

Pengolahan Limbah Medis Rumah Sakit X dengan Insinerator Tipe Rotary Klin

Dwi Febrioko¹, Indah Nurhayati¹, Rhenny Ratnawati^{1*}, Imam Nur Rohim^{1,2}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

²Program Studi Hukum, Fakultas Hukum, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Email: ratnawati@unipasby.ac.id

Abstrak

Rumah sakit X melakukan pengolahan limbah medis sakit dengan menggunakan insinerator tipe rotary klin berkapasitas pembakaran 300 kg/ jam. Salah satu metode pengolahan limbah medis yang mempunyai efisiensi tinggi adalah pembakaran dengan insinerator. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh berat limbah medis rumah sakit terhadap kadar CO, kadar CO₂ dan O₂ serta efisiensi pembakaran dalam insinerator. Berat limbah medis yang dibakar adalah 150 kg (normal), 300 kg (maksimal), dan 450 kg (overload). Jenis limbah yang dibakar dibagi menjadi 3 kelompok dengan komposisi perbandingan berat limbah medis rumah sakit 3:2:1 untuk setiap pembakaran. Pembakaran limbah medis dilakukan selama 60 menit, dengan suhu 600-80°C. pada ruang bakar 1 dan pada ruang bakar 2 suhu minimal 1000°C. Hasil kadar CO pada pembakaran limbah medis rumah sakit pada komposisi berat limbah medis 150 kg, 300 kg dan 450 kg masih berada di bawah nilai ambang batas baku mutu PerMenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 yaitu sebesar 100 mg/Nm³. Efisiensi pembakaran yang dihasilkan dari pembakaran limbah medis dengan komposisi berat 150 kg dan 300 kg menghasilkan efisiensi pembakaran sebesar 99.99% sesuai dengan persyaratan teknis pengolahan limbah medis menggunakan insinerator sebagaimana ditetapkan yaitu efisiensi pembakaran harus mencapai atau lebih dari 99.95%. Sedangkan efisiensi pembakaran dengan komposisi berat limbah medis 450 kg menghasilkan efisiensi pembakaran sebesar 99.93% atau tidak memenuhi persyaratan teknis pengolahan limbah medis menggunakan insinerator.

Kata kunci: Insinerator; limbah medis; pengolahan limbah; teknologi termal

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah pasien pada masa pandemi Covid-19 menjadi penyebab terhadap peningkatan jumlah limbah B3 medis di rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya (Prasetya & Wilujeng, 2024). Limbah padat B3 medis tidak diperbolehkan dibuang langsung ke tempat pembuangan akhir limbah domestik dan harus diolah terlebih dahulu (Khan *et al.*, 2023). Pengolahan

limbah B3 adalah proses untuk mengurangi dan/atau menghilangkan sifat bahaya atau sifat beracun (Sanito *et al.*, 2022). Salah satu aspek penting yang tidak boleh dilupakan dalam penanganan wabah ini adalah penanganan limbah medis dengan karakter infeksius yang dihasilkan dari pasien dan petugas medis yang terpapar dengan virus, penangan limbah infeksius menjadi penting karena dikhawatirkan limbah ini bisa menjadi salah satu media penyebaran virus apabila tidak ditangani dengan baik (Fajriansyah, dkk., 2021). Secara umum limbah rumah sakit dibagi menjadi dua kelompok yaitu limbah medis dan limbah non medis (Attrah *et al.*, 2022). Limbah medis rumah sakit dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan kode limbah A337-1 sampai dengan A337-5 dan B337-1 sampai dengan B337-2 seperti disebutkan dalam Lampiran IX Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bahwa limbah klinis memiliki karakteristik infeksius. Salah satu teknologi pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah dengan proses termal. Proses termal (insinerasi) adalah alternatif yang menarik dalam teknologi pengolahan limbah (Faitli *et al.*, 2015). Sebelum insinerator dioperasikan secara terus-menerus, harus dilakukan uji coba pembakaran *trial burn test* (TBT) dengan salah satu syarat efisiensi pembakaran dan hasil uji emisi harus memenuhi syarat baku mutu yang sudah ditetapkan (Kardono, 2016). Efisiensi pembakaran harus mencapai atau lebih dari 99.95% (Gusdini, dkk., 2023). Penggunaan insinerator yang tidak optimum mempunyai beberapa kerugian diantaranya kerusakan alat, boros bahan bakar, tingginya residu pasca bakar timbul bau tidak sedap dan timbul partikulat yang menyebabkan pencemaran bagi lingkungan (Idris, dkk., 2014). Nilai ambang batas baku mutu emisi udara kadar karbon monoksida (CO) yang dipersyaratkan berdasarkan PerMenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 adalah sebesar 100 mg/Nm³.

Pengolahan limbah menggunakan insinerator merupakan teknologi terbaik yang saat ini digunakan dalam pemusnahan limbah rumah sakit dan teknologi yang paling banyak digunakan pada saat ini (Lee *et al.*, 2018). Keuntungan utama penggunaan insinerator adalah mengurangi volume limbah secara drastis, menghancurkan bakteri patogen, dan zat organik yang berbahaya. Teknologi insinerasi bukan solusi akhir dari proses pengolahan limbah padat, karena hanya merubah limbah dari bentuk padat ke bentuk gas (Cai *et al.*, 2023). Pengolahan limbah B3 menggunakan insinerator mempunyai keuntungan diantaranya dapat mengurangi berat limbah hingga sekitar 90% (volume) dan 75% (berat), waktu yang relatif lebih singkat untuk menangani limbah, lahan yang relatif kecil, gas yang dihasilkan pada proses pembakaran dapat dikontrol secara efektif agar tidak berpengaruh pada lingkungan sekitar (Xin-gang *et al.*, 2016). Rumah Sakit X yang berada di Surabaya melakukan pengolahan limbah medis sakit secara termal menggunakan insinerator dengan jenis Rotary Klin Incinerator yang mempunyai kapasitas pembakaran 300 kg/jam. Insinerator sudah mempunyai ijin operasional dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), namun masa berlaku ijin operasional tersebut sudah habis sehingga harus di uji kinerjanya dalam pengolahan limbah medis rumah sakit sesuai dengan nilai ambang batas baku mutu PerMenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berat limbah medis rumah sakit terhadap kadar CO, CO₂, dan O₂ serta efisiensi pembakaran pada insinerator.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan pada salah satu rumah sakit X di Surabaya. Alat yang digunakan adalah *gas analyzer* tipe Testo 340, *thermometer IR*, *apex instrument*, insinerator, dan neraca analitik. Bahan yang digunakan adalah limbah medis terdiri dari 3 golongan yaitu limbah medis golongan A, B, dan C. Limbah medis golongan A seperti pampers, tisu, kapas, perban, masker, sarung tangan, obat kadaluarsa, kemasan obat plastik, kantong darah, kantong infus, selang infus, dan kertas. Limbah medis golongan B seperti potongan organ tubuh, dan darah. Limbah golongan C seperti jarum suntik, kemasan obat kaca, dan pinset. Komposisi perbandingan berat limbah medis adalah 3:2:1 yang terdiri

dari 3 adalah limbah golongan A, 2 adalah limbah golongan B dan 1 adalah limbah golongan C. Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah mempersiapkan limbah medis rumah sakit berdasarkan golongan A, golongan B, dan golongan C. Setelah diklasifikasikan, limbah medis kemudian dikemas dan ditimbang sesuai dengan perbandingan komposisi limbah 3:2:1 (golongan A:B:C), dengan total berat masing-masing sebesar 150 kg, 300 kg dan 450 kg. Selanjutnya, dilakukan persiapan alat insenerator dan *gas analyzer*. Proses pembakaran dilakukan dalam tiga tahap sesuai dengan berat limbah yang telah ditentukan. Pada tahap pertama, limbah medis dengan berat 150 kg dimasukkan ke dalam ruang bakar 1 setelah suhu ruang pembakaran mencapai suhu minimal (600–800)°C. Pengambilan data emisi dilakukan menggunakan gas analyzer yang mampu mengukur konsentrasi gas hasil pembakaran, yaitu karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan oksigen (O₂). Pembacaan hasil dilakukan setelah alat menunjukkan nilai yang stabil, dan data diambil sebanyak lima kali untuk setiap kondisi.

Tahap kedua dilakukan dengan membakar limbah medis seberat 300 kg yang terdiri atas komposisi golongan A, B, dan C dengan rasio yang sama. Limbah dimasukkan ke ruang bakar 1 pada suhu yang sama, dan pengambilan data emisi dilakukan menggunakan metode yang identik dengan tahap sebelumnya. Hal yang sama juga dilakukan pada tahap ketiga, yaitu pembakaran limbah medis seberat 450 kg dengan metode dan prosedur pengambilan data yang sama. Sebagai verifikasi tambahan terhadap hasil pengukuran emisi, dilakukan pula uji kualitas emisi cerobong di laboratorium eksternal yaitu PT. Syslab Integrated Laboratory Services yang beralamat di Jalan MH. Thamrin, Plaza Amsterdam Blok D2–D5, Sentul City, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil penelitian disajikan dengan menggunakan tabel dan grafik yang berpedoman nilai ambang batas baku mutu PerMenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 tentang pengolahan limbah medis rumah sakit menggunakan insinerator. Adapun perhitungan kadar CO dan perhitungan efisiensi pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan kadar CO

Nilai ambang batas kadar Karbon Monoksida (CO) yang dipersyaratkan berdasarkan baku mutu PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 sebesar 100 mg/Nm³. Kadar CO dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Gusdini, dkk., 2023):

$$\text{CO Terkoreksi} = \frac{\text{CO terukur} \times (\text{Konsentrasi O}_2 \text{ diudara} - \text{O}_2 \text{ baku mutu})}{(\text{Konsentrasi O}_2 \text{ diudara} - \text{O}_2 \text{ Terukur})}$$

Keterangan:

Konsentrasi O₂ diudara adalah 21%

O₂ baku mutu adalah 10%

CO terukur adalah konsentrasi emisi CO sebelum dikoreksi dengan O₂.

2. Perhitungan efisiensi pembakaran

Berdasarkan PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 efisiensi pembakaran harus mencapai atau lebih dari 99.95% yang dihitung sebagai berikut (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, 2015; Gusdini, dkk., 2023):

$$EP = \frac{CO^2}{CO_2 + CO} \times 100\%$$

Keterangan:

EP = Efisiensi Pembakaran (%)

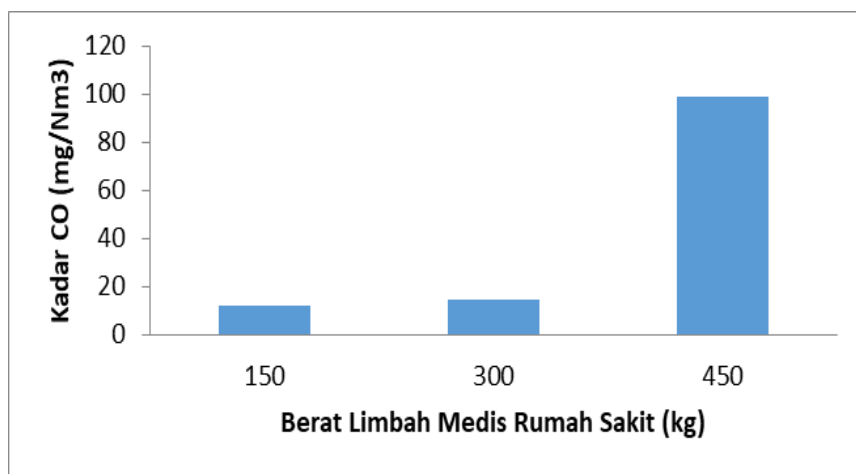
CO₂ = Konsentrasi emisi CO₂ di lubang sampling insinerator (mg/Nm³)

CO = Konsentrasi emisi CO di lubang sampling insinerator (mg/Nm³)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Berat Limbah Medis Terhadap Kadar CO, CO₂ dan O₂

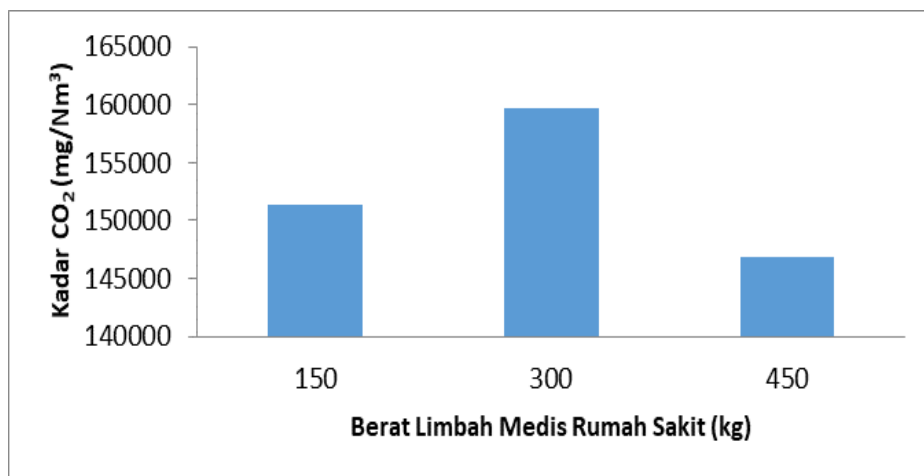
Kadar CO pembakaran limbah medis rumah sakit dengan berat 150 kg, 300 kg, dan 450 kg ditampilkan Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Berat Limbah Medis terhadap Kadar CO.

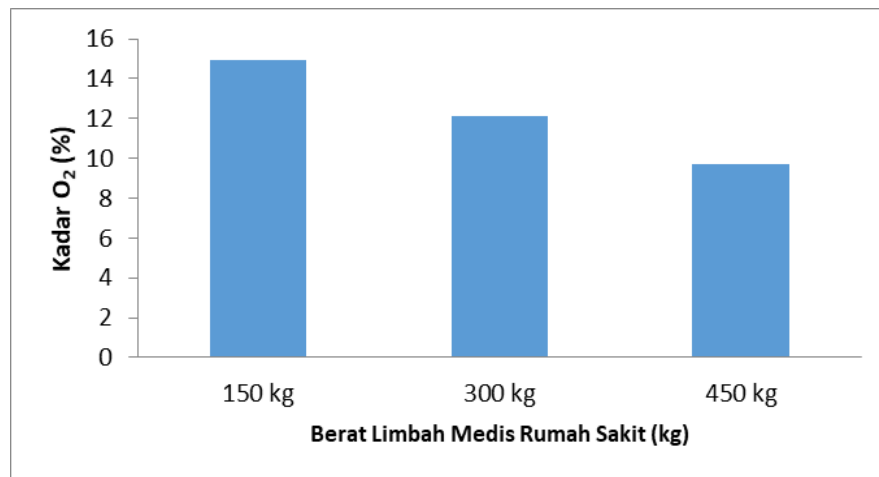
Hasil pengukuran kadar CO rata-rata dari pembakaran limbah medis menggunakan insinerator tipe Rotary Klin mengalami peningkatan pada komposisi berat limbah medis yang dibakar. Hal ini dipengaruhi oleh volume berat limbah medis yang dibakar. Semakin besar berat limbah medis yang dibakar, maka kadar CO yang diperoleh semakin meningkat. Kadar CO yang diperoleh pada pembakaran limbah medis dengan komposisi 150 kg (normal) diperoleh hasil kadar CO sebesar 11.82 mg/Nm³, pembakaran limbah medis dengan komposisi berat limbah medis 300 kg (maksimal) diperoleh hasil kadar CO sebesar 14.59 mg/Nm³ dan pembakaran limbah medis dengan komposisi berat limbah medis 450 kg (overload) diperoleh hasil kadar CO sebesar 98.82 mg/Nm³. Hasil kadar CO dari pembakaran limbah medis dengan insinerator tipe Rotary Klin dengan komposisi berat limbah medis 150 kg, 300 kg dan 450 kg, masih dibawah nilai ambang batas baku mutu PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 yaitu 100 mg/Nm³ (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, 2015). Peningkatan suhu di ruang bakar dapat mempercepat proses oksidasi atau pembakaran CO menjadi CO₂, sehingga pembakarannya dapat lebih sempurna (Yan *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian Aditya, dkk., (2019), pembakaran limbah medis menghasilkan CO tinggi hingga 15% pada suhu 600°C, jauh lebih tinggi dibanding pembakaran tanpa limbah medis. Sehingga, semakin banyak pembakaran limbah medis, semakin tinggi kadar CO yang dihasilkan. Hal ini mendukung hasil penelitian bahwa berat limbah berbanding lurus dengan emisi CO. Berdasarkan penelitian Saputra (2021), pembakaran limbah medis dan biomassa menghasilkan pencemaran udara berupa CO dan CO₂ dan emisi meningkat seiring kenaikan suhu dan volume bahan bakar. Hasil dari penelitian

mengungkapkan bahwa peningkatan jumlah limbah medis dapat meningkatkan jumlah emisi CO. Kadar CO₂ pembakaran limbah medis untuk berat 150 kg, 300 kg, dan 450 kg ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Berat Limbah Medis terhadap Kadar CO₂.

Hasil pengukuran kadar rata-rata CO₂ pada pembakaran limbah medis menggunakan insinerator mengalami peningkatan dengan komposisi berat limbah medis yang dibakar sampai kapasitas maksimal insinerator. Hasil kadar CO₂ dengan komposisi pembakaran berat limbah medis 150 kg (normal) diperoleh hasil 151,337.03 mg/Nm³, komposisi pembakaran berat limbah medis 300 kg (normal) diperoleh hasil 159,638.98 mg/Nm³. Hal ini menunjukkan bahwa kadar CO₂ yang dihasilkan pada pembakaran limbah medis dipengaruhi oleh komposisi berat limbah medis yang dibakar pada insinerator. Menurut PP 22 tahun 2021 menyatakan bahwa jika suatu materi limbah B3 ingin dibakar (insinerasi) dengan berat 100 kg, maka abu sisa pembakaran tidak boleh melebihi 0.01 kg atau 10 g. Semakin besar berat limbah medis yang dibakar sampai kapasitas maksimal insinerator, semakin tinggi kadar CO₂ yang dihasilkan. Hal ini berarti pembakarannya lebih sempurna karena pembakaran limbah medis dengan komposisi berat limbah yang tidak melebihi kapasitas ruang bakar insinerator, dan kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi menghasilkan kadar CO dan CO₂ yang seimbang. Pembakaran dengan komposisi berat limbah medis 450 kg (overload) diperoleh hasil 146,901.03 mg/Nm³ mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh besar berat limbah medis yang dibakar melebihi kapasitas maksimal insinerator dan kadar CO₂ yang dihasilkan semakin kecil. Kondisi ini menyebabkan pembakaran tidak sempurna, karena pembakaran limbah medis dengan komposisi berat limbah yang melebihi kapasitas ruang bakar insinerator dan kebutuhan oksigen dalam proses oksidasi menghasilkan kadar CO serta CO₂ yang tidak seimbang. Berdasarkan penelitian Saputra (2021), semakin tinggi suhu dan volume limbah medis yang dibakar, emisi CO dan CO₂ meningkat, tetapi pada suhu sangat tinggi, emisi CO dan CO₂ justru menurun karena pembakaran menjadi lebih sempurna. Pola CO yang meningkat pada volume limbah besar sesuai dengan hasil dari penelitian ini. Penurunan CO₂ pada berat limbah tertinggi disebabkan oleh kemungkinan pembakaran tidak sempurna akibat overload (Saputra, 2021). Kadar O₂ pada pembakaran limbah medis untuk berat 150 kg, 300 kg, dan 450 kg ditampilkan pada Gambar 3.

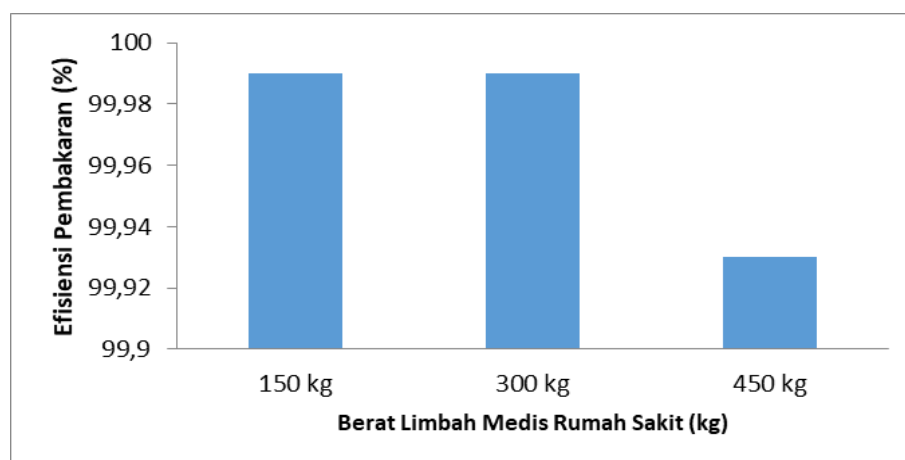


Gambar 3. Pengaruh Berat Limbah Medis terhadap Kadar O₂.

Kadar O₂ dari hasil pembakaran limbah medis menggunakan insinerator mengalami penurunan pada setiap komposisi berat limbah medis yang dibakar. Hasil kadar O₂ pada pembakaran limbah medis dengan berat limbah medis 150 kg (normal) diperoleh hasil 14.9%, 300 kg (normal) diperoleh hasil 12.1% dan 450 kg (overload) diperoleh hasil 9.7%. Hal ini dipengaruhi besar berat limbah medis yang dibakar pada insinerator. Semakin besar berat limbah medis yang dibakar, maka kadar O₂ yang diperoleh semakin kecil. Hal ini berarti apabila semakin besar sisa ruang bakar insinerator, maka O₂ yang dihasilkan semakin besar. Apabila sisa ruang bakar insinerator semakin kecil, maka O₂ yang dihasilkan semakin sedikit. Oksigen digunakan untuk proses oksidasi atau membantu pembakaran limbah medis pada insinerator, sehingga temperatur pirolisa dapat tercapai dan dipertahankan. Pembakaran sempurna terjadi apabila oksigen yang dibutuhkan dalam proses pembakaran dengan komposisi berat limbah medis yang dibakar diperoleh kadar CO dan CO₂ yang seimbang. Volume limbah yang terlalu besar (450 kg) menyebabkan penurunan kadar O₂ signifikan yang dapat mengindikasikan pembakaran tidak sempurna. Oleh karena itu, perlu ditentukan volume optimal untuk efisiensi pembakaran maksimal.

Pengaruh Berat Limbah Medis Terhadap Efisiensi Pembakaran

Hasil efisiensi pembakaran limbah medis rumah sakit dengan berat 150 kg, 300 kg, dan 450 kg ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Berat Limbah Medis terhadap Efisiensi Pembakaran.

Hasil efisiensi pembakaran menggunakan insinerator tipe Rotary Klin dengan komposisi berat limbah medis 150 kg (normal), 300 kg (maksimal) yaitu 99.99%. Hasil efisiensi pembakaran pada insinerator dengan komposisi berat limbah medis 150 kg (normal), 300 kg mencapai persyaratan teknis pengolahan limbah medis menggunakan insinerator yang telah ditetapkan pada PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 dengan efisiensi pembakaran harus mencapai atau lebih dari 99.95 %. Hal ini dipengaruhi oleh berat limbah medis yang dibakar sesuai dengan kapasitas ruang bakar insinerator. Semakin besar berat limbah medis yang dibakar sampai kapasitas maksimum insinerator, maka pembakarannya lebih sempurna. Untuk efisiensi pembakaran yang diperoleh dari pembakaran limbah medis dengan komposisi berat limbah medis 450 kg (overload) diperoleh hasil efisiensi pembakaran yaitu 99.93% tidak sesuai dengan baku mutu PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015. Hal ini disebabkan oleh berat limbah medis melebihi kapasitas ruang bakar insinerator, sehingga pembakaran limbah medis tidak sempurna. Selain komposisi berat limbah medis yang dibakar, kadar CO pada pembakaran limbah medis dengan komposisi 450 kg (overload) diperoleh kadar CO yang tinggi. Kadar CO yang tinggi mengakibatkan proses pembakaran tidak sempurna dan kadar CO yang tinggi menghasilkan efisiensi pembakaran yang rendah. Hal ini berbanding lurus dengan suhu yang ingin dicapai, karena semakin besar berat limbah B3 yang dibakar, maka akan semakin kecil volume ruang bakar yang tersedia sehingga akan mempercepat peningkatan suhu. Peningkatan suhu di ruang bakar ini dapat mempercepat proses oksidasi atau pembakaran CO menjadi CO₂, sehingga pembakarannya dapat dikatakan lebih sempurna (Wang *et al.*, 2019).

KESIMPULAN

Kadar karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari pembakaran limbah medis rumah sakit menggunakan insinerator tipe *Rotary Klin* pada komposisi berat limbah 150 kg (normal), 300 kg (maksimal), dan 450 kg (overload) masih berada di bawah ambang batas baku mutu berdasarkan PermenLHK No.56/Menlhk-Setjen/2015 yaitu sebesar 100 mg/Nm³. Efisiensi pembakaran pada insinerator tipe yang sama dengan komposisi berat limbah 150 kg dan 300 kg mencapai 99.99%, sehingga memenuhi persyaratan teknis pengolahan limbah medis menggunakan insinerator sebagaimana tercantum dalam regulasi tersebut. Namun, pada pembakaran dengan komposisi berat 450 kg (overload), efisiensi menurun menjadi 99.93% dan tidak memenuhi persyaratan teknis yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, I. M. B. P., Winaya, I. N. S., dan Lokantara, I. P., 2019. *Studi Pendahuluan Penangkapan Dioksin/Karbon Sampah Medis Pada Pembakaran Fluidized Bed Menggunakan Bed Material Pasir Zeolit Alam*. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika. 8(3): 671–674.
- Attrah, M., Elmanadely, A., Akter, D., and Rene, E. R., 2022. *A Review on Medical Waste Management: Treatment, Recycling, and Disposal Options*. Environments. 9(11): 146. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments9110146>.
- Cai, P.-T., Chen, T., Chen, B., Wang, Y.-C., Ma, Z.-Y., and Yan, J.-H., 2023. *The Impact of Pollutant Emissions from Co-Incineration of Industrial Waste in Municipal Solid Waste Incinerators*. Fuel. 352: 129027. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129027>.
- Faitli, J., Magyar, T., Erdélyi, A., and Murányi, A., 2015. *Characterization Of Thermal Properties Of Municipal Solid Waste Landfills*. Waste Management. 36: 213–221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.028>.
- Fajriansyah, I., Yunita, S., Atmojo, C. P., dan Fauziah, M., 2021. *Pandemi Belum Berakhir: Kelola Limbah Medis dengan Baik*. Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ. 17–20. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat/article/view/10745>.
- Gusdini, N., Mediana, N., dan Pratiwi, R., 2023. *Uji Kinerja Insinerator dan Alat Pengendali*

- Pencemaran Udara untuk Meminimalkan Dampak Limbah B3*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 24(1): 001–009. DOI: <https://doi.org/10.55981/jtl.2023.248>.
- Idris, I., Setyawan, M., dan Mufrodi, Z., 2024. *Teknologi Insinerasi sebagai Solusi Pengolahan Sampah Perkotaan dan Pemulihan Energi: A Review*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. 1-8.
- Kardono, K., 2016. *Analisis Kimia Limbah B3 untuk Menentukan Efisiensi Penghancuran dalam Uji Bakar di Insenerator*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 13(2): 167. DOI: <https://doi.org/10.29122/jtl.v13i2.1416>.
- Khan, W. U., Ahmed, S., Dhoble, Y., and Madhav, S., 2023. *A Critical Review of Hazardous Waste Generation from Textile Industries and Associated Ecological Impacts*. *Journal of the Indian Chemical Society*. 100(1): 100829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100829>.
- Lee, H., Yi, S.-M., Holsen, T. M., Seo, Y.-S., and Choi, E., 2018. *Estimation of CO₂ Emissions from Waste Incinerators: Comparison of Three Methods*. *Waste Management*. 73: 247–255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.055>.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2015. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 56 Tahun 2015 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dari Fasilitas Pelayanan Kesehatan*.
- Peraturan Pemerintah RI. 2021. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Prasetya, I., and Wilujeng, S. A., 2024. *Financial Impact of Medical Waste Management in Hospital “X” Surabaya*. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*. 3(3): 519–528. DOI: <https://doi.org/10.46799/ajesh.v3i3.259>.
- Sanito, R. C., Bernuy-Zumaeta, M., You, S.-J., and Wang, Y.-F., 2022. *A Review on Vitrification Technologies of Hazardous Waste*. *Journal of Environmental Management*. 316: 115243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115243>.
- Saputra, A. I., 2021. *Pengolahan Limbah Medis Menggunakan Incinerator Biomassa dengan Perbandingan Komposisi Biomassa Dan Limbah Medis Melalui Intervensi Blower Sebagai Suplay Oksigen*. *Journal of Nursing and Public Health*. 9(1): 10–15. DOI: <https://doi.org/10.37676/jnph.v9i1.1430>.
- Wang, L., Karimi, N., Sutardi, T., and Paul, M. C., 2019. *Combustion Characteristics and Pollutant Emissions in Transient Oxy-Combustion of a Single Biomass Particle: A Numerical Study*. *Energy & Fuels*. 33(2): 1556–1569. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b03602>.
- Xin-gang, Z., Gui-wu, J., Ang, L., and Yun, L., 2016. *Technology, Cost, A Performance of Waste-To-Energy Incineration Industry in China*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 55: 115–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.137>.
- Yan, M., Tian, X., Antoni, Yu, C., Zhou, Z., Hantoko, D., Kanchanatip, E., and Khan, M. S., 2021. *Influence of Multi-Temperature Primary Air on The Characteristics of MSW Combustion In A Moving Grate Incinerator*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(6): 106690. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106690>.