

**PENGARUH CONE NOZZLE PADA VENTURY WET
SCRUBBER UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG
INSINERATOR**

Tugas Akhir

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada Jurusan
Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Diusulkan oleh :

VENIDA ALAN DEVARA

3331210030

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2025

TUGAS AKHIR

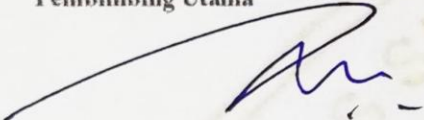
PENGARUH CONE NOZZLE PADA VENTURY WET SCRUBBER UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG INSINERATOR

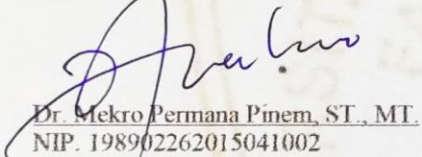
Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Venida Alan Devara
3331210030

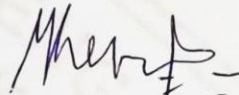
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 23 April 2025

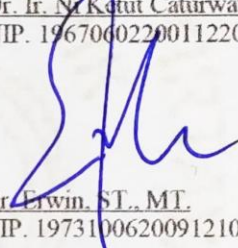
Pembimbing Utama

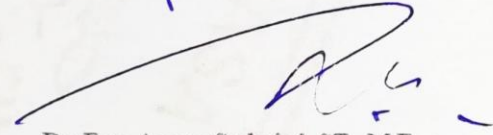

Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.
NIP. 197505152014041001

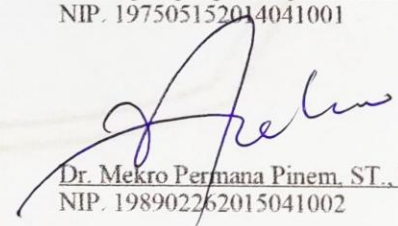

Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Anggota Dewan Penguji


Dr. Ir. N. Ketut Caturwati, MT.
NIP. 196706022001122001


Dr. Erwin, ST., MT.
NIP. 197310062009121001


Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.
NIP. 197505152014041001


Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.
NIP. 198902262015041002

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik


Tanggal, 15 Mei 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA
Dr. Dhimas Satria, ST., M.Eng.
NIP. 198305102012121006

LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Venida Alan Devara

NPM : 33312100030

Judul : Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini adalah hasil karya sendiri dan tidak ada duplikasi dari pihak lain, kecuali yang sudah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 15 Mei 2025



Venida Alan Devara
3331210030

ABSTRAK

PENGARUH *CONE NOZZLE* PADA *VENTURY WET SCRUBBER* UNTUK MENURUNKAN EMISI GAS BUANG INSINERATOR

Disusun Oleh:

Venida Alan Devara

3331210030

Pengelolaan sampah yang belum optimal di Indonesia berdampak pada meningkatnya emisi gas buang dari proses insinerasi. Salah satu solusi untuk mengurangi emisi ini adalah penggunaan teknologi *ventury wet scrubber*, yang berfungsi menangkap partikel dan gas berbahaya dengan aliran air. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penggunaan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* terhadap penurunan emisi gas buang insinerator. Metode yang digunakan adalah membandingkan dua kondisi yaitu insinerator tanpa *scrubber* dan insinerator dengan *scrubber* yang dilengkapi empat *cone nozzle*. Parameter emisi yang diukur meliputi CO, CO₂, HC, dan O₂ dengan menggunakan gas *analyzer*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dengan *cone nozzle* mampu menurunkan emisi CO sebesar 80,60%, CO₂ sebesar 70,56%, dan HC sebesar 73,81%, serta meningkatkan kadar O₂ sebesar 23,43%. Meskipun emisi CO masih sedikit melebihi batas ambang baku emisi (733 mg/Nm³ dibandingkan standar 625 mg/Nm³), penurunan yang dicapai sangat signifikan yaitu sebesar 80.60%. Dengan demikian, penggunaan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* terbukti efektif dalam mereduksi emisi gas buang insinerator.

Kata Kunci: *Cone Nozzle, Insinerator, Pengendalian Polusi, Ventury Wet Scrubber*

ABSTRACT

EFFECT OF CONE NOZZLE ON VENTURY WET SCRUBBER TO REDUCE INCINERATOR FLUE GAS EMISSION

Written By:

Venida Alan Devara

3331210030

Suboptimal waste management in Indonesia has resulted in increased exhaust emissions from the incineration process. One solution to reduce these emissions is the use of ventury wet scrubber technology, which functions to capture harmful particles and gases with water flow. This study aims to determine the effect of using a cone nozzle on the ventury wet scrubber on reducing incinerator exhaust emissions. The method used was to compare two conditions: incinerator without scrubber and incinerator with scrubber equipped with four cone nozzles. Emission parameters measured include CO, CO₂, HC, and O₂ using a gas analyzer. The results show that the system with cone nozzles can reduce CO emissions by 80.60%, CO₂ by 70.56%, and HC by 73.81%, and increase O₂ levels by 23.43%. Although CO emissions still slightly exceed the emission standard threshold (733 mg/Nm³ compared to the standard 625 mg/Nm³), the reduction achieved is very significant at 80.60%. Thus, the use of a cone nozzle on the ventury wet scrubber proved effective in reducing incinerator flue gas emissions.

Keywords: *Cone Nozzle, Incinerator, Pollution Control, Ventury Wet Scrubber*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan anugerah-Nya, Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wassalam, sosok pembina yang karena mulia akhlaknya, penulis dapat merasakan nikmat Islam. Alhamdulillah atas berkah dan nikmat-Nya penulis dapat menyusun proposal tugas akhir ini, dengan judul ”Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator” Salah satu tujuan penulisan laporan ini adalah sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pengajuan Tugas Akhir di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pada Proposal Tugas Akhir ini mendapat bimbingan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak, dengan itu penulis ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya, khususnya kepada ;

1. Bapak Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng., Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Bapak Kurnia Nugraha, S.T, M.T. Selaku dosen pembimbing akademik jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T, M.T. Selaku Plt. Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Agung Sudrajad, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Mekro Permana Pinem, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf dan jajarannya Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang sedikit banyaknya membantu dalam proses penelitian ini.
7. Orang Tua saya yang telah mendukung dan mendoakan saya dalam setiap aktivitas dan pembuatan skripsi ini.

8. Teman-teman tim penelitian Insinerator yang sudah bekerja sama dan saling memberikan semangat dan motivasi dalam proses pengerjaan skripsi ini.
9. Teman-teman angkatan rocket yang telah memberi semangat dan dukungan selama proses perkuliahan hingga penelitian ini.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu, baik berupa doa, dukungan dan lain sebagainya.

Disusun laporan ini memiliki banyak sekali rintangan, serta hambatan yang penulis hadapi, akan tetapi penelitian ini dapat terwujud berkat banyaknya bantuan dan arahan dari berbagai pihak. Maka itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada berbagai pihak yang telah membantu dan mendo`a-kan agar penulisan laporan ini dapat diselesaikan. Semoga kebaikan yang sudah dilakukan dapat dibalaskan sebaik-baiknya.

Demikian Laporan Tugas Akhir ini, Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan baik dalam penyusunan maupun pemaparannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun. Terimakasih.

Cilegon, 15 Mei 2025

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>State Of Art</i>	4
2.2 Insinerator.....	5
2.3 <i>Wet Scrubber</i>	6
2.3.1 Mekanisme <i>Wet Scrubber</i>	7
2.3.2 Jenis <i>Wet Scrubber</i>	9
2.4 <i>Cone Nozzle</i>	12
2.5 Emisi Gas Buang	14
2.5.1 Karbon Monoksida (CO).....	16
2.5.2 Karbon Dioksida (CO ₂).....	16
2.5.3 Hidrokarbon (HC)	17
2.5.4 Oksigen (O ₂).....	18
2.6 Absorpsi.....	18

2.6.1 Physical Absorption.....	19
2.6.2 Chemical Absorption	20
2.7 <i>Collision Droplet</i>	21
2.8 Standar Emisi Insinerator	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan	27
3.2.1 Alat	27
3.2.2 Bahan	33
3.3 <i>Sampling Point</i>	34
3.4 Skema Penelitian	35
3.5 Prosedur Penelitian.....	37
3.5.1 Prosedur Pengambilan Data Insinerator	37
3.5.2 Prosedur Pengambilan Data Insinerator Menggunakan Cone Nozzle Pada Ventury Wet Scrubber	37
3.5.3 Prosedur Pengambilan Data.....	38
3.6 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Pengambilan Data	39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Emisi Karbon Monoksida (CO)	40
4.2 Analisis Emisi Karbon Dioksida (CO ₂)	42
4.3 Analisis Emisi Hidrokarbon (HC).....	45
4.4 Analisis Kandungan Gas Oksigen (O ₂).....	47
4.5 Pengaruh Penggunaan <i>Cone Nozzle</i> Pada <i>Ventury Wet Scrubber</i> Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Insinerator	49
4.6 Analisa Ambang Batas Nilai Emisi Berdasarkan Standar.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Insinerator	5
Gambar 2.2 Ilustrasi Mekanisme <i>Wet Scrubber</i>	8
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>Spray Tower</i>	9
Gambar 2.4 <i>Cyclonic Spray Tower</i>	10
Gambar 2.5 <i>Ventury Scrubber</i>	11
Gambar 2.6 Hasil Semprotan <i>Cone Nozzle</i>	12
Gambar 2.7 <i>pressure-swirl atomization</i> Pada <i>Cone Nozzle</i>	13
Gambar 2.8 <i>Cone Nozzle</i>	14
Gambar 2.9 Proses Absorpsi Fisik	20
Gambar 2.10 Proses Absorpsi Kimia	21
Gambar 2.11 Perbedaan hasil 3 tumbukan air	21
Gambar 2.12 <i>Type Droplet Collision</i>	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Insinerator	27
Gambar 3.3 <i>Gas analyzer</i>	28
Gambar 3.4 Pompa Air.....	29
Gambar 3.5 <i>Nozzle Cone</i>	29
Gambar 3.6 <i>Ventury Wet Scrubber</i>	30
Gambar 3.7 <i>Blower</i>	30
Gambar 3.8 <i>Burner</i>	31
Gambar 3.9 <i>Flask</i>	31
Gambar 3.10 Tangki Bahan Bakar	32
Gambar 3.11 Panel <i>Display</i> Temperatur	32
Gambar 3.12 <i>Thermocouple</i>	33
Gambar 3.13 Air	33
Gambar 3.14 Limbah Sampah	34
Gambar 3.15 Bahan Bakar	34
Gambar 3.16 <i>Sampling Point</i>	35
Gambar 3.17 Skema Penelitian	36

Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai Emisi CO	41
Gambar 4.2 Grafik Penurunan Nilai Emisi CO ₂	43
Gambar 4.3 Grafik Penurunan Nilai Emisi HC	46
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai Emisi O ₂	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batas Maksimum Emisi Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.....	23
Tabel 4.1 Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO.....	40
Tabel 4.2 Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi CO ₂	43
Tabel 4.3 Perbandingan Persentase Penurunan Nilai Emisi HC	45
Tabel 4.4 Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi O ₂	47
Tabel 4.1 Perbandingan Persentase Perubahan Nilai Emisi <i>Cone Nozzle Off</i> dan <i>Cone Nozzle On</i>	50
Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Hasil Penelitian Gas CO dengan Standar Baku Emisi P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.....	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024, jumlah timbunan sampah padat di Indonesia diperkirakan mencapai 33.62 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sekitar 60,09% telah berhasil dikelola, sementara 39.91% masih belum terkelola secara optimal [1]. Sampah yang tidak terkelola ini umumnya berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) atau mencemari lingkungan, termasuk ekosistem laut. Permasalahan pengelolaan sampah yang efektif masih menjadi tantangan besar di Indonesia, meskipun berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan pengurangan dan penanganan sampah. Sampah yang tidak dikelola dengan baik menimbulkan berbagai dampak negatif, termasuk ancaman terhadap kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan. Salah satu dampak signifikan adalah polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran sampah tanpa pengendalian yang sesuai, yang dapat melepaskan emisi gas berbahaya.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan metode pengolahan sampah yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah insinerasi, yaitu teknik pengolahan sampah dengan cara membakar sampah pada suhu tinggi. Proses ini sering disebut sebagai pengolahan termal atau *thermal treatment* karena memanfaatkan panas dalam proses pembakaran [2]. Insinerator memiliki dua fungsi utama, yakni sebagai alat pembakar sampah dan sebagai pembangkit uap panas dengan mengonversi energi panas hasil pembakaran. Keunggulan dari metode insinerasi adalah kemampuannya dalam mengurangi volume sampah secara signifikan serta meminimalkan pencemaran lingkungan akibat penimbunan sampah [3]. Namun demikian, proses ini juga menghasilkan emisi gas buang yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengendalian emisi yang efektif untuk mengurangi dampak negatif dari gas buang yang dihasilkan.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mengendalikan emisi gas buang adalah *Ventury Wet Scrubber*. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan aliran air untuk menangkap partikel, debu, dan gas berbahaya dari emisi hasil pembakaran. Sistem ini menerapkan prinsip *Ventury*, di mana gas buang dipercepat melalui bagian sempit dari scrubber sehingga menciptakan tekanan rendah yang menarik cairan penyerap (biasanya air) ke dalam aliran gas. Variasi tipe *water spray* yang digunakan dalam *Ventury Wet Scrubber* diketahui memiliki pengaruh terhadap efisiensi pengendalian emisi. *Cone nozzle* memiliki pola semprotan yang lebih luas dan merata, sehingga cakupan dalam penangkapan emisi gas buang insinerator menjadi lebih efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *cone nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk mengetahui penurunan emisi gas buang insinerator. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh solusi yang lebih efektif untuk mengurangi emisi gas berbahaya sekaligus meningkatkan efisiensi sistem pengendalian polusi. Selain itu, penelitian ini relevan dengan upaya pemerintah dalam mendukung program keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka disusun laporan tugas akhir dengan judul "Pengaruh *Cone Nozzle* pada *Ventury Wet Scrubber* untuk Menurunkan Emisi Gas Buang Insinerator".

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber* untuk menurunkan emisi gas buang insinerator?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan emisi gas buang insinerator dengan menggunakan *cone nozzle* pada *ventury wet scrubber*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Insinerator yang digunakan pada penelitian ini adalah insinerator yang terdapat pada Laboratorium Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA.
2. Limbah yang digunakan adalah limbah plastik dan kertas.
3. Air yang digunakan pada *system water spray* adalah air yang berada pada Fakultas Teknik UNTIRTA.
4. Tipe *water spray* yang digunakan adalah tipe *spray cone nozzle*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi industri dan pelaku UMKM

Memberikan solusi untuk mengurangi emisi gas buang dari insinerator dan *ventury wet scrubber*, tentunya hal ini bisa menjadi solusi dan mempermudah untuk bisa mengelola limbah emisinya secara mandiri.

2. Bagi lingkungan

Dengan mengurangi emisi gas buang yang tercipta maka dapat meningkatkan kualitas udara, sehingga dapat mengurangi risiko kesehatan bagi masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi insinerator dan meminimalisir dampak negatif terhadap lingkungan.

3. Bagi pemerintah

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam merumuskan kebijakan lingkungan, khususnya dalam pengelolaan dan pengurangan emis gas buang dari insinerator. Penelitian ini juga relevan dengan upaya pemerintah dalam memenuhi standar emisi yang ditetapkan, serta mendukung keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN).” [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] et al. Jayadi, “Chimney Filter Model Wet Scrubber to Reduce Air Pollutant Emissions on the Incinerator,” *Heal. Notions*, vol. 5, no. 2, pp. 41–45, 2021, doi: 10.33846/hn50201.
- [3] E. Naryono, “Perancangan Sistem Pemilahan , Pengeringan dan Pembakaran Sampah Organik Rumah Tangga,” *Indones. Green Technol. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2013.
- [4] Z. Perkasa, “Pengaruh Penggunaan Air Laut dan Ukuran Droplet Terhadap Kadar Partikulat Gas Buang Pada Insenerator Sampah,” Universitas Negeri Jakarta, 2018. [Online]. Available: <http://repository.unj.ac.id/id/eprint/744>
- [5] W. Nurul and R. Aminy, “Perencanaan Emisi PM10 Pada Industri Peleburan Baja Cilegon-Banten,” Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [6] C. Enggang, “Analisis Pemanfaatan Panas Incinerator Stunta x Pindad Menjadi Sumber Energi PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah),” Malang, 2022.
- [7] A. Sudrajad and I. Syaefulloh, “Performance and Pollution Control Analysis of Municipal Solid Waste Incinerator Type Fluidized Bed,” *Proc. Conf. Broad Expo. to Sci. Technol. 2021 (BEST 2021)*, vol. 210, no. Best 2021, pp. 402–404, 2022, doi: 10.2991/aer.k.220131.060.
- [8] A. Lasmana, Junaidi, and E. Kurniawan, “Rancang Bangun Alat Pembakar Sampah (Incinerator) Dengan Burner Oli Bekas,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2021.
- [9] N. H. A. A, S. Prajogo, and A. S. Kurniasetiawati, “Perancangan Wet Scrubber Kapasitas 0,72 m³/jam pada Proses Pemurnian Biogas dari Kotoran Sapi,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 13, no. 01, pp. 850–858, 2022, doi: 10.35313/irwns.v13i01.4178.
- [10] F. Rahmawati, B. P. Samadikun, and M. Hadiwidodo, “Performance

Evaluation of Cyclone Particulate Controller and Wet Scrubber Unit in Paper Mill 7/8 PT. Pura Nusapersada Kudus,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 17, no. 2, pp. 144–153, 2020, doi: 10.14710/presipitasi.v17i2.144-153.

- [11] N. M. Damastu, “Studi Eksperimen dan Kajian Numerik Aliran Fluida Pada Nosel Diameter 0,3 mm,” Universitas Pasundan, 2016. [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/12936%0A>
- [12] H. Shrigondekar, A. Chowdhury, and S. V. Prabhu, “Characterization of solid-cone simplex mist nozzles,” *Fire Saf. J.*, vol. 111, no. November 2018, p. 102936, 2020, doi: 10.1016/j.firesaf.2019.102936.
- [13] E. P. Lestari and Widjiningsih, “Rancang Bangun Tangki Pembilasan Insinerator Sampah Ramah Lingkungan Terhadap Efektifitas Kadar Partikulas Gas Buang,” 2015.
- [14] M. Umar Wakhid, “Analisis Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor CO di UIN Raden Intan Lampung,” Universitas Islam Negeri, 2018.
- [15] S. R. Damayanti and N. Hendrasarie, “Efektivitas Absorben Kimia pada Wet Scrubber untuk Menurunkan Emisi CO dan CO₂,” *J. Serambi Eng.*, vol. X, no. 1, pp. 11787–11795, 2025.
- [16] M. Islamiah, “Perancangan Filter Purifikasi Biogas (CO₂, H₂S) Dengan Menggunakan Absorpsi (CaO, NaOH) DAN Water Scrubber,” *Tesis Tf 092325*, pp. 1–88, 2014.
- [17] S. Ardhiyany, “Proses Absorpsi Gas CO₂ dalam Biogas Menggunakan Alat Absorber Tipe Packing Dengan Analisa Pengaruh Laju Alir Absorben NaOH,” *J. Tek. Patra Akad.*, vol. 9, no. 02, pp. 55–64, 2019, doi: 10.52506/jtpa.v9i02.78.
- [18] S. Kropotova and P. Strizhak, “Collisions of liquid droplets in a gaseous medium under conditions of intense phase transformations: Review,” *Energies*, vol. 14, no. 19, 2021, doi: 10.3390/en14196150.
- [19] C. Rabe, J. Malet, and F. Feuillebois, “Experimental investigation of water droplet binary collisions and description of outcomes with a symmetric Weber number,” *Phys. Fluids*, vol. 22, no. 4, pp. 1–11, 2010, doi: 10.1063/1.3392768.

- [20] Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2016,” in *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2016*, vol. 151, no. 2, 2016, p. 28.
- [21] K. C. Goel and K. G. T. Hollands, “Optimum design of venturi scrubbers,” *Atmos. Environ.*, vol. 11, no. 9, pp. 837–845, 1977, doi: 10.1016/0004-6981(77)90046-4.
- [22] Philip Kristanto, “Sistem Injeksi Hidrogen untuk Mengurangi Emisi Hidrokarbon,” *J. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 122–126, 1999.