

Studi Pengaruh Variasi *Bed Material* Pasir Besi Terhadap Efisiensi Pembakaran *Fluidized Bed* Limbah Medis

Daniel Mual Aprio Situmorang, I Nyoman Suprpta. Winaya dan Hendra Wijaksana

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Pengolahan limbah medis merupakan satu dari banyak tantangan kompleks dan berat yang dihadapi umat manusia seiring dengan pertumbuhan populasi dunia dan permintaan akan layanan medis yang lebih mumpuni. Insinerasi merupakan metode yang umum digunakan untuk mengolah limbah medis. Dalam penelitian ini, apa yang dikenal sebagai *fluidized bed incinerator* digunakan sebagai media pembakaran. Penelitian ini menggunakan limbah medis sebagai bahan bakar. Sebelum menggunakan limbah medis ini sebagai bahan bakar, dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Artinya, limbah medis bekas dicacah, dicampur dan diuji untuk mengetahui karakteristik dan kandungan limbah medis tersebut. Studi ini dilakukan dengan menggunakan prototipe ruang bakar unggun terfluidisasi yang dirancang untuk melakukan pembakaran skala penelitian. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh data berupa massa limbah medis, massa abu, waktu pembakaran, kandungan gas buang dan nilai kalor. Serta dari pada itu maka akan didapatkan Efisiensi Pembakaran pada *fluidized bed* limbah medis menggunakan variasi *bed material* pasir besi. Maka dapat disimpulkan bahwa pasir besi dengan variasi diameter 0,2 memiliki nilai efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 95,742 %, dibandingkan variasi pasir besi dengan diameter 0,8 mm, 1,1 mm, dan 0,5 mm yang secara berurutan memiliki nilai sebesar 91,095 %, 94,478 % dan 95,205 %

Kata Kunci: Efisiensi, *Fluidized Bed*, Limbah Medis, Pembakaran, Pasir Besi

Abstract

Medical waste treatment is one of the many complex and formidable challenges. As the grows of world's population, the demand for more qualified medical services increases. Incineration is a commonly used method for treating medical waste. In this study, what is known as a *fluidized bed incinerator* is used as the combustion medium. This study uses medical waste as fuel. Before using this medical waste as fuel, it must be treated first. Used medical waste will first be chopped, mixed and tested to determine the characteristics and content of the medical waste. This study was conducted using a *fluidized bed combustion* prototype designed for research scale combustion. Based on the tests carried out, data were obtained in the form of medical waste mass, ash mass, combustion time, exhaust gas content and calorific value. And from that, the *Combustion Efficiency* will be obtained on the *fluidized bed* of medical waste using a variety of iron sand *bed material*. It can be concluded that iron sand with a diameter variation of 0.2 has the highest efficiency value of 95.742%, compared to a variation of iron sand with a diameter of 0,8 mm, 1,1 mm and 0,5 mm which respectively have a value of 91,095 %, 94,478% and 95,205%.

Keywords: Efficiency, *Fluidized Bed*, Medical Waste, Combustion, Iron Sand

1. Pendahuluan

Pembuangan limbah medis adalah salah satu dari banyak tantangan kompleks dan berat yang dihadapi umat manusia seiring dengan pertumbuhan populasi dunia dan permintaan akan layanan medis yang lebih mumpuni. Limbah medis merupakan kategori penting, terutama pasien, tenaga medis, fasilitas medis, kesehatan masyarakat dan ekosistem, serta lingkungan[1].

Pembuangan limbah medis yang tepat memerlukan teknik penyimpanan, pengumpulan, pengolahan, dan pembuangan untuk meminimalkan risiko kesehatan dan lingkungan yang terkait dengan limbah medis[2]. Dalam kerangka pengelolaan

limbah terpadu, perlakuan panas adalah pilihan efektif untuk mengurangi jumlah limbah yang ditimbun sekaligus memastikan kebersihan limbah[3].

Insinerasi merupakan metode yang umum digunakan untuk mengolah limbah medis. Insinerator telah terbukti menjadi alternatif yang paling layak secara teknis dan ekonomis, terutama di negara berkembang[4][5].

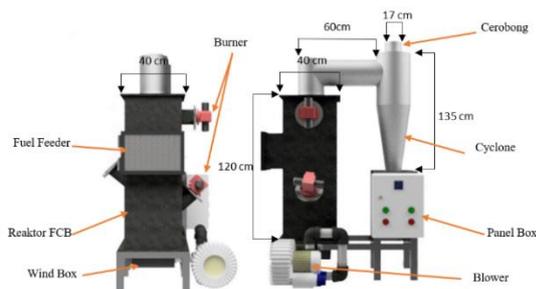
Dalam penelitian ini, apa yang dikenal sebagai *fluidized bed incinerator* atau *fluidized bed combustor* (FBC) digunakan sebagai media pembakaran. *Fluidized bed combustion* adalah insinerator yang menggunakan media pengaduk berupa pasir

untuk menciptakan campuran yang seragam antara udara dan butiran pasir.

Maka dari pada itu, didapatkan lah rumusan masalah yaitu bagaimana perubahan diameter pasir besi mempengaruhi efisiensi pembakaran fluidized bed limbah medis. Variasi diameter pasir besi yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah *bed material* pasir besi dengan beberapa diameter yakni, 0,5 mm, 1,1 mm, 0,2 mm, dan 0,8 mm.

2. Dasar Teori

Penelitian ini menggunakan limbah medis sebagai bahan bakar. Sebelum menggunakan limbah medis ini sebagai bahan bakar, dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Artinya, limbah medis bekas dicacah, dicampur dan diuji untuk mengetahui karakteristik dan kandungan limbah medis tersebut. Studi ini dilakukan dengan menggunakan prototipe ruang unggun terfluidisasi yang dirancang untuk melakukan pembakaran skala penelitian. Diagram skema dari ruang bakar unggun terfluidisasi yang sudah dirancang bisa dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 1. Skematik FBC

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Limbah Medis

Karakterisasi *medical waste* atau limbah buangan medis dilakukan guna memastikan jumlah penggunaan limbah medis. Pengkarakterisasian limbah medis melalui beberapa tahapan uji antara lain uji Proksimat, Analisa Termogravimetri (TGA), Uji Ultimate dan Analisa Kalor.

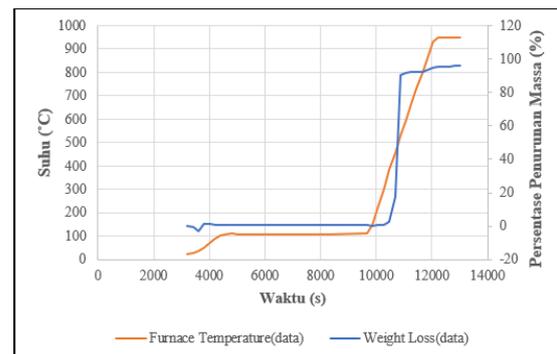
• Uji Proximat dan TGA

Pengujian proximat bertujuan untuk mengidentifikasi konstituen fisik limbah medis mengandung abu, karbon tetap, kadar air dan karbon volatil. Analisis termogravimetri digunakan untuk menentukan perubahan kimia dan sifat fisik limbah. Berikut adalah hasil pengujian proximity dan TGA terhadap limbah medis yang digunakan sebagai bahan bakar.

Tabel 1. Hasil Uji *Proximate* Limbah Medis

Bahan Bakar	Volatile (%)	Moisture (%)	Fixed Carbon (%)	Ash (%)
Limbah Medis	95,67	0,54	0,41	3,38

Tabel di atas menunjukkan kadar volatil 95,67%, kadar air bahan bakar limbah medis adalah 0,54%, fixed carbon 0,41% dan abu sebesar 3,38%. Itu membuktikan bahwasanya limbah medis cocok digunakan sebagai bahan bakar.



Gambar 2. Grafik TGA

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan di atas, dapat dilihat bahwa massa limbah medis menurun seiring dengan suhu 150°C-825°C, dan pada suhu 120°C-150°C proses pengeringan atau kadar air limbah medis menurun. Berdasarkan hasil uji TGA, suhu pembakaran limbah medis adalah 650°C.

• Uji Ultimate

Uji ini dilakukan agar dapat mengetahui kadar unsur kimia dalam bahan bakar. Tabel di bawah ini menunjukkan komposisi kimia bahan bakar limbah.

Tabel 2. Hasil Uji Ultimate Limbah Medis

Bahan Bakar	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
Limbah Medis	47,54	7,99	18,54	2,02	0,5

Dari tabel diketahui bahwa kandungan limbah medis adalah, 7,99% Hidrogen, 2,02% Nitrogen, 18,54% Oksigen, 0,5% Sulfur dan 47,54% karbon

• Analisa Nilai Kalor

Analisa ini dilakukan guna mengetahui seberapa besar energi panas yang mampu dilepaskan limbah medis untuk tiap satuan massa bahan bakar. Di bawah ini merupakan tabel hasil dari pengujian nilai kalor limbah medis.

Tabel 3. Hasil Analisa Nilai Kalor Limbah Medis

Bahan Bakar	Berat Sampel (gram)	Nilai Kalor Sampel Limbah Medis				
		Suhu (ΔT_2)		Nilai Kalor (Q_c)		
		T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	Sampel (Cal/gr)	Rata-Rata (Cal/gr)	(MJ/kg)
Limbah Medis I	0,52389	30,569	33,104	8799,120	9111,362	38,1474515
Limbah Medis II	0,52534	30,492	33,210	9423,604		

Tabel di atas menunjukkan bahwa bahan bakar limbah mempunyai nilai kalor sejumlah 38,147 MJ/gr.

3.2 Data Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh data berupa massa limbah medis, massa abu, waktu pembakaran, kandungan gas buang dan nilai kalor. Massa limbah medis adalah massa awal limbah medis yang diukur sebelum dimasukkan ke dalam ruang bakar. Massa abu adalah massa total bahan lantai pra-pembakaran dan bahan bakar dikurangi dengan massa total bahan lantai dan bahan bakar pasca-pembakaran. Waktu pembakaran adalah waktu yang diperlukan untuk membakar habis 0,5 kg sampah medis. Kandungan gas buang dan nilai kalor ditentukan dengan pengukuran langsung dengan penganalisis gas. Sensor analisis gas dipasang pada cerobong asap dan merekam setiap 10 detik. Berdasarkan data yang didapat dari seluruh pencatatan *gas analyzer* untuk mengukur kandungan CO, CO₂, CH₄, LHV dari gas buang. Berikut adalah tabel dari data yang telah diperoleh.

Tabel 4. Hasil Data Pengujian

Variasi Diameter Bed Material	Massa Bahan Bakar (Kg)	Massa Abu (Kg)	Kebutuhan Bahan Bakar Gas (Kg)	Waktu Pembakaran (Jam)	Emisi Gas Buang (mg/m ³)			LHV (MJ/m ³)
					CO	CO ₂	CH ₄	
0,2 mm	0,5	0,340	0,18	0,1061	0	2,331	0	0,040
0,5 mm	0,5	0,248	0,23	0,1066	0,059	2,296	0,004	0,049
0,8 mm	0,5	0,301	0,33	0,1052	0,176	1,722	0,035	0,108
1,1 mm	0,5	0,297	0,12	0,1119	0,024	2,418	0,000541	0,038

Dari tabel diatas diperoleh data yang cukup beragam dari setiap variasi ukuran diameter bed material yang telah diujikan. Data tersebut akan digunakan untuk menghitung efisiensi pembakaran.

3.3 Efisiensi Pembakaran

Efisiensi pembakaran merupakan perbandingan antara jumlah kalor yang digunakan saat pembakaran dengan jumlah kalor yang masuk kedalam ruang bakar. Persentase efisiensi pembakaran nantinya menunjukkan seberapa besar nilai kalor yang berguna saat proses pembakaran. Untuk

menghitung jumlah kalor yang dipakai saat proses pembakaran perlu dihitung terlebih dahulu volume gas buang menggunakan data pada tabel dibawah berikut.

Tabel 5. Volume Gas Buang

Variasi diameter bed material	Kecepatan gas buang (m/s)	Luas penampang cerobong (m ²)	Waktu pembakaran (s)	Volume gas buang (m ³)
0.2 mm	4.18	0,0192	382	30,6577
0.5 mm	4.18	0,0192	384	30,8183
0.8 mm	4.18	0,0192	379	30,4170
1.1 mm	4.18	0,0192	403	37,1404

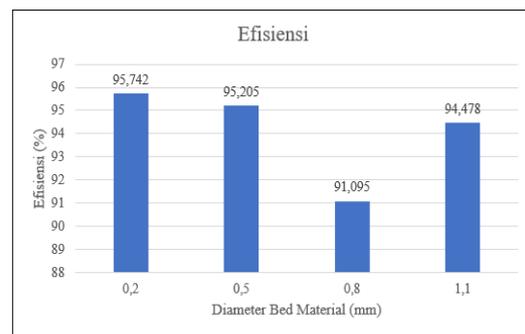
Berdasarkan Tabel 4 sebelumnya dan juga Tabel 5 didapatkan data dan dapat diketahui volume gas buang dan massa bahan bakar gas yang digunakan pada *burner*. Efisiensi pembakaran dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots(1)$$

Tabel 6. Efisiensi Pembakaran

Variasi Diameter Bed Material	Q _{in}	Q _{out}	Efisiensi
0.2	28,7935	1,226	95,742 %
0.5	31,4935	1,51	95,205 %
0.8	36,8935	3,285	91,095 %
1.1	25,5535	1,411	94,478 %

Menurut dari tabel 6 diatas maka diperoleh hasil efisiensi pembakaran setiap variasi *bed material* dan akan digambarkan melalui grafik dibawah ini.



Gambar 3. Diagram Efisiensi Pembakaran Limbah Medis

4. Kesimpulan

Maka dari itu, pengaruh jenis material bed partikulat atas efisiensi pembakaran fluidized bed incinerator limbah medis, dapat disimpulkan bahwa, pasir besi dengan variasi diameter 0,2 memiliki nilai efisiensi paling tinggi yaitu sebesar 95,742 %, dibandingkan variasi pasir besi dengan diameter 0,8 mm, 1,1 mm dan 0,5 mm yang secara berurutan

memiliki nilai sebesar 91,095 %, 94,478 %
dan 95,205 %.

Daftar Pustaka

- [1] Makajic-Nikolic D., Petrovic N., Belic A., Rokvic M., Radakovic J. A., & Tubic V., 2016, *The fault tree analysis of infectious medical waste management*, Journal of Cleaner Production, vol.113, pp.365–373.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.022>
- [2] Korkut E. N., 2018, *Estimations and analysis of medical waste amounts in the city of Istanbul and proposing a new approach for the estimation of future medical waste amounts*, Waste Management, Vol.81, pp.168–176.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.004>
- [3] Sabbas T., Poletini A., Pomi R., Astrup, T., Hjelmar O., Mostbauer P., Cappai G., Magel G., Salhofer S., Speiser, C., Heuss-Assbichler S., Klein, R., & Lechner P., 2003, Management of municipal solid waste incineration residues. *Waste Management*, 23(1), 61–88. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00161-7)
- [4] Alvim-Ferraz, M. C. M., & Afonso, S. A. V. (2005). Incineration of healthcare wastes: Management of atmospheric emissions through waste segregation. *Waste Management*, 25(6 SPEC. ISS.), 638–648.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.07.017>.
- [5] Shaaban, A. F. (2007). Process engineering design of pathological waste incinerator with an integrated combustion gases treatment unit. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1–2), 195–202.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.013>.



Daniel Mual Aprio Situmorang, menyelesaikan studi di SMA Santa Maria Pekanbaru di tahun 2017, dan memulai studi di Universitas Udayana Bali dan lulus di tahun 2022.

Konversi energi adalah topik yang diminati untuk dipelajari