

Nomor Urut: 017 A /UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2023

**Laporan Tugas Akhir**

**PERANCANGAN ALAT PENGENDALI  
PENCEMARAN UDARA DI SENTRA INDUSTRI  
BATU BATA DEMAK**



**Disusun oleh:**

**Adira Dwi Setyaningsih**

**21080120130092**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2024**

### HALAMAN PENGESAHAN

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang berjudul:  
**PERANCANGAN ALAT PENGENDALI PENCEMARAN UDARA DI  
SENTRA INDUSTRI BATU BATA DEMAK**

Disusun oleh:  
Nama : Adira Dwi Setyaningsih  
Nim : 21080120130092

Telah disetujui dan disahkan pada:

Hari :  
Tanggal :

Menyetujui,

Ketua Penguji

Anggota Penguji

Dr. Eng. Bimastyaji Surya Ramadan,  
S.T., M.T.  
NIP. 199203242019031016

Ir. Nurandani Hardyanti S.T., M.T.,  
IPM., ASEAN Eng.  
NIP. 197301302000032001

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ika Bagus Priyambada, S.T.,  
M.Eng.  
NIP. 197103011998031001

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

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Ango Sudarmo, S.T., M.Sc.  
NIP. 197401311999031003

## ABSTRAK

Proses urbanisasi menyebabkan kebutuhan akan bahan bangunan terus meningkat. Salah satu bahan bangunan yang paling dicari adalah batu bata tradisional karena dianggap memiliki harga yang murah dan berkualitas tinggi. Sentra Industri Batu Bata Demak merupakan salah satu industri batu bata yang ada di Jawa Tengah dengan proses produksi menggunakan teknik tradisional. Dalam proses produksinya terdapat proses pembakaran yang menghasilkan emisi berbahaya. Untuk kondisi eksistingnya, Sentra Industri Batu Bata Demak belum memiliki alat pengendali pencemaran udara sehingga emisi hasil pembakaran secara langsung dibuang ke lingkungan sekitar tanpa adanya pengolahan. Oleh karena itu diperlukan analisis emisi yang dihasilkan dari pembakaran batu bata, perancangan alat pengendali pencemaran udara yang sesuai, dan pemodelan dispersi emisi pembakaran. Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, emisi yang dihasilkan dari pembakaran antara lain CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Partikulat, VOCs, dan PAHs. Kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku di Indonesia, emisi partikulat melebihi baku mutu yaitu sebesar 471,87 mg/m<sup>3</sup>. Sebagai upaya pengendalian dipilihlah Cyclone Separator dengan kapasitas 5400 m<sup>3</sup>/h dan efisiensi 43% dengan cerobong yang memiliki tinggi 13 meter dan diameter 0,4 meter. Setelah diproses dengan Cyclone, emisi partikulat tersisa sebesar 268,96 mg/m<sup>3</sup> dan memenuhi baku mutu yang berlaku. Setelah dilakukan pemodelan dispersi konsentrasi emisi partikulat yang menyebar pada udara ambien di sekitar sentra berkurang, yaitu yang awalnya belum diterapkannya alat pengendali sebesar 116,23 µg/m<sup>3</sup> menjadi 90,27 µg/m<sup>3</sup> setelah diterapkannya alat pengendali pencemaran udara yaitu Cyclone. Biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan ini adalah sebesar Rp 79.473.541,08 yang ditanggung oleh 2 UKM.

*Kata Kunci: Sentra Industri Batu Bata Demak, Pembakaran Batu Bata, Alat Pengendali Pencemaran Udara, Cyclone*

## ABSTRACT

The urbanization process causes the need for building materials is more increasing. One of the most be sought of building materials is traditional brick because it is considered to have a cheap price and high quality. The Sentra Industri Batu Bata Demak is one of the brick industries in Central Java with a production process using traditional techniques. In the production process there is a combustion process which produces dangerous emissions. In terms of existing conditions, the Sentra Industri Batu Bata Demak does not yet have air pollution control equipment so that combustion emissions are directly discharged into the surrounding environment without any processing. Therefore, it is necessary to analyze emissions resulting from burning bricks, design appropriate air pollution control devices, and model combustion emission dispersion. After analysis and calculations, emissions resulting from combustion include CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Particulates, VOCs, dan PAHs. Then compared with the quality standards applicable in Indonesia, particulate emissions exceed the quality standards, namely 471.87 mg/m<sup>3</sup>. As a control effort, a Cyclone Separator with a capacity of 5400 m<sup>3</sup>/h and have efficiency of 43% was chosen with a chimney that has a height of 13 meters and a diameter of 0.4 meters. After processing with Cyclone, the remaining particulate emissions were 268.96 mg/m<sup>3</sup> and met applicable quality standards. After modeling the dispersion, the concentration of particulate emissions that spread in the ambient air around the center was reduced, namely from 116.23 µg/m<sup>3</sup> which had not the air pollution control tool been implemented, it became 90.27 µg/m<sup>3</sup> after the implementation of the air pollution control tool, namely Cyclone. The costs required for this planning is Rp 79.473.541,08 for 2 UKM.

*Keywords: Sentra Industri Batu Bata Demak, Brick Burning, Air Pollution Control Equipment, Cyclone*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses urbanisasi yang cepat ditambah dengan kemajuan ekonomi yang tajam karena perkembangan berbagai sektor industri menyebabkan kebutuhan akan bahan bangunan yang murah terus meningkat (Haque et al., 2022). Salah satu bahan bangunan yang paling dicari adalah batu bata tradisional karena dianggap murah dan berkualitas tinggi. Batu bata adalah salah satu item penyusun pada suatu konstruksi bangunan yang dibuat dari tanah liat dengan cara dibakar dengan suhu tinggi dengan tujuan supaya batu bata memiliki kemampuan mempertahankan kekuatannya saat direndam dalam air dan proses pembuatan batu bata juga bisa dilakukan dengan mencampurkan material – material lainnya (Rohmawati & Andriyani, 2018).

Berdasarkan Data Badan Pusat Statistik Demak tahun 2021, tanah di wilayah Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak sebagian besar merupakan asosiasi aluvial kelabu endapan liat dan pasir terutama pada bagian utara Kabupaten Demak, salah satunya yaitu Desa Tegalarum. Tanah liat tersebut cocok sebagai bahan baku utama dalam pembuatan batu bata. Hal tersebut menyebabkan mata pencaharian sebagian besar penduduk di Desa Tegalarum, Kecamatan Mranggen adalah pembuat batu bata tradisional, sehingga Desa Tegalarum disebut sebagai Sentra Industri Batu Bata. Permintaan batu bata berbahan bakar tanah liat sebagai bahan konstruksi tinggi. Industri pembuatan batu bata tradisional memiliki pengaruh positif dalam mendukung pembangunan konstruksi dan sumber pendapatan bagi pemilik usaha skala mikro serta menciptakan lapangan kerja bagi tenaga kerja yang tidak terdidik dan tidak terampil (Sampe & Pakiding, 2015).

Di banyak negara berkembang, tempat pembakaran batu bata yang terletak di daerah pinggiran kota dianggap sebagai titik sumber penyebab bahaya lingkungan, sosial ekonomi, dan kesehatan. Para peneliti ini menemukan bahwa emisi yang dihasilkan pada pembakaran batu bata mengandung CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Partikulat, dan BC (*Black Carbon*). Emisi CO, CO<sub>2</sub> bertanggung jawab atas dampak

buruk terhadap lingkungan, sedangkan SO<sub>2</sub>, partikulat, dan dioksin menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia. Tempat pembakaran batu bata berkontribusi secara signifikan terhadap emisi PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, dan BC (*Black Carbon*) karena pembakaran batu bata kaya belerang dengan menggunakan teknologi pembuatan batu bata tradisional (Haque et al., 2022).

Dalam produksi batu bata, umumnya dengan cara dibakar pada suhu 800° C sehingga tidak dapat hancur ketika direndam air, sedangkan pembakarannya menggunakan sekam padi atau jerami yang tidak terkendali atau menggunakan kayu bakar, sehingga akan menimbulkan polusi udara (Rohmawati & Andriyani, 2018). Menurut penelitian yang dilakukan, rata – rata pengukuran kadar debu PM<sub>2,5</sub> di tempat pembakaran batu bata melebihi baku mutu udara ambien. Sebanyak 71,4% pekerja batu bata banyak yang mengalami sindroma mata kering akibat emisi tersebut. Pembakaran jerami dan kayu bakar sebagai bahan bakar yang biasa digunakan dalam pembakaran batu bata tradisional akan menghasilkan abu. Praktek pembakaran jerami secara terbuka menjadi sumber emisi karbon yang signifikan selama musim panen. Pembakaran jerami secara terbuka secara signifikan juga telah mempengaruhi kualitas udara (Nengah, 2021). Sebuah penelitian mengenai pembakaran terbuka di India, menunjukkan jika setelah dilakukan pengukuran terkait emisi pembakaran biomassa, didapatkan emisi yang dihasilkan yaitu konsentrasi CO<sub>2</sub> sebesar 16,2 mg/Nm<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub> sebesar 13,4 mg/Nm<sup>3</sup>, CO sebesar 386 mg/Nm<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> sebesar 22,3 mg/Nm<sup>3</sup>, dan PM<sub>2,5</sub> sebesar 144,1 mg/Nm<sup>3</sup>. Hal tersebut menunjukkan bahwa dalam proses pembakaran, kontrol atas pembakaran biomassa diperkirakan dan menyebabkan emisi polutan udara yang berbahaya. Polutan udara ini memiliki sifat toksikologi yang signifikan dan berpotensi karsinogen. Pencemaran udara tidak hanya mempengaruhi kesehatan manusia dan lingkungan, tetapi juga secara tidak langsung perekonomian suatu negara (Gadde et al., 2009).

Oleh karena itu, dibutuhkan perancangan alat pengendali pencemaran udara untuk mengatasi permasalahan emisi udara hasil kegiatan industri batu bata sehingga dapat mengurangi potensi pencemaran udara ambien di wilayah tersebut. Alat pengendali pencemaran udara dipilih berdasarkan jenis emisi yang dihasilkan

dan ditetapkan dalam baku mutu. Dalam pemilihan alat pengendali juga mempertimbangkan aspek lain seperti biaya investasi, kebutuhan lahan, serta operasional dan pemeliharaan. Dari penelitian ini diharapkan ditemukannya alat pengendali pencemaran udara yang dapat meminimalisasi aktivitas pembakaran batu bata ini dari sisi dampak lingkungan yang terjadi.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

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

1. Desa Tegalarum merupakan desa yang sebagian besar mata pencahariannya adalah pembuat batu bata sehingga Desa ini disebut dengan Sentra Industri Batu Bata
2. Proses produksi batu bata di Sentra Industri Batu Bata Demak menggunakan cara yang tradisional
3. Kegiatan pembakaran batu bata di Sentra Industri Batu Bata Demak menghasilkan hasil produksi bukan produk berupa asap yang menyebabkan turunnya kualitas udara
4. Industri batu bata tradisional di Desa Tegalarum belum memiliki alat pengendali pencemaran udara untuk meminimalisir emisi hasil pembakaran batu bata

## **1.3 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah:

1. Berapa konsentrasi emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata di Sentra Industri Batu Bata Demak?
2. Bagaimana kontribusi emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata terhadap kualitas udara ambien di lingkungan sekitar?
3. Bagaimana perancangan alat pengendali pencemaran udara yang sesuai dengan kondisi eksisting untuk meminimalisir emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata?
4. Bagaimana efektivitas alat pengendali pencemaran udara yang telah dirancang?

#### **1.4 Rumusan Tujuan**

Tujuan dari perencanaan yang dilakukan adalah:

1. Mengetahui konsentrasi emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata di Sentra Industri Batu Bata Demak
2. Mengetahui kontribusi emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata terhadap kualitas udara ambien di lingkungan sekitar
3. Merancang alat pengendali pencemaran udara yang sesuai dengan kondisi eksisting untuk meminimalisir emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembakaran batu bata
4. Mengetahui efektivitas alat pengendali pencemaran udara yang sudah dirancang

#### **1.5 Pembatasan Masalah**

Batasan masalah yang akan dilakukan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian kondisi eksisting wilayah perencanaan Sentra Industri Batu Bata Demak
2. Data yang digunakan yaitu data sekunder dan primer yang bersumber dari kegiatan survei, wawancara, dan pengambilan data dari Sentra Industri Batu Bata Demak serta dinas terkait
3. Perencanaan hanya mempertimbangkan kualitas udara keluaran produksi, kapasitas produksi serta kemampuan ekonomi pengrajin batu bata
4. Modeling, perhitungan, dan perancangan alat dilakukan hanya untuk satu kali pembakaran batu bata

#### **1.6 Rumusan Manfaat**

Dari perencanaan ini, diperoleh beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Penulis  
Dengan adanya perencanaan ini, penulis dapat memperoleh wawasan terkait perencanaan pengendalian pencemaran udara dan dapat diaplikasikan secara langsung dari ilmu yang telah diperoleh di dunia perkuliahan.
2. Bagi IPTEK



- Perencanaan ini digunakan untuk memberikan referensi dalam pengendalian pencemaran udara
- Memberikan informasi pengaruh pencemaran udara khususnya pada kegiatan industri tekstil terhadap lingkungan.

### 3. Bagi Industri

Memberikan usulan desain alat pengendalian pencemaran udara yang dapat diaplikasikan pada usaha yang di jalankan.

### 4. Bagi Masyarakat

Perencanaan yang akan dilakukan penulis dapat membantu masyarakat dalam menangani permasalahan pencemaran udara yang ada pada kawasan Sentra Industri Batu Bata Demak dan dapat dijadikan informasi terkait penyediaan fasilitas yang seharusnya dapat dimanfaatkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adha, I. (2013). *Studi Pengaruh Lama Waktu Proses Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Batu Bata Setelah Penambahan Bahan Additive Iss 2500 ( Ionic Soil Stabilizer )*. 1(1), 1–12.
- Alit, I. B., Gede, I., & Susana, B. (2021). *Karakteristik Termal-Produktivitas Heat Exchanger Untuk Tungku Sekam Padi Pada Pengeringan Cabai Merah the Thermal-Productivity Characteristic of Heat Exchanger for Rice Husk Furnace on Drying Red Chili*. 15(2), 307.
- Alit, I. B., & Susana, I. G. B. (2020). Pengaruh Kecepatan Udara pada Alat Pengering Jagung dengan Mekanisme Penukar Kalor. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(1), 77–84. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2020.011.01.9>
- Atim Abdul A, FA. Widiarsa, M. M. (2015). Analisa Efisiensi Termal Tungku Biomassa. *Jurnal Transmisi*, XI, 9–18.
- Aurell, J., Gullett, B. K., & Tabor, D. (2012). *Emissions from Forest and Grass Burns: Comparison of Aerial and Ground Field*. 1–28.
- Buoncore, & Davis. (1992). *Air Pollution Engineering Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Chrestani, A. G., & Alves, R. M. B. (2023). Exposure levels for carbon monoxide in nuclear submarine atmosphere. *Journal of Environmental Management*, 345(August), 118908. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118908>
- Cooper, D., & Alley, C. (2011). *Air Pollution Control A Desing Approach* (p. 738).
- Cornwell, & Davis. (1998). *Introduction to Environmental Engineering*. Graw- Hill Company Inc, Singapore.
- Danielson, J. A. (1967). Air Pollution Engineering Manual. *Environmental Pollution*, 86(3), 356. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(94\)90179-1](https://doi.org/10.1016/0269-7491(94)90179-1)
- Debnath, S. B. and A. K. (2019). *Power Plant Instrumentation and Control Handbook* (Second Edi).
- DemakBPS. (2021). Kecamatan Mranggen Dalam Angka 2021. *Kabupaten Bojonegoro Dalam Angka*, 1–68.
- Dennis, A., Fraser, M., Anderson, S., & Allen, D. (2002). Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas. *Atmospheric Environment*, 36(23), 3779–3792. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00219-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00219-4)
- Dinas Lingkungan Hidup. (2020). *Laporan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara DKI Jakarta Tahun 2020*. 1–72.
- Dita Kurniawati, I., Nurullita, U., & Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Semarang, F. (2017). Indikator Pencemaran Udara

- Berdasarkan Jumlah Kendaraan dan Kondisi Iklim (Studi di Wilayah Terminal Mangkang dan Terminal Penggaron Semarang). *J. Kesehat. Masy. Indones*, 12(2), 19–24.
- El-Shafie, M., & Kawajiri, Y. (2022). Theoretical and experimental analysis of temperature decay along an industrial chimney using analytical and k- $\omega$  turbulence models. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6(October), 100264. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100264>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1998). *Air Pollution Control Technology Fact Sheet*. 3(1990), 1990–1994. <http://infohouse.p2ric.org/ref/50/49195.pdf>
- Erna Hastuti, M. H. (2012). Pengaruh Temperatur Pembakaran Dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bata. *Jurnal Neutrino*, 142–152. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1936>
- Faisal, M., Sazali, N., Harun, Z., Sazali, N., Norharyati, W., Salleh, W., & Gunawan, T. (2023). Materials Today : Proceedings Analysis study of the carbon monoxide sensor for vehicle safety system application. *Materials Today: Proceedings, July*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.008>
- Faradiba F.), R. I. Z., & Mahludin H. Baruwad. (2021). Optimalisasi Industri Rumah Tangga (Studi Pada Industri Kecil Menengah Kinamang Desa Helumo Kecamatan Suwawa). *Agrinesia*, 5. file:///C:/Users/Egle/Downloads/11949-25837-1-PB.pdf
- Gadde, B., Bonnet, S., Menke, C., & Garivait, S. (2009). Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines. *Environmental Pollution*, 157(5), 1554–1558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.01.004>
- Gilar, M., Derangga, E., Hidayat, M., & Saptoadi, H. (2023). Materials Today : Proceedings Evaluation of combustion characteristics in biomass residues open burning. *Materials Today: Proceedings*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.098>
- Goembira, F., Aristi, D. M., Nofriadi, D., & Putri, N. T. (2021). Analisis Konsentrasi PM<sub>2,5</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub>, serta Laju Konsumsi Bahan Bakar Biopellet Sekam Padi dan Jerami pada Kompor Biomassa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 201–210. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.201-210>
- Habiburrahman. (2019). *Analisa Pengaruh Jumlah Sudu Impeller pada untuk Kerja blower sentrifugal*.
- Hamarung, M. A., Kadang, Y., & Soroako, A. T. (2016). *RANCANG BANGUN PROTOTYPE MESIN PENERING PADI BERBAHAN BAKAR SEKAM DENGAN PENGADUK HORIZONTAL*. 04, 16–25.
- Handriyono, D. G. T. & R. E. (2019). Kajian Beban Emisi CO Dari Kegiatan Industri Pengasapan Ikan Di Tambak Wedi Surabaya. *Seminar Teknologi*

*Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, Dan Infrastruktur*, 450–453.

- Haque, S. E., Shahriar, M. M., Nahar, N., & Haque, M. S. (2022). Impact of brick kiln emissions on soil quality: A case study of Ashulia brick kiln cluster, Bangladesh. *Environmental Challenges*, 9(March), 100640. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100640>
- Joesyiana, K. (2017). Strategi Pengembangan Industri Rumah Tangga di Kota Pekanbaru. *Jurnal Valuta*, Volume 3 N(1), 274–282.
- KARNA WIJAYA (Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada). (2011). *Biofuel dari Biomassa*. Pusat Studi Energi. <https://pse.ugm.ac.id/category/penelitian/>
- Kashan Bashir. (2015). Design and fabrication of cyclone separator. *ResearchGate*, August 2015. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20727.83368>
- Kumar, A., Chauhan, A. S., Bains, R., & Das, P. (2021). Rice straw (*Oryza sativa* L.) biomass conversion to furfural, 5-hydroxymethylfurfural, lignin and bio-char: A comprehensive solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 104, 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.08.025>
- Lapple. (1951). *Processes Use Many Collector Types*. Chem. Engng.
- Molina, L. T., & Gurjar, B. R. (2010). Regional and global environmental issues of air pollution. In *Air Pollution: Health and Environmental Impacts*. <https://doi.org/10.1201/EBK1439809624>
- Mosey, H. I. R. (2011). Modeling of Airborne-Pollutant Spreading Using the Solution of Advective-Diffusion Equation. *Jurnal Ilmiah Sains Sam Ratulangi*, 11(1), 58–60.
- Mulia, M. J. S., Afiuddin, A. E., & Adhitya, R. Y. (2019). *Rancang Bangun Pemantau Parameter Karbon Monoksida (CO) Menggunakan Sensor Berbasis Android*. 2623, 155–159.
- Nengah, M. (2021). Pengetahuan Dan Persepsi Petani Terhadap Pengomposan Limbah Jerami Padi. *Jurnal AGRISEP: Kajian Masalah Sosial Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 20(01), 81–94. <https://doi.org/10.31186/jagrisep.20.01.81-94>
- Nevers, & Noel, D. (2000). *Air Pollution Control Engineering 2nd Edition*. Mc Graw Hill Company Inc, Singapore.
- Ngom, M., Thiam, A., Balhamri, A., Sambou, V., Raffak, T., & Refaey, H. A. (2021). Transient study during clay bricks cooking in the traditional kiln; CFD numerical study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28(August), 101672. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101672>
- NSW EPA. (2017). *Methane Fact Sheet*. 1–5. [https://www.epa.nsw.gov.au/~/\\_media/EPA/CorporateSite/resources/epa/2564-methane-fact-sheet.ashx](https://www.epa.nsw.gov.au/~/_media/EPA/CorporateSite/resources/epa/2564-methane-fact-sheet.ashx)

- Nurhayati, A., Agustian, D., & Marganingrum, D. (2020). *Studi Karakteristik Emisi Gas Dari Boiler Industri Berbahan Bakar Co- Firing Batu Bara Dan Briket BCF. 2020: Prosiding FTSP Series 1*, 1–11. <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/443>
- Nuryani, S., Sudaryanto, S., Sardjito, H., Windarso, E., & Malis Sunarno, J. (2021). Modifikasi Cerobong Wet Scrubber Untuk Menurunkan Kadar Debu Dan Kepekatan Asap Pada Sumber Emisi Tidak Bergerak. *Desember*, 7(02), 1–7.
- OSHA. (2010). Carbon dioxide health hazard information sheet. *The FSIS Environmental Safety and Health Group (ESHG)*, 2–4.
- Pal, D. B., Tiwari, A. K., Mohammad, A., Prasad, N., Srivastava, N., Srivastava, K. R., Singh, R., Yoon, T., Syed, A., Bahkali, A. H., & Gupta, V. K. (2022). Enhanced biogas production potential analysis of rice straw: Biomass characterization, kinetics and anaerobic co-digestion investigations. *Bioresource Technology*, 358(April), 127391. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127391>
- Pham, M., & Pakrasi, A. (2017). Air pollution control technologies. In *Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Conference and Exhibition, AWMA*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814934-8.00013-2>
- Prasad, S., Schweizer, C., Bagaria, P., Saini, A., Kulatilaka, W. D., & Mashuga, C. V. (2021). Investigation of particle density on dust cloud dynamics in a minimum ignition energy apparatus using digital in-line holography. *Powder Technology*, 384, 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.026>
- Putra, A. P. (2020). Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara pada Updraft Gasifier Sistem Semi Kontinyu Terhadap Kualitas Nyala Api Syngas pada Gasifikasi Biomassa Limbah Cangkang Kemiri. *Jtm*, 08(02), 41–48.
- Raisi, A. F. (2017). *Perhitungan Pressure Drop Dan Kapasitas Udara Pada Fly Ash Pneumatic Conveying Di Pt Petrokimia Gresik*. 95.
- Rickly, P. S., Guo, H., Campuzano-Jost, P., Jimenez, J. L., Wolfe, G. M., Bennett, R., Bourgeois, I., Crouse, J. D., Dibb, J. E., Digangi, J. P., Diskin, G. S., Dollner, M., Gargulinski, E. M., Hall, S. R., Halliday, H. S., Hanisco, T. F., Hannun, R. A., Liao, J., Moore, R., ... Rollins, A. W. (2022). Emission factors and evolution of SO<sub>2</sub> measured from biomass burning in wildfires and agricultural fires. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(23), 15603–15620. <https://doi.org/10.5194/acp-22-15603-2022>
- Robert, B., & Brown, E. B. (2004). *Air Pollution Control Equipment Calculation* (Issue 1).
- Rochmanto, B., Setiapraja, H., Haryono, I., & Yubaidah, S. (2024). A study of kinematic viscosity approach with air as a gas medium for turbine flowmeter calibration. *Flow Measurement and Instrumentation*, 95(August 2023), 102490. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102490>

- Rohmawati, N., & Andriyani, R. (2018). Perbedaan Kadar Pm<sub>2,5</sub> Di Tempat Pembakaran Batu Bata Dan Kejadian Sindroma Mata Kering. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 7(1), 112. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v7i1.2018.112-121>
- Sampe, F., & Pakiding, D. L. (2015). Perception of Traditional Small Scale Brick-making owner on firewood usage for Brick-making process. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 211(September), 653–659. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.095>
- Sataloff, T. R., John, M. M., & Kost, K. M. (2008). *Air Pollution Control Equipment*.
- Saxena, M., Sharma, S. K., Tomar, N., Ghayas, H., Sen, A., Garhwal, R. S., Gupta, N. C., & Mandal, T. K. (2016). Residential biomass burning emissions over Northwestern Himalayan region of India: Chemical characterization and budget estimation. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(3), 504–518. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0237>
- Shaik, S., Roy, A., Arıcı, M., Kontoleon, K. J., Afzal, A., & Li, D. (2023). Air-conditioning cost savings, CO<sub>2</sub> emission benefits and return on investment by using waste in porotherm bricks in hot-arid and warm-temperate climates. *Energy and Buildings*, 286, 112955. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112955>
- Simanjuntak, S. (2010). Kehilangan Energi pada Pipa Baja dan Pipa PVC. *Universitas HKBP NOMMENSEN MEDAN*, 43.
- Soemargono, F. (2018). Modul Pengendalian Emisi. *Archipel*.
- Sunardi, A. F., Ir, D., Dhofir, M., Soemarwanto, I., Elektro, T., Elektro, T., Brawijaya, U., Malang, B., Kunci, K., Precipitator, E., & Udara, A. P. P. (2013). Perancangan dan Pembuatan Model Miniatur. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(1), 1–6.
- Syamsiro, M & Saptoadi, H. (2007). Pembakaran Briket Biomassa Cangkang Kakao : Pengaruh Temperatur Udara Preheat. *Seminar Nasional Teknologi*.
- Vallero, D. (2014). Air Quality Status and Trends. In *Fundamentals of Air Pollution*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-401733-7.00028-1>
- World Health Organization. (2021). *Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the working group on polycyclic aromatic hydrocarbons of the joint task force on the health aspects of air Pollution*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/350636>
- Zohuri, B. (2016). Compact heat exchangers: Selection, application, design and evaluation. In *Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation* (Issue September 2017). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-298>