



Rancang Bangun Insinerator Pengolahan Sampah dengan Penerapan Teknologi Termal yang Ramah Lingkungan

Prasepvianto Estu Broto^{1*}, Fitriyanti¹, Amirin Kusmiran¹, Khaerul Ihsan¹

¹*Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*

Email: prasepvianto@uin-alauddin.ac.id

**Corresponding Author*

Abstrak

Kekhawatiran tentang masalah lingkungan seperti peningkatan volume sampah yang jika tidak ditangani dengan baik akan mempengaruhi polusi lingkungan yang dapat merusak kesuburan tanah dan juga berdampak pada kesehatan manusia. Studi ini bertujuan untuk membuat insinerator pengolahan sampah dengan penerapan teknologi termal. Kompor berbahan bakar oli bekas dan air digunakan sebagai media untuk membakar sampah, kompor akan membakar sampah yang telah dimasukkan ke dalam ruang bakar yang terbuat dari drum yang dilapisi dengan tanah liat. Lapisan tanah liat ini bertujuan untuk meningkatkan suhu ruang bakar sehingga pembakaran maksimum diperoleh dengan asap minimal. Hasil pengujian untuk pengukuran suhu di dalam ruang bakar mencapai 751°C. Gas karbon dioksida yang diukur pada suhu maksimum di sekitar insinerator adalah 27 ppm. Kesimpulan dari data yang diperoleh, pembakaran sampah dengan insinerator meminimalkan polusi udara sehingga dapat digunakan sebagai solusi dalam pengolahan sampah yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Insinerator, Polusi, Sampah, Termal.

Abstract

Concerns about environmental problems such as increasing the volume of waste which if not treated properly will affect environmental pollution which can damage soil fertility and also have an impact on human health. This study aims to make a waste processing incinerator with the application of thermal technology. Oil and water stoves are used as media for burning waste, the stove will burn the waste that has been put into the combustion chamber made of drums coated with clay. This clay coating aims to increase the temperature of the combustion chamber so that maximum combustion is obtained with minimal smoke. From the waste burning test, the temperature measurement results in the combustion chamber reached 751°C. Carbon gas measured at the maximum temperature around the incinerator is 27 ppm. From the data obtained, it can be concluded that waste burning with an incinerator has been made to minimize air pollution so that it can be used for solutions in environmentally friendly waste processing.

Keywords: Incinerator, Pollution, Thermal, Waste.

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan suatu bahan yang tidak terpakai atau buangan dari proses hasil kegiatan manusia. Sampah menjadi permasalahan di setiap Negara, terutama di Indonesia. Pada tahun 2019 Indonesia memproduksi sampah hingga 66-67 ton. Hasil presentasi diperoleh 60% dari sampah organik dan 15% dari sampah plastik [1]. Dengan semakin berkembangnya penduduk di Indonesia maka jumlah produksi sampah yang dihasilkan semakin meningkat pula, hal ini dapat dilihat dari total produksi sampah tiap tahunnya. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2020 total produksi sampah mencapai 67,8 juta ton, yang artinya terdapat sekitar 185.753 ton sampah yang dihasilkan setiap harinya dari 270 juta penduduk. Dari data tersebut maka setiap penduduk memproduksi sampah sekitar 0,68 kilogram per hari [2].

Dari total sampah yang dihasilkan setiap tahun, diperlukan pengolahan sampah yang benar. Namun pada pengolahan sampah di Indonesia masih konvensional, yaitu kumpul, angkut dan buang atau kata lainnya pola linier. Dilain sisi kebiasaan yang terbentuk dimasyarakat dalam menghadapi permasalahan ini dengan cara membakar sampah. Membakar sampah merupakan salah satu bentuk pengolahan sampah yang buruk dikarenakan dapat menimbulkan masalah baru yaitu polusi udara yang akan menyebabkan pemanasan global.

Dengan berkembangnya teknologi terdapat alat untuk proses pembakaran sampah yaitu insinerator yang dirancang sedemikian rupa guna mengurangi polusi udara akibat proses pembakaran. Insinerator berasal dari kata insinerasi, yang artinya proses perubahan bentuk sampah yang sudah terbakar hingga menjadi abu pada temperatur tinggi [3]. Insinerator merupakan sebuah alat yang didesain untuk membakar limbah atau mengurangi volume sampah dan membunuh bakteri pada sampah [4]. Terdapat beberapa keuntungan melakukan pengolahan limbah dengan proses insinerasi, diantaranya dapat mengurangi volume dan berat limbah secara signifikan, proses penanganan limbah dapat dilakukan secara singkat, area yang dibutuhkan lebih kecil, dan hasil pembakaran berupa gas dapat dikontrol secara efektif untuk mengurangi pengaruh terhadap lingkungan [5]. Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Hermansyah [6] yaitu rancang bangun insinerator dua tahap sebagai solusi untuk mengatasi polusi udara akibat pembakaran sampah. Insinerator dua tahap yang dibuat merupakan bentuk sederhana dari insinerator tipe *rotary klin*, proses kerjanya pada penggabungan asap dengan air dilakukan melalui cara disemprotkan menggunakan *nozzle spray* sehingga akan bercampur dengan asap yang tidak membahayakan bagi masyarakat.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dirancang sebuah alat pengolah sampah yaitu insinerator dengan mengutamakan manfaatnya yang ramah lingkungan dan mengetahui bagaimana prinsip kerja alat yang telah dibuat dalam mengurangi polusi udara dalam proses pembakaran sampah, serta memanfaatkan hasil residu dari proses pembakaran sampah menggunakan alat insinerator.

2. METODE PENELITIAN

Pada umumnya pengolahan sampah di Indonesia masih konvensional, yaitu dengan cara melakukan proses pembakaran secara langsung dan terbuka untuk mengurangi volume sampah. Pembakaran terbuka memiliki dampak bagi lingkungan karena akan menghasilkan sejumlah besar polutan, dari pembakaran yang tidak sempurna sekitar 40% limbah atau 1,1 miliar ton sampah dibakar di tempat terbuka. Asap dari proses pembakaran yang dihasilkan mengandung banyak materi seperti hidrogen klorida, hidrogen sianida, benzena, stirena, asrena, timbal, kromium, dan lain sebagainya. Semua zat yang dihasilkan oleh asap merupakan polutan yang berbahaya dan bagi kesehatan manusia bersifat karsinogenik. Terdapat teknologi yang dapat mengatasi pengolahan sampah yaitu dengan proses insinerasi [7]. Insinerasi terjadi melalui pembakaran sampah dalam sebuah wadah tertutup dengan suhu tinggi dari 600-1000°C yang membuat sampah terbakar sempurna menjadi abu. Fungsi utama dari insinerasi untuk mengurangi volume dan jumlah serta 5%-15% berat limbah yang tersisa sebagai residu [8].

Menurut Chettri dkk.[9], terdapat langkah-langkah dari proses pembakaran sampah diantaranya penanganan limbah yang masuk, menyimpan sampah di tempat sampah, pemuatan sampah untuk proses pembakaran, filtrasi gas buang, pengelolaan sampah yang tidak terbakar dan proses penanganan abu. Untuk merancang alat pembakar sampah diperlukan beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu jumlah udara pembakaran, sisa hasil pembakaran, dan desain insinerator [10]. Berdasarkan metodenya terdapat dua jenis alat pembakaran sampah, yaitu alat pembakar sampah tipe kontinu dan tipe *batch*. Perbedaan kedua tipe tersebut dari proses memasukkan sampahnya, pada alat pembakaran sampah tipe kontinu sampah dimasukkan secara terus menerus dengan debit tetap, sedangkan pada alat pembakaran sampah tipe *batch*, sampah dimasukkan hingga mencapai batas maksimum kemudian dibakar [11].

Insinerator dapat diartikan sebagai perangkat tertutup yang memanfaatkan pembakaran api yang terkontrol, namun tidak memenuhi kriteria untuk klasifikasi sebagai *boiler*, pengering lumpur, atau unit regenerasi karbon dan juga tidak terdaftar sebagai tungku industri. Insinerasi adalah proses yang mengubah bio massa atau limbah padat menjadi panas dengan cara dibakar [12]. Insinerasi berguna menghilangkan air dan lumpur berbahaya, mengurangi massa dan volumenya, dan mengubah limbah menjadi abu yang tidak dapat dibakar lagi dan dapat dibuang dengan aman di darat, atau di lubang bawah tanah. Namun, metode ini akan menjadi kontroversial ketika pembakaran yang digunakan tidak lengkap yang akan menghasilkan gas karbon monoksida dan zat berbahaya lainnya [13]. Pengendalian pencemaran udara dengan teknik ini digunakan untuk mengurangi misi ke atmosfer yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia [14].

Dalam insinerator terdapat komponen-komponen utama yang terdiri dari *primary combustion chamber*, *secondary combustion chamber*, *burner* dan *blower* [4]. *Primary chamber* berfungsi sebagai tempat proses pembakaran limbah dengan temperatur diatur pada rentang 600-800°C, proses pemanasan dalam *primary chamber* dibantu oleh energi yang terdapat dari *burner* dan energi yang dihasilkan dari limbah itu sendiri. *Secondary chamber* digunakan untuk membakar gas pirolisis yang telah tercampur dengan udara oleh *burner*

dengan temperatur tinggi yaitu 800-1000°C [11]. Ketika bin/wadah penuh pada kotak insinerator, otomatis sampah akan terbakar dan berubah menjadi abu. Insinerasi merupakan salah satu proses pengolahan limbah, dimana apabila limbah bio medis dibakar dan dibuang maka akan berbahaya. Pada kotak insinerator terdapat filter udara yang berfungsi mencegah udara agar tidak tercemar [15]. Kinerja yang baik pada pengoperasian insinerator dapat dicapai dengan memenuhi unsur 3T, yakni temperatur, *turbulence*, dan *time*. Sedangkan pada kinerja lingkungan dapat diukur dari parameter dalam emisi gas buangnya yang harus memenuhi baku mutu emisi dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.70 tahun 2016. Untuk memastikan terjadinya pembakaran yang sempurna serta mencegah terbentuknya dioksin maka temperatur minimal ditungku yang digunakan adalah 850°C. Insinerator harus dilengkapi pengendali pencemaran udara (IPPU) seperti *cyclone*, *scrubber* dan cerobong. Untuk memastikan sampah terbakar sempurna maka harus disesuaikan kecukupan antara suplai bahan bakar dengan udara [16].

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi proses perancangan desain insinerator, pengujian serta analisis hasil pengujian. Proses perancangan desain insinerator dilakukan sebagai tahapan untuk membuat insinerator yang ramah lingkungan. Hasil dari desain insinerator ini kemudian diuji untuk mengetahui hasil proses pembakaran sampah. Tahapan pengujian dilakukan menjadi 3 tahap, tahap pertama dilakukan pengujian tungku bakar tanpa menggunakan sampah. Proses ini dilakukan untuk mengetahui suhu di dalam ruang pembakaran dan suhu luar dari insinerator hasil perancangan. Proses selanjutnya adalah pengujian dengan menggunakan sampah untuk mengetahui seberapa cepat proses pembakaran sampah serta mengetahui hasil residu dari sampah yang telah dibakar. Pengukuran suhu pembakaran dilakukan dengan mengukur suhu insinerator dengan membuat titik pengukuran per 10 cm dari dasar insinerator bagian luar sampai bagian cerobong serta mengukur suhu di ruang bakar. Data pengukuran suhu tiap titik tersebut digunakan untuk analisis sebaran suhu pada insinerator yang telah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perancangan Insinerator

Insinerator yang dibuat menggunakan bahan drum dengan ketebalan 3 mm. Bagian dalam drum terdapat kompartemen berbentuk kerucut untuk pemisah sampah dan abu hasil pembakaran agar mudah diambil serta pembakaran bisa lebih sempurna. Bagian luar drum dilapisi tanah liat setebal 3 cm kemudian dilapisi lagi pelat besi 3 cm yang bertujuan sebagai peredam panas. Bagian atas sebelum cerobong dibentuk kerucut untuk memperkecil hambatan aliran asap hasil pembakaran sampah. Pipa untuk cerobong asap yang digunakan berdiameter 8 inci untuk menghindari asap terkumpul di ruang pembakaran yang mengakibatkan pembakaran tidak maksimal. Gambar 1 merupakan hasil dari perancangan insinerator yang telah dibuat.



Gambar 1. Hasil rancangan insinerator.

3.2. Hasil Pengujian Insinerator

Pengujian Alat (Pembakaran tanpa sampah) menggunakan bahan bakar solar sebanyak 2 liter dengan penambahan bensin 200 mL. Alat insinerator dilakukan pengujian selama 17 menit. Hasil dari pengujian tersebut berupa sebaran suhu dari alat insinerator yang ditunjukkan pada tabel 1. Gas CO yang dihasilkan dari proses pengujian di dalam ruang pembakaran sebesar 615ppm, sedang di luar ruang pembakaran sebesar 12 ppm. Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian pembakaran awal insinerator tanpa ada sampah yang dibakar untuk mengetahui suhu di dalam ruang pembakaran.

Tabel 1. Pengujian Insinerator pada saat pembakaran awal tanpa sampah

No.	Titik pengukuran insinerator (cm) dari dasar Insinerator	Suhu awal pembakaran (°C)	Suhu selama 10 menit pembakaran (gas CO = 0)
1	10	37	42
2	20	36	41
3	30	36	45
4	40	36	46
5	50	37	49
6	60	38	58
7	70	37	58
8	80	37	46
9	90	38,9	44
10	100	39,6	49
11	110	44	56
12	120	44	56
13	130	44	59
14	140	56	98
15	Cerobong	196	328
16	Suhu di dalam ruang pembakaran	200	540

Suhu awal pembakaran dimulai pada saat air pada tungku mendidih, yang ditandai dengan bunyi mendidih pada tungku dan nyala api tungku stabil. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang stabil yaitu 10 menit dimana gas CO yang dilepaskan pada cerobong sudah tak berasap dan suhu rata-rata di dalam ruang pembakaran sebesar 400° C. Gambar 2 menunjukkan proses pembakaran awal insinerator.



Gambar 2. Pembakaran awal insinerator.

3.3. Pembakaran dengan sampah

Pengujian pembakaran sampah dilakukan dengan variasi massa sampah yaitu 0,5 kg, 1,5 kg dan 2 kg dengan total sampah yang dibakar 4 kg yang datanya dapat dilihat pada tabel 2. Pembakaran sampah dimulai pada saat insinerator mencapai nyala yang stabil pada tungku pembakaran dan tidak tampak asap pembakaran. Gas CO yang terukur pada cerobong adalah 0 ppm. Suhu nyala api pada tungku sebesar 230°C . Pengujian dilakukan sebanyak tiga tahap. Tahap pertama dilakukan pembakaran 500 gram sampah dengan proses pembakaran sampai menjadi abu selama 01:14 menit. Tahap kedua pembakaran sampah dengan massa 1,5 kg dibutuhkan waktu untuk menjadi abu selama 02:17 menit. Tahap ketiga massa sampah yang dibakar sebesar 2 kg dengan waktu pembakaran sempurna selama 04:57 menit. Kadar gas CO pada cerobong yang terukur adalah 0 ppm, suhu nyala api pada tungku sebesar 230°C , suhu tabung 170°C . Pengujian tahap I (0,5 kg) waktu pembakaran sampah hingga menjadi abu selama 01:14 menit. Tahap II (1,5 kg) waktu pembakaran sampah hingga menjadi abu 02:17 menit. Tahap III (2 kg) waktu pembakaran sampah hingga menjadi abu 04:57 menit. Total waktu yang dibutuhkan untuk membakar sampah 4 kg selama 5 menit. Rata-rata gas CO di dalam ruang pembakaran sebesar 900 ppm. Rata-rata gas CO di luar ruang pembakaran (terbuka) sebesar 27 ppm. Rata-rata gas CO di luar ruang pembakaran (tertutup) sebesar 7 ppm. Gas CO yang dilepaskan pada cerobong adalah 0 ppm. Gambar 3 menunjukkan proses pengukuran suhu insinerator dan pengukuran gas CO pada cerobong asap insinerator. Proses pembakaran sampah ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 3. Pengambilan data suhu dan gas CO.



Gambar 4. Proses pembakaran sampah menggunakan insinerator.

Tabel 2. Pengujian Insinerator pada saat pembakaran sampah.

No.	Titik pengukuran insinerator (cm) dari dasar Insinerator	Suhu (°C)
1	10	46
2	20	48
3	30	57
4	40	73
5	50	72
6	60	76
7	70	90
8	80	64
9	90	90
10	100	72
11	110	81
12	120	91
13	130	85
14	140	90
15	Cerobong	403
16	Suhu di dalam ruang pembakaran	751

3.3. Pengujian pembakaran akhir

Pengujian pembakaran akhir ditandai dengan nyala api pada ruang pembakaran telah padam dan sampah yang telah habis terbakar menjadi abu. Waktu yang dibutuhkan dari awal pembakaran sampah hingga api pada ruang pembakaran padam selama 45 menit. Rata-rata gas CO di dalam ruang pembakaran sebesar 650 ppm. Rata-rata gas CO di luar (terbuka)

sebesar 20 ppm. Rata-rata gas CO di luar (tertutup) sebesar 5 ppm. Tabel 3 menunjukkan data pengukuran suhu tiap 10cm dari insinerator pada saat pembakaran akhir. Hasil dari proses pembakaran dapat dilihat pada gambar 5.

Tabel 3. Pengujian Insinerator pada saat pembakaran akhir.

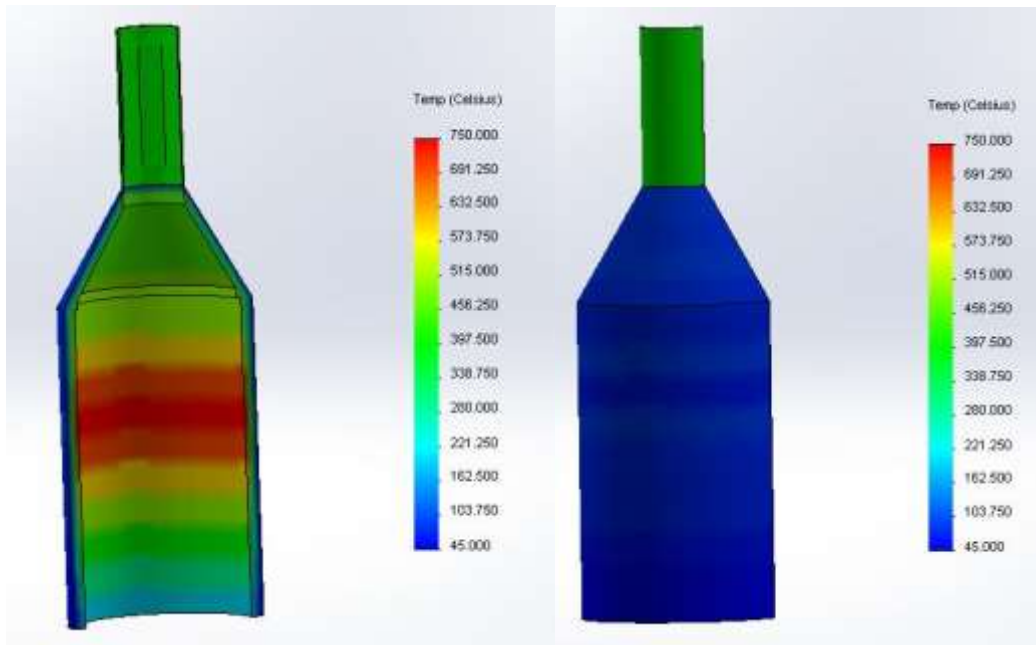
No.	Titik pengukuran insinerator (cm) dari dasar Insinerator	Suhu (°C)
1	10	72
2	20	70
3	30	73
4	40	85
5	50	91
6	60	91
7	70	90
8	80	85
9	90	85
10	100	90
11	110	85
12	120	90
13	130	93
14	140	93
15	Cerobong	98
16	Suhu di dalam ruang pembakaran	202



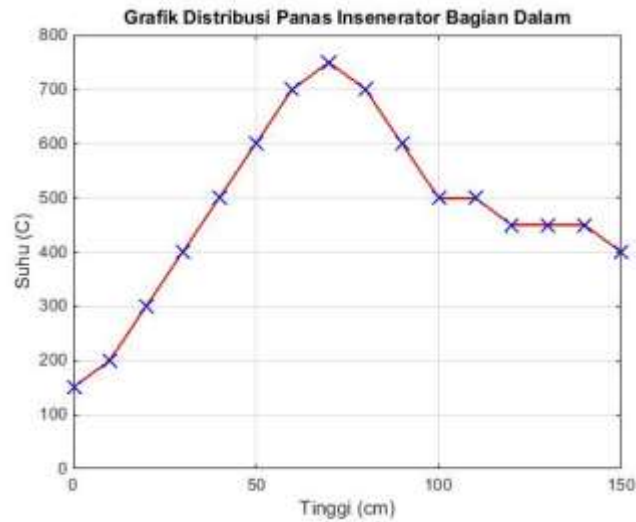
Gambar 5. Abu sisa pembakaran sampah.

3.4. Analisis Hasil Pengujian

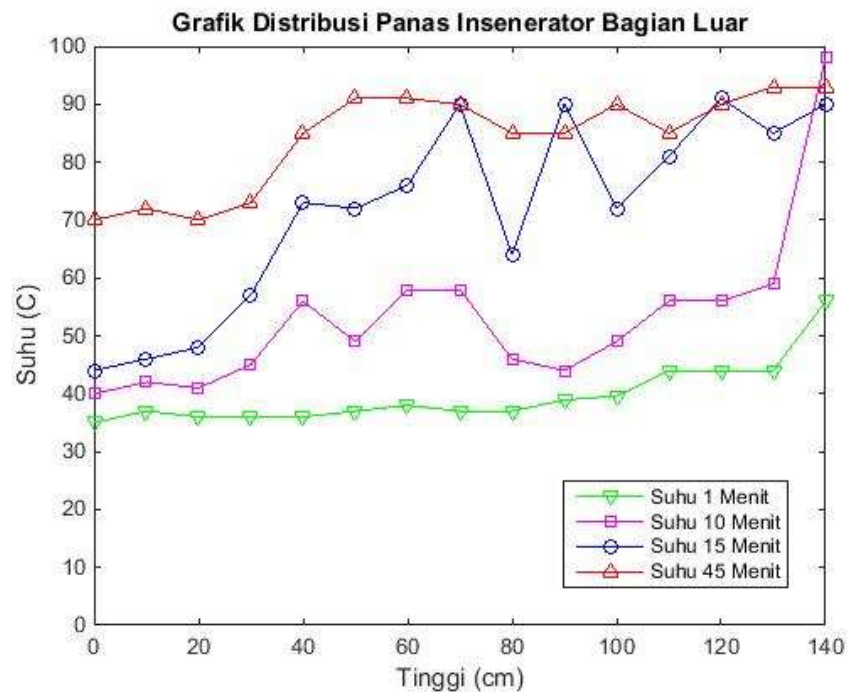
Hasil dari pengukuran suhu pada insinerator dibuat model sebaran panasnya untuk mengetahui kondisi termal secara visual. Gambar 6 merupakan visualisasi sebaran termal dari tabel 2 pengujian insinerator pada saat pembakaran sampah. Grafik distribusi sebaran panas insinerator bagian dalam dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Sebaran termal dari insinerator saat pembakaran sampah.



Gambar 7. Grafik sebaran termal pada saat pembakaran sampah.



Gambar 8. Grafik sebaran termal pada saat pengujian.

Gambar 8 menunjukkan suhu dalam insinerator lebih tinggi daripada suhu luar insinerator. Hal ini dikarenakan adanya lapisan tanah liat pada sisi insinerator yang berfungsi sebagai penyerap panas sehingga suhu di ruang pembakaran tidak mudah turun karena proses penurunan suhu terhambat oleh tanah liat tersebut. Suhu maksimum yang ada di dalam insinerator dapat mencapai 750°C sementara suhu di bagian luar insinerator hanya berkisar di bawah 100°C. Gambar 7 dan gambar 8 menunjukkan grafik sebaran termal bagian dalam dan luar insinerator.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengukuran gas karbon monoksida pada waktu pembakaran diperoleh kadar CO sebesar 27 ppm. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa insinerator dapat digunakan untuk pembakaran sampah yang ramah lingkungan. Kecilnya kadar CO ini diakibatkan oleh pembakaran sampah yang optimal. Suhu insinerator yang sangat tinggi dapat membakar sampah tanpa menghasilkan banyak asap.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Permana, "Indonesia hasilkan 67 juta ton sampah pada 2019," 2019. <https://www.aa.com.tr/id/headline-hari/indonesia-hasilkan-67-juta-ton-sampah-pada-2019/1373712>.
- [2] A. Setiawan, "Membenahi Tata Kelola Sampah Nasional," 2021.

<https://indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/2533/membenahi-tata-kelola-sampah-nasional>.

- [3] Sukamta, A. Wiranata, and Thoharuddin, "Pembuatan Alat Incinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil," *Semesta Tek.*, vol. 20, no. 2, pp. 147–153, 2017.
- [4] Z. Zulfahmi, "Fabrikasi insinerator portabel untuk kebutuhan Puskesmas," *J. POLIMESIN*, vol. 14, no. 2, p. 42, 2017, doi: 10.30811/jpl.v14i2.342.
- [5] F. Rhozman and M. M. Ilham, "Analisa dan evaluasi rancang bangun insinerator sederhana dalam mengelola sampah rumah tangga," *J. Mesin Nusant.*, vol. 2, no. 1, pp. 52–60, 2019, doi: 10.29407/jmn.v2i1.13442.
- [6] M. S. L. dan H. Hermansyah, "Rancang Bangun Insinerator Dua Tahap (Solusi Mengatasi Polusi Udara Pada Pembakaran Sampah)," *Jur. Fis. Fak. Sains dan Teknol. Univ. Islam Negeri Alauddin Makassar*, vol. 4, no. 1, pp. 38–48, 2017.
- [7] G. L. Prakash, S. Saju, S. Mitra, and V. Sharma, "Neural Network based decision support system for optimal incinerator control," *2014 IEEE Int. Symp. Signal Process. Inf. Technol. ISSPIT 2014*, pp. 315–320, 2015, doi: 10.1109/ISSPIT.2014.7300607.
- [8] E. H. Nurul, "Uji Kemampuan Pengoperasian Insinerator Untuk Mereduksi Limbah Klinis Rumah Sakit Umum Haji Surabaya," *J. Rekayasa Perenc.*, vol. 4, pp. 9–18, 2007.
- [9] A. Chettri, "Design and Development of Semi- Automatic Electrical Incinerator Using Arduino," pp. 2019–2021, 2019.
- [10] A. Desiarista and M. Mirwan, "Peningkatan Kinerja Insinerator Sampah Medis Berdasarkan Waktu dan Suhu Pembakaran," *J. Purifikasi*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [11] I. Abdullah *et al.*, "Desain Insinerator Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 34–43, 2019, doi: 10.30596/rmme.v2i1.3067.
- [12] F. I. Pasaribu, A. A. H, N. Evalina, and C. Cholish, "PKPM Pengolahan Sampah Bakar Ramah Lingkungan Muhammadiyah Menggunakan Rancang Bangun Insinerator," *Ihsan J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 21–31, 2020.
- [13] D. P. Dewanti, A. Ma'rufatin, R. Oktivia, and R. A. Pratama, "Kebutuhan Karbon Aktif Untuk Pengurangan Dioksin Pada Gas Buang Cerobong Insinerator Pengolahan Sampah Domestik," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 13, no. 1, 2020, doi: 10.29122/jrl.v13i1.4292.
- [14] B. Z. Jawahar, V. Naresh, R. Prithiviraj, C. Vignesh, and J. Sugumaran, "Design and fabrication of fluidized bed incinerator," *2019 IEEE Int. Conf. Syst. Comput. Autom. Networking, ICSCAN 2019*, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1109/ICSCAN.2019.8878792.
- [15] P. Leninpugalhanthi, G. Bharanidaran, T. Bahiradhan, E. Abirami, R. Anandh, and R. S. Kumar, "Enhanced Smart Waste Management System with Incinerator Compartment," *2021 7th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2021*, pp. 1313–1317, 2021, doi: 10.1109/ICACCS51430.2021.9441785.
- [16] W. Purwanta, "Evaluasi Penerapan Insinerator Sampah Skala Kecil di TPST Kabupaten Sidoarjo," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 1, pp. 001–008, 2021, doi: 10.29122/jtl.v22i1.4199.