

Nomor Urut : 169 B/UN.7.F3.6.8.TL/DL/III/2026

170 B/UN7.F3.6.8.TL/DL/III/2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ALAT PENGENDALI PENCEMARAN
UDARA PADA SENTRA INDUSTRI ALKOHOL
KECAMATAN KRADENAN KABUPATEN GROBOGAN



Disusun Oleh:

ANTONIO GLENCHEBIRLIEGIE HUTAGAOL 21080122110038

NOVALIA DEWI RAMADHANI 21080122130080

DEPARTEMEN S1 TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Novalia Dewi Ramadhani
NIM : 21080122130080
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perancangan Alat Pengendali Pencemaran Udara pada Sentra Industri Alkohol Kecamatan Kradenan Kabupaten Grobogan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

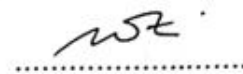
Pembimbing I:

Dr. Eng. Ir. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T., IPM
199203242019031016



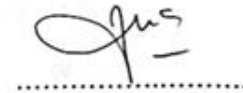
Pembimbing II:

Dr. Ir. Nurandani Hardyanti, S.T, M.T., IPU., ASEAN Eng
197301302000032001



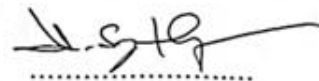
Ketua Penguji:

Dr. Ir. Anik Sarminingsih, M.T., IPU., ASEAN Eng
196704011999032001



Anggota Penguji:

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
197402141999031002



Semarang, 6 Juli 2026

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Undip

Ketua



Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 197805142005011001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Antonio Glencherbirliegie Hutagaol
NIM : 21080122110038
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perancangan Alat Pengendali Udara Pada Sentra Industri Alkohol Kecamatan Kradenan Kabupaten Grobogan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Pembimbing I:
Dr. Ir. Nurandani Hardyanti, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng
197301302000032001

.....

Pembimbing II:
Dr. Eng. Ir. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T., IPM
199203242019031016

.....

Ketua Penguji:
Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
197402141999031002

.....

Anggota Penguji:
Dr. Ir. Anik Sarminingsih, M.T., IPU., ASEAN Eng
196704011999032001

.....

Semarang, 6 Juli 2026
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Undip



Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 197805142005011001

.....

ABSTRAK

Sentra industri alkohol di Desa Banjardowo, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan masih menggunakan pembakaran kayu sebagai sumber energi dalam proses destilasi. Aktivitas pembakaran biomassa tersebut berpotensi menghasilkan emisi pencemar udara berupa partikulat, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan metana (CH₄) yang dapat menurunkan kualitas udara di lingkungan sekitar. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis pencemar udara yang dihasilkan, menentukan alternatif teknologi pengendalian pencemaran udara yang sesuai, serta merancang alat pengendali pencemaran udara yang efektif dan aplikatif untuk sentra industri alkohol. Metode yang digunakan meliputi analisis neraca massa pembakaran, perhitungan konsentrasi emisi, evaluasi alternatif teknologi pengendalian menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW), perancangan alat pengendali, serta pemodelan dispersi emisi menggunakan AERMOD. Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter *Total Suspended Particulate* (TSP) memiliki konsentrasi sebesar 563,423 mg/m³ sehingga melebihi baku mutu emisi sumber tidak bergerak sebesar 350 mg/m³. Berdasarkan hasil penilaian aspek teknis, ekonomi, lingkungan, dan efisiensi removal menggunakan metode SAW, teknologi *cyclone* dipilih sebagai alternatif terbaik untuk diterapkan pada sentra industri alkohol. *Cyclone* yang dirancang merupakan tipe *conventional cyclone* (2D2D) dengan efisiensi *removal* sebesar 58% sehingga dapat menurunkan konsentrasi partikulat hingga memenuhi baku mutu yang berlaku. Selain itu, hasil pemodelan dispersi menunjukkan bahwa penerapan alat pengendali dapat menurunkan konsentrasi pencemar yang terdispersi ke lingkungan. Total rencana anggaran biaya pembangunan *cyclone* dan cerobong sebesar Rp56.717.123,18. Dengan demikian, penerapan *cyclone* dapat menjadi solusi yang efektif, sederhana, dan ekonomis dalam pengendalian pencemaran udara pada sentra industri alkohol di Kecamatan Kradenan Kabupaten Grobogan.

Kata kunci: pencemaran udara, industri alkohol, pembakaran biomassa, *cyclone*, TSP, SAW, AERMOD.

ABSTRACT

The alcohol production center in Banjardowo Village, Kradenan District, Grobogan Regency, utilizes wood combustion as the primary energy source in the distillation process. This biomass combustion activity has the potential to generate air pollutant emissions, including particulate matter, carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), and methane (CH₄), which may degrade the surrounding air quality. This study aims to identify the types of air pollutants generated, determine the most appropriate air pollution control technology, and design an effective and applicable air pollution control device for the alcohol production center. The methods employed include biomass combustion mass balance analysis, emission concentration calculations, evaluation of alternative control technologies using the Simple Additive Weighting (SAW) method, air pollution control device design, and emission dispersion modeling using AERMOD. The results indicate that the concentration of Total Suspended Particulates (TSP) reached 563.423 mg/m³, exceeding the stationary source emission standard of 350 mg/m³. Based on the evaluation of technical, economic, environmental, and removal efficiency aspects using the SAW method, a cyclone collector was selected as the most suitable control technology for the alcohol production center. The designed cyclone is a conventional cyclone (2D2D) type with a removal efficiency of 58% so that it can reduce particulate concentrations to meet applicable quality standards. Furthermore, the emission dispersion modeling results demonstrate that the implementation of the control device can reduce pollutant concentrations dispersed into the surrounding environment. The total estimated construction cost for the cyclone and chimney system is IDR 56,717,123.18. Therefore, the application of a cyclone collector can serve as an effective, simple, and economical solution for air pollution control in the alcohol production center of Kradenan District, Grobogan Regency.

Keywords: air pollution, alcohol industry, biomass combustion, cyclone collector, TSP, SAW, AERMOD.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri kecil dan menengah memiliki peran penting untuk mendukung perekonomian daerah, khususnya dalam menciptakan lapangan kerja dan meningkatkan pendapatan masyarakat. Salah satu sentra industri yang berkembang di Kabupaten Grobogan adalah sentra industri alkohol di Kecamatan Kradenan. Industri ini telah menjadi sumber penghidupan bagi sebagian masyarakat setempat dengan memproduksi alkohol dari bahan baku alami berupa tebu. Namun demikian, aktivitas produksi alkohol berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, terutama pencemaran udara, apabila tidak dikelola dengan baik (Ulya, 2025).

Proses produksi alkohol tradisional seperti yang telah berjalan di Grobogan umumnya melibatkan pembakaran kayu sebagai sumber energi utama untuk melakukan destilasi. Bahan baku seperti tebu yang difermentasi dengan ragi selama lebih dari seminggu pada suhu 25-35°C, menghasilkan larutan etanol dengan konsentrasi 8-12%. Larutan ini kemudian dipanaskan dalam alat destilasi sederhana, di mana kayu dibakar di bawah tungku untuk mencapai suhu mendidih etanol sehingga memisahkan uap etanol dari air dan residu. Sementara itu, pembakaran kayu tidak sempurna melepaskan emisi utama berupa partikulat, CO₂, CO, NO_x, dan metana (CH₄), yang berkontribusi pada polusi udara, hujan asam, dan pemanasan global, terutama di wilayah pedesaan Indonesia di mana praktik ini umum dilakukan (Aulia et al., 2023).

Pada umumnya, industri alkohol skala kecil dan menengah masih memiliki keterbatasan dalam penerapan teknologi pengendalian pencemaran udara. Faktor keterbatasan modal, rendahnya pemahaman mengenai dampak lingkungan, serta minimnya penerapan standar pengelolaan lingkungan menyebabkan emisi udara sering dilepaskan langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Hal ini berpotensi menyebabkan risiko terhadap kesehatan jika kegiatan ini dilakukan terus-menerus dalam jangka waktu yang lama (Salsabila et al., 2023).

Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya pengendalian pencemaran udara yang efektif, sederhana, dan sesuai dengan karakteristik industri alkohol di Kecamatan Kradenan. Perancangan alat pengendali pencemaran udara yang tepat diharapkan dapat menurunkan konsentrasi emisi dan meningkatkan kualitas lingkungan udara di sekitar kawasan industri. Selain itu, perancangan alat yang aplikatif dan ekonomis juga diharapkan dapat mendorong penerapan teknologi ramah lingkungan pada industri kecil dan menengah secara berkelanjutan (Pratama & Permadi, 2024).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diperoleh identifikasi masalah yang mendasari adanya perencanaan ini, yaitu:

1. Aktivitas pembakaran biomassa pada produksi alkohol di Kecamatan Kradenan berpotensi menghasilkan emisi pencemar udara.
2. Emisi udara dari proses produksi diduga masih dilepaskan langsung ke lingkungan tanpa melalui sistem pengendalian pencemaran udara yang memadai.
3. Belum tersedianya rancangan alat pengendali pencemaran udara yang sesuai dengan karakteristik emisi dan kondisi operasional sentra industri alkohol di Kecamatan Kradenan.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah berfungsi sebagai batasan-batasan lingkup yang jelas untuk menunjukkan fokus permasalahan yang akan dieksplorasi. Pembatasan ini menentukan kerangka teori atau variabel yang digunakan, yakni:

1. Penelitian difokuskan pada pencemaran udara yang dihasilkan dari proses pembakaran biomassa pada produksi alkohol di Kecamatan Kradenan
2. Jenis pencemar udara yang dikaji dibatasi pada emisi dari proses pembakaran biomassa saat destilasi alkohol.
3. Penelitian hanya mencakup perancangan alat pengendali pencemaran udara untuk emisi dari proses pembakaran biomassa saat destilasi alkohol dan tidak sampai pada tahap pembuatan atau pengujian alat secara langsung.

4. Aspek ekonomi dibatasi pada estimasi sederhana kebutuhan alat, tanpa analisis kelayakan ekonomi secara mendalam.
5. Kajian dilakukan berdasarkan data literatur, standar teknis, dan asumsi yang relevan dengan kondisi industri alkohol skala kecil dan menengah.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun masalah-masalah yang dapat diidentifikasi dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja jenis pencemar udara yang dihasilkan dari proses pembakaran biomassa saat destilasi alkohol di sentra industri alkohol Kecamatan Kradenan?
2. Teknologi pengendalian pencemaran udara apa yang sesuai untuk diterapkan pada sentra industri alkohol skala kecil dan menengah?
3. Bagaimana perancangan alat pengendali pencemaran udara yang efektif dan aplikatif sesuai dengan jenis emisi dari proses pembakaran biomassa saat destilasi alkohol di Kecamatan Kradenan?

1.5 Rumusan Tujuan

Rumusan tujuan berdasarkan rumusan masalah di atas, diperoleh tujuan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi jenis pencemar udara yang dihasilkan dari proses pembakaran biomassa saat destilasi alkohol pada sentra industri alkohol di Kecamatan Kradenan.
2. Menentukan alternatif teknologi pengendalian pencemaran udara yang sesuai dengan karakteristik emisi dan kondisi operasional industri alkohol skala kecil dan menengah.
3. Merancang alat pengendali pencemaran udara yang efektif, sederhana, dan sesuai dengan kondisi sentra industri alkohol di Kecamatan Kradenan.

1.6 Rumusan Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh dari perencanaan ini meliputi:

1. Bagi Penulis

- Memperoleh pengetahuan dan wawasan yang lebih luas terkait perencanaan pengendalian pencemaran udara khususnya pada kegiatan industri alkohol.
- Mampu mengaplikasikan secara langsung ilmu yang telah diperoleh di dunia perkuliahan.

2. Bagi IPTEK

- Memperoleh pengetahuan dan wawasan yang lebih luas terkait perencanaan pengendalian pencemaran udara khususnya pada kegiatan industri alkohol.
- Mampu mengaplikasikan secara langsung ilmu yang telah diperoleh di dunia perkuliahan.

3. Bagi Pemerintah Kecamatan Kradenan

- Menjadi bahan pertimbangan mengenai upaya pengendalian pencemaran udara di Kecamatan Kradenan.

4. Bagi Masyarakat

- Mendorong masyarakat dalam upaya pengendalian pencemaran udara dan ikut berperan serta dalam mengurangi dampak pencemaran udara.
- Dapat meningkatkan kualitas udara di wilayah sekitar Sentra Industri Alkohol Kecamatan Kradenan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreae, M. O. (1991). Biomass Burning: Its History, Use, and Distribution and Its Impact on Environmental Quality and Global Climate. Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications. <https://doi.org/https://doi.org/10.7551/mitpress/3286.003.0003>
- Bianchini, A., Pellegrini, M., Rossi, J., & Saccani, C. (2018). Theoretical model and preliminary design of an innovative wet scrubber for the separation of fine particulate matter produced by biomass combustion in small size boilers. Biomass and Bioenergy, 116, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.05.011>
- Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of Air Pollution Prevention and Control*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7499-7.X5000-7>
- Chiang, P.-C., & Gao, X. (2022). Air Pollution Control and Design (1 ed.). Springer Singapore. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-7488-3>
- Ciardiello, F., & Genovese, A. (2023). A comparison between TOPSIS and SAW methods. Annals of Operations Research, 325, 967–994. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05339-w>
- Cimorelli, A., Perry, S., Venkatram, A., Weil, J., Paine, R., Wilson, R., Lee, R., Peters, W., & Brode, R. (2005). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology - J APPL METEOROL*, 44. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Cincinelli, A., Guerranti, C., Martellini, T., & Scodellini, R. (2019). Residential wood combustion and its impact on urban air quality in Europe. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 8, 10–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.12.007>
- Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2011). Air Pollution Control: A Design Approach (Fourth Edition). Wavelan Press, Inc.

- Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. Dalam Progress in Energy and Combustion Science (Vol. 30, Nomor 2, hlm. 219-230). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.10.004>
- Dinas Lingkungan Hidup. (2020). Laporan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara DKI Jakarta Tahun 2020. 1–72.
- EPA. (2008). Particulate Matter. The IUPAC Compendium of Chemical Terminology. <https://doi.org/10.1351/goldbook.p04434>
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2018). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering* (8 ed.). Pearson.
- Ismahani, R., Anurogo, D. W., & Kunci, K. (2022). Indonesian Journal of Conservation Pemodelan AERMOD Untuk Proyeksi Pola Penyebaran Emisi Heat Recovery Steam Generator PT X dan PT Y. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(2), 51–63. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i2.37953>
- Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. (2014). A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction*, 45, 151–162.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2007). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2007 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk Kegiatan Industri [Lampiran].
- KLHK Nomor 14 Tahun 2020. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara.
- Kovacs, H., Szemmelveisz, K., & Koós, T. (2016). Theoretical and experimental metals flow calculations during biomass combustion. *Fuel*, 185, 524–531. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.007>
- Levine, J. S. (2003). 4.05 - Biomass Burning: The Cycling of Gases and Particulates from the Biosphere to the Atmosphere. Dalam H. D. Holland & K. K. Turekian (Ed.), *Treatise on Geochemistry* (hlm. 143–158). Pergamon. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/04143-8>
- Li, Q., Jiang, J., Cai, S., Zhou, W., Wang, S., Duan, L., & Hao, J. (2016). Gaseous Ammonia Emissions from Coal and Biomass Combustion in Household Stoves with Different Combustion Efficiencies. *Environmental Science &*

- Lumbantoruan, G., Purba, M. J., Harianja, E. J. G., Nainggolan, R., & Perangin-Angin, R. (2019). Determines the weight criteria of simple additive weighting method using certainty factor. 2019 International Conference of Computer Science and Information Technology (ICoSNIKOM), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICoSNIKOM48755.2019.9111539>
- Maherdyta, N. R., Syafitri, A., Septywantoro, F., Kejora, P. A., Gulo, S. D., & Sulistiyorini, D. (2022). Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂) pada Masyarakat di Wilayah Yogyakarta. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 2(1), 51–59. <https://doi.org/10.36086/jsl.v2i1.1040>
- Mardhiyah, A., & Feby Aulia Safrin. (2020). Strategi Pemasaran Industri Rumah Tangga Keripik Singkong. *Sketsa Bisnis*, 7(1), 37–44. <https://doi.org/10.35891/jsb.v7i1.2183>
- Mulya, W., Pratama, I., Evert, J., & Liku, A. (2023). Sosialisasi Seminar Teknologi Pengendalian Pencemaran Udara. *EUNOIA*, 2.
- Nirmala, D. S., & Prasasti, C. I. (2015). Konsentrasi PM_{2.5} dan Analisis Karakteristik Pekerja Terhadap Keluhan Kesehatan Pekerja Pengasapan Ikan di Kelurahan Tambak Wedi Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), 57.
- Paraschiv, L. S., Serban, A., & Paraschiv, S. (2020). Calculation of combustion air required for burning solid fuels (coal / biomass / solid waste) and analysis of flue gas composition. *Energy Reports*, 6, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.10.016>
- PP Nomor 22 Tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*.
- PP Nomor 41 Tahun 1999. (1999). Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Presiden Republik Indonesia*.

- Prieler, R., Mayr, B., Demuth, M., Spoljaric, D., & Hochenauer, C. (2015). Application of the steady flamelet model on a lab-scale and an industrial furnace for different oxygen concentrations. *Energy*, 91, 451–464. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.070>
- Prihatin, R. B. (2020). Pengelolaan Sampah di Kota Bertipe Sedang: Studi Kasus di Kota Cirebon dan Kota Surakarta. *Aspirasi: Jurnal Masalah-masalah Sosial*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.46807/aspirasi.v11i1.1505>
- Racero-Galaraga, D., Rhenals-Julio, J. D., Sofan-German, S., Mendoza, J. M., & Bula-Silvera, A. (2024). Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics. Dalam *Results in Chemistry* (Vol. 12). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886>
- Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing : Jurnal Sistem Komputer*, <https://doi.org/10.31937/sk.v12i1.1611>
- Setiaji, P. (2012). Sistem pendukung keputusan dengan metode Simple Additive Weighting. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 1(1), 52–57. <https://doi.org/10.24176/simet.v1i1.117>
- Smółka-Danielowska, D., & Jabłońska, M. (2022). Chemical and mineral composition of ashes from wood biomass combustion in domestic wood-fired furnaces. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(6), 5359–5372. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03506-9>
- Suhadi, D. R., & Febrina, A. S. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Pencemar Udara di Perkotaan. Pedoman Teknis penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan, 1–153.
- Sun, J., Wang, J., Shen, Z., Huang, Y., Zhang, Y., Niu, X., Cao, J., Zhang, Q., Xu, H., Zhang, N., & Li, X. (2019). Volatile organic compounds from residential solid fuel burning in Guanzhong Plain, China: Source-related profiles and risks. *Chemosphere*, 221, <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.002>

- Telmo, C., & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043> 2634–2639.
- Telmo, C., Lousada, J., & Moreira, N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood. *Bioresource Technology*, 101(11), 3808 – 3815. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.021>
- Tomlin, A. S. (2021). Air Quality and Climate Impacts of Biomass Use as an Energy Source: A Review. *Energy & Fuels*, 35(18), 14213–14240. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01523>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2008*. 1.
- USEPA. (2013). *Health Effects of Particulate Matter*.
- Velasquez, M., & Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56–66.
- WBA. (2021). *WBA global bioenergy statistics 2021*. World Bioenergy Association.
- Widodo, S., Amin, M. M., Sutrisman, A., & Putra, A. A. (2017). Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih Dan Gas Berbahaya CO, CO₂, dan CH₄ Di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler. *Pseudocode*, 4(2), 105–119. <https://doi.org/10.33369/pseudocode.4.2.105-119>
- Yasir, M. (2021). Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan. *Jurnal OSF.Oi*, 1–10.
- Zhang, L., Luo, Z., Li, Y., Chen, Y., Du, W., Li, G., Cheng, H., Shen, G., & Tao, S. (2021). Optically Measured Black and Particulate Brown Carbon Emission Factors from Real-World Residential Combustion Predominantly Affected by Fuel Differences. *Environmental Science & Technology*, 55(1), 169–178. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04784>
- Zhang, Y., Liu, X., Wang, J., Chen, H., & Li, R. (2021). Evaluation of removal efficiency in air pollution control devices: Standards and methodologies. *Environmental Science and Technology*, 55(8), 4105–4116.

Zou, B., Benjamin Zhan, F., Gaines Wilson, J., & Zeng, Y. (2010). Performance of AERMOD at different time scales. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(5), 612–623.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.01.005>

