

Pengembangan *Incinerator* dengan Sistem Kondensor Bertingkat Sebagai Upaya Penurunan Emisi Gas CO₂ pada Pembakaran Sampah Plastik di Kota Gorontalo

Development of an Incinerator with a Multi-Stage Condenser System as an Effort to Reduce CO₂ Emissions Gas from Plastic Waste Burning in Gorontalo City

Yusuf H. Usman¹, Raghel Yunginger^{1*}, Meilan Demulawa¹, Salmawaty Tansa², Mohamad Jahja¹, Muhammad Yunus¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia, 96119

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia, 96119

Email: yusufusman319@gmail.com, *raghel@ung.ac.id, meilan.demulawa@ung.ac.id, salmawatyansa@ung.ac.id, mj@ung.ac.id, muhammadyunus.unhas@gmail.com

Received: 14th October 2025; Revised: 19th November 2025; Accepted: 21th November 2025

Abstrak – Volume sampah plastik di kota Gorontalo terus meningkat tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang memadai, sehingga masyarakat masih mengandalkan metode pembakaran terbuka. Perilaku ini tidak hanya mencemari lingkungan secara visual, tetapi juga melepaskan emisi gas rumah kaca, khususnya gas CO₂, yang dapat berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara dan pada akhirnya turut mempengaruhi terjadinya perubahan iklim. Pada penelitian ini telah dikembangkan prototipe *incinerator* pembakaran sampah yang ramah lingkungan dengan emisi gas CO₂ yang lebih rendah melalui penerapan sistem kondensor bertingkat. *Incinerator* yang dikembangkan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu ruang bakar sebagai tempat pembakaran sampah plastik, cerobong asap untuk pengaliran gas buang, dan kondensor asap bertingkat yang berfungsi mendinginkan serta mengendapkan sebagian emisi gas sebelum dilepaskan ke udara. Pengujian dilakukan dengan membakar 1,5 kg sampah plastik selama 20 menit dalam dua kondisi: pembakaran pada alat tanpa kondensor dan pada alat yang menggunakan kondensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sistem kondensor tiga tingkat dapat menurunkan secara signifikan konsentrasi emisi gas CO₂ sebesar 18,88% dibandingkan *incinerator* tanpa kondensator, sehingga *incinerator* dengan sistem kondensasi bertingkat dapat menjadi salah satu upaya teknis yang efektif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari proses pembakaran sampah plastik skala kecil.

Kata kunci: *Incinerator*; kondensor bertingkat; sampah plastik; emisi gas CO₂; pembakaran.

Abstract – The increasing plastic waste volume in Gorontalo City is not balanced by a good management system, making people choose to burn their waste in open space. Not only makes a bad scene, this burning emits dangerous gases such as CO₂ that contributes to poor air quality and climate change. This study has developed an environmentally friendly incinerator with a stacked condenser system that emits less CO₂ gas. This incinerator consists of three main components: a combustion zone, as the place where plastic waste is burned; a chimney, for the flowing of gas; and stacked condensers, for cooling and keeping the gas before emitting it out. We test the incinerator with and without condensers based on the CO₂ emission from 20 minutes' burning of 1.5 kg of plastic waste. The results show that an incinerator with a stacked condenser system can significantly reduce CO₂ gas emissions by 18.88% more than an incinerator without

condensers. This implies that incinerator with stacked condensers can be an alternative way to reduce CO₂ gas from open-space waste burning on a small scale.

Keywords: *Incinerator; multistage condenser; plastic waste; CO₂ Gas emissions; burning.*

1. Pendahuluan

Plastik merupakan bahan polimer sintetis yang tersusun dari molekul-molekul kecil melalui proses polimerisasi sehingga membentuk struktur molekul yang sangat stabil [1]. Sifat kimiawi ini menyebabkan plastik sulit terdegradasi secara alami dalam waktu singkat, sehingga limbah plastik yang terbuang ke lingkungan akan tetap berada dalam bentuk polimer selama bertahun-tahun bahkan puluhan tahun [2]. Ketika sampah plastik menumpuk di lingkungan tanpa penanganan yang tepat, hal ini tidak hanya menimbulkan pencemaran visual, tetapi juga berdampak langsung terhadap kualitas udara. Sampah plastik sering dibakar secara terbuka oleh masyarakat, menghasilkan asap pekat dan melepaskan berbagai gas berbahaya ke atmosfer. Proses pembakaran terbuka tersebut memperburuk polusi udara dan meningkatkan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), yang berkontribusi terhadap perubahan iklim [3–4].

Di Kota Gorontalo, penumpukan sampah plastik telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2023, volume sampah plastik antara 35–37% dari total timbunan sampah [5–6]. Angka ini mengindikasikan bahwa jenis sampah plastik merupakan komponen dominan dalam timbunan sampah perkotaan. Pembuangan yang tidak teratur dan kebiasaan masyarakat melakukan pembakaran sampah plastik secara terbuka menimbulkan polusi udara lokal, mengganggu kesehatan pernapasan masyarakat sekitar, serta memperburuk kualitas udara kota. Jika tidak ditangani secara tepat, penumpukan dan pembakaran plastik ini akan menimbulkan dampak lingkungan jangka panjang, termasuk degradasi kualitas udara, pencemaran tanah dan air, serta peningkatan risiko penyakit akibat paparan polutan.

Berbagai strategi telah dikembangkan untuk mengurangi timbunan sampah plastik, salah satunya melalui teknologi incinerator. Teknologi ini memungkinkan proses pembakaran berlangsung dalam sistem tertutup, sehingga dapat menekan polutan udara yang biasanya timbul akibat pembakaran terbuka [7]. Selain itu, incinerator mampu mengurangi asap, bau, radiasi panas, dan emisi langsung ke lingkungan, sekaligus berpotensi memanfaatkan energi panas hasil pembakaran untuk keperluan lain yang produktif [8]. *Incinerator* menawarkan solusi teknis yang lebih ramah lingkungan dan terkendali dibandingkan metode pembakaran konvensional.

Beberapa penelitian terdahulu telah dirancang berbagai prototipe *incinerator* dengan pendekatan yang berbeda-beda [9, 10]. Namun demikian, sebagian besar masih memiliki keterbatasan, terutama pada sistem pemurnian asap yang hanya menggunakan satu ruang filtrasi sederhana dan memanfaatkan minyak bekas sebagai bahan bakar tambahan, yang justru dapat meningkatkan polusi udara. Untuk itu perlu inovasi teknologi khususnya dalam sistem pengendalian emisi. Salah satu bentuk pengembangan penting adalah penerapan ruang kondensor asap bertingkat, yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemurnian gas buang dan menurunkan emisi CO₂ secara signifikan. Inovasi ini berpotensi menghasilkan incinerator yang lebih efektif dan ramah lingkungan, serta dapat diterapkan di tingkat masyarakat untuk membantu pengelolaan sampah plastik secara berkelanjutan.

Pengembangan mesin *incinerator (prototype)* yang pernah dirancang oleh Nugroho, Chandra, dan Salam, 2020 [1], Lasmana, Junaidi, dan Kurniawan, 2021 [11], Suryanto *et al*, 2022 [5], dan Narto dan Utari, 2023 [6]. Namun masih terdapat kekurangan, yaitu proses pemurnian asap menggunakan satu ruang filter asap, serta memanfaatkan minyak bekas (untuk mendukung proses pembakaran limbah) yang dapat menyebabkan polusi meningkat. Oleh karena itu, pada penelitian ini sangat penting melakukan modifikasi pada peralatan sebelumnya yaitu dengan membuat ruang kondensor asap menjadi tiga tahap.

2. Landasan Teori

Sampah adalah elemen tak terpisahkan dari keberadaan manusia, karena pada prinsipnya setiap individu akan menghasilkan sampah [7]. Sampah plastik merupakan jenis limbah anorganik yang menimbulkan

ancaman serius terhadap lingkungan, sebab selain jumlahnya yang kian meningkat, juga sulit mengalami proses penguraian secara alami [8].

Incinerator adalah perangkat yang dirancang khusus untuk membakar sampah pada suhu tinggi sehingga sampah dapat terbakar sepenuhnya [9]. Saat sampah dibakar menggunakan alat *incinerator*, suhu pembakaran bisa mencapai 500 hingga 1000 °C [11]. Mesin *incinerator* dapat menghasilkan asap cair, yang merupakan produk dari kondensasi hasil pembakaran langsung maupun tidak langsung [12]. Kondensasi adalah proses perubahan uap air menjadi bentuk cair yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara uap air dan permukaan yang suhunya lebih rendah, sehingga menyebabkan terbentuknya minyak [1]. Semakin rendah suhu air pada kondensor, semakin besar jumlah minyak yang dapat diperoleh [13]. Sistem ini diharapkan mampu mengurangi jumlah abu terbang atau partikel tersuspensi dalam gas buang. Dengan pembakaran yang terkendali emisi gas buang seperti CO₂ dapat dijaga tetap berada di bawah batas maksimum yang diizinkan [10].

Berdasarkan teori perpindahan panas, ruang bakar *incinerator* dengan bentuk silinder lebih disukai daripada bentuk kotak karena mampu menghasilkan distribusi panas yang lebih merata di dalam ruang bakar [14]. Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi dari satu tempat ke tempat lainnya [15]. Ada tiga cara perpindahan energi panas, yaitu melalui proses konduksi, konveksi, dan radiasi [16]. Perpindahan panas secara konduksi yakni proses perpindahan panas dari objek bersuhu tinggi ke objek bersuhu lebih rendah melalui medium yang tidak mengalami perpindahan massa [17]. Analisis perpindahan panas secara konduksi dapat menggunakan Persamaan (1) [18].

$$Q = \frac{2\pi kL (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \quad (1)$$

Q adalah laju perpindahan panas secara konduksi (dalam satuan W), k adalah konduktivitas termal bahan (W/m.K), L adalah panjang silinder (m), r_1 , r_2 adalah jari-jari dalam dan luar (m), dan $T_1 - T_2$ adalah gradien suhu terhadap radius (°C).

Perpindahan panas secara konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan benda padat dengan fluida (baik cair maupun gas) yang mengalir di sekitarnya. Analisis perpindahan panas secara konveksi dapat menggunakan Persamaan (2) [18].

$$Q = hc \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

hc adalah koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² K), A adalah luas perpindahan panas (m²), T_1 adalah suhu permukaan *incinerator* (°C) dan T_2 adalah suhu lingkungan sekitar dengan jarak tertentu (°C).

Perpindahan panas secara radiasi yaitu perpindahan panas dengan cara pancaran foton secara acak tanpa memerlukan media [17]. Perpindahan panas radiasi berlangsung lebih efisien di ruang hampa, berbeda dengan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi yang memerlukan media sebagai penyalur panas [19]. Oleh karena itu, perpindahan panas melalui radiasi dapat dianggap tidak signifikan atau kecil [20].

3. Material Dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan dengan model *Four-D*, yang dikembangkan oleh Sivasailam dkk, pada tahun 1974 [18]. Model ini terdiri atas empat tahapan utama: *define* (pendefinisian), *design* (perancangan), *develop* (pengembangan), dan *disseminate* (penyebaran). Pemilihan model *Four-D* didasarkan pada keunggulannya yang bersifat sistematis, terstruktur, mudah dipahami, dan sederhana untuk diimplementasikan. Dalam pelaksanaannya, tahapan model disesuaikan dengan kondisi subjek, lokasi, serta kebutuhan pengembangan di lapangan.

Adapun teknik analisis data yaitu menganalisis keefektifan alat *incinerator*, dengan mengukur konsentrasi emisi gas CO₂ selama proses pembakaran yang menggunakan alat ukur *air quality detector* Model T-Z01Pro. Selanjutnya menganalisis total laju perpindahan panas secara konduksi dan konveksi dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2), untuk mengetahui pengaruh kehilangan panas secara konduksi dan konveksi terhadap keefektifan alat *incinerator*. Sedangkan untuk material yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

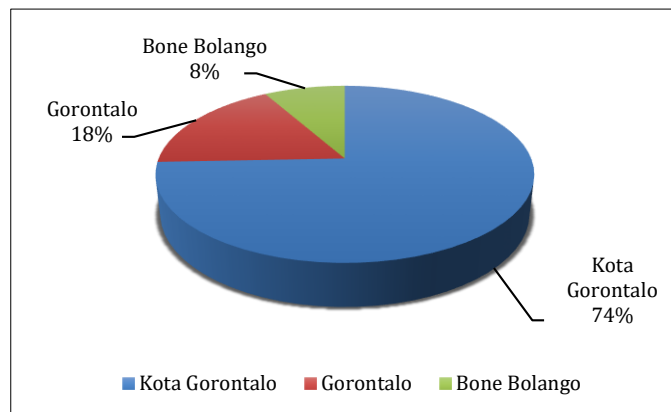
Tabel 1. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	Pasir, kerikil dan semen	Bahan dasar tungku pembakaran
2.	Pipa besi	Cerobong asap dan ruang kondensor
3.	Ember plastik	Menampung air pendingin kondensor
4.	Kawat las	Mengelas pipa cerobong dan ruang kondensor asap
5.	Botol bekas	Menampung asap cair

4. Hasil dan Pembahasan

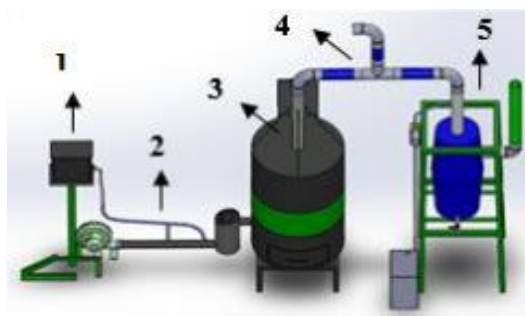
4.1 Hasil rancangan

Berdasarkan tahapan penelitian pengembangan model *Four-D*, maka pada tahap *define* dilakukan studi pendahuluan untuk menganalisis situasi dan mengidentifikasi permasalahan pengelolaan sampah plastik di Kota Gorontalo. Berdasarkan hasil kajian awal ditemukan bahwa, komposisi sampah plastik mencapai sekitar 35% dari total timbunan sampah, menjadikannya komponen utama dalam timbunan sampah di wilayah tersebut [21]. Hal ini diperkuat oleh data dari Kantor UPTD-TPA Talumelito [22] bahwa pada tahun 2023 Kota Gorontalo menjadi penyumbang sampah terbesar (74%) yang masuk ke TPA Talumelito, Kabupaten Gorontalo sekitar 18%, dan Kabupaten Bone Bolango sekitar 8% (Gambar 1). Hasil wawancara dengan Kepala Kantor UPTD TPA Talumelito menemukan bahwa sekitar 50% jenis sampah plastik yang masuk ke TPA Talumelito, dan sebagian besar (37%) dari jumlah sampah plasti tersebut berasal dari Kota Gorontalo.



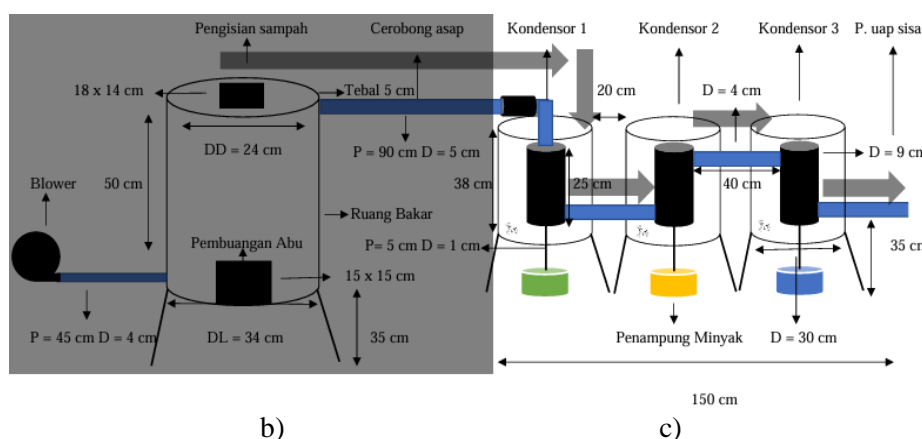
Gambar 1. Persentase sampah yang berasal dari Kota Gorontalo, Kabupaten Gorontalo dan Kabupaten Bone Bolango yang masuk di TPA Talumelito [22].

Permasalahan semakin besar volume sampah dan semakin rendah kapasitas TPA Talumelito menampung sampah, maka diperlukan desain *incinerator* yang rendah emisi CO₂. Penelitian ini mengembangkan penelitian yang dilakukan oleh Lasmana, Junaidi, dan Kurniawan (2021) [11], seperti yang ditampilkan pada Gambar 2a. Pada penelitian tersebut terdapat kekurangan pada proses pemurnian asapnya, menggunakan metode filterisasi dengan hanya terdiri dari satu ruang filter, masih memanfaatkan minyak bekas (oli bekas) yang dapat menyebabkan polusi meningkat, tidak menghasilkan bahan bakar alternatif. Oleh karena itu untuk tahap *design* penelitian ini, mengembangkan penelitian sebelumnya [11] yang desainnya disajikan pada Gambar 2b, penggunaan minyak bekas pada ruang bakar dihilangkan. Sedangkan pada Gambar 2c ruang filter asap diganti dengan ruang kondensor dan dirancang menjadi tiga tahap (kondensor 1, kondensor 2, dan kondensor 3). Dengan rancangan yang dikembangkan ini diharapkan dapat mengurangi lebih maksimal asap yang keluar dari proses pembakaran yang menjadi udara khususnya gas CO₂.



a)

Dimana 1) Tanki bahan bakar, 2) Burner oli, 3) Ruang pembakaran utama, 4) Cerobong asap, dan 5) Ruang tempat filterisasi.



b)

c)

Gambar 2. Desain prototipe *incinerator* sampah a) Desain Lasmana, b) dan c) Desain hasil penelitian.

Pada Gambar 2b dan 2c juga tampak cerobong asap yang berukuran diameter 4 cm dan panjang 90 cm. Pada bagian cerobong asap ini terdapat *knee* yang menghubungkan antara cerobong asap dan ruang kondensor, dimana ruang kondensor berdiameter 9 cm dengan tinggi 25 cm dan jarak setiap kondensor 40 cm. Pada ruang kondensor terdapat ember penampung air yang memiliki tinggi 38 cm dan diameter 30 cm dengan jarak setiap ember yaitu 20 cm. Penghubung setiap kondensor memiliki ukuran diameter 4 cm dengan jarak 40 cm setiap kondensor. Pada ruang kondensor juga terdapat saluran kecil yang memiliki diameter 1 cm dan panjang 5 cm yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya minyak hasil destilasi. Landasan ruang kondensor dirancang dengan tinggi 35 cm dan panjang 150 cm.

Hasil rancangan ruang kondensor Gambar 3a, ruang kondensor dibagi menjadi tiga bagian yang sama, yaitu kondensor 1, kondensor 2, dan kondensor 3. Bahan utama yang digunakan adalah pipa besi dan ember plastik. Setiap ember dilengkapi dengan saluran pipa yang terhubung satu sama lain, sehingga ketiga ember tersebut membentuk satu sistem kondensasi terpadu. Selanjutnya, Gambar 3b memperlihatkan adanya saluran minyak hasil proses destilasi dari masing-masing kondensor. Detail rancangan saluran tersebut dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 3c, yang menampilkan desain kondensor asap dari arah luar ruang kondensor.

Penambahan ruang kondensor menjadi tiga tahap bertujuan untuk memperluas permukaan perpindahan panas secara konveksi, sehingga proses pertukaran uap panas dengan fluida pendingin menjadi lebih lama, sehingga terjadi peningkatan efisiensi pada ruang kondensor. Pembagian ruang kondensor ini memungkinkan uap hasil pembakaran melewati beberapa tahap pendinginan secara bertingkat sehingga proses destilasi uap berlangsung secara optimal.

Desain alat dibuat berkelok-kelok agar terjadi penurunan kecepatan aliran yang memungkinkan interaksi antara uap panas dengan fluida pendingin pada dinding kondensor menjadi lebih lama. Dengan demikian dapat terjadi pengendapan partikel seperti CO_2 dan polutan lainnya berubah dari uap panas menjadi cair. Dengan desain ruang kondensor yang komprehensif ini, sistem diharapkan mampu mengoptimalkan pengurangan emisi CO_2 sekaligus memperbaiki efisiensi proses pendinginan dan destilasi dalam pengelolaan limbah pembakaran sampah plastik. Menurut Naryono & Soemarno, (2013)

[10], dengan pembakaran yang terkendali atau menggunakan sistem destilasi, emisi gas buang seperti CO₂ dapat dijaga tetap berada di bawah batas maksimum yang diizinkan.



Gambar 3. Rancangan ruang kondensor.

4.2 Hasil pengujian

Pada tahap penelitian pengembangan ini khususnya tahap *development* (pengembangan), pengujian dilakukan untuk menilai keefektifan *design incinerator* dengan membandingkan hasil pembakaran dari *incinerator* tanpa menggunakan kondensor dan dengan hasil pembakaran tanpa menggunakan kondensor. Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi CO₂ yang dihasilkan pada proses pembakaran sampah plastik selama 20 menit, seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran laju perpindahan panas dan konsentrasi CO₂.

t (min)	Pembakaran Tanpa Kondensor			Pembakaran Menggunakan Kondensor			CO ₂ Alami (ppm)
	Q _{konduksi} (W)	Q _{konveksi} (W)	\bar{X} CO ₂ (ppm)	Q _{konduksi} (W)	Q _{konveksi} (W)	\bar{X} CO ₂ (ppm)	
20	234,45	602,23	727,60	232,04	529,52	590,20	420 – 422

Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa nilai rata-rata konsentrasi CO₂ dari hasil pembakaran dengan alat *incinerator* tanpa kondensor lebih besar dibandingkan pada yang menggunakan kondensor. Konsentrasi CO₂ berkurang sekitar 18,88% dari pada hasil pembakaran dengan alat *incinerator* tanpa kondensor. Akan tetapi masih lebih besar dari pada konsentrasi CO₂ di atmosfer sebagaimana tampak pada Tabel 2.

Pada proses pembakaran menggunakan kondensor, panas hilang secara konduksi dan konveksi lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran tanpa kondensor, dimana selisih panas hilang secara konduksi sekitar 2,41 W, sedangkan selisih panas hilang secara konveksi sekitar 72,71 W, yang seharusnya secara nyata hasil dari pembakaran menggunakan kondensor CO₂ nya lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran tanpa kondensor. Dimana panas hilang secara konduksi dari 234,45 W turun menjadi 232,04 W saat menggunakan kondensor, sedangkan panas hilang secara konveksi dari 602,15 W turun menjadi 529,52 W saat menggunakan kondensor, yang seharusnya secara fisik, hasil dari pembakaran menggunakan kondensor CO₂-nya lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran tanpa kondensor. Hal ini

sesuai dengan pernyataan yang disampaikan oleh W.A. Nugroho, Lutfi, dan Nuriawan (2016) [23], dimana semakin kecil energi pembakaran yang hilang maka semakin tinggi efisiensi pembakaran, sebaliknya semakin besar energi pembakaran yang hilang maka efisiensi pembakaran semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa ketika panas hilang semakin rendah dari proses pembakaran, maka reaksi pembakaran di dalam ruang bakar semakin baik (Perpindahan panas berbanding terbalik dengan karbon dioksida yang dihasilkan). Akibatnya produksi CO_2 mengalami peningkatan dan produksi CO mengalami penurunan.

Pada *incinerator* yang menggunakan kondensor, ternyata parameter panas hilang secara konveksi dan konsentrasi CO_2 yang dihasilkan oleh *incinerator* mengalami penurunan (berbanding lurus), meskipun masih lebih tinggi dibanding konsentrasi CO_2 alami udara sekitar (420-422 ppm). Peristiwa ini diakibatkan karena pada *prototype incinerator* hasil penelitian terdapat tiga ruang kondensor asap yang diperkirakan berfungsi menurunkan konsentrasi CO_2 dari proses pembakaran.

Penurunan konsentrasi CO_2 akibat penggunaan kondensor diperkirakan terjadi karena, kondensor menurunkan suhu gas hasil pembakaran sehingga terjadi proses destilasi, yaitu perubahan fase dari gas menjadi cairan. Pada proses destilasi terjadi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, dimana gas panas yang mengandung CO_2 mengalir secara konduksi dari ruang bakar menuju ruang kondensor akibat dari perbedaan suhu dan turbulensi (konveksi paksa), kemudian terjadi proses penukaran panas antara permukaan luar pipa dengan fluida pendingin sehingga suhu gas dalam ruang kondensor menurun dan suhu fluida meningkat. Penurunan suhu gas ini menyebabkan uap udara dan sebagian gas di dalam asap mengembun menjadi cairan, sehingga sebagian senyawa polutan seperti CO_2 ikut terperangkap dalam fase cair tersebut akibatnya konsentrasi gas pencemar di gas buang berkurang. Dengan demikian, kondensor membantu memperbaiki kondisi gas pembuangan khususnya karbon dioksida, sehingga berdampak positif dalam menurunkan polusi dan emisi gas rumah kaca.

Adapun penyebab masih tingginya kadar CO_2 dalam gas buang disebabkan oleh kurangnya keefektifan ruang kondensor dalam hal menurunkan suhu gas buang secara optimal, sehingga proses destilasi uap air dan pemisahan polutan seperti CO_2 kurang maksimal. Efektivitas kerja kondensor sangat dipengaruhi oleh beberapa kondisi operasional yang saling berkaitan, seperti suhu air pendingin yang digunakan, desain fisik pipa kondensor, serta durasi atau waktu kontak antara gas buang yang mengandung polutan dengan media pendingin. Suhu air pendingin yang terlalu tinggi dapat menurunkan kemampuan kondensor dalam mendinginkan dan mengembunkan uap gas, sehingga proses pemisahan senyawa pencemar seperti karbon dioksida dan partikel berbahaya menjadi kurang optimal.

Selain itu, desain pipa kondensor meliputi panjang, diameter, serta tata letak pipa memegang peranan penting dalam menentukan seberapa lama gas buang dapat bersentuhan dengan media pendingin. Waktu kontak yang lebih panjang antara gas dan media pendingin memungkinkan proses kondensasi berlangsung lebih menyeluruh, sehingga konsentrasi gas pencemar yang keluar dari sistem dapat berkurang secara signifikan. Oleh karena itu, optimalisasi ketiga faktor tersebut (suhu air pendingin, desain pipa, dan waktu kontak) merupakan kunci utama dalam meningkatkan performa kondensor dalam mengurangi emisi gas pencemar dan mendukung terciptanya proses pembakaran yang lebih ramah lingkungan.

Pipa yang digunakan pada ruang kondensor yakni pipa besi yang mampu menghantarkan panas dengan baik agar uap panas dari asap cepat kehilangan energi panasnya dan terkondensasi menjadi cairan serta tahan terhadap korosi dan suhu.

5. Kesimpulan

Telah berhasil dirancang *prototype incinerator* dengan 3 ruang kondensor sehingga memperluas permukaan perpindahan panas secara konveksi, memungkinkan uap panas berinteraksi lebih lama dengan fluida pendingin. Dengan pendinginan bertahap pada tiap bagian, efisiensi perpindahan panas meningkat dan proses destilasi uap berlangsung lebih optimal. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa konsentrasi CO_2 hasil pembakaran sampah plastik pada alat *incinerator* dengan kondensator 3 tahap lebih rendah dari pada *incinerator* tanpa kondensor. Konsentrasi CO_2 dari *incinerator* dengan kondensor 3 tahap masih lebih tinggi dari pada CO_2 di atmosfer.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada UPTD TPA Talumelito Provinsi Gorontalo yang telah memberikan data yang diperlukan oleh penulis sekaligus telah berdiskusi dalam perancangan *prototipe*. Ucapan terima kasih juga kepada rekan mahasiswa Jurusan Fisika UNG dan keluarga yang membantu kelancaran perancangan

prototipe incinerator dengan 3 ruang kondensor.

Pustaka

- [1] Nugroho S, Chandra I and Salam R.A. 2020. Potensi Kadar Konsentrasi CO₂ Dan PM_{2.5} yang dihasilkan dari Pembakaran Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Insinerator *Jurnal e-Proceeding of Engineering* **7** 1312–9
- [2] Fauzi M, Efizon D, Sumiarsih E, Windarti, Rusliadi, Putra I and Amin B. 2019. Pengenalan dan Pemahaman Bahaya Pencemaran Limbah Plastik pada Perairan di Kampung Sungai Kayu Ara Kabupaten Siak *Unri Conference Series: Community Engagement* **1** 341–6
- [3] Cruz M.B, Saikawa E, Hengstermann M, Ramirez A, McCracken J.P and Thompson L.M. 2023. Plastic Waste Generation and Emissions From the Domestic Open Burning of Plastic Waste in Guatemala *Environ. Sci.: Atmos.* **3** 156–67
- [4] Filho W.L, Barbir J, Carpio-Vallejo E, Dobri A and Voronova V. 2025. Decarbonising the Plastic Industry: A Review of Carbon Emissions in the Lifecycle of Plastics Production *Science of the Total Environment* 999 1–5
- [5] Suryanto S, Mulyadi M, Mustam U.K and Sapan M.A. 2022. Rancang Bangun Prototipe Insenerator Untuk Sampah Rumah Sakit dengan Teknologi Pengendalian Polusi Udara *Sinergi* **20** 215–24
- [6] Narto A and Utari R. 2023. Implementasi Alat Pembakar Sampah (Insinerator) Dalam Penanggulangan Sampah dari Pengoperasian Kapal *Jurnal Saintek Maritim* **24** 49–60
- [7] Raharjo S and Geovani R. 2015. Studi Timbulan, Komposisi, Karakteristik, dan Potensi Daur Ulang Sampah Non Domestik Kabupaten Tanah Datar *Dampak* **12** 27
- [8] Paryono, Diniariwisan D, Hilyana S, Amir S, Himawan MR, Maylanda D.A, Ardiansyah A, Rahman I, Lestariningsih W.A, Jefri E, Nurliah N, Larasati C.E, Waspodo S, Wahyudi R, Sakina S.L, Gigentika S, Damayanti A.A and Astriana B.H. 2023. Pemahaman Tentang Pengelolaan Sampah Plastik pada Siswa Kelas 6 SDN 4 Jerowaru *pepadu* **4** 513–9
- [9] Hidayat T and Saefulloh A. 2022. Perawatan Carryroller Belt Conveyor C101 Pada Mesin Incinerator dengan Metode Fishbone Diagram di PT Fajar Surya Wisesa, Tbk *JUTIN* **3** 47–52
- [10] Naryono E and Soemarno. 2013. Perancangan Sistem Pemilahan, Pengerinan dan Pembakaran Sampah Organik Rumah Tangga *Journal Indonesian Green Technology* **2** 27–36
- [11] Lasmana A, Junaidi and Kurniawan E. 2021. Rancang Bangun Alat Pembakar Sampah (Incinerator) dengan Burner Oli Bekas *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin* **2** 35–40
- [12] Anggraini M, Azriadi E, Munti N Y S and Sari R K. 2022. Analisis Proses Pembuatan Arang dan Asap Cair pada Insineraor Ramah Lingkungan *JUTIN* **5** 172–84
- [13] Ridhuan K, Irawan D and Inthifawzi R. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang dihasilkan *Turbo* **8** 69–78
- [14] Ramadhani S, Aswara D and Azriadi E. 2022. Perancangan Insinerator Ramah Lingkungan Penghasil Arang dan Asap Cair *JUTIN* **5** 80–93
- [15] Mursadin A and Subagyo R. 2016. Bahan Ajar Perpindahan Panas I HMKK 453
- [16] Jamaludin P MP. 2018. Perpindahan Panas dan Massa pada Penyangraian dan Penggorengan Bahan Pangan
- [17] Puspawan A, Pangestu M A and Suandi A. 2020. The Heat Transfer Flow Analysis of Standard Plate Stell of JIS G3106 Grade SM20B on Pre-Heating Joint Web Plate I- Girder Process Case Study in PT. Bukaka Teknik Utama, Bogor Regency, West Java Province *Jurnal Rekayasa Mekanik* **4** 1–8
- [18] Priyonggo H A, Ali J and Damis Widiawaty C. 2019. Perancangan Kondensor Asap Hasil Pembakaran Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate pada Mesin Pembakar Sampah **1** 554–62
- [19] Nabila R A, Yerizam M and Purnamasari I. 2023. Laju Perpindahan Panas Konduksi dan Konveksi pada Pengerinan Pulp Campuran “TKKS” dan Pelepap Pisang dalam Tray Dryer *Jurnal Pendidikan Tambusai* **7** 24891–903
- [20] Wardhani V I S. 2015. Prediksi Karakteristik Termofluida Proses Perpindahan Panas di dalam Ruang Bakar Incinerator *Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* **16** 43–52
- [21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2023 SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (Online)

- [22] Kantor UPTD-TPA Talumelito 2023 Daftar Volume Sampah yang Masuk di UPTD-TPA Talumelito Wilayah Kota Gorontalo, Gorontalo dan Bone Bolango Selang Bulan Januari s/d Desember 2023
- [23] Nugroho W A, Lutfi M and Nuriawan I B A. 2016. Uji Kinerja Tungku Biomassa Menggunakan Blower Berdasarkan Variasi Tegangan dan Jenis Bahan Bakar *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* **4** 222–9.