

Analisa Kinerja Alat Incenerator Pembakar Sampah Tanpa Asap Yang Ramah Lingkungan

Kemas Ridhuan^{1*}, Asroni², Riyan Agung P³, Zulfahmi Ahmad⁴

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

³Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

⁴Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro

Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung

*Corresponding author: kmsridhuan69@gmail.com

Abstract

Direct burning of waste can cause air pollution because it produces CO, NOx, SOx, HC and CO2 gases which can affect human health. Burning waste that is safe and does not cause environmental pollution is by using an incinerator. Burning waste in the incinerator produces no smoke, because the smoke has been cleaned in the Scubber using an air sputter. The process of burning waste in an incinerator uses used oil waste as fuel. The aim of this research is to determine the combustion capacity, the amount of used oil waste fuel used, the burning time and the CO and CO2 levels of the smoke that is cleaned. The research method used was testing the incinerator, using 10 kg of inorganic waste such as plastic, rubber and paper. Then burned in cember using a burner fueled by used oil with a fuel flow rate of 40 ml/minute. then the smoke from burning waste will flow into the scourber and be cleaned with atomized air. The research results show that 10 kg of inorganic waste can be burned in cember for 36 minutes or the capacity of the incinerator is 17.6 kg/hour, with the highest combustion temperature in cember being 565.6°C or producing a combustion heat Q of 67,685 kJ. Then the remaining combustion results are in the form of plastic lumps amounting to 1.2 kg. And the temperature of exhaust smoke into the environment is 54.5 °C.

Keywords: Incinerator, Garbage, Smoke, Combustion, Scubber.

Abstrak

Pembakaran sampah secara langsung dapat mengakibatkan pencemaran udara karena menghasilkan gas CO, NOx, SOx, HC dan CO2 yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Pembakaran sampah yang aman dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan yaitu dapat menggunakan alat insenerator. Pembakar sampah pada insenerator tanpa menghasilkan asap, karena asap sudah dibersihkan di Scubber dengan menggunakan air spuyer. Proses pembakaran sampah pada incenerator menggunakan bahan bakar limbah oli bekas. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kapasitas pembakaran, jumlah bahan bakar limbah oli bekas yang digunakan, lama waktu pembakaran serta kadar CO dan CO2 asap yang dibersihkan. Metode penelitian yang dilakukan yaitu melakukan pengujian pada alat incenerator, dengan menggunakan sampah anorganik seperti plastik, karet dan kertas sebanyak 10 kg. Kemudian dibakar di cember menggunakan burner berbahan bakar oli bekas dengan debit aliran bahan bakar 40 ml/menit. lalu hasil asap pembakaran sampah akan mengalir ke scubber dan dibersihkan dengan air yang dikabutkan. Hasil penelitian menunjukkan sampah anorganik sebanyak 10 kg dapat dibakar di cember selama 34 menit atau kapasitas alat insenerator tersebut berkapasitas 17,7 kg/jam, dengan suhu pembakaran tertinggi di cember sebesar 565,6°C atau menghasilkan kalor pembakaran Q sebesar 67.685 kJ. Kemudian sisa hasil pembakaran berupa bungkahan plastik sebesar 1,2 kg. Dan suhu asap pembuangan ke lingkungan sebesar 54,5 °C.

Kata kunci: Insenerator, Sampah, Asap, Pembakaran, Scubber

1. Pendahuluan

Sampah merupakan suatu bahan bekas atau buangan sisa hasil dari usaha atau kegiatan yang sudah tidak bermanfaat lagi, bahkan menjadi bahan yang akan menimbulkan masalah atau persoalan. Sampah setiap hari akan terus dihasilkan dan

tidak akan pernah berhenti selama manusia tetap ada. Jumlah sampah akan terus bertambah seiring bertambahnya jumlah penduduk, disertai dengan perubahan pola konsumsi, dan gaya hidup masyarakat. Jumlah sampah akan terlihat jelas di tempat penampungan akhir sampah (TPAS).

Keberadaan sampah dapat menimbulkan beberapa masalah terhadap kesehatan juga mengganggu kelestarian fungsi lingkungan. Lingkungan tampak akan menjadi terlihat kumuh, kotor dan jorok yang menjadi tempat berkembangnya organisme patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia [1]. Sampah berpotensi sebagai sumber penyebaran penyakit, maka harus segera diatasi dan ditangani. Cara sederhana yang biasa dilakukan oleh banyak orang dan paling mudah diantaranya yaitu membakar sampah itu, seperti membakar sampah di dalam sebuah drum atau bak sampah.

Pembakaran sampah akan menimbulkan permasalahan selanjutnya yaitu menghasilkan asap yang cukup tinggi [2] dan asap dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan udara karena menghasilkan gas pencemar udara. Menurut [3] [4] [5] Gas pencemar udara yang paling dominan mempengaruhi kesehatan manusia yaitu karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), belerang oksida (SO_x), hidro karbon (HC) dan partikel (particulate) serta gas rumah kaca carbon dioksida (CO₂). Menurut [6] pengaruh gas pencemar udara terhadap kesehatan manusia seperti: merusak susunan haemoglobin darah, penyakit ispa, iritasi tenggorokan, penyakit pneumokinesis, kardiovaskuler dan kanker.

Oleh karenanya pembakaran sampah harus dilakukan dengan tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan yaitu dengan menggunakan alat incenerator. Incenerator merupakan alat pembakar sampah tanpa menghasilkan asap karena asap tersebut telah dibersihkan dibagian unit yang bernama Scubber. Menurut [7] bahwa pada insinerator ada untuk membersihkan asap yaitu unit scrubbing basah untuk adsorpsi kering polutan organik dalam asap menggunakan bubuk arang aktif lokal. Asap atau keluar dari incenerator tidak lagi atau minimum mengandung gas pencemar udara.

Namun proses pembakaran yang terjadi pada alat incenerator tersebut memerlukan bahan bakar untuk membakar sampah tersebut. Bahan bakar yang biasa dipakai pada umumnya menggunakan bahan bakar gas ataupun minyak. Pengguna bahan bakar fosil tersebut dirasa kurang efisien, karena ada biaya untuk pembelian bahan bakar dan nilainya cukup besar sehingga meningkatkan biaya oprasional. Harga

bahan bakar fosil sekarang cenderung meningkat, karena diimport sehingga tergantung pada harga pasar global. Perlunya diupayakan penggunaan bahan bakar alternatif penggantinya, seperti bahan bakar alternatif limbah oli bekas [8]. Oli bekas merupakan minyak pelumas sisa pemakaian dari operasinal suatu mesin yang sudah tidak terpakai lagi dan dibuang. Masih banyak orang yang suka membuang oli bekas secara sembarangan dan ini dapat membahayakan lingkungan karena oli bekas merupakan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) [9]. Berdasarkan [10] Limbah oli mengandung senyawa Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) bersifat mutagenik sehingga dapat membahayakan ekosistem, mencemari air, tanah dan kesehatan manusia.

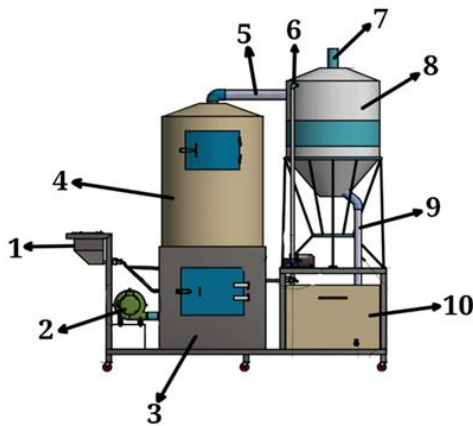
Limbah oli bekas lebih lanjut dapat diolah dan dimanfaatkan sebagai bahan yang lebih berguna. Pemanfaatan limbah oli bekas akan lebih efektif dan efisien jika digunakan sebagai bahan bakar. Oli bekas mengandung banyak bahan kimia. Hal ini membuatnya dapat terbakar. Menurut [11] penggunaan oli bekas salah satunya sebagai bahan bakar karena mengandung energi yang tinggi. Energi termal atau nilai kalor yang dihasilkan dari pembakaran oli bekas cukup besar. Dan oli bekas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi sebagai syarat dari bahan bakar. Menurut [12] bahwa energi pembakaran yang dihasilkan pada kompor berbahan bakar oli bekas sebesar 3,735 kal/detik.

Maka perlu dikaji mengenai pembakaran bahan bakar limbah oli bekas pada incenerator sampah yang ramah lingkungan pada efisien terbaiknya. Berapa banyak sampah yang dapat dibakar dengan menghabiskan berapa banyak bahan bakar oli bekas dan dengan waktu berapa lama. Dianalisa juga suhu pembakaran di ruang bakar dan suhu di scubber serta suhu gas asap yang dibuang ke lingkungan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan menguji kemampuan kerja alat insenerator dalam membakar sampah anorganik. Mengetahui perbandingan banyaknya sampah yang dibakar dengan bahan bakar oli bekas yang digunakan terhadap waktu proses

pembakaran sampah. Kemudian diukur juga suhu pembakaran sampah di *chamber*, suhu pembersihan asap di scrubber serta suhu asap buang ke lingkungan.



Gambar 1. Rangkaian Alat Incenerator
Keterangan:

- 1) Tabung oli
- 2) Blower
- 3) Burner
- 4) Ruang bakar (cember)
- 5) Pipa Penghubung
- 6) Pipa Spuyer
- 7) Pipa output asap
- 8) Tabung Wet Scrubber
- 9) Pipa output air
- 10) Bak penampung air

a) Alat insenerator, berbentuk silinder tinggi 140 cm dan diameter 80 cm. Tinggi ruang udara untuk pembakaran yaitu 30 cm. Diameter pipa saluran asap buang 15 cm dan panjang 45 cm. Dinding silinder dari bahan plat baja dengan tebal 3 mm dan bahan baja St. 37.

b) Scubber berbentuk silinder dengan tinggi 90 cm dan diameter 70 cm dari bahan plat baja dengan tebal 3 mm dan bahan baja St. 37. Menggunakan spuyer dengan mata pancaran air sebanyak 5 buah. Dengan debit aliran 11 liter permenit. Air pembersih dialirkan oleh pompa dengan daya 185 Watt

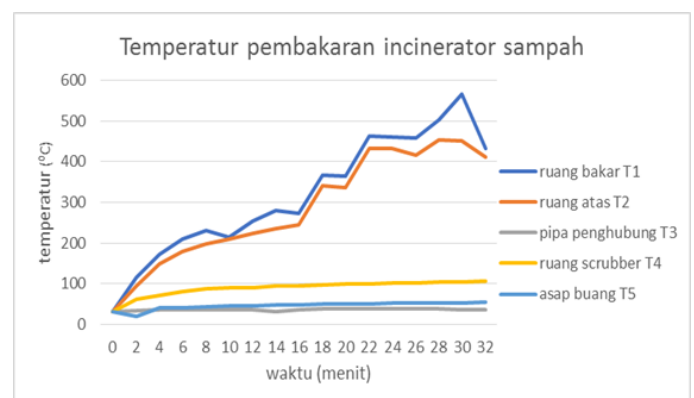
c) Burner pembakaran bahan bakar menggunakan bahan bakar oli bekas. Burner berbentuk silinder dengan diameter 20 cm dan tinggi 28 cm. Dan plat baja st 37 dengan tebal 4 mm. Menurut [13] ukuran diameter burner pembakaran sebaiknya

menyesuaikan luasan bidang permukaan yang akan dibakar. Semakin luas permukaan maka diameter burner sebaiknya dibuat lebih besar agbih ar nyala api pembakaran yang dihasilkan juga akan leih luas titik nyalanya.

c) Pengujian kerja alat insenerator di Laboratorium Teknik Mesin UM. Metro. Api pembakaran bahan bakar oli bekas diburner membakar sampah yang ada di cember. Asap pembakaran mengalir ke scrubber. Kemudian asap tersebut dibersihkan dengan menggunakan air yang semprotkan melalui 5 spuyer. Dan asap yang sudah dibersihkan akan keluar ke lingkungan melauai pipa output.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian pada alat Incenerator dengan sampah anorganik maka didapatkan data temperatur yang ditampilkan pada gambar 2 di bawah ini. Garis biru merupakan temperatur api ruang bakar menunjukkan peningkatan yang berarti seiring bertambahnya waktu juga banyaknya sampah yang terbakar dan pada menit ke 30 mencapai suhu yang paling tinggi yaitu 565°C. Jumlah dan jenis sampah akan mempengaruhi temperatur pembakaran yang dihasilkan [14]. Dan menurut [15] kadar air pada sampah juga mempengaruhi temperatur pembakaran.



Gambar 2. Temperatur pembakaran pada unit Incenerator.

Begitu juga dengan temperatur asap ruang atas yang meningkat tetapi nilainya lebih kecil. Namun temperatur scrubber cenderung konstan sekitar 98°C karena

adanya air pembersih asap. Juga temperature gas buang dan pipa penghubung cenderung sama dan konstan sekitar 52°C karena sudah diluar *chamber*.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Incenerator

Jumlah Sampah (kg)	Waktu Pembakaran (menit)	Abu Pembakaran (kg)
10	34	1,2

Kapasitas pembakaran

Kapasitas pembakaran (K_p) merupakan banyaknya sampah (m) yang dibakar dalam satu kali proses menghabiskan waktu (t), maka kapasitas pembakaran yaitu:

$$\begin{aligned} K_p &= m/t \\ &= (10 \text{ kg}) / (34 \text{ menit}) \\ &= 0,28 \text{ kg/menit} \\ &= 17,7 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Pada incinerator ini memiliki satu burner, yang berada di bawah sampah dan tangan. Untuk sampah yang berada di samping akan sulit terbakar dengan cepat. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi kapasitas pembakaran sampah pada incinerator, menurut [16] yaitu ukuran ruang bakar, jenis sampah, system pengumpulan sampah, distribusi udara dan burner. Semakin banyak sampah yang dibakar maka akan semakin banyak asap yang dihasilkan dan semakin banyak kadar CO₂-nya. Akan sulit untuk scrubber membersihkan asapnya dengan kadar CO₂ yang lebih kecil.

Kalor pembakaran sampah

Temperature pembakaran sampah yang dihasilkan cukup besar, dimana (m) merupakan banyaknya sampah dan (c) adalah kalor jenis sampah anorganik serta (ΔT) yaitu selisih temperatur awal dan akhir pembakaran maka besarnya kalor pembakaran (Q) yang terjadi pada ruang cember dari proses pembakaran sampah di diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= m.c. \Delta T \\ &= 10 \times 12.661 \times (565 - 31) \\ &= 67.685.706 \text{ J} \\ &= 67.685 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Untuk jumlah sampah yang dibakar dapat dibuat sebanyak 15 kg sampai maksimum 20 kg, namun hal ini akan berdampak pada temperature pembakaran yang sangat tinggi, sehingga dinding cember dapat melunak atau penyot. Karena pada suhu tinggi, ikatan antar atom dalam material akan melemah hingga akhirnya putus. Material akan berubah fase menjadi cair, kehilangan bentuk aslinya, dan menjadi lunak [17] [18].

Menurut [19] kecepatan aliran udara pada burner dapat juga menyebabkan kapasitas pembakaran incinerator pada sampah, semakin cepat aliran udara maka nyala api yang dihasilkan akan lebih besar namun jumlah bahan bakar akan boros. Berdasarkan [20] salah satu variable kinerja incinerator adalah api pembakaran pada burner, semakin besar nyala api pembakaran burner maka semakin banyak sampah yang akan terbakar dan temperature pembakaran juga akan tinggi.

Jumlah bahan bakar oli bekas

Pemakaian bahan bakar oli bekas sangat dipengaruhi oleh debit aliran bahan bakar oli bekas dan banyaknya sampah yang dibakar, ini berdampak ke lama waktu pembakaran sampah. Debit aliran bahan bakar oli bekas (Q_o) yaitu 60 ml/menit dan waktu pembakaran sampah (t) 36 menit. Maka jumlah bahan bakar oli bekas (G_o) yang terpakai sebanyak:

$$\begin{aligned} G_o &= Q_o \times t \\ &= 60 \text{ ml/menit} \times 34 \text{ menit} \\ &= 2.040 \text{ ml} \\ &= 2,04 \text{ liter} \end{aligned}$$

Untuk menghabiskan sampah sebanyak 10 kg, pembakaran incinerator memerlukan bahan bakar oli bekas sebanyak 2,16 liter. Menurut [21] debit aliran bahan bakar dapat meningkatkan nyala api

pembakaran pada burner, namun berdampak pada pemborosan bahan bakar. Sebenarnya distribusi aliran bahan bakar oli bekas dapat dihemat dengan cara menghentikan aliran bahan bakar setelah pembakaran berlangsung setengah proses atau pada menit ke 15. Karena pada saat itu sampah sudah terbakar sebagian besar, bahkan api pembakaran sampah tersebut bisa membakar sampah yang lainnya yang belum terbakar. Seperti menurut [22], pembakaran incinerator dapat diperlukan pada tahap penyalaan awal pembakaran. Setelah api menyala, hal ini tidak diperlukan lagi lebih dari itu, namun api dapat bertahan dengan sendirinya.

Presentase penurunan temperature pada incinerator

Temperatur merupakan ukuran yang penting dari suatu pembakaran terutama pada incinerator. Presentase temperature pada pengujian ini digunakan untuk mengetahui perbandingan perubahan suhu sebelum dan sesudah atau dari satu tempat terhadap tempat yang lain. Untuk mengetahui besar presentase penurunan temperatur (TSa) antara temperatur pembakaran sampah di ruang bakar incinerator (T1) dengan temperature yang dibuang ke udara luar (T5) dapat di peroleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} TSa &= \Delta T/T1. 100\% \\ &= (T1-T5)/T1. 100\% \\ &= (565,6-54,5)/565,6 \times 100\% \\ &= 90,3\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut terlihat bahwa temperature udara atau asap yang dibuang ke lingkungan sudah sangat kecil sekali yaitu 54,5°C setelah dari pembersihan di *scrubber* yaitu 90,3% dari suhu 565,6°C. Udara yang dibuang ke lingkungan tidak akan berdampak pada pemanasan global.

Persentase abu hasil pembakaran

Persentase jumlah abu hasil sisa pembakaran sampah (η_{ab}) diperoleh dari

perbandingan dari jumlah abu (ab) dengan jumlah sampah pembakaran (m) maka didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \eta_{ab} &= ab/m \times 100 \\ &= (1,2)/10 \times 100 \\ &= 12,0\% \end{aligned}$$

Jumlah abu atau sisa pembakaran sampah anorganik cukup sedikit sekali yaitu 1,2 kg atau 88,0% dari jumlah awal sampah. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan sampah dengan pembakaran incinerator ini cukup signifikan dapat mengurangi volume sampah yang ada. Karena ada sekitar 9,8 kg massa sampah yang dapat dimusnakan atau lenyap dalam waktu 32 menit dari muka bumi. Sehingga nantinya tidak ada lagi sampah yang memenuhi tempat. Banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil abu sisa pembakaran diantaranya karakteristik sampah seperti kandungan air, jenis dan ukuran sampah. Desain incinerator dan kondisi Operasional Incinerator.

Persentase penurunan kadar CO₂ dan CO

Kadar CO₂ dan CO adalah limbah gas hasil pembakaran yang mengandung polutan berbahaya. Untuk upaya menurunkan kadar karbon dioksida (CO₂) yaitu dengan cara membersihkan asap hasil pembakaran dengan air melalui spuyer di ruang *scubber* yang berjumlah 5 buah dengan ukuran lubang *nozzle* 0,8 mm berbahan tembaga. Di mana (CO₂ 1) merupakan kadar CO₂ dari proses tanpa air pendingin dan (CO₂ 3) merupakan kadar CO₂ dengan proses air pendingin. Maka persentase kadar CO₂ yang dapat dikurangi (CO₂') oleh incinerator ini dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} CO_2' &= \Delta CO_2 / CO_2 \times 100\% \\ &= (CO_2 1 - CO_2 3) / CO_2 1 \times 100\% \\ &= (5000 \text{ ppm} - 3535 \text{ ppm}) / 5000 \text{ ppm} \times 100\% \\ &= 29,3 \% \end{aligned}$$

Atau menjadi sekitar 70,7 % kadar CO₂ yang dihasilkan yang asapnya dibuang ke lingkungan.

Dan untuk kadar karbon monoksida (CO) juga dihitung. Dimana (CO 1) merupakan kadar CO tanpa air pendingin dan (CO 3) merupakan kadar CO dengan air pendingin. Maka persentase kadar CO yang dapat dikurangi (CO') oleh incinerator ini dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CO}' &= \Delta\text{CO}/\text{CO} \times 100\% \\ &= (\text{CO 1} - \text{CO 3}) / \text{CO 1} \times 100\% \\ &= (4790 \text{ ppm} - 2883 \text{ ppm}) / 4790 \text{ ppm} \times 100\% \\ &= 39,81 \% \end{aligned}$$

Atau menjadi sekitar 60,19 % kadar CO yang dihasilkan yang asapnya dibuang ke lingkungan.

Ada batasan yang menetapkan kandungan CO₂ di dalam dan di luar ruang sebagai indikator kualitas udara. Konsentrasi CO₂ yang dapat ditolerir yang dikandung udara di dalam ruang kurang dari 1000 ppm sedangkan udara di luar 300 – 500 ppm [23]. Berdasarkan Batasan/peraturan tersebut maka incinerator ini perlu dikembangkan lebih lanjut terkait gas CO₂ yang dihasilkan agar lebih baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa dari pengolahan data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa incinerator pembakar sampah ini dengan menggunakan burner pembakaran bahan bakar oli bekas mampu membakar sampah anorganik dengan cara pengumpanan secara langsung didapat hasil kapasitas pembakaran sampah sebesar 17,7 kg/jam. Dengan temperatur pembakaran sampah yang terjadi di ruang cember cukup tinggi yaitu 565,6 °C. Hal ini direduksi temperaturnya di scrubber dengan pembersihan asapnya menggunakan penyemprotan spuyer air menjadi sebesar 90,3% sehingga suhu asap yang dibuang ke lingkungan sebesar 54,5 °C sehingga aman sekali.

Kemudian kadar palutan asap pembakaran sampah yang dapat mencemari lingkungan sebelum dibuang ke luar mampu dikurangi tingkat limbah atau polusi pencemaran udaranya pada asap yaitu kadar

CO₂ sebesar 70,7 % dan kadar CO sebesar 60,19 %. Selain itu incinerator ini juga memiliki dampak positif lainnya yaitu mampu mengurangi jumlah keberadaan limbah oli bekas yang ada yaitu sebanyak 2,04 liter yang digunakan sebagai bahan bakarnya

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Metro yang telah memberikan bantuan dana penelitian ini, dan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Metro atas bantuan dana penelitian OPR (Operasional Penelitian Rutin) tahun akademik 2021/2022, serta rekan-rekan di jajaran Program studi Teknik Mesin UM.Metro yang telah mambantu, dan tidak lupa Mahasiswa Teknik Mesin yang terlibat dalam penelitian ini. Terima kasih semuanya.

Referensi

- [1] Eprianti, Nanik., Dewi Himayasari, Neng., Dkk, 2021, Analisis Implementasi 3R Pada Pengelolaan Sampah, Jurnal Ecoment Global, Volume 6 Nomor 2, P-ISSN : 2540-816X, E-ISSN : 2685-6204
- [2] Lestari, P., Kartika, D. S. Y., Nurcholis, M., Rimadhani, T. D., Piecesha, R. F., & Rahadian, R. R. (2023). Pembuatan teknologi tepat guna alat pembakar sampah pada wisata Grojogan Selo Gonggo. *Income: Indonesian Journal of Community Service and Engagement*, 2(1), 29-36.
- [3] Sugiarti (2009), Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia, *Jurnal Chemi ca Vo/. 10 No mo r 1*, hal 50-58.
- [4] Saidal Siburian, M. M., & Mar, M. (2020). *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca. Kreasi Cendekia Pustaka.*

- [5] Hidayat, A., Bungin, E. R., Muliawan, I. W., Masgode, M. B., Rachman, R. M., Sarie, F., ... & Rustam, M. S. P. A. (2023). *Polusi dan Lingkungan*. Tohar Media.
- [6] Maksum, T. S., & KM, S. (2022). *Epidemiologi Dan Ekologi Dalam Kesehatan Lingkungan*. Kesehatan Lingkungan dan Lingkungan Hidup, 33.
- [7] Adu, Ohene, Robert., Gyasi, Fosu, Samuel., Dkk, 2022, Design and construction of a gas filter system for hospital incinerators, Elsevier, *Environmental Challenges* 9 – 100651
- [8] Lutfi, M. (2021). Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar High Speed Diesel (HSD). *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 7(1), 57-62.
- [9] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun
- [10] Buana, R. A. D. L. L., & Sulastri, A. (2021). Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Oli Bekas Menggunakan Biokompostng. *Jurlis: Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura*, 2(1), 231-240.
- [11] T. I. Putra, N. Setyowati, and E. Apriyanto, 2019, "Identifikasi Jenis Dan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Rumah Tangga: Studi Kasus Kelurahan Pasar Tais Kecamatan Seluma Kabupaten Seluma," *Nat. J. Penelit.*
- [12] Kusnadi, Andi., Djafar, Romi., dkk., (2020), Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Kompor Yang Ramah Lingkungan, *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)* e-ISSN 2503-2992 p-ISSN 2502-485X, Volume 5 Nomor 2.
- [13] Pratama, Annasruddin., Basyirun, dkk., (2020), Rancang Bangun Kompor (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas, *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, Vol. 19 Nomor 2, Hal. 95.
- [14] Rudend, A. J., & Hermana, J. (2021). Kajian pembakaran sampah plastik jenis polipropilena (PP) menggunakan insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), D124-D130.
- [15] Afriza, L. (2016). *Analisa Pengaruh Kelembapan Sampah Kayu Dan Sisa Makanan Pada Incenerator Portable Skala Rumah Tangga* (Doctoral dissertation, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa).
- [16] Rizal, A. M., & Nurhayati, I. (2017). *Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Dengan Insinerator Tipe Reciprocating Grate Incinerator*. Waktu: *Jurnal Teknik Unipa*, 15(2), 21-27.
- [17] Sofyan, B. T. (2021). *Pengantar Material Teknik Edisi II*. Unhan RI Press.
- [18] Setiawan, J., Mardiansyah, M., Sunardi, A., & Kusnadi, H. (2022). *Ilmu Bahan Listrik*.
- [19] Mahardhika, Enggal, K., Santoso, Teguh, D., (2020), Pengaruh Kecepatan Udara dan Debit Bahan Bakar pada Pembakaran Burner Berbahan Bakar Oli Bekas, *Jurnal Teknik Mesin – ITI Vol. 4 No. 3*, ISSN: 2548-3854
- [20] Hadadiyan, Mohammadhossein., Arjmandi, Hamed., Dkk., (2023), Integrated optimization of geometrical parameters and flow variables for industrial incinerator performance improvement, Elsevier, *Results in Engineering* 20 – 101577
- [21] Junaidi., Kurniawan, Eddy., Dkk, 2021, Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap Beban Pembakaran Sampah pada Incinerator Berbahan Bakar Limbah Oli Bekas, *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* Vol. 5, No. 1, Hal.: 17-23. e-ISSN: 2579-7433
- [22] Maulana, I. A. (2021). Analisis Terjadinya Ketidاكلancaran Sistem Pembakaran Pada Pesawat Incinerator Di Atas Kapal Mv. Sentosa

Challenger (Doctoral Dissertation, Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta).

- [23] ASHRAE. (1999). Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality ASHRAE Standard 62-1999 (supersedes ANSI/ASHRAE 62-1989) Includes ASHRAE Addenda Listed in Appendix I Atlanta, GA 30329: ASHRAE.