

Rancang Bangun Mesin Reduktor Polutan Berbasis Sirkulasi Air

^{1)*Rendi, 2)Muhammad Firman}

<sup>1,2)Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin, Jl. Adyaksa No.02
Kayu Tangi, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia</sup>

^{*Email: rendi.teknikmesin@gmail.com}

^{Diterima: 01.09.2024, Disetujui: 24.09.2024, Diterbitkan: 11.10.2024}

ABSTRACT

Environmental pollution, especially due to pollutants, is a problem that needs special attention. One solution that can deal with this problem is to design and build a machine that can reduce pollutants. This research aims to design and build a pollutant reduction machine with a water circulation system as a reducer. This machine consists of three main components, a reducer tube, a water pump and a blower. The test is carried out by measuring the levels of carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) gas before and after passing through the reductor machine. The research results show that this machine is able to reduce carbon monoxide (CO) levels from 6.1%-6.64% to 0.98%-1.18%, and hydrocarbon (HC) levels from 714-756 ppm to 346-378 ppm.

Keywords: *Pollutant reduction machine, carbon monoxide (CO) levels, hydrocarbon levels (HC)*

ABSTRAK

Pencemaran lingkungan terutama akibat polutan adalah salah satu permasalahan yang perlu mendapatkan perhatian khusus. Salah satu solusi yang bisa untuk menangani permasalahan tersebut adalah merancang dan membangun sebuah mesin yang dapat mereduksi polutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin reduktor polutan dengan sistem sirkulasi air sebagai reduktor. Mesin ini terdiri dari tiga komponen utama tabung reduktor, pompa air, dan blower. Pengujian dilakukan dengan mengukur kadar gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) sebelum dan sesudah melewati mesin reduktor. Hasil penelitian menggambarkan bahwa mesin ini mampu menurunkan kadar karbon monoksida (CO) dari 6,1%-6,64% menjadi 0,98%-1,18%, dan kadar hidrokarbon (HC) dari 714-756 ppm menjadi 346-378 ppm.

Kata kunci: *mesin reduktor polutan, kadar CO, kadar HC*

1. Pendahuluan

Di era moderan sekarang ini, pencemaran lingkungan merupakan salah satu permasalahan terbesar yang dihadapi oleh setiap umat manusia. Pencemaran lingkungan terjadi karena adanya beberapa faktor diantaranya adalah karena perkembangan industri dan perkembangan transportasi yang semakin pesat. Perkembangan industri dan transportasi yang semakin pesat ini menyebabkan emisi polutan ke lingkungan semakin meningkat. Polutan adalah zat atau bahan yang mencemari lingkungan. Polutan dapat berupa gas, partikel padat, cairan, atau bentuk energi seperti radiasi yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan. Polutan ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk asap kendaraan bermotor, emisi pabrik, pembakaran sampah, serta penggunaan bahan kimia berbahaya.

(Miller & Spoolman, 2021; Bakker & van der Gaag, 2019).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya menjaga kelestarian lingkungan, banyak peneliti mulai mencari solusi untuk mengurangi kadar polutan di lingkungan. Salah satu solusi yang banyak diteliti dan dikembangkan adalah penggunaan media sirkulasi air sebagai alat untuk mereduksi polutan. Air sebagai medium memiliki berbagai keunggulan dalam proses reduksi polutan. Air dapat berfungsi sebagai penyerap partikel padat, gas berbahaya melalui berbagai mekanisme fisik dan kimia (Hoffmann & Lim, 2019; Sincero & Sincero, 2003). Selain itu, air juga merupakan sumber daya yang melimpah dan mudah diakses, sehingga berpotensi besar untuk digunakan dalam skala yang lebih luas (Gomes, Silva, & Oliveira, 2018).

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan air sebagai reduktor polutan dilakukan oleh *Gomes, Silva, & Oliveira* (2018) dalam penelitian mengeksplorasi penggunaan air sebagai media penyerap dalam pengolahan polutan udara di lingkungan industri. Studi ini menunjukkan bahwa air efektif dalam menangkap dan mengurangi konsentrasi gas-gas berbahaya seperti sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NO_x), serta partikel-partikel halus yang dihasilkan oleh proses industri. Hasilnya, penurunan yang signifikan dalam emisi polutan tercapai dengan penerapan sistem sirkulasi air. Kemudian dilakukan oleh *Zhu, Chen, & Wei* (2016) membahas efisiensi sirkulasi air dalam mengurangi polutan udara di lingkungan perkotaan. Studi ini meneliti sistem sirkulasi air yang dirancang untuk menyerap partikel polutan yang tersebar di udara akibat aktivitas transportasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem sirkulasi air mampu menurunkan konsentrasi partikel-partikel berbahaya secara signifikan, terutama di daerah-daerah dengan tingkat polusi yang tinggi. Kemudian dilakukan oleh *Hoffmann & Lim* (2019) meneliti integrasi antara teknologi filtrasi dengan sirkulasi air dalam pengolahan polutan. Studi ini berfokus pada pengembangan sistem filtrasi yang dapat diintegrasikan dengan aliran sirkulasi air untuk menangkap berbagai jenis polutan, baik gas maupun partikel padat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi teknologi ini dapat meningkatkan efektivitas pengolahan polutan, dengan hasil yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Kemudian oleh *Kumar & Mohan* (2020) membahas penerapan sistem sirkulasi air untuk mengurangi polutan di lingkungan industri. Penelitian ini menguji berbagai parameter, seperti kecepatan aliran air, jenis media filtrasi, dan konsentrasi polutan, untuk menentukan konfigurasi terbaik dalam pengolahan polutan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya efektif dalam menurunkan tingkat polutan, tetapi juga dapat diadaptasi untuk berbagai jenis industri. Kemudian oleh *Alam & Hashim* (2016) meneliti desain dan optimasi sistem sirkulasi air yang digunakan untuk mengurangi polutan udara di perkotaan. Penelitian ini mengembangkan model simulasi untuk memprediksi aliran dan penyebaran polutan dalam sistem sirkulasi air. Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi desain, seperti penyesuaian kecepatan aliran dan tipe media penyerap, dapat meningkatkan efisiensi

sistem secara keseluruhan. Kemudian oleh *Snyder & Trenholm* (2021) mengkaji aspek keberlanjutan dari penggunaan sistem sirkulasi air dalam pengolahan polutan. Penelitian ini menekankan pentingnya efisiensi energi dan minimisasi penggunaan air dalam sistem tersebut. Hasil studi ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan teknologi hemat energi dan sistem kontrol otomatis, dampak lingkungan dari operasi sistem ini dapat ditekan seminimal mungkin.

Pemanfaatan gerakan air sebagai reduktor dalam sistem filtrasi polutan ini dimaksudkan untuk memanfaatkan potensi air dalam mengurangi kadar polutan. Alat ini dirancang dengan prinsip kerja yang sederhana di mana air digunakan sebagai media utama untuk menangkap polutan melalui proses sirkulasi yang berkelanjutan (*Kumar & Mohan, 2020*). Dalam sistem ini, air akan dipompa melalui tabung reduktor yang dirancang khusus untuk menangkap partikel polutan. Polutan yang terperangkap dalam air kemudian akan disaring sehingga air yang telah bersirkulasi dapat digunakan kembali dalam siklus berikutnya (*Zhu, Chen, & Wei, 2016*). Keunggulan dari penggunaan sirkulasi air sebagai media reduktor adalah kemampuannya untuk menangani berbagai jenis polutan secara simultan. Air dapat menyerap gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) Selain itu, air juga dapat menangkap partikel padat yang berasal dari debu dan asap, serta senyawa kimia organik yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia (*Wang, Shammas, & Hung, 2005*).

II. Bahan dan Metode

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental yaitu dengan membuat mesin reduktor polutan dengan sistem sirkulasi aliran air sebagai reduktor dan dilakukan uji coba secara langsung di lapangan. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu langkah pertama adalah merancang alat reduktor polutan berbasis sirkulasi air. Desain sistem ini mencakup beberapa komponen utama seperti tabung reduktor dan pompa air. Tabung reduktor dirancang dengan konfigurasi yang memungkinkan aliran air bergerak secara optimal untuk menangkap polutan. Pompa air digunakan untuk menggerakkan aliran air dalam sistem secara terus-menerus. Desain ini didasarkan pada literatur dan penelitian

sebelumnya yang menunjukkan efektivitas air sebagai media penangkap polutan. Setelah desain selesai, langkah berikutnya adalah pembuatan prototipe alat. Prototipe ini dibuat dengan memperhatikan spesifikasi teknis yang telah dirancang sebelumnya. Setiap komponen alat, seperti tabung reduktor dan pompa air dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat. Setelah prototipe selesai dibangun, dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem sirkulasi air bekerja sesuai dengan baik pengujian lanjutannya adalah menguji atau mengukur kadar CO dan kadar HC sebelum dan sesudah masuk alat reduktor. Selanjutnya analisa data dilakukan untuk menilai apakah alat reduksi polutan ini berfungsi dengan baik atau tidak.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

3.1.1. Perancangan

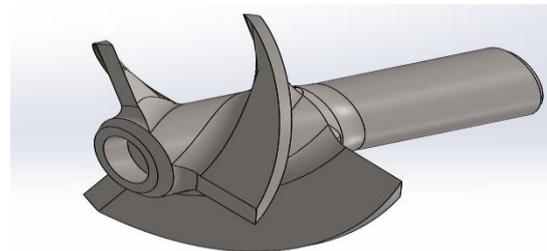
Pada tahap perancangan, mesin reduktor polutan dengan sistem sirkulasi air sebagai media reduksi polutan dirancang dengan tiga komponen utama, yaitu tabung reduktor, pompa air, dan blower. Gambar 1 menunjukkan sketsa dari sistem ini. Tabung reduktor merupakan elemen penting yang dirancang menggunakan pipa PVC berdiameter 5 inci. Fungsi utama tabung ini adalah untuk mencampur polutan dengan air sehingga partikel-partikel polutan dapat terikat dengan partikel air, menciptakan sistem filtrasi awal yang efektif.

Baling-baling yang terpasang di dalam tabung reduktor memiliki perbandingan rasio antara diameter tabung dan diameter baling-baling sebesar 1:2, yang dirancang untuk meningkatkan interaksi antara polutan dan air. Baling-baling ini digerakkan oleh motor listrik, yang secara mekanis mengaduk air dan polutan, memungkinkan kontak lebih lama dan lebih merata antara kedua komponen tersebut.

Pompa air yang digunakan memiliki kapasitas maksimal 28 liter per menit (lpm) dengan daya listrik 125 watt. Fungsi utamanya adalah mensirkulasikan air ke dalam tabung reduktor, memastikan pasokan air yang cukup untuk proses pengikatan polutan. Blower berkapasitas 125 watt dengan kecepatan putaran 3000 rpm digunakan untuk memasukkan udara yang mengandung polutan ke dalam tabung reduktor. Kombinasi antara blower dan pompa air ini memastikan polutan dapat terdistribusi secara merata dan efektif dalam sistem.



Gambar 1 Sketsa Rancangan Sistem



Gambar 2 Baling-baling

3.1.2. Pembuatan Prototipe

Setelah desain selesai, tahap berikutnya adalah pembuatan prototipe sesuai dengan spesifikasi teknis yang telah dirancang. Gambar 3 menunjukkan prototipe mesin reduktor polutan berbasis sirkulasi air ini. Proses pembuatan prototipe melibatkan pengujian material, perakitan komponen, dan memastikan setiap bagian dari sistem berfungsi sesuai dengan peran yang dirancang. Pengujian awal dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pompa, blower, dan tabung reduktor berfungsi optimal sebelum memasuki tahap pengujian performa.



Gambar 3. Prototipe mesin reduktor polutan berbasis sirkulasi air sebagai reduktor

3.1.3. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas mesin dalam mengurangi kadar polutan berupa gas CO dan HC dari emisi kendaraan bermotor. Skema pengujian

ditunjukkan pada Gambar 4, di mana asap buangan dari sepeda motor digunakan sebagai objek penelitian. Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian kadar CO dan HC sebelum dan sesudah melewati mesin reduktor polutan.

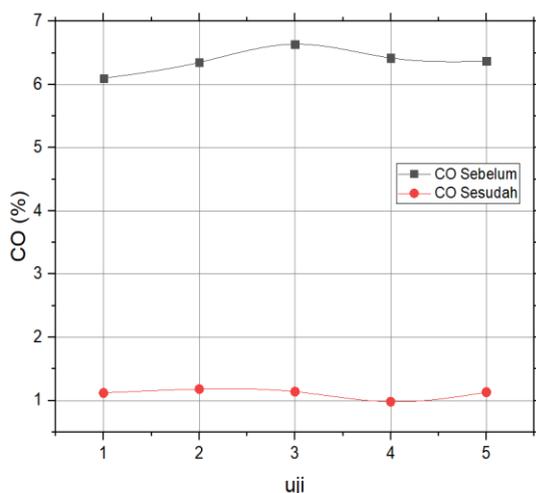
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kadar Gas CO dan HC Gas Buang sebelum dan sesudah melewati mesin reduktor polutan

Uji	Sebelum		setelah	
	CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
1	6,1	714	1.12	378
2	6.35	756	1.18	362
3	6.64	728	1.14	346
4	6.42	742	0.98	362
5	6.37	750	1.13	352

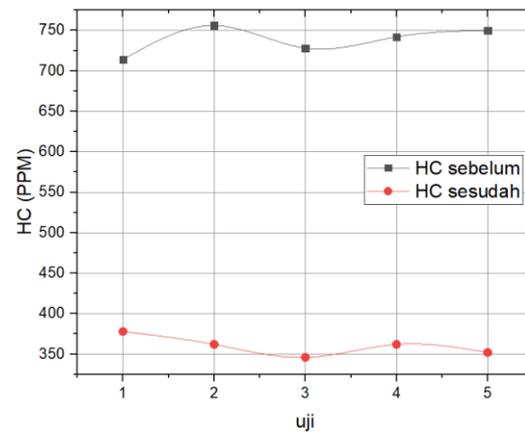


Gambar 4 Skema Pengujian

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 1 diatas, maka data-data tersebut dapat dikonversikan dalam bentuk grafik yang disajikan pada gambar 3 dan pada gambar 4



Gambar 5. Kadar Gas CO Gas Buang sebelum dan sesudah melewati mesin reduktor polutan



Gambar 6 Kadar Gas HC Gas Buang sebelum dan sesudah melewati mesin reduktor polutan

Berdasarkan data pada Tabel 1, kadar CO sebelum melewati mesin berada dalam kisaran 6,1% hingga 6,64%. Setelah melewati mesin reduktor, kadar CO menurun secara signifikan, berkisar antara 0,98% hingga 1,18%. Grafik 3 memvisualisasikan penurunan kadar CO ini, menunjukkan bahwa penggunaan sistem sirkulasi air sebagai reduktor mampu menurunkan konsentrasi CO dengan efektivitas yang tinggi. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Zhang et al. (2018) juga menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai media penyerap dalam sistem scrubbing mampu mengurangi emisi gas CO secara signifikan dalam aplikasi industri, sehingga hasil ini konsisten dengan temuan mereka.

Pengujian kadar HC menunjukkan hasil yang serupa. Sebelum melewati mesin reduktor, kadar HC berada pada kisaran 714 hingga 756 ppm. Setelah melewati mesin, kadar HC menurun menjadi 346 hingga 378 ppm. Grafik 4 memperlihatkan penurunan yang signifikan dalam kadar HC, mendukung temuan bahwa sistem sirkulasi air efektif dalam mengikat dan menurunkan kadar polutan hidrokarbon dalam gas buang. Studi oleh Li et al. (2020) juga mengonfirmasi efektivitas sistem pengikatan air dalam mengurangi kadar HC dalam aplikasi pengendalian polusi udara, memberikan bukti lebih lanjut akan keefektifan sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini.

3.2. Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mesin reduktor polutan berbasis sirkulasi air sebagai reduktor berhasil menurunkan kadar polutan berupa gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) secara signifikan. Penurunan konsentrasi polutan yang dihasilkan oleh mesin

ini memberikan bukti kuat bahwa pendekatan penggunaan sirkulasi air dalam sistem reduktor efektif dalam menangkap dan mengurangi emisi polutan dari sumber-sumber seperti kendaraan bermotor. Diskusi ini akan menguraikan secara mendalam mekanisme yang terlibat dalam pengurangan polutan, membandingkannya dengan penelitian sebelumnya, dan mengeksplorasi potensi perbaikan serta aplikasi lebih lanjut dari teknologi ini.

Mesin reduktor polutan yang dirancang dalam penelitian ini mengandalkan sirkulasi air sebagai media utama untuk menangkap polutan dari gas buang. Tabung reduktor, yang dilengkapi dengan baling-baling, berfungsi sebagai ruang utama di mana polutan yang dibawa oleh blower bertemu dengan air. Baling-baling di dalam tabung ini bertugas mengaduk campuran air dan polutan, memperpanjang waktu kontak dan memastikan distribusi air yang merata ke seluruh volume gas buang. Proses ini memungkinkan partikel polutan terperangkap oleh air melalui mekanisme pengikatan fisik dan kimia, yang kemudian memisahkannya dari aliran gas.

Prinsip dasar dari pengikatan polutan oleh air telah lama dikenal dan digunakan dalam teknologi pengendalian polusi udara, seperti dalam sistem wet scrubber yang banyak diterapkan di industri. Dalam konteks ini, air bertindak sebagai absorben yang efektif, menangkap partikel padat dan gas-gas yang larut dalam air. Dalam penelitian ini, air difungsikan tidak hanya sebagai medium absorpsi, tetapi juga sebagai agen pengikatan partikel polutan, yang diperkuat oleh aksi baling-baling yang memperbesar peluang interaksi antara air dan polutan.

Studi oleh Chen et al. (2019) menyebutkan bahwa efisiensi pengikatan partikel oleh air dalam sistem scrubber bergantung pada beberapa faktor, termasuk kecepatan aliran gas, laju sirkulasi air, dan desain internal dari sistem scrubber itu sendiri. Hal ini konsisten dengan desain mesin reduktor dalam penelitian ini, di mana baling-baling dan pompa air dirancang untuk mengoptimalkan kondisi ini. Efektivitas sistem juga bergantung pada karakteristik fisik dan kimia polutan itu sendiri. Gas CO dan HC, yang memiliki sifat larut dalam air yang relatif rendah dibandingkan dengan gas asam seperti SO₂, memerlukan interaksi lebih intensif untuk mencapai pengikatan yang signifikan. Oleh karena itu, baling-baling dalam tabung reduktor berperan penting dalam meningkatkan

efektivitas sistem dengan menciptakan turbulensi dan memperpanjang waktu kontak.

Penelitian ini sejalan dengan sejumlah studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan air sebagai medium dalam sistem pengurangan polutan dapat secara efektif menurunkan konsentrasi gas berbahaya. Zhang et al. (2018) melaporkan bahwa penggunaan air dalam scrubber industri mampu mengurangi emisi gas CO hingga 90% dalam aplikasi tertentu. Meskipun mesin reduktor dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang bervariasi, dengan penurunan CO berkisar antara 81% hingga 84%, perbedaan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan dalam desain sistem, kecepatan aliran gas, dan jenis sumber polutan yang diuji.

Studi lain oleh Li et al. (2020) menekankan pentingnya rasio air terhadap volume gas buang dalam menentukan efektivitas pengurangan polutan. Dalam penelitian ini, kapasitas pompa air sebesar 28 lpm mungkin masih dapat dioptimalkan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi pengikatan polutan. Rasio antara air dan polutan yang optimal dapat berbeda bergantung pada jenis polutan, sehingga penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi rasio yang tepat untuk berbagai kondisi operasi.

Selain itu, penelitian ini juga memperkuat temuan yang disampaikan oleh Wang et al. (2017) mengenai pentingnya desain internal sistem, seperti penggunaan baling-baling untuk menciptakan turbulensi. Mereka menemukan bahwa turbulensi yang dihasilkan oleh pengadukan mekanis dapat meningkatkan efisiensi penangkapan polutan hingga 20% dibandingkan dengan sistem yang hanya mengandalkan aliran laminar. Oleh karena itu, desain baling-baling dalam tabung reduktor yang digunakan dalam penelitian ini terbukti penting dalam memastikan polutan dapat terikat dengan air secara maksimal.

Meskipun hasil yang diperoleh menunjukkan keberhasilan, masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Salah satu aspek yang dapat ditingkatkan adalah optimasi kecepatan baling-baling dan laju sirkulasi air. Studi lebih lanjut dapat dilakukan dengan memvariasikan kecepatan motor baling-baling dan laju pompa air untuk menemukan konfigurasi yang paling efektif dalam berbagai kondisi polusi. Pengujian dengan berbagai jenis polutan juga diperlukan untuk memperluas aplikasi mesin ini, termasuk pengujian dengan

gas-gas lain seperti nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur dioksida (SO₂), yang memiliki sifat kimia yang berbeda dari CO dan HC.

Selain itu, penerapan mesin ini dalam skala yang lebih besar, seperti pada pabrik atau industri yang menghasilkan polutan tinggi, juga perlu diuji. Hal ini akan memberikan wawasan mengenai efektivitas sistem dalam kondisi operasi yang lebih ekstrem dan dengan volume gas buang yang lebih besar. Peningkatan skala ini juga menuntut peningkatan daya tahan material dan sistem kontrol yang lebih canggih untuk mengatur sirkulasi air dan kecepatan blower secara otomatis.

Dari segi aplikasi, mesin ini memiliki potensi besar untuk digunakan dalam upaya pengurangan emisi di daerah perkotaan yang padat kendaraan bermotor. Implementasi mesin ini pada knalpot kendaraan atau di titik-titik strategis seperti garasi atau tempat parkir dapat membantu mengurangi polusi udara lokal secara signifikan. Di masa depan, kolaborasi dengan pembuat kebijakan dan industri otomotif dapat membantu mengintegrasikan teknologi ini dalam upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan kualitas udara.

IV Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa mesin reduktor polutan berbasis sirkulasi air sebagai reduktor dengan komponen utama tabung reduktor, pompa air, dan blower efektif untuk mengurangi kadar polutan terutama kadar CO dan kadar HC yaitu mesin ini mampu menurunkan kadar CO dari 6,1%-6,64% menjadi 0,98%-1,18%, dan kadar HC dari 714-756 ppm menjadi 346-378 ppm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Islam Kalimantan MAB Banjarmasin yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2024.

Daftar Pustaka

Alam, M. & Hashim, R. (2016). Water Circulation and Pollution Control in Urban Rivers: An Overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 55-67. DOI: 10.1007/s10661-015-5076-1.

Ardiatma, D. and Anggunsari, P., 2021. Pemanfaatan Energi Panas Hasil Pembakaran Sampah Tanpa Asap Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Menggunakan Termoelektrik. *Pelita Teknologi*, 16(1), pp.1-7.

Fadlurrokhman, F., 2021. *Perancangan Alat Pembakar Sampah Tanpa Asap Portable* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).

Gomes, J., Silva, L. & Oliveira, A. (2018). Pollutant Reduction Using Water-based Systems in Industrial Settings. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3175-3183. DOI: 10.1016/j.jece.2018.04.019.

Kumar, A. & Mohan, D. (2020). Technologies for Water Pollution Control: A Comprehensive Review. *Environmental Engineering Research*, 25(2), 118-130. DOI: 10.4491/eer.2019.129.

Mardhia, D. and Tawaf, N., 2020. Pendampingan Pengolahan Sampah Menggunakan Alat Pembakar Sampah Tanpa Asap (APSTA) di Dusun Prajak. *Jurnal Pendidikan Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(4).

Rendi, R., Arifin, J., Herlina, F., Ihsan, S., Hartadi, B., Suprpto, M. and Irfansyah, M., 2021. Edukasi pengelolaan sampah dan pendampingan penggunaan mesin pembakar sampah di desa semangat dalam. *Jurnal Pengabdian Al-Ikhlas Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjary*, 7(1).

Snyder, S.A. & Trenholm, R.A. (2021). Advanced Water Treatment Technologies for the Removal of Pollutants. *Water Research*, 190, 116-130. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116308.

Subekti, S., Basuki, P. and Purwaningrum, S.D., 2020. Pembakar sampah rendah emisi dengan air sebagai filtrasi. *Neo Teknika*, 6(2), pp.6-11.

Tawaf, N., SS, R.P. and Taufik, M., 2021. Perancangan Alat Pembakaran Sampah

Tanpa Asap Untuk Mengatasi
Pencemaran Lingkungan. *Jurnal*
Sainteka, 2(2), Pp.22-26.

Yahya, M.F. and Ningrum, D.A., 2023. Inovasi
Alat Pembakaran Sampah Tanpa Asap
Metode Rocket Stove. *Among: Jurnal*
Pengabdian Masyarakat, 5(2), pp.42-49.

Zhang, H. & Chen, J. (2017). Water Pollution
and Water Quality Control of Selected
Chinese Reservoir Basins. *Water*
Quality, Exposure and Health, 9(2), 171-
180. DOI: 10.1007/s12403-017-0247-4.

Zhu, X., Chen, X., & Wei, Y. (2016). The Role
of Water Circulation in Reducing
Airborne Pollutants in Urban
Environments. *Atmospheric*
Environment, 144, 265-272. DOI:
10.1016/j.atmosenv.2016.08.066.