beberapa penelitian terkait penggunaan oxy-fuel combustion pada proses pembakaran mampu meningkatkan efisiensi termal. Dengan menggunakan oksigen murni sebagai agen oksidasi daripada udara, pembakaran oxy-fuel menghasilkan gas buang dengan konsentrasi CO₂ yang tinggi. Hal ini memungkinkan proses pembakaran tersebut untuk lebih efisien, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Hasil tersebut menjelaskan bahwa teknologi *oxy-fuel* ini efektif dalam penekanan emisi gas buang pembakaran dan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar gas [7].

Penginjeksian air dalam proses insinerasi memiliki manfaat yang signifikan. Dengan menggunakan teknik ini, kita dapat mengurangi emisi polutan berbahaya seperti karbon monoksida dan hidrokarbon dalam gas buang. Selain itu, penginjeksian air juga meningkatkan efisiensi termal, mengurangi residu dan limbah padat, serta meningkatkan oksidasi bahan bakar. Dampak negatif terhadap lingkungan juga dapat dikurangi melalui pengurangan emisi nitrogen oksida. Secara keseluruhan, penginjeksian air menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi proses insinerasi [8].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memahami kebutuhan bahan bakar yang optimal dari proses pembakaran limbah medis menggunakan insinerator limbah medis dual chamber oxy-fuel yang dibantu dengan penginjeksian air. Fokus permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana variasi laju aliran volume air mempengaruhi kebutuhan bahan bakar pada insinerator limbah medis dual chamber. Untuk mencapai hasil yang diharapkan dalam penelitian ini, akan diterapkan pembatasan masalah yang relevan, perlu dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Proses insinerasi limbah medis menggunakan alat insinerator limbah medis *dual chamber* dengan kapasitas bahan bakar padat sebesar 38,8 kg

2. Pengambilan data pengujian diasumsikan pada kondisi lingkungan *steady state*.
3. Kecepatan udara dari *blower* diasumsikan konstan.
4. Toleransi deviasi atau *error* dari nilai kecepatan udara blower pembakaran yang diizinkan berada pada rentang 0,01 – 0,2 m/s
5. Oksigen dan air yang diinjeksikan ke ruang bakar kedua disuplai pada satu titik.

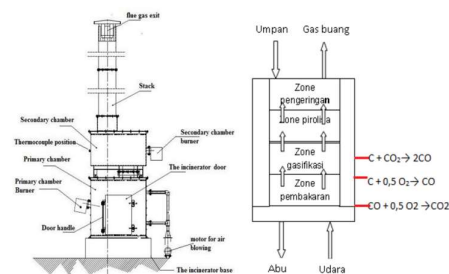
2. Dasar Teori

2.1. Limbah Medis

Limbah medis adalah jenis limbah yang berasal dari berbagai layanan medis, termasuk perawatan, farmasi, laboratorium, dan radiografi. Limbah medis memiliki sifat yang berbahaya dan memerlukan pengawasan khusus. Limbah medis yang dihasilkan di puskesmas meliputi jarum suntik, pipet, sarung tangan, kapas injeksi, kasa, benang, infus, selang infus, masker, dan gigi cabutan. Limbah ini dihasilkan dari berbagai poli di puskesmas, seperti poli umum, poli gigi, poli KB, Unit Gawat Darurat (UGD), Kamar Bersalin, Ruang Perawatan (pria, wanita, dan khusus), KIA, dan Laboratorium [9].

2.2. Insinerasi

Insinerasi adalah metode pengolahan limbah padat dengan menggunakan proses pembakaran pada suhu lebih dari 800°C. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengurangi volume sampah yang mudah terbakar (*combustible*) yang tidak dapat didaur ulang. Selain itu, proses insinerasi juga dapat menghilangkan bahan berbahaya seperti baterai, virus, dan bahan kimia beracun. Ketika digunakan untuk mengolah limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), insinerasi juga bertujuan untuk mengurangi sifat berbahaya seperti keberadaan racun dan radiasi [10].



Gambar 1. Skematik pembakaran pada insinerator.

2.3. Oxyfuel Combustion

Pembakaran oxy-fuel merupakan metode yang dianggap memiliki potensi untuk menangkap karbon dioksida (CO₂). Dalam metode ini, gas oksigen murni digunakan sebagai oksidan daripada udara. Dengan menggunakan pembakaran oxy-fuel, tingkat suhu yang mirip dengan pembakaran konvensional dapat dicapai. Setelah proses pembakaran, gas buang yang mengandung konsentrasi tinggi CO₂ dapat didaur ulang. Gas buang tersebut melewati sistem pembersihan gas buang untuk memurnikannya, kemudian masuk ke unit kompresi dan pemurnian untuk mendapatkan CO₂ dalam bentuk cair dengan tingkat kemurnian yang tinggi [11].

2.4. Water Injection

Injeksi air adalah sistem yang secara langsung menyuntikkan air ke dalam proses pembakaran dan transfer panas. Sistem ini menggunakan komponen yang mirip dengan sistem injeksi bahan bakar, tetapi dengan biaya yang lebih rendah dan pengoperasian yang lebih sederhana. Dengan mengatomisasi air menjadi partikel-partikel kecil melalui ledakan mikro selama proses kompresi injeksi bahan bakar, injeksi air meningkatkan pembakaran yang lebih baik dan lebih sempurna. Sistem ini meningkatkan efisiensi pembakaran dan membantu mencapai transfer panas yang optimal, sehingga meningkatkan kinerja secara keseluruhan [12][13].

3. Metode penelitian

Dalam Penelitian ini metode yang digunakan merupakan metode pendekatan secara eksperimental guna mengetahui kebutuhan bahan bakar dari insinerator limbah medis *dual chamber dual*.

Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan variasi laju aliran massa oksigen berturut-turut sebesar $5,5 \times 10^{-4}$ kg/s, $6,0 \times 10^{-4}$ kg/s, $6,5 \times 10^{-4}$ kg/s, dan $7,0 \times 10^{-4}$ kg/s. Pada pengujian temperatur ruang bakar pertama dan kedua dikontrol menjadi 800°C dan 1000°C. Sampel limbah medis yang diujikan seberat 1 kg, durasi pemasukan oksigen pada *chamber 2* selama 3 menit dan kecepatan udara blower input 10 m/s

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1. Alat

1. Insinerator limbah medis *dual chamber fix grate* sebagai alat utama untuk melakukan insinerasi.
2. Anemometer digunakan untuk menghitung kecepatan udara dari blower input dan output.
3. Timbangan digital untuk mengukur berat dari limbah medis, abu, dan tabung LPG.
4. Flowmeter untuk mengukur laju aliran volume input dari oksigen.
5. *Timer* untuk mengukur waktu dari proses insinerasi limbah medis.
6. Laptop sebagai alat untuk menampilkan dan menyimpan sekaligus mengolah data.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan antara lain: limbah medis dengan komposisi yang sama setiap sampel, oksigen, dan gas LPG.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kebutuhan bahan bakar gas LPG tertinggi terjadi pada laju aliran volume air 50 ml/menit, yaitu sebesar 6,43 kg/jam. Pada pengujian ini, dengan massa limbah medis seberat 1,014 kg, dihasilkan massa abu seberat 0,08 kg dalam waktu 5 menit 41 detik. Kebutuhan bahan bakar gas yang tinggi ini disebabkan oleh laju aliran volume air yang sangat tinggi, yang memaksa burner bekerja lebih keras untuk mencapai suhu maksimal yang diinginkan, sehingga membutuhkan lebih banyak bahan bakar gas. Di sisi lain, kebutuhan bahan bakar gas LPG terendah terjadi pada laju aliran volume air 30 ml/menit, yaitu sebesar 6,15 kg/jam. Hal ini disebabkan oleh laju aliran volume air yang tidak terlalu besar, sehingga air tidak terlalu mengganggu kinerja burner dan suhu yang diinginkan dapat dicapai dengan lebih cepat. Namun, konsumsi bahan bakar gas LPG terbesar kedua terjadi pada laju aliran volume air 20 ml/menit. Hal ini disebabkan oleh jumlah air yang diinjeksikan yang terlalu sedikit sehingga meskipun burner tidak terhambat oleh air, suhu di dalam chamber tidak dapat mencapai tingkat yang diinginkan dengan cepat. Dalam pengolahan data pengujian, ditemukan bahwa laju konsumsi bahan bakar gas LPG meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran volume air. Laju konsumsi bahan bakar gas LPG paling optimal terjadi pada variasi laju aliran volume air 30 ml/menit, yaitu sebesar 6,15 kg/jam. Laju aliran volume air yang tidak terlalu tinggi memungkinkan waktu tinggal gas hasil dari

proses insinerasi di dalam chamber pertama tidak terlalu singkat, sehingga pencampuran dan reaksi pembakaran dapat berlangsung dengan baik di ruang bakar kedua, suhu menjadi lebih optimal, dan laju konsumsi bahan bakar gas menjadi relatif rendah.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, terungkap bahwa laju aliran volume air memiliki dampak pada kebutuhan bahan bakar gas LPG. Ketika laju aliran volume air meningkat, hal ini mengganggu kinerja burner dan mengakibatkan peningkatan konsumsi dan kebutuhan bahan bakar gas LPG. Namun, pada laju aliran volume air sebesar 30 ml/menit, ditemukan kebutuhan bahan bakar gas LPG yang paling optimal sebesar 6,15 kg/jam. Dengan menggunakan laju aliran ini, proses pembakaran limbah medis dapat dilakukan dengan lebih efisien. Penemuan ini menunjukkan bahwa penggunaan injeksi air dapat membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar gas LPG yang digunakan dalam insinerator limbah medis.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, “**Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun,**” *Peratur. Menteri Lingkung. Hidup dan Kehutan. Nomor 06 Tahun 2021*, 2021.
- [2] A. J. Rudend and J. Hermana, “**Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator,**” *J. Tek. ITS*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v9i2.55410.
- [3] A. Mngoma Omari, “**Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator, a Case Study of Bagamoyo – Tanzania,**” *Int. J. Environ. Monit. Anal.*, vol. 3, no. 2, p. 80, 2015, doi: 10.11648/j.ijema.20150302.17.
- [4] A. T. Lando, I. Djamaludin, A. N. Arifin, N. Oktorina, R. Danah, and M. F. Sulistyowati, “**The Effectiveness of Incinerator at the Integrated Waste Treatment Plant in the Campus of Engineering Faculty-Hasanuddin University,**” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 875, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/875/1/012017.
- [5] M. Yuliani, “**Incineration for Municipal Solid Waste Treatment,**” *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 9, no. 2, pp. 89–96, 2016, doi: 10.29122/jrl.v9i2.1997.
- [6] P. Wienchol, A. Szlęk, and M. Ditaranto, “**Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities,**” *Energy*, vol. 198, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117352.
- [7] S. J. Self, M. A. Rosen, and B. V. Reddy, “**Effects of Oxy-Fuel Combustion on Performance of Heat Recovery Steam Generators,**” *Eur. J. Sustain. Dev. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–11, 2018, doi: 10.20897/ejosdr/69787.
- [8] I. S. Anufriev, E. P. Kopyev, I. S. Sadkin, and M. A. Mukhina, “**NOx reduction by steam injection method during liquid fuel and waste burning,**” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 152, pp. 240–248, 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.06.016.
- [9] A. D. Moelyaningrum, “**MEDICAL WASTE ANALYSIS IN PUBLIC HEALTH CENTER Anita Dewi Moelyaningrum Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember.**,” pp. 35–39, 2010.
- [10] R. D. Utami, D. G. Okayadnya, and D. M. Mirwan, “**MENINGKATKAN KINERJA INCENERATOR PADA PEMUSNAHAN LIMBAH MEDIS RSUD Dr. SOETOMO SURABAYA,**” *J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 7, no. 2, pp. 115–122, 2020.
- [11] Z. Wang, “**Energy and Air Pollution,**” vol. 1–5. 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-809597-3.00127-9.
- [12] M. Fratita, F. Popescu, J. Martins, F. P. Brito, and T. Costa, “**Direct water injection and combustion time in SI engines,**” *Energy Reports*, vol. 7, no. May, pp. 798–803, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.07.061.
- [13] J. Park and J. Oh, “**Study on the characteristics of performance, combustion, and emissions for a diesel water emulsion fuel on a combustion visualization engine and a commercial diesel engine,**” *Fuel*, vol. 311, no. November 2021, p. 122520, 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.122520.

	<p>I Made Pasek Purnama adalah mahasiswa studi S1 di Universitas Udayana dari tahun 2019. Saat ini topik penelitian yang diambil sebagai tugas akhir studi S1 tentang performansi dari insinerator limbah medis.</p>
---	---

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan mesin pembakaran dalam, gasifikasi dan topik yang berkaitan dengan termodinamika.

	<p>I Nyoman Suprpta Winaya adalah seorang profesor di Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Udayana. menerima gelar Sarjana dari Universitas Udayana tahun 1994, gelar Master dari Dalhousie University Kanada dan gelar Ph.D dari Niigata University Jepang.</p>
---	--

Bidang penelitian yang diminati terkait teknologi *fluidized bed, new and renewable energy*, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, dan topik-topik yang berkaitan dengan manajemen energi.