

THE IMPLEMENTATION OF SMOKE FILTER TECHNOLOGY FOR HANDLING EXHAUST GASES FROM AN INCINERATOR IN WASTE PROCESSING

PENERAPAN TEKNOLOGI FILTER ASAP UNTUK PENANGANAN GAS BUANG INSINERATOR PADA PENGOLAHAN SAMPAH

Ratu Fenny Muldiani^{1a}, Yanti Supriyanti¹, Tina Mulya Gantina¹, Nita Hernita Koesoemah¹, Defrianto Pratama¹

¹ Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

^aKorespondensi: Ratu Fenny Muldiani, E-mail: ratu.fenny@polban.ac.id

(Diterima: 09-02-2024; Ditelaah: 11-02-2024; Disetujui: 22-03-2024)

ABSTRACT

Incineration of waste using an incinerator is a common method in waste management, but it generates toxic gas emissions that have a detrimental impact on health and the environment. This article discusses the use of smoke filter technology to address this issue, with a focus on Cempaka 2 Waste Bank in West Bandung Regency, West Java. A 6-month community engagement project was conducted to implement a smoke filter system for the waste incinerator. This system consists of a quencher box, activated carbon filter, hydrated lime filter, and bag filter. The results indicate a reduction in harmful emissions and air pollutant particles. Empowering the community in the use and maintenance of this technology is key to its success, while also identifying potential further developments in sustainable waste management. Recommendations for further development include monitoring air quality around the incinerator and conducting further research to enhance the efficiency of smoke filter technology.

Keywords: Incinerator, Smoke Filter, Waste, Waste Bank

ABSTRAK

Pembakaran sampah dengan insinerator adalah metode umum dalam pengolahan sampah, tetapi menghasilkan emisi gas beracun yang berdampak buruk pada kesehatan dan lingkungan. Artikel ini membahas penggunaan teknologi filter asap untuk mengatasi masalah ini, dengan fokus pada Bank Sampah Cempaka 2 di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. Pelaksanaan pengabdian masyarakat selama 6 bulan dilakukan untuk mengimplementasikan sistem filter asap pada insinerator sampah. Sistem ini terdiri dari kotak quencher, filter karbon aktif, filter kapur tohor, dan bag filter. Hasilnya menunjukkan pengurangan emisi zat berbahaya dan partikel polutan udara. Pemberdayaan masyarakat dalam penggunaan dan pemeliharaan teknologi ini menjadi kunci keberhasilan, sambil mengidentifikasi potensi pengembangan lebih lanjut dalam pengelolaan sampah berkelanjutan. Saran untuk pengembangan selanjutnya adalah memantau kualitas udara di sekitar insinerator dan penelitian lanjutan untuk meningkatkan efisiensi teknologi filter asap.

Kata Kunci: Bank Sampah, Insinerator, Filter Asap, Sampah, Bank Sampah

Muldiani, R, F., Supriyanti, Y., Gantina, T, M., Koesoemah, N, H., & Pratama, D . Penerapan teknologi filter asap untuk penanganan gas buang insinerator pada pengolahan sampah di bank sampah cempaka 2. *Qardhul Hasan: Media Pengabdian kepada Masyarakat*, 10(2) 117-124.

PENDAHULUAN

Pembakaran sampah merupakan salah satu metode pengolahan sampah yang umum digunakan di banyak negara, termasuk

Indonesia. Insinerator sampah memang memberikan beberapa keuntungan, seperti mengurangi volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan menghasilkan energi dari pembakaran

sampah (Dewi *et al.*, 2020). Namun, penggunaan insinerator juga memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah emisi gas beracun yang dihasilkan dari proses pembakaran. Emisi tersebut dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia dan lingkungan (Wahyudi, 2019), (Budiono *et al.*, 2022).

Asap sebagai hasil dari proses pembakaran yang dihasilkan oleh insinerator sampah mengandung zat-zat berbahaya seperti dioksida belerang, nitrogen oksida, dan karbon monoksida yang dapat merusak lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia (Prasetiyadi *et al.*, 2018). Oleh karena itu, perlu adanya sistem filter asap pembakaran yang ramah lingkungan pada insinerator sampah.

Filter asap adalah alat yang dirancang khusus untuk menghilangkan partikel-partikel berbahaya dan zat polutan dari gas buang insinerator. Dengan penerapan teknologi filter asap yang efektif, dapat mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan sekitar (Falakh *et al.*, 2023). Penggunaan teknologi ini tidak hanya membantu menjaga kualitas udara tetapi juga memberikan manfaat positif dalam pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sistem filter asap pembakaran dapat mengurangi emisi gas beracun yang dihasilkan oleh proses pembakaran sampah (Subekti *et al.*, 2020), (Kumar & Singh, 2020), (Zhang & Li, 2021). Sistem filter asap yang efektif akan dapat menangkap partikel-partikel berbahaya di dalam asap sebelum dibuang ke atmosfer (Ahmad & Zhang, 2024). Hal ini dapat membantu menjaga kualitas udara dan lingkungan yang sehat, serta membantu meningkatkan kesehatan masyarakat yang terpapar dengan gas berbahaya.

Bank Sampah Cempaka 2 yang berlokasi di Desa Ciwaruga, Parompong, Kabupaten Bandung Barat juga menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan sampah. Dalam upaya mengurangi dampak negatif dari penggunaan insinerator,

diperlukan solusi inovatif dan berkelanjutan untuk mengatasi gas buang yang dihasilkan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi filter asap.

Pada Bank Sampah Cempaka 2, sebagian sampah anorganik dapat di daur ulang menjadi kerajinan tangan. Bank sampah ini memiliki insinerator untuk membakar sampah anorganik yang tidak bisa di daur ulang dan sisa abu pembakaran dimanfaatkan sebagai campuran pembuatan batako. Sedangkan, abu hasil pembakaran sampah organik dimanfaatkan untuk campuran pupuk kompos.

Walaupun penggunaan insinerator ini bermanfaat dalam pengolahan sampah yang tidak bisa di daur ulang dan abu sisa pembakarannya juga bisa dimanfaatkan, muncul permasalahan baru yaitu asap yang keluar dari insinerator mengganggu lingkungan dan kenyamanan hidup masyarakat sekitar. Masyarakat sekitar merasa tidak nyaman tinggal di lingkungan yang terus-menerus tercium bau asap. Selain itu, insinerator sampah yang tidak menggunakan sistem filter asap akan melepaskan banyak polutan ke udara, seperti partikel debu, karbon monoksida, nitrogen oksida, dan sulfur dioksida. Pencemaran udara dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar, terutama pada sistem pernapasan dan jantung.

Pencemaran udara yang ditimbulkan oleh insinerator sampah yang tidak menggunakan sistem filter asap juga dapat berdampak negatif pada lingkungan sekitar. Pohon dan tanaman di sekitar insinerator dapat mati akibat asap dan polutan yang terus-menerus keluar (González & Iglesias, 2021).

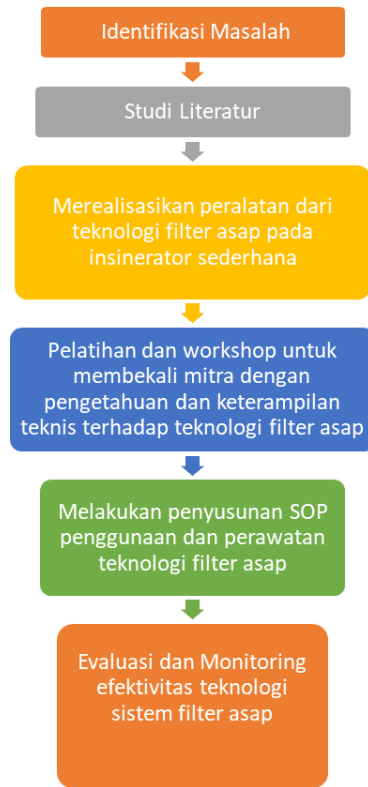
Insinerator sampah yang tidak dilengkapi sistem filter asap juga berisiko menimbulkan kebakaran yang dapat membahayakan masyarakat sekitar. Suhu yang tinggi dan kandungan oksigen dalam insinerator dapat menyebabkan terjadinya kebakaran yang sulit dikendalikan (Davis & Johnson, 2021). Dengan adanya permasalahan yang telah diuraikan,

penggunaan insinerator sederhana di Bank Sampah Cempaka 2 harus disertai dengan sistem filter asap agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kenyamanan dan kesehatan masyarakat, lingkungan sekitar serta meminimalisir risiko kebakaran.

Peran aktif dari masyarakat setempat dalam mengimplementasikan teknologi filter asap menjadi krusial. Pemberdayaan masyarakat untuk memahami, mengoperasikan, dan menjaga teknologi ini akan menjadi langkah penting dalam menjaga keberlanjutan pengelolaan sampah dan lingkungan yang lebih bersih. Pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk menerapkan teknologi filter asap dalam penanganan gas buang insinerator di Bank Sampah Cempaka 2 Desa Ciwaruga. Melalui kerja sama antara peneliti, masyarakat, dan pihak terkait, diharapkan dapat menciptakan solusi berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif penggunaan insinerator dalam pengelolaan sampah di wilayah ini.

MATERI DAN METODE

Pengabdian masyarakat ini dilaksanakan pada kelompok masyarakat penggiat Bank Sampah Cempaka 2, Desa Ciwaruga, Kecamatan Parompong, Kabupaten Bandung Barat. Bank sampah ini berdiri sejak tahun 2016. Bank sampah ini menampung sampah sekitar 400 kg/minggu yang dikumpulkan dari masyarakat. Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan selama 6 bulan. Metode pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat dapat digambarkan dalam diagram berikut ini.



Gambar 1. Diagram Metode Pelaksanaan

Pada tahap Studi pendahuluan dilakukan identifikasi terhadap permasalahan yang ada. Setelah itu, melakukan studi literatur untuk memahami teknologi filter asap yang cocok dan efektif dalam mengatasi permasalahan asap pada insinerator sampah.

Bersumber dari hasil artikel ilmiah hasil penelitian dan data-data lapangan untuk merancang teknologi filter asap yang paling tepat untuk digunakan pada insinerator sampah yang dimiliki mitra. Kemudian, tim PKM memfasilitasi peralatan yang memadai. Setelah peralatan tersedia kemudian diadakan pelatihan dan workshop pembekalan pengetahuan dan teknis terhadap teknologi filter asap untuk insinerator sampah.

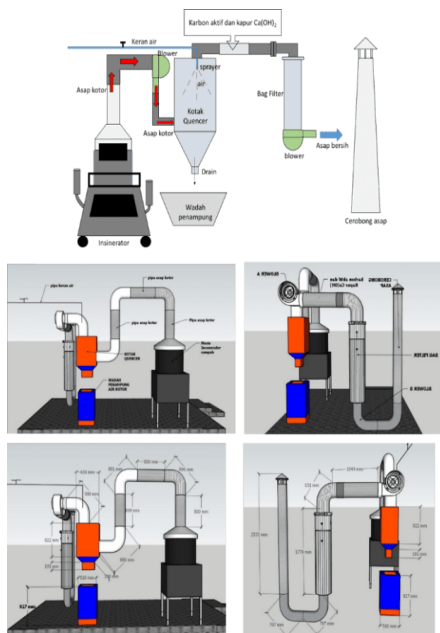
Pelatihan dan workshop untuk membekali masyarakat dengan pengetahuan dan keterampilan teknis dalam penggunaan dan perawatan dari sistem filter asap pada insinerator sampah. Pelatihan dan workshop dilakukan secara online atau offline dengan mengundang ahli atau praktisi terkait teknologi filter asap sebagai narasumber. Pada kegiatan ini juga meliputi praktek lapangan penggunaan dan perawatan sistem

filter asap pada insinerator sampah. Dalam praktek lapangan ini, masyarakat dibimbing oleh tim ahli dan dibantu oleh mahasiswa atau relawan.

Setelah masyarakat mempunyai pengetahuan dan keterampilan dalam penggunaan dan perawatan sistem filter asap, mitra bersama dengan tim PKM akan membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) sebagai pedoman yang harus diikuti supaya proses pengolahan sampah dengan insinerator berjalan efektif, efisien dan aman. Setelah sistem filter asap pada insinerator sampah terpasang, perlu dilakukan evaluasi dan monitoring secara berkala untuk mengetahui efektivitas sistem filter tersebut dalam mengatasi permasalahan asap pada insinerator sampah. Evaluasi dan monitoring ini melibatkan masyarakat dalam mengumpulkan data dan informasi terkait penggunaan dan kinerja sistem filter asap tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan rancang bangun dari sistem filter asap dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Sketsa Desain Sistem Filter Asap Pada Insinerator Sederhana

Tahap pertama dalam kegiatan PkM ini adalah melakukan perancangan dan memastikan bahwa desain sistem filter asap memiliki dimensi yang sesuai dengan luas lahan yang tersedia. Komponen Utama pada sistem filter ini adalah kotak quencher filter karbon aktif dan bag filter.

Kotak quencher bekerja dengan memberikan air ke dalam asap panas yang keluar dari ruang pembakaran insinerator. Air tersebut menyebabkan asap seketika terpapar suhu rendah dan mengalami kondensasi sehingga partikel-partikelnya tertangkap oleh air. Dalam hal ini, air digunakan sebagai medium pendingin dan pelarut partikel-partikel tersebut sehingga terbentuk lumpur asap. Dengan adanya kotak quencher pada insinerator, diharapkan dapat mengurangi emisi gas beracun serta partikel padat (Hamrani & Grönberg, 2023).

Filter karbon aktif digunakan untuk menyerap gas-gas beracun seperti dioksida sulfur (SO_2), klorin (Cl_2), dan amonia (NH_3) dari udara. Karbon aktif adalah bahan yang sangat porus sehingga memiliki luas permukaan yang besar dan mampu menyerap banyak gas. Karbon aktif akan menyerap gas-gas berbahaya tersebut dan menghasilkan udara bersih yang dihasilkan oleh incinerator (Yang et al., 2023).

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kapur tohor) adalah bahan yang digunakan sebagai bahan penyerap asam. Kapur tohor akan bereaksi dengan asam yang dihasilkan oleh insinerator seperti asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H_2SO_4) sehingga membentuk garam kalsium sulfat (CaSO_4) dan kalsium klorida (CaCl_2). Hal ini akan membantu mengurangi kadar asam dalam asap yang dihasilkan oleh insinerator dan meminimalkan emisi gas berbahaya ke lingkungan (Liu et al., 2022).

Bag filter terdiri dari sekumpulan kantung kain berpori yang disusun dalam rangkaian dan biasanya terletak setelah kotak quencher pada insinerator. Fungsi bag filter adalah menangkap partikel-partikel padat yang terdapat dalam asap yang dihasilkan oleh insinerator sebelum dilepaskan ke udara bebas. Partikel-partikel

padat seperti abu, debu, dan partikel organik dapat menyebabkan pencemaran udara dan dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia serta lingkungan. Kantung kain pada bag filter memiliki pori-pori kecil yang mampu menangkap partikel-partikel padat yang berukuran mikro dan menahan partikel tersebut di dalam kantung kain. Partikel-partikel yang terperangkap akan membentuk lapisan padat di dalam kantung kain dan menyebabkan resistansi filter menjadi meningkat. Ketika resistansi filter mencapai tingkat tertentu, maka bag filter harus dibersihkan atau diganti dengan yang baru agar dapat berfungsi secara optimal (Ridwan et al, 2021).

Sistem filter asap sampah telah dibuat untuk diterapkan pada Insinerator dengan kapasitas 60 kg/jam. Sistem filter asap sampah kemudian dilakukan instalasi di lokasi Bank Sampah dengan bantuan warga. Kegiatan instalasi filter sampah tersebut seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Instalasi Sistem Filter di Lokasi Bank Sampah

Komponen filter sampah terdiri atas kotak *quencher*, *Filter karbon aktif* dan kapur tohor, dan bag filter dapat dilihat pada gambar 4. Pertama, asap panas dan berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran sampah pertama-tama melewati kotak *quencher*. Di dalam kotak *quencher*, asap diarahkan melalui saluran dengan air yang disemprotkan dalam jumlah cukup besar. Proses ini disebut dengan kondensasi.

Air dalam kotak *quencher* berfungsi untuk menurunkan suhu asap secara tiba-

tiba, sehingga mengakibatkan kondensasi gas-gas berbahaya dan partikel-partikel ke dalam bentuk air atau larutan. Hasil kondensasi ini kemudian ditampung dalam wadah penampung.



Gambar 4. Komponen Sistem Filter Sampah untuk Insinerator Bank Sampah.

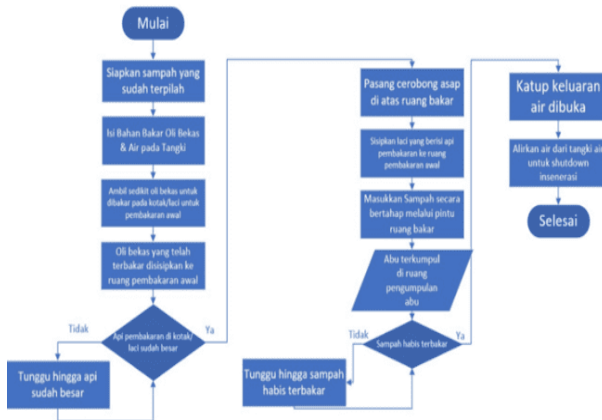
Setelah melalui kotak *quencher*, asap yang telah lebih dingin dan terkondensasi melewati filter karbon aktif dan kapur tohor. Filter karbon aktif bekerja dengan cara menyerap senyawa organik berbahaya, gas-gas beracun seperti merkuri dan kadmium, serta bau yang tidak diinginkan dalam asap. Sementara itu, kapur tohor bertindak sebagai agen penyerap sulfur dioksida (SO_2) yang dihasilkan selama pembakaran, membentuk senyawa yang lebih stabil dan kurang berbahaya.

Terakhir, asap yang telah melalui proses pengolahan di atas melewati bag filter. Bag filter adalah media berpori yang mampu menangkap partikel-partikel halus dan debu yang masih tersisa dalam asap. Ketika asap melewati bag filter, partikel-partikel berbahaya tertahan di dalamnya sedangkan udara bersih dibiarkan melalui. Bag filter secara berkala dibersihkan atau diganti untuk memastikan efisiensi penyaringan tetap optimal.

Kegiatan selanjutnya adalah menyusun standar operasional prosedur (SOP) pengoperasian mesin insinerator berfilter asap. Penyusunan ini melibatkan mitra agar mudah diikuti dan supaya proses pengolahan sampah dari pengumpulan, pemilahan, proses insinirasi dan pemeliharaan filter asap dapat berjalan dengan baik.

Penyusunan SOP pengoperasian mesin insinerator bertujuan sebagai bahan acuan dalam melakukan pengoperasian mesin insinerator secara berkala dan

berkelanjutan sehingga bisa menuntaskan permasalahan sampah residu yang tidak tertangani. SOP ini berlandaskan hasil simulasi dan ujicoba proses pembakaran secara langsung dilapangan sehingga memudahkan operator dalam mengoperasikannya. Secara garis besar gambar 10 memperlihatkan diagram alir pada SOP pengoperasian mesin insinerator.



Gambar 5. Diagram Alir SOP Pengoperasian Mesin Insinerator Berfilter Asap.

Keberhasilan penggunaan teknologi insinerasi berfilter asap di Bank Sampah Cempaka 2 dalam meningkatkan kualitas produk pengolahan sampah tidak bisa lepas dari peran serta masyarakat dalam pengelolaan bank sampah.

Salah satu peran penting masyarakat yang sangat berpengaruh terhadap produk-produk pengolahan sampah adalah kebiasaan baik memilah sampah dari rumah. Selain memudahkan dalam pengelolaan sampah selanjutnya, pemilahan sampah dari rumah juga dapat mengurangi volume sampah yang diangkut ke TPA (Viarecoa *et al.*, 2024). Sampah yang masuk ke dalam insinerator hanya sampah anorganik yang sudah tidak bernilai guna dan bersifat kering. Sampah anorganik yang dapat dikreasikan oleh bank sampah telah dipisah, dan sampah basah juga telah dipisahkan.

Di dalam insinerator, jika sampah tercampur antara sampah basah dan kering, panas yang dihasilkan akan terlebih dahulu digunakan untuk pengeringan sampah sebelum akhirnya terbakar dan

menimbulkan asap yang lebih tebal di awal pembakarannya.

Melihat situasi ini, penting sekali mengukur tingkat kepuasan mitra dan warga sekitar dalam penggunaan mesin insinerator berfilter asap. Tingkat kepuasan ini akan berpengaruh pada peran serta mitra serta warga sekitar dalam program penanganan sampah secara umum.

Secara keseluruhan, hasil survei menunjukkan bahwa sebagian besar responden merasakan manfaat dari penambahan filter asap pada alat insinerator. Meskipun ada sebagian yang merasa bahwa filter asap belum sepenuhnya efektif, hal ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dalam upaya menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat dari efek negatif asap kotor yang dihasilkan oleh insinerator.

Langkah-langkah perbaikan dan inovasi dalam teknologi filter asap mungkin dapat membantu dalam mengurangi lebih lanjut dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses insinerasi

KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan teknologi filter asap untuk penanganan gas buang insinerator di Bank Sampah Cempaka 2 Desa Ciwaruga merupakan langkah penting dalam upaya menjaga keberlanjutan pengelolaan sampah dan melindungi lingkungan serta kesehatan masyarakat. Bank Sampah Cempaka 2 mampu mengurangi emisi zat berbahaya dan partikel polutan udara dari gas buang insinerator.

Selama proses pengabdian masyarakat, terlihat bahwa melibatkan masyarakat setempat dalam pemahaman, pengoperasian, dan pemeliharaan teknologi filter asap sangat penting. Pemberdayaan ini akan membantu menjaga keberlanjutan implementasi teknologi ini.

Saran untuk pengembangan selanjutnya yaitu membuat sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi di sekitar lokasi insinerator untuk

memantau dampak lingkungan dari implementasi teknologi filter asap dan melakukan penelitian lanjutan untuk terus meningkatkan efisiensi teknologi filter asap dan mengidentifikasi potensi pengembangan lebih lanjut dalam pengelolaan sampah berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat POLBAN yang telah mendanai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., & Zhang, Y. (2024). Emission characteristics and removal of heavy metals in flue gas. *Environmental Pollution*, 381, 80667.
- Budiono, E., Purnomo, H., & Khotimah, S. N. (2022). Efek Asap Sampah Terhadap Kesehatan Paru-Paru dan Jantung: Sebuah Kajian Sistematis. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 103-111.
- Davis, P., & Johnson, M. (2021). Impact of high-temperature waste incineration on fire safety and surrounding communities. *Safety Science*, 134, 105075.
- Dewi, R., Hadinata, F., Yulindasari, Y., & Aminuddin, K. M. (2020). Sistem pengolahan sampah domestik dengan menggunakan incinerator drum bekas. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 891-896.
- Falakh, F., Purnomo, E., Ismail, A. Z., Lestariyanti, E., Chamami, M. R., & Wibowo, T. (2023). Penerapan Teknologi Tepat Guna Pengolah Sampah (Mini Incenerator) untuk Mengatasi Limbah Diapers di Kelurahan Kedungpane Kota Semarang. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 10(3), 251-256.
- González, A., & Iglesias, R. (2021). Environmental impact of waste incineration on urban trees and vegetation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 5473-5482.
- Hamrani, M., & Grönberg, C. (2023). Sustainable flue-gas quench for waste incineration plants within a circular economy. *Journal of Environmental Management*, 307, 114351.
- Kumar, R., & Singh, R. (2020). Reducing Carbon Monoxide Emissions Using Activated Carbon in Waste Incineration. *Journal of Environmental Management*, 257, 109980.
- Liu, W., Zhang, Y., & Wang, H. (2022). The effectiveness of calcium hydroxide in reducing acid gas emissions from waste incineration. *Journal of Environmental Science and Technology*, 56(8), 4521-4530.
- Prasetyadi, P., Wiharja, W., & Wahyono, S. (2018). Teknologi Penanganan Emisi Gas Dari Insinerator Sampah Kota. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 11(2).
- Ridwan, M., Siti, S., & Eryando, M. (2021). Penerapan Bag Filter Sederhana pada Incinerator Skala Kecil untuk Mengurangi Emisi Asap Sampah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(1), 17.
- Subekti, S., Basuki, P., & Purwaningrum, S. D. (2020). Pembakar sampah rendah emisi dengan air sebagai filtrasi. *Neo Teknika*, 6(2), 6-11.
- Viarecoa, H., Juita, F., Ilfan, F., Yanova, S., Hutagalung, W. L. C., Rodhiyah, Z., ... & Putra, F. M. (2024). Sosialisasi Pengelolaan Sampah Dari Sumber Berbasis Kolaboratif: Membangun Strategi Keberlanjutan Lingkungan. *Qardhul Hasan: Media Pengabdian kepada Masyarakat*, 10(1), 20-25.
- Wahyudi, J. (2019). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari pembakaran terbuka sampah rumah tangga menggunakan model IPCC. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 15(1), 65-76.
- Yang, H., Xu, Z., Fan, M., Bland, A. E., & Judkins, R. R. (2020). Adsorption of toxic gases

by activated carbon. *Environmental Science & Technology*, 54(6), 3458-3467. Nurmawati, W., Najib, M., & Anggraini, R. N. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Berat Kapur Terhadap Penurunan Keasaman Asap pada Proses Pembakaran Sampah. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(1), 39-47.

Zhang, Y., & Li, H. (2021). Efficiency of Calcium Hydroxide in Reducing Acidity of Flue Gas from Municipal Waste Incineration. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 4750-4757.