

Nomor Urut : 001 A /UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

002 A /UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

Laporan Tugas Akhir

**PERANCANGAN ALAT PENGENDALI PENCEMARAN
UDARA DAN REDESAIN CEROBONG PADA SENTRA
INDUSTRI TAHU DESA PLOSO KECAMATAN JATI
KABUPATEN KUDUS**



Disusun Oleh:

Adinda Bella Dhea Phitaloka NIM 21080122120015

Adinda Khansa Anintya NIM 21080122130045

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Adinda Bella Dhea Phitaloka
 NIM : 21080122120015
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
 Judul Skripsi : Perancangan Alat Pengendali Pencemaran Udara dan Redesain Cerobong Pada Sentra Industri Tahu Desa Ploso Kecamatan Jati Kabupaten Kudus

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.

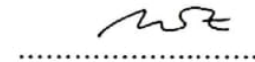
Pembimbing I:

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



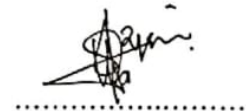
Pembimbing II:

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



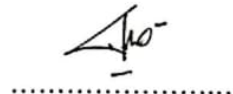
Ketua Penguji:

Dr. Yustina Metanoia Pusparizkita, S.T., M.T.
 H.7. 199203122022022001



Anggota Penguji:

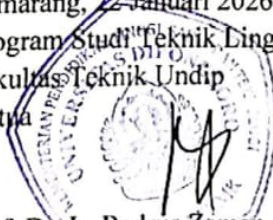
Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., IPM
 198704202014012001



Semarang, 22 Januari 2026

Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Undip
 Ketua

Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 NIP. 197208302000031001



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Adinda Khansa Anintya
 NIM : 21080122130045
 Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
 Judul Skripsi : Perancangan Alat Pengendali Pencemaran Udara dan Redesain Cerobong Pada Sentra Industri Tahu Desa Ploso Kecamatan Jati Kabupaten Kudus

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.

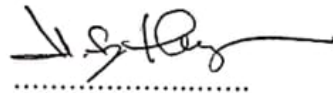
Pembimbing I:

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



Pembimbing II:

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



Ketua Penguji:

Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., IPM
 198704202014012001



Anggota Penguji:

Dr. Yustina Metanoia Pusparizkita, S.T., M.T.
 H.7. 199203122022022001



Semarang, 22 Januari 2026
 Program Studi Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Undip
 Ketua


 Prof. Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.
 NIP. 197208302000031001

ABSTRAK

Industri tahu skala kecil di Indonesia pada umumnya masih memanfaatkan biomassa kayu sebagai sumber energi utama dalam proses perebusan kedelai, yang berpotensi menimbulkan pencemaran udara apabila tidak dilengkapi dengan sistem pengendalian emisi. Di Sentra Industri Tahu Desa Ploso, terdapat 18 unit usaha mikro, kecil, menengah, (UMKM) yang menggunakan kayu bakar tanpa alat pengendali pencemaran udara. Salah satu industri dengan kapasitas produksi terbesar mengonsumsi sekitar 171 kg kayu per jam untuk mengolah ± 700 kg kedelai per hari. Proses pembakaran biomassa tersebut menghasilkan emisi gas buang berupa sulfur dioksida (SO_2) serta partikulat udara yang terdiri atas $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , dan *Total Suspended Particulate* (TSP), yang berpotensi menurunkan kualitas udara ambien di lingkungan sekitar. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi TSP dari sumber emisi mencapai $515,5 \text{ mg/m}^3$, dimana telah melampaui baku mutu emisi ketel uap biomassa Lampiran III Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2007 sebesar 350 mg/m^3 . Oleh karena itu, dilakukan perencanaan alat pengendali pencemaran udara untuk menurunkan konsentrasi emisi partikulat tersebut. Pemilihan alternatif teknologi pengendalian dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dengan mempertimbangkan aspek teknis, operasional, dan kesesuaian terhadap skala UMKM, yang menghasilkan cyclone sebagai alternatif dengan tingkat prioritas tertinggi. Cyclone yang dirancang memiliki efisiensi penurunan TSP sebesar 98,49%, PM_{10} sebesar 45,76%, dan $\text{PM}_{2.5}$ sebesar 3,26%, dengan efisiensi pengumpulan total sebesar 53,16%. Selain itu, dilakukan redesign cerobong agar memenuhi ketentuan teknis yang berlaku, sehingga mampu meningkatkan efektivitas dispersi gas buang dan meminimalkan dampak pencemaran terhadap lingkungan sekitar. Hasil pemodelan dispersi menunjukkan bahwa penerapan cyclone dan cerobong hasil redesign secara menyeluruh pada seluruh UMKM di Sentra Industri Tahu Desa Ploso mampu menurunkan konsentrasi TSP di udara ambien hingga 38,17% dan telah memenuhi baku mutu kualitas udara ambien sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Kata kunci: UMKM tahu, pembakaran, biomassa, *cyclone*, cerobong

ABSTRACT

Small-scale tofu industries in Indonesia generally still utilize wood biomass as the main energy source in the soybean boiling process, which has the potential to cause air pollution if not equipped with emission control systems. In the Tofu Industrial Center of Ploso Village, there are 18 micro, small, and medium enterprises (UMKM) that use wood fuel without air pollution control devices. One of the largest-capacity industries consumes approximately 171 kg of wood per hour to process ± 700 kg of soybeans per day. The combustion of this biomass generates exhaust emissions in the form of sulfur dioxide (SO_2) and airborne particulates, including $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , and Total Suspended Particulate (TSP), which may degrade ambient air quality in the surrounding area. The analysis results indicate that the TSP concentration from the emission source reaches 515.5 mg/m^3 , exceeding the emission standard for biomass-fired boilers as stipulated in Lampiran III Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2007, which is 350 mg/m^3 . Therefore, the planning of an air pollution control device was conducted to reduce particulate emission concentrations. The selection of alternative control technologies was carried out using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method by considering technical, operational, and suitability aspects for MSME-scale applications, resulting in the cyclone being selected as the highest-priority alternative. The designed cyclone achieves a TSP removal efficiency of 98.49%, PM_{10} of 45.76%, and $\text{PM}_{2.5}$ of 3.26%, with a total collection efficiency of 53.16%. In addition, the chimney was redesigned to comply with applicable technical regulations in order to enhance exhaust gas dispersion and minimize environmental pollution impacts. Dispersion modeling results indicate that the comprehensive implementation of the cyclone and the redesigned chimney across all MSMEs in the Tofu Industrial Center of Ploso Village is capable of reducing ambient TSP concentrations by up to 38.17% and has met the ambient air quality standards stipulated in Lampiran VII Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Keyword: tofu industry, combustion, biomass, cyclone, chimney

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan pilar fundamental bagi perekonomian Indonesia, terbukti dari kontribusi yang mencapai 60,5% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional dan membuka lapangan pekerjaan hingga 96,9% dari total tenaga kerja (Kemenentrian Koperasi dan UKM, 2024). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Kudus (2023), sektor industri pengolahan, termasuk industri tahu, masih mendominasi perekonomian daerah dengan kontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Di Kabupaten Kudus, terdapat ratusan unit usaha produksi tahu yang tersebar di beberapa kecamatan seperti Kudus, Jati, dan Undaan, yang secara kolektif memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian lokal (BPS, 2023).

Fenomena yang terjadi di Sentra Industri Tahu Desa Ploso menunjukkan karakteristik spasial yang unik. Berdasarkan hasil survei pendahuluan mengidentifikasi bahwa sebaran unit usaha tidak seragam, sebagian besar membentuk pola *cluster* di mana beberapa unit produksi beroperasi dalam jarak yang sangat berdekatan, sementara sebagian lainnya tersebar dengan jarak beberapa meter atau berseberangan jalan. Pola *clustering* ini meskipun efisien dari segi logistik dan sosial, berpotensi menciptakan akumulasi polutan di satu titik, sehingga meningkatkan konsentrasi paparan bagi para pekerja dan masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Proses pembakaran kayu ini menghasilkan karbon monoksida (CO) dan *black carbon* yang signifikan sehingga berkontribusi pada perubahan suhu atmosfer bumi (Kalogridis et al., 2017).

Mayoritas usaha ini dikelola secara tradisional dengan skala rumah tangga, menggunakan bahan bakar kayu dalam proses produksinya dan cerobong asap yang sederhana. Berdasarkan Data Dinas Perumahan Kawasan Pemukiman dan Lingkungan Hidup (2021) tercatat bahwa aktivitas pembakaran pada industri tahu menghasilkan

emisi gas buang yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara, terutama di kawasan padat industri. Berdasarkan observasi di lapangan terungkap sebuah isu krusial terkait pengendalian emisi.

Emisi yang terlihat berupa asap hitam tebal yang keluar secara kontinu selama jam produksi. Kondisi ini mengindikasikan adanya pelepasan polutan berbahaya, terutama partikulat seperti Total Suspended Particulate (TSP), *Particulate Matter* 10 μm (PM_{10}), dan *Particulate Matter* 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), serta kemungkinan polutan gas seperti sulfur oksida (SO_x) dan nitrogen oksida (NO_x) dalam konsentrasi rendah (Orak & Pekney, 2020). Partikulat PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ sangat berbahaya karena ukurannya yang kecil memungkinkannya terhirup dan masuk hingga ke dalam paru-paru, menyebabkan berbagai gangguan pernapasan dan masalah kesehatan jangka panjang (WHO Global Air Quality, 2021).

Masalah ini diperparah dengan minimnya teknologi pengendali pencemaran yang memadai. Berdasarkan observasi lapangan, semua unit usaha hanya menggunakan cerobong konvensional tanpa alat pengendali sama sekali, sehingga menghasilkan asap hitam pekat yang tersebar secara langsung ke udara. Selain itu, desain ketinggian dan diameter cerobong yang ada saat ini tidak terstandarisasi dan kemungkinan belum optimal untuk membantu dispersi emisi secara efektif agar tidak mencemari sekitar area pemukiman.

Pencemaran udara dari industri tahu tidak hanya menimbulkan gangguan pernapasan dan penyakit kronis pada masyarakat, tetapi juga dapat menurunkan produktivitas dan kesejahteraan sosial ekonomi di wilayah tersebut (Ririn et al., 2023). Kombinasi antara pola sebaran usaha yang berdekatan, proses produksi yang menghasilkan emisi partikulat secara kontinu, dan ketiadaan teknologi pengendali pencemaran yang efektif menciptakan sebuah urgensi. Kondisi ini menempatkan pekerja dan masyarakat sekitar pada risiko kesehatan lingkungan yang signifikan tanpa disadari.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan solusi teknis berupa rancangan alat pengendali pencemaran udara dan redesain cerobong yang efektif, ekonomis, dan

sesuai dengan karakteristik industri tahu skala kecil. Pendekatan teknologi sederhana, seperti penggunaan alat pengendali pencemar udara dan modifikasi dimensi cerobong, diharapkan dapat menekan emisi tanpa membebani biaya operasional produsen. Implementasi alat ini juga sejalan dengan komitmen Pemerintah Kabupaten Kudus dalam mendorong industri ramah lingkungan melalui program *Green Industry* (Bupati Kudus, 2024; Indonesia, 2014).

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang dapat dijadikan bahan perencanaan berdasarkan latar belakang di atas meliputi:

1. Belum tersedianya data dan analisis komprehensif mengenai jenis dan timbunan emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran kayu pada produksi tahu di Sentra Industri Tahu Desa Ploso, Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus. Akibatnya, dampak emisi terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitar belum dapat terukur dan teridentifikasi dengan akurat.
2. Belum ada evaluasi mendalam terkait sebaran emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran kayu pada produksi tahu. Selain itu, kondisi cerobong yang saat ini digunakan di lokasi tersebut belum memenuhi standar teknis. Hal ini mengakibatkan cerobong menjadi tidak efektif dalam mendispersikan polutan, sehingga berpotensi menurunkan kualitas udara di area sekitar secara signifikan.
3. Sentra industri tahu Desa Ploso, Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus belum memiliki alat pengendali pencemaran udara dan desain cerobong yang sesuai dengan standar teknis berdasarkan peraturan yang berlaku untuk meminimalisir emisi hasil pembakaran.

1.3 Rumusan Masalah

Sejalan dengan penjabaran sebelumnya, maka rumusan masalah dalam perencanaan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa saja jenis emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran produksi tahu pada Sentra Industri Tahu Desa Ploso?

2. Bagaimana pola sebaran emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran pada kegiatan produksi tahu serta kondisi cerobong yang digunakan saat ini?
3. Bagaimana perancangan alat pengendali pencemaran udara dan desain ulang cerobong yang efektif untuk mengurangi emisi hasil pembakaran kayu pada kegiatan produksi tahu di Sentra Industri Tahu Desa Ploso?

1.4 Tujuan

Tujuan dari perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis jenis dan timbulan emisi yang dihasilkan dari pembakaran kayu pada proses produksi tahu di Sentra Industri Tahu Desa Ploso.
2. Menganalisis dan mengevaluasi pola sebaran emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran pada kegiatan produksi tahu serta kondisi cerobong yang digunakan saat ini.
3. Merancang alat pengendali pencemaran udara dan desain ulang cerobong yang relevan dengan kondisi eksisting sesuai dengan standar yang berlaku guna menurunkan emisi yang ditimbulkan dari proses pembakaran dalam produksi tahu.

1.5 Manfaat

Berdasarkan perencanaan yang dilakukan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat, sebagai berikut:

1. Bagi Penulis

Kegiatan ini menjadi sarana untuk memperluas wawasan dan menambah pengetahuan dalam bidang perencanaan sistem pengendalian pencemaran udara, khususnya yang berkaitan dengan proses produksi pada industri tahu. Selain itu, perencanaan ini juga memberikan kesempatan bagi penulis untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh selama masa studi ke dalam permasalahan nyata di lapangan, sehingga memperkuat pemahaman praktis dan kemampuan analisis.

2. Bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK)

Perencanaan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai referensi dalam pengembangan strategi pengendalian pencemaran udara, terutama di sektor industri kecil dan menengah (IKM) yang selama ini cenderung kurang mendapat perhatian dalam hal pengelolaan lingkungan. Perencanaan ini juga menyajikan informasi mengenai potensi dampak pencemaran udara dari aktivitas industri tahu terhadap lingkungan sekitar, yang dapat menjadi dasar pertimbangan bagi kajian lanjutan maupun pengambilan kebijakan.

3. Bagi Sentra Industri Tahu Desa Ploso

Hasil dari perencanaan ini dapat menjadi acuan dalam merancang dan mengimplementasikan alat pengendalian pencemaran udara yang sesuai dengan kondisi eksisting. Desain yang diusulkan diharapkan tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga realistis untuk diterapkan secara ekonomis, sehingga dapat meningkatkan kinerja lingkungan tanpa membebani pelaku usaha.

4. Bagi Masyarakat Sekitar Kawasan

Perencanaan ini dapat memberikan informasi yang lebih jelas mengenai kualitas udara di lingkungan mereka. Dengan adanya desain sistem pengendalian pencemaran udara yang lebih baik, diharapkan kualitas udara di wilayah tersebut dapat meningkat, sehingga mengurangi potensi risiko kesehatan akibat paparan emisi dari proses pembakaran dalam produksi tahu.

1.6 Pembatasan Masalah

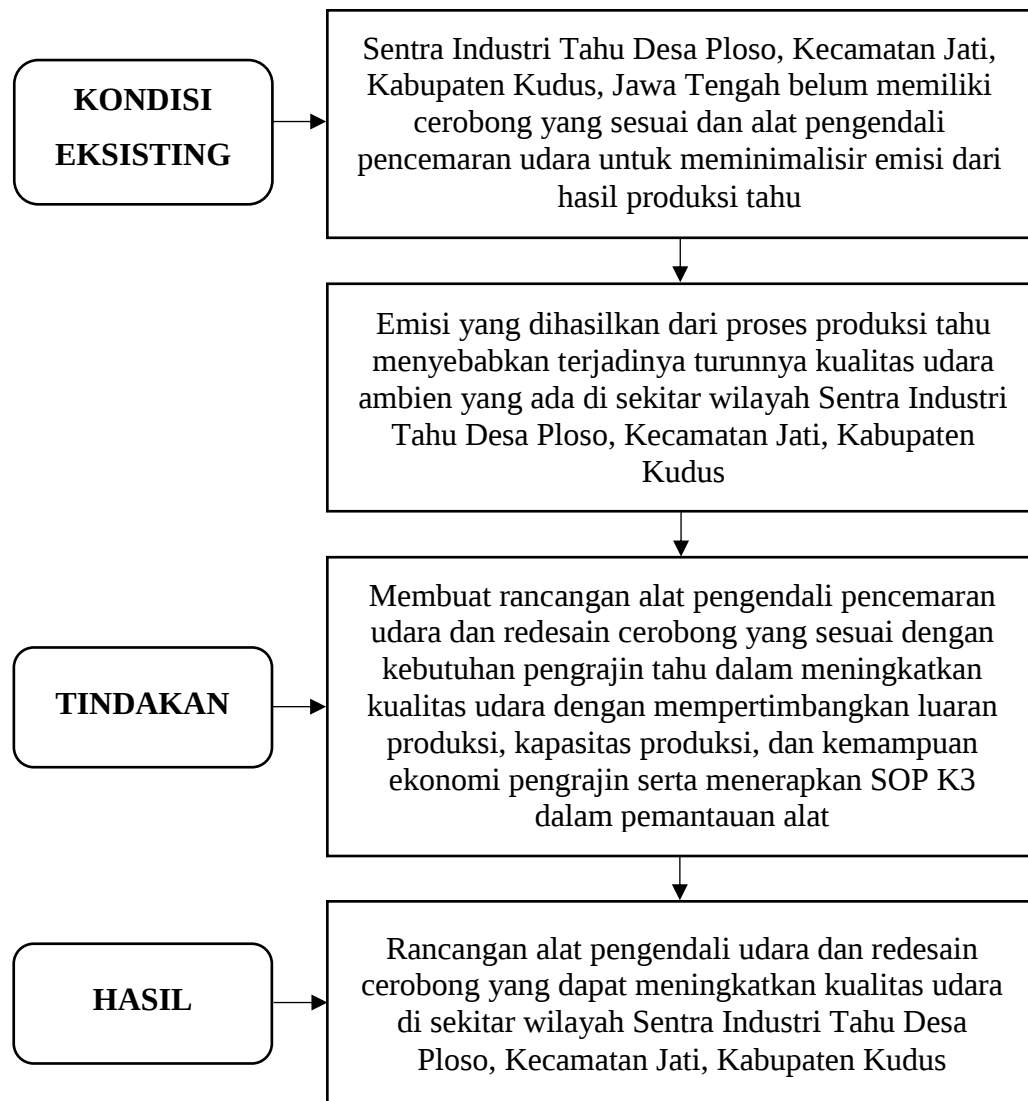
Perencanaan ini mencakup berbagai aspek yang cukup kompleks dan luas, sehingga diperlukan penetapan batasan masalah yang jelas agar fokus kajian dapat lebih terarah. Adapun batasan masalah yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian mengenai kondisi eksisting di wilayah perencanaan yaitu Sentra Industri Tahu Desa Ploso, Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah.

2. Data yang dianalisis meliputi data primer yang diperoleh melalui hasil survei, wawancara, dan sampling udara ambien di lokasi perencanaan, sedangkan data sekunder mencakup data iklim, kriteria desain, data *proximate* dan *ultimate* bahan bakar, serta rumus perancangan alat yang diperoleh dari *website* dan literatur ilmiah.
3. Perencanaan ini hanya memperhitungkan kualitas udara hasil produksi, kapasitas produksi, serta kemampuan ekonomi para produsen tahu.
4. Pemodelan, perhitungan, dan perancangan alat hanya berdasarkan pada sampel bahan bakar yang digunakan dalam produksi tahu, dengan fokus pada sumber emisi yang melebihi baku mutu.
5. Perancangan alat pengendali pencemaran udara dan redesain cerobong dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan polutan udara meliputi TSP, CO, CO₂, NO₂, SO₂, PM_{2.5}, serta PM₁₀.

1.7 Kerangka Pikir Perencanaan

Kerangka pikir perencanaan disusun untuk memberikan gambaran sistematis mengenai alur pemikiran yang digunakan dalam perancangan ini. Alur tersebut divisualisasikan pada Gambar 1.1 sebagai dasar penyusunan perencanaan alat pengendali pencemaran udara dan redesain cerobong di Sentra Industri Tahu Desa Ploso.



Gambar 1.1

Diagram Alir Kerangka Pikir Perencanaan

DAFTAR PUSTAKA

- Arbi, Y., Nofriya, N., Fitrianti, R., & Putri, W. (2023). Total Suspended Particulate (TSP) simulation using the gaussian dispersion model. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 6(2), 163–169. <https://doi.org/10.24036/jptk.v6i2.33823>
- Arianty, N. (2017). Analisis Usaha Industri Rumah Tangga dalam Meningkatkan Pendapatan Keluarga. *Prosiding Seminar Hilirisasi Penelitian Untuk Kesejahteraan Masyarakat Lembaga Penelitian*, August, 447–454. <https://www.researchgate.net/publication/326988589%0AANALISIS>
- Association, W. B. A. W. B. (2021). *Global bioenergy statistics 2021*. Sweden.
- Barr, D., Panuwet, P., & Ryan, P. B. (2024). *Volatile Organic Chemicals*. 515–529. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197662526.003.0039>
- 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>
- BPS. (2023). *Industri Manufaktur Besar dan Sedang Kabupaten Tegal 2023*.
- Bupati Kudus. (2024). *KEPUTUSAN BUPATI KUDUS NOMOR: 500.9/285/2024*.
- Chang, F.-J., Chang, L.-C., Kang, C.-C., Wang, Y.-S., & Huang, A. (2020). Explore spatio-temporal PM2.5 features in northern Taiwan using machine learning techniques. *Science of The Total Environment*, 736, 139656. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139656>
- Chiang, P., & Gao, X. (2022). *Air Pollution Control and Design*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-7488-3>
- Davern, M., Winterton, R., Brasher, K., & Woolcock, G. (2020). How Can the Lived Environment Support Healthy Ageing? A Spatial Indicators Framework for the Assessment of Age-Friendly Communities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 7685. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207685>

- Dinas Lingkungan Hidup. (2020). *Laporan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara DKI Jakarta Tahun 2020*.
- Dinas Perumahan Kawasan Pemukiman dan Lingkungan Hidup. (2021). DOKUMEN INFORMASI KINERJA PENGELOLAAN LINGKUNGAN HIDUP DAERAH KABUPATEN KUDUS TAHUN 2021. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Djayanti, S. (2015). Kajian Penerapan Produksi Bersih di Industri Tahu di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2015.v6.no2.p75-80>
- Dzurenda, L., Hroncová, E., & Ladomerský, J. (2017). *Extensive Operating Experiments on the Conversion of Fuel-Bound Nitrogen into Nitrogen Oxides in the Combustion of Wood Fuel*. x, 1–9. <https://doi.org/10.3390/f8010001>
- Eastern Research Group Inc. (ERG). (n.d.). *Background document report on revisions to 5th edition AP-42: Chapter 1.6, wood residue combustion in boilers*.
- EPA. (1999). Air Pollution Control Technology Fact Sheet. *Clean Air Technology Center Products, 1990, 1990–1994*.
- Faulkner, W. B., & Shaw, B. W. (2005). *ANALYSIS OF THE TEXAS A&M CYCLONE DESIGN METHOD*. 437–447.
- Gautam, D. K., & Bolia, N. B. (2020). Air pollution: impact and interventions. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13(2), 209–223. <https://doi.org/10.1007/S11869-019-00784-8>
- George, J. S., Eldhose, M., Tomy, E., John, S., Joseph, A., & George, C. (2023). *Chemical Composition of Biomass* (pp. 1–26). https://doi.org/10.1007/978-981-19-6772-6_10-1
- Hajji, A. M., Supriyanto, B., & Larasati, A. (2020). *Emission inventory of HC and CO of heavy construction equipment by using NONROAD engine modelling for toll road project in Indonesia*. 2296, 20006. <https://doi.org/10.1063/5.0030421>
- Harsulkar, L. (2023). A Review Paper on Study of Air Pollution and its Control Measures. *International Journal For Science Technology And Engineering*,

- 11(10), 1882–1889. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.56348>
- Herlambang, Y. D., Mujahidin, I., Arifin, F., & Apriandi, N. (2025). *NERACA MASSA DAN ENERGI: untuk Rekayasa Termal dan Sistem Industri* (M. H. Maruapey (ed.)). Karya Bakti Makmur (KBM).
- Hidup, K. L. (2009). Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Retrieved from Undang-Undang.
- Holman, C. (1999). *Sources of Air Pollution* (Vol. 2007, pp. 115–148). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012352335-8/50083-1>
- Indonesia, P. R. (2014). UU RI Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian. *Pemerintah Pusat*, 3(4), 1–85.
- Ismahani, R., Anurogo, D. W., & Kunci, K. (2022). 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>
- Jenkins, B. ., Baxter, L. ., Miles, T. ., & Miles, T. . (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 54(1–3), 17–46. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(97\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(97)00059-3)
- Jiang, K., Xing, R., Luo, Z., Huang, W., Yi, F., Men, Y., Zhao, N., Chang, Z., Zhao, J., & Pan, B. (2024). Pollutant emissions from biomass burning: A review on emission characteristics, environmental impacts, and research perspectives. *Particuology*, 85, 296–309.
- Kalogridis, A.-C., Vratolis, S., Liakakou, E., Gerasopoulos, E., Mihalopoulos, N., & Eleftheriadis, K. (2017). *Assessment of wood burning versus fossil fuel contribution to wintertime black carbon and carbon monoxide concentrations in Athens, Greece*. <https://doi.org/10.5194/acp-2017-854>
- Kažimírová, V., & Čerešňa, V. (2015). Verification of Conditions for use of Combustion Products' Heat. *Acta Technologica Agriculturae*, 18(2), 49–53. <https://doi.org/10.1515/ata-2015-0011>
- Kemenentrian Koperasi dan UKM. (2024). Ikhtiar Melepas Indonesia dari Middle

Income

Trap.

<https://Drive.Google.Com/Drive/Folders/1B0KICt0RYd5Fliz03zvdNPhz9IIkZ1Wr>.

- Kemunto, M. C., Wang, E., Gou, X., Shah, A. I., & Adwek, G. (2018). *Fixed Bed Combustion of Biomass: Particulate Matter Mitigation by Optimising Temperature and Fuel Particle Size*. 168(1), 12038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/168/1/012038>
- Kovacs, H., Dobo, Z., Koos, T., Gyimesi, A., & Nagy, G. (2018). Influence of the Flue Gas Temperature on the Behavior of Metals during Biomass Combustion. *Energy & Fuels*, 32(7), 7851–7856. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b00796>
- Latha, R., Lakshminarayanachari, K., & Bhaskar, C. (2024). An analytical model for point source pollutants in an urban area with mesoscale wind and wet deposition. *Journal of Nigerian Society of Physical Sciences*, 2116. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2024.2116>
- Lazaro, S. A. M., & Baba, V. F. (2023). Air Pollution Resulting from Biomass Combustion in Mozambique: Origins, Consequences, and Measures for Mitigation. *ECAS 2023*, 19. <https://doi.org/10.3390/ecas2023-15117>
- Levine, J. S. (2003). Biomass burning: The cycling of gases and particulates from the biosphere to the atmosphere. *Treatise on Geochemistry*, 4, 347.
- Li, Y., Gao, Y., Meng, X., Liu, X., & Feng, Y. (2023). Assessing the air pollution abatement effect of prefabricated buildings in China. *Environmental Research*, 239, 117290. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117290>
- Lin, W.-Y., Hsiao, T.-C., & Hong, B.-L. (2020). Improving the removal efficiency of fine particulate matters in air pollution control devices: Design and performance of an electrostatic aerosol particle agglomerator. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 107, 110–118.
- Majstorovic, A., Babić, V., & Todić, M. (2020). *Carbon monoxide in the process of uncontrolled combustion - occurrence, hazards and first aid*. 1426(1), 12008.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1426/1/012008>

- Marsistha, N. K. P. D., Triani, I. G. A. L., & Wiranatha, A. S. (2024). Analisis Emisi Gas Buang dari Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Produk Tahu di Perusahaan XYZ Denpasar. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.24843/jitpa/2024.v09.i01.p02>
- Mulya, W., Pratama, I., Evert, J., & Liku, A. (2023). Sosialisasi Seminar Teknologi Pengendalian Pencemaran Udara. *Eunoia*, 2, 110–115.
- Orak, N. H., & Pekney, N. J. (2020). Air pollution risk associated with unconventional shale gas development. *Carbon Management*, 11(6), 645–651. <https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1840873>
- 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>
- Patel, J. P., & Song, W. Y. (2023). *A Review of the Health Impacts of Air Pollutants*. <https://doi.org/10.22541/au.170379723.34512305/v1>
- Permadi, D. A., Dirgawati, M., Kramawijaya, A. G., & Hermawan, W. (2020). Preliminary estimation on air pollution load over bogor city towards development of clean air action plan. 14(1), 53–62. <https://doi.org/10.20886/JKLH.2020.14.1.53-62>
- Perry, S. G., Cimorelli, A. J., Paine, R. J., Brode, R. W., Weil, J. C., Venkatram, A., Wilson, R. B., Lee, R. F., & Peters, W. D. (2005). AERMOD: A Dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases. *Journal of Applied Meteorology*. <https://doi.org/10.1175/JAM2228.1>
- PP Nomor 22 Tahun 2021. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 1(078487A), 1–483.
- Primandanu, G. S., & Krishna Putra, A. B. (2022). Studi Simulasi dan Eksperimental

- Pengaruh Equivalence Ratio dan Temperatur Udara Inlet pada Proses Gasifikasi Tongkol Jagung Terhadap Gasifier Tipe Downdraft Berdasarkan Prinsip Energi dan Eksergi. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i1.82095>
- Ririn, Y., Suherman Dwi Nuryana Hartami, P. N. B. F., Sari, E., & Tika, S. (2023). *JUARA : Jurnal Wahana Abdimas Sejahtera KONDISI UDARA PADA AREA KERJA PABRIK TAHU HARAPAN MAJU DEPOK , JAWA BARAT* Air Conditions in The Area of Harapan Maju Tofu Factory Depok , Jawa Barat. 21–32.
- Rosita, R., Hudoyo, A., & Soelaiman, A. (2019). ANALISIS USAHA, NILAI TAMBAH, DAN KESEMPATAN KERJA AGROINDUSTRI TAHU DI BANDAR LAMPUNG. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*.
<https://doi.org/10.23960/jiia.v7i2.211-218>
- Saleh, E., Alwi, L. O., & Herdhiansyah, D. (2021). Study of Tofu Processing in Karya Mulia Tofu Industry in Labusa Village, Konda District, South Konawe Regency. *Tekper : Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Pertanian*, 1(3), 185.
<https://doi.org/10.33772/tekper.v1i3.12312>
- Santhakumari, M. B., Pandi, E., Mohan, M. P., Daniel, A., & Vanavil, B. (2024). *Biomass: Resources and Sustainable Utilization* (pp. 3–39).
https://doi.org/10.1007/978-981-97-1837-5_1
- Simpson, D. A. (2017). *Chapter Four - Surface Engineering Concepts* (D. A. B. T.-P. O. G. F. E. Simpson (ed.); pp. 221–272). Gulf Professional Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813022-3.00004-3>
- Singh, D., Tassew, D. D., Nelson, J., Chalbot, M.-C. G., Kavouras, I. G., Tesfaigzi, Y., & Demokritou, P. (2023). Physicochemical and toxicological properties of wood smoke particulate matter as a function of wood species and combustion condition. *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129874.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129874>
- Singh, V. (2024). *Air Pollution* (pp. 239–252). <https://doi.org/10.1007/978-981-99->

8846-4_16

- Sun, J., Wang, J., Shen, Z., Huang, Y., Zhang, Y., Niu, X., Cao, J., Zhang, Q., Xu, H., & Zhang, N. (2019). Volatile organic compounds from residential solid fuel burning in Guanzhong Plain, China: Source-related profiles and risks. *Chemosphere*, 221, 184–192.
- Sunarno, S., Purwanto, P., & Warsito, B. R. (2022). Analysis of Indonesia's Three Major Anthropogenic Pollutants Which Include Various Emission and Fuel Sectors in the 1990-2015 Period. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 11(2), 260–270. <https://doi.org/10.15294/jpii.v11i2.33224>
- Telmo, C., & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2634–2639. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043>
- Theodore, L. (2008). Air Pollution Control Equipment Calculations. In *Air Pollution Control Equipment Calculations*. <https://doi.org/10.1002/9780470255773>
- Tomlin, A. S. (2021). Air quality and climate impacts of biomass use as an energy source: a review. *Energy & Fuels*, 35(18), 14213–14240.
- Utami, A. A. P., Agustin, B. P. T., Hidayah, F. N. A., & Adabiyah, S. U. (2024). Analisis Tekanan Pada Cerobong Asap Menggunakan Prinsip Hukum Bernoulli. *BIOCHEPHY: Journal of Science Education*, 4(1), 495–500. <https://doi.org/10.52562/biochephy.v4i1.1196>
- Vallero, D. (2014). *Controlling Air Pollution from Sources* (pp. 881–925). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401733-7.00031-1>
- Venkatram, A., & Thiruvengkatachari, R. R. (2023). Accounting for Area Sources in Air Pollution Models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(12), 6110. <https://doi.org/10.3390/ijerph20126110>
- Wahyudi. (2006). PENELITIAN NILAI KALOR BIOMASSA : PERBANDINGAN ANTARA HASIL PENGUJIAN DENGAN HASIL PERHITUNGAN. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 9(2), 208–220.
- WHO Global Air Quality, W. (2021). WHO global air quality guidelines. *Particulate*

Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide., 1–360.

- Wibowo, S. (2022). Pengaruh Penambahan Tepung Tapioka Pada Karakteristik Pelet Kayu dari Limbah Cabang Kayu Jati Perhutani Plus (JPP). *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 16(1), 50–63. <https://doi.org/10.22146/jik.v16i1.1807>
- Winarti, T., Setiawan, W., & Widodo, E. (2021). *Peningkatan Produktivitas Usaha Tahu UMKM UD . Tahu Berkah di Kota Kudus*. 407–411.
- Yang, B.-Y., Guo, Y., Zou, Z., Gui, Z., Bao, W.-W., Hu, L.-W., Chen, G., Jing, J., Ma, J., Li, S., Ma, Y., Chen, Y.-J., & Dong, G.-H. (2021). Exposure to ambient air pollution and visual impairment in children: A nationwide cross-sectional study in China. *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124750. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124750>
- Yulistiani, R., & Nuryati, A. (2018). Efektifitas asam sitrat sebagai bahan penggumpal dan pengawet pada produk tahu. *Jurnal Teknologi Pangan*, 3(2).
- Zhang, L., Luo, Z., Li, Y., Chen, Y., Du, W., Li, G., Cheng, H., Shen, G., & Tao, S. (2020). 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.