

Nomor Urut: 045 A /UN7.F3.6.8.TL/DL/IX/2025

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

Laporan Tugas Akhir

**PERENCANAAN STRATEGI REDUKSI EMISI
UDARA KONVENSIONAL DARI SEKTOR INDUSTRI
DAN TRANSPORTASI DI KABUPATEN
KARANGANYAR**



Disusun Oleh:

Siti Nurjannah

21080122140121

Citra Puspita Rahmawati

21080122140125

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Siti Nurjannah

NIM : 21080122140121

Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip

Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Udara Konvensional dari Sektor Industri dan Transportasi di Kabupaten Karanganyar

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:

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

Pembimbing II:

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

Ketua Penguji:

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

Anggota Penguji:

Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPU., ASEAN Eng.
195811071988031001

Semarang, 04 Februari 2026

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Undip

Ketua

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

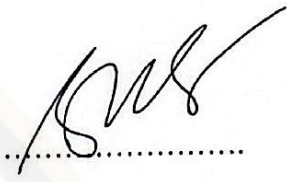
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Citra Puspita Rahmawati
NIM : 21080122140125
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Udara Konvensional dari Sektor Industri dan Transportasi di Kabupaten Karanganyar

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



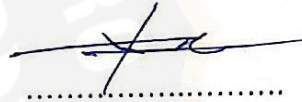
Pembimbing II:

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



Ketua Penguji:

Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPU., ASEAN Eng.
195811071988031001



Anggota Penguji:

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



Semarang, 04 Februari 2026

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Undip

Ketua



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

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi menjadikan wilayah Karanganyar sebagai sumber utama emisi udara konvensional dari sektor industri dan transportasi. Situasi ini telah menyebabkan peningkatan polusi udara, terutama sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), dan karbon monoksida (CO), yang berpotensi menurunkan kualitas udara. Studi ini bertujuan untuk merencanakan strategi pengurangan emisi udara konvensional berdasarkan daya tampung dan daya dukung lingkungan melalui inventarisasi emisi dan analisis skenario pengendalian. Emisi dari sektor transportasi dianalisis menggunakan pendekatan *Vehicle Kilometres Travelled* (VKT) berdasarkan data volume lalu lintas, komposisi kendaraan, dan faktor emisi, sementara emisi dari sektor industri dianalisis menggunakan metode *Industrial Pollution Projection System* (IPPS) berdasarkan jenis dan skala aktivitas industri. Hasil inventarisasi emisi kemudian digunakan untuk menghitung daya tampung lingkungan dengan pendekatan *box model*, dengan memasukkan data meteorologi dan kualitas udara eksisting di wilayah Kabupaten Karanganyar. Hasil analisis di Kabupaten Karanganyar, menunjukkan bahwa sektor transportasi menyumbang lebih dari 80% emisi SO_2 , sementara NO_2 dan CO menyumbang lebih dari 98% emisi. Di sisi lain, sektor industri menyumbang kurang dari 20% emisi SO_2 , sementara NO_2 dan CO menyumbang kurang dari 2% emisi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dirumuskan beberapa strategi reduksi emisi udara yang mencakup penerapan *co-firing* biomassa berupa jerami padi yang telah melalui proses torrefaksi sebagai substitusi parsial batubara yang dikombinasikan dengan penerapan *fabric filter* sebagai teknologi pengendalian emisi pada sektor industri, serta pemanfaatan *hollow* briket berbahan baku limbah kulit kopi sebagai alternatif adsorben yang lebih ramah lingkungan untuk pengendalian emisi sektor transportasi. Strategi ini diarahkan untuk menurunkan beban emisi dan gas pencemar udara konvensional sekaligus meningkatkan efisiensi energi dan mendukung pengelolaan kualitas udara yang berkelanjutan.

Kata Kunci: udara konvensional; sektor industri; sektor transportasi; *Box Model*

ABSTRACT

Population growth and economic activity have made the Karanganyar region a major source of conventional air emissions from the industrial and transportation sectors. This situation has led to increased air pollution, particularly sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), and carbon monoxide (CO), which has the potential to reduce air quality. This study aims to plan conventional air emission reduction strategies based on environmental carrying capacity and support through emission inventory and control scenario analysis. Emissions from the transportation sector are analyzed using the Vehicle Kilometers Traveled (VKT) approach based on traffic volume data, vehicle composition, and emission factors, while emissions from the industrial sector are analyzed using the Industrial Pollution Projection System (IPPS) method based on the type and scale of industrial activities. The results of the emissions inventory were then used to calculate the environmental carrying capacity using the box model approach, incorporating existing meteorological and air quality data in the Karanganyar Regency. The results of the analysis in Karanganyar Regency show that the transportation sector contributes more than 80% of SO₂ emissions, while NO₂ and CO contribute more than 98% of emissions. On the other hand, the industrial sector contributes less than 20% of SO₂ emissions, while NO₂ and CO contribute less than 2% of emissions. Based on these analysis results, several air emission reduction strategies were formulated, including the application of biomass co-firing in the form of rice straw that has undergone a torrefaction process as a partial substitute for coal, combined with the application of fabric filters as emission control technology in the industrial sector, as well as the use of hollow briquettes made from coffee husk waste as a more environmentally friendly alternative adsorbent for emission control in the transportation sector. This strategy is aimed at reducing the burden of emissions and conventional air pollutants while increasing energy efficiency and supporting sustainable air quality management.

Keywords: conventional air, industrial sector, transportation sector, box model

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim global yang disebabkan oleh pemanasan global telah menyebabkan ketidakstabilan terutama pada lapisan yang dekat dengan permukaan bumi. Jika pemanasan global terus berlanjut dengan laju saat ini, diperkirakan akan mencapai 1,5 °C antara tahun 2030 dan 2052 (Fleischman, 2018). Situasi ini diperparah oleh faktor-faktor seperti pertumbuhan ekonomi, yang sering kali terkait dengan penurunan kualitas udara di lingkungan (Nihayah dkk., 2022). Secara khusus, polusi udara dapat menjadi akibat langsung dari perkembangan ekonomi (Adam *et al.*, 2021), seiring dengan perkembangan fisik kota, pusat industri, dan transportasi. Selain itu, dengan adanya urbanisasi dan aktivitas manusia menyebabkan pembentukan zat-zat pencemar udara seperti sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan nitrogen oksida (NO) (Agus & Iqbal, 2019; Brontowiyono *et al.*, 2022).

Indonesia menghadapi dampak ekonomi polusi udara yang diperkirakan mencapai sekitar 1,8 triliun Rupiah Indonesia (IDR), dengan masalah kesehatan masyarakat yang disebabkan oleh paparan polutan dari kendaraan bermotor dan aktivitas industri (Surya, 2020). Pada tahun 2045, diperkirakan 220 juta penduduk Indonesia akan tinggal di kota dan kabupaten, yang akan meningkatkan aktivitas ekonomi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan (Nihayah dkk., 2022). Kualitas udara ambien yang buruk di kota-kota ini menjadi perhatian karena potensi terjadinya berbagai gangguan pernapasan yang terkait dengan toksin atmosfer (Santoso, 2020), yang dapat menyebabkan kematian dini akibat asma, penyakit kardiovaskular, kanker paru-paru, dan penyakit lain (Behinaein *et al.*, 2023).

Kabupaten Karanganyar memiliki luas wilayah 76.778,64 Ha atau 2,36 persen dari total luas wilayah Provinsi Jawa Tengah dan 0,04 persen dari total luas Indonesia. Jumlah penduduk Kabupaten Karanganyar mencapai 961.909 jiwa, dengan kepadatan penduduk 1.253 jiwa per kilometer serta laju pertumbuhan sebesar 0,71% sehingga mengalami peningkatan kepadatan penduduk dalam

periode sepuluh tahun terakhir, yaitu dari 2014 hingga 2024 (Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar, 2025). Peningkatan jumlah penduduk ini berdampak pada kualitas lingkungan, khususnya terkait dengan pencemaran udara. Dengan bertambahnya populasi, kebutuhan akan transportasi dan perkembangan industri juga meningkat, yang akan berkontribusi pada peningkatan emisi dari kendaraan bermotor dan aktivitas industri. Dengan demikian, pertumbuhan populasi sejalan dengan peningkatan polusi udara dari kedua sektor tersebut.

Kabupaten Karanganyar adalah salah satu daerah *hinterland* dari Kota Surakarta yang fokus pada pengembangan sektor industri. Kabupaten Karanganyar memiliki sejumlah industri yang tersebar di berbagai wilayah seperti di Kecamatan Gondangrejo, Kebakramat, Jaten, dan sebagian Tasikmadu. Berdasarkan data dari PDRB Kabupaten Karanganyar Menurut Lapangan Usaha Volume 11 pada tahun 2024, sektor industri manufaktur di daerah ini memberikan kontribusi sebesar 46% terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) kabupaten dari tahun 2019 hingga 2023. Daerah ini memiliki 223 unit usaha/perusahaan industri manufaktur skala menengah dan besar yang masih aktif memproduksi dengan jumlah tenaga kerja di sektor industri mencapai 109.921 orang (Direktori Manufaktur Kabupaten Karanganyar pada tahun 2024). Dilansir dari website pfpland.id pada tahun 2024, Kabupaten Karanganyar memiliki berbagai industri unggulan yang cukup beragam seperti industri makanan dan minuman, tekstil, farmasi, dan kerajinan.

Sektor industri menghasilkan berbagai jenis polutan yang dapat mencemari udara, seperti partikel halus, dioksida belerang (SO_2), oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), dan senyawa organik volatil (VOC_s), yang semuanya memiliki dampak negatif pada kesehatan manusia (Nakhjiri & Kakroodi, 2024). Long *et al.*, (2022) menemukan bahwa daerah dengan konsentrasi tinggi industri manufaktur memiliki tingkat polusi udara yang lebih tinggi daripada daerah pedesaan. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah dengan konsentrasi industri yang tinggi seperti Kabupaten Karanganyar, rentan terhadap dampak paparan kualitas udara yang buruk.

Selain sektor industri, sektor transportasi juga turut berkontribusi pada akumulasi emisi udara di Kabupaten Karanganyar. Kontribusi sektor transportasi

terhadap pencemaran udara daerah perkotaan 70%, jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan sektor industri sebesar 25%, sementara pembakaran sampah berkontribusi sebesar 5% (Buanawati *et al.*, 2017). Potensi jumlah kendaraan bermotor Kabupaten Karanganyar pada tahun 2024 sebanyak 549.699 unit kendaraan roda dua dan kendaraan roda empat (mobil penumpang, bus, truk) mencapai 87.200 unit (Badan Pusat Statistik 2024). Kondisi ini semakin diperparah dengan tingginya mobilitas wisatawan, pada tahun 2021 mencapai 379.411 orang atau setara dengan 1/3 penduduk Kabupaten Karanganyar (Kabupaten Karanganyar dalam Angka, 2022). Wisatawan yang memasuki Kabupaten Karanganyar umumnya melewati Jalan Lawu Karanganyar-Tawangmangu yang merupakan jalan nasional, sehingga berdampak pada peningkatan volume lalu lintas yang tidak hanya dari aktivitas masyarakat lokal, tetapi juga wisatawan (Purnomoasri dkk., 2023).

Aktivitas lalu lintas meliputi penggunaan kendaraan bermotor seperti mobil pribadi, sepeda motor, bus, dan kendaraan berat. Kendaraan-kendaraan ini menghasilkan polutan udara seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikel padat (PM). Emisi dari kendaraan-kendaraan ini tersebar ke udara tergantung pada faktor meteorologi. Polutan-polutan ini secara signifikan merugikan kesehatan manusia, bahkan menyebabkan kematian dini (Khreis, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa daerah dengan aktivitas lalu lintas tinggi memerlukan perhatian khusus, terutama dalam mitigasi dampak polusi udara.

Pemilihan parameter SO₂, NO₂, dan CO pada sektor industri dan transportasi didasarkan pada kondisi kualitas udara Kabupaten Karanganyar sebagaimana tercantum dalam DIKPLHD 2023 serta data BPS mengenai beban pencemar udara Karisidenan Surakarta Tahun 2021. Konsentrasi NO₂ sektor transportasi di Kabupaten Karanganyar mencapai 21,63 µg/m³, termasuk yang tertinggi secara regional, mencerminkan tingginya pergerakan harian masyarakat, pertumbuhan kendaraan bermotor, dan kedekatan dengan Kota Surakarta. CO merupakan polutan utama gas buang kendaraan, terutama saat perjalanan harian dan kemacetan, yang diperkuat oleh dominasi sepeda motor sebagai jenis kendaraan

terbanyak di wilayah ini dengan penyumbang terbesar emisi CO dikarenakan sepeda motor seluruhnya menggunakan bahan bakar bensin. Sementara itu, SO₂ menunjukkan nilai tertinggi di Karisidenan pada sektor industri (16,05 µg/m³), mengindikasikan pengaruh aktivitas industri dan pembakaran bahan bakar fosil. Meskipun nilai kualitas udara masih di bawah baku mutu nasional, kecenderungan nilai yang relatif tinggi dan keterbatasan pemantauan *real time* menunjukkan adanya tekanan emisi, sehingga SO₂, NO₂, dan CO dipilih sebagai parameter utama dalam perumusan strategi pengendalian pencemaran udara di Kabupaten Karanganyar.

Penurunan kualitas udara yang mempengaruhi kehidupan diakibatkan dari emisi udara konvensional sehingga pengelolaan kualitas udara menjadi tanggung jawab yang harus diperhatikan oleh semua pihak untuk menjaga kualitas udara. Dengan demikian, penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dilaksanakan untuk merencanakan strategi reduksi emisi udara konvensional di Kabupaten Karanganyar yang tertuang pada Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara (RPPMU) dan diatur dalam PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang didapatkan identifikasi masalah yang dapat dijadikan sebagai bahan perencanaan Tugas Akhir sebagai berikut.

1. Peningkatan jumlah penduduk di Kabupaten Karanganyar berdampak pada mobilitas masyarakat di sektor transportasi dan industri.
2. Bertambahnya jumlah kendaraan di sektor transportasi Kabupaten Karanganyar memberikan pengaruh terhadap emisi udara.
3. Peningkatan jumlah industri di Kabupaten Karanganyar berpotensi menurunkan kualitas udara ambien.
4. Belum terdapat kajian tentang perhitungan sebaran emisi dan daya tampung beban emisi menggunakan metode *box model* di Kabupaten Karanganyar.

1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil inventarisasi emisi udara konvensional yang berasal dari sektor industri dan transportasi di Kabupaten Karanganyar untuk parameter SO₂, NO₂, dan CO?
2. Bagaimana daya tampung dan daya dukung beban emisi yang mampu diterima lingkungan oleh lingkungan di Kabupaten Karanganyar dengan menggunakan metode *box model* untuk parameter SO₂, NO₂ dan CO?
3. Bagaimana penyusunan rencana strategi reduksi emisi udara konvensional di sektor industri dan transportasi di Kabupaten Karanganyar melalui penerapan sistem pengendalian emisi, serta perancangan desain teknis, dan perencanaan anggaran biaya (RAB) untuk alat reduksi emisi?
4. Bagaimana cara penerapan aspek persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) bagi tenaga kerja dalam implementasi alat reduksi?

1.4 Rumusan Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari perencanaan dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Menginventarisasi emisi udara konvensional yang berasal dari sektor industri dan transportasi di Kabupaten Karanganyar untuk parameter SO₂, NO₂, dan CO.
2. Menganalisis daya tampung dan daya dukung beban emisi yang mampu diterima oleh lingkungan di Kabupaten Karanganyar dengan menggunakan metode *box model* untuk parameter SO₂, NO₂, dan CO.
3. Menyusun rencana strategi untuk reduksi emisi udara konvensional pada sektor industri dan transportasi di Kabupaten Karanganyar melalui penerapan sistem pengendalian emisi, serta perancangan desain teknis dan perencanaan anggaran (RAB) untuk alat reduksi emisi.
4. Menerapkan aspek persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) bagi tenaga kerja dalam implementasi alat reduksi.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam Tugas Akhir ini bertujuan agar poin yang dibahas tetap berfokus pada bahasan tertentu sehingga pembahasan ini tidak keluar dari ranah bahasan dan menjadikan perencanaan ini semakin jelas. Perencanaan Tugas Akhir ini dibatasi oleh permasalahan sebagai berikut:

1. Ruang lingkup kajian perencanaan dalam Tugas Akhir dibatasi pada sektor industri dan transportasi di Kabupaten Karanganyar.
2. Sumber emisi polutan konvensional dari sektor transportasi yang akan diinventarisasikan adalah transportasi darat (*on road*) meliputi sepeda motor (roda 2), mobil penumpang (roda 4), kendaraan pengangkut (truk), dan bus.
3. Sumber emisi polutan konvensional dari sektor industri yang akan diinventarisasikan yaitu industri kecil, menengah, dan besar.
4. Parameter polutan konvensional yang akan diinventarisasi meliputi SO₂, NO₂, dan CO.
5. Strategi reduksi pencemaran udara konvensional di Kabupaten Karanganyar disusun untuk jangka waktu 10 tahun.

1.6 Rumusan Manfaat

Adapun manfaat dari perencanaan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Daerah Kabupaten Karanganyar
 - a. Membantu Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar dalam upaya melakukan inventarisasi emisi pencemar udara konvensional yang berasal dari sektor industri dan transportasi.
 - b. Sebagai masukan serta menjadi bahan pertimbangan bagi Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar untuk menetapkan kebijakan pengurangan pencemaran udara di sektor industri dan transportasi sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku.
2. Bagi Peneliti
 - a. Memberikan gambaran terhadap implementasi yang terkait dengan inventarisasi emisi udara konvensional sebagai perencanaan pengendalian pencemaran udara pada sektor industri dan transportasi.

- b. Menambah ilmu dan wawasan terkait strategi perencanaan pengendalian pencemaran udara.
- 3. Bagi Masyarakat
 - a. Menyediakan informasi kepada masyarakat mengenai pencemaran udara beserta langkah-langkah pengurangannya.
 - b. Menjadi sumber rujukan bagi masyarakat agar dapat berperan aktif dalam upaya pengurangan emisi pencemar udara.



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M., Tran, P., & Balasubramanian, R. (2021). Air quality changes in cities during the COVID-19 lockdown: a critical review. *Atmos. Res*, 264.
- Agency, P. E. (2018). *Particulate Matter (PM) Pollution*.
- Agus, M., & Iqbal, S. (2019). Urban air pollution monitoring system for mapping areas based on pollutant level. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*, 662(4).
- Ahmad, A. H. (2025). Numerical investigation of coal-sawdust co-firing in a Carolina-type boiler: Power derating and emission analysis. *Applied Thermal Engineering*, 266, 125681.
- Amalia, R., & Syafei, A. (2017). *Strategi pengendalian pencemaran gas CO dari aktivitas transportasi di Kota Batu, Jawa Timur*. Surabaya: Institut Teknologi Bandung.
- Amna, S., Shahab, A., & Maryana, M. (2024). SINTESIS KARBON AKTIF DARI BATANG KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN AKTIVATOR ASAM FOSFAT (H₃PO₄). *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 15(01), 44-54.
- APO Asian Productivity Organization. (2010). *Reusing biomass waste in industrial boilers for energy recovery*. Hämtat från <http://www.apo-tokyo.org/>
- As' ari, R. M. (2022). Hubungan Kadar PM_{2.5} dan PM₁₀ Terhadap Keluhan Dyspnea Warga Desa Lakardowo, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. *Environmental Pollution Journal*, 2(2).
- Asmazori, M. (2021). Rancang Bangun Alat Pendeteksi NO_x dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(02), 57-62.
- Astuti, W., & Kusumawardani, Y. (2017). Analisis Pencemaran Udara Dengan Box Model (Daya Tampung Beban Pencemar Udara) Studi Kasus Di Kota Tangerang. *Jurnal Neo Teknika*, 3(1), 21-28.
- Ayuningsih, B., Yuniarto, A., & Zuhri, S. (2023). The Use of Fly Ash and Bottom Ash to Reduce COD, TSS, and Color in Textile Industry Wastewater Effluent. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (Vol. 1250, No. 1, p. 012009).
- Badan Pusat Statistik. (2022). Kabupaten Karanganyar Dalam Angka 2022. *Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar*.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Direktori Industri Manufaktur Kabupaten Karanganyar 2024*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar.

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kabupaten Karanganyar Dalam Angka 2024*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Karanganyar Menurut Lapangan Usaha 2019-2023, Volume 11 Tahun 2024*. Kabupaten Karanganyar.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Kabupaten Karanganyar Dalam Angka 2025*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar.
- Behinaein, P., Hutchings, H., Knapp, T., & Okereke, I. (2023). The growing impact of air quality on lung-related illness: a narrative review. *Journal of Thoracic Disease*, 15 (No 9).
- Bhatia, A. (2012). Improving energy efficiency of boiler systems. *Continuing education and development engineering*, 1-55.
- Brontowiyono, W., Asmara, A., Jana, R., Yulianto, A., & Rahmawati, S. (2022). Land-use impact on water quality of the opak sub-watershed, yogyakarta, Indonesia. *Sustainability (Basel)*, 14(7).
- Buanawati, T., Huboyo, H., & Samadikun, B. (2017). Estimasi emisi pencemar udara konvensional (SOX, NOX, CO, dan PM) kendaraan pribadi berdasarkan metode International Vehicle Emission (IVE) di beberapa ruas jalan Kota Semarang. *Doctoral Disertation, Diponegoro University*.
- Candrasari, S., Clarissa, E., Kusumawardani, F., Pattymahu, G., Eugenia, J., Cahyadi, L., & Syabanera, N. (2023). Pemulihan dampak pencemaran udara bagi kesehatan masyarakat Indonesia. *Professional: Jurnal Komunikasi dan Administrasi Publik*, 10(2), 849-854.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). Thermodynamics: an engineering approach. *Sea*, 1000(8862), 287-93.
- Chang, C. C., Chen, Y. H., Chang, W. R., Wu, C. H., Chen, Y. H., Chang, C. Y., ... & Wang, S. G. (2019). The emissions from co-firing of biomass and torrefied biomass with coal in a chain-grate steam boiler. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(12), 1467-1478.
- Chang, C. C., Chen, Y. H., Chang, W. R., Wu, C. H., Chen, Y. H., Chang, C. Y., ... & Wang, S. G. . (2019). The emissions from co-firing of biomass and torrefied biomass with coal in a chain-grate steam boiler. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(12), 1467-1478.
- Chien, T. W. (2000). Removal of SO₂ and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous NaClO₂ solution. *Journal of Hazardous Materials*, 80(1-3), 43-57.
- Darajati, W., Rudyanto, A., & Nugroho, H. (2024). Lingkungan Hidup dan Sumberdaya Alam: Refleksi RPJPN 2005-2025 dan Visi 2025-2045. *Bappenas Working Papers*, 7(1), 86-105.

- David, F. R., & David, F. R. (2017). Strategic management: A competitive advantage approach, concepts and cases (16th ed.). *Pearson Education Inc.*
- Della Ertiana, E. (2022). Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat: Literatur review. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 12(2), 287-296.
- Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta. (2006). *Penanggulangan Pencemaran Udara sebagai Salah Satu Upaya Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar. (2024). *Indeks Kualitas Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (IKPLHD) Kabupaten Karanganyar Tahun 2024*. Karanganyar: Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karanganyar.
- Dinas Pertanian, Pangan, dan Perikanan Kabupaten Karanganyar. (den 30 Desember 2025). Hämtat från <https://dispertanpp.karanganyarkab.go.id/2024/11/09/sosialisasi-perluasan-kopi-arabika-di-karanganyar-meningkatkan-produksi-dan-produktivitas-kopi-lokal/>
- Environmental Impact Assessment (EIA). (2000). Guidelines for Environmental Impact Assessment. *Ministry of Environment, Government Publications*.
- Fauzi, M. U. (2021). Perhitungan reduksi emisi gas buang melalui penentuan rute distribusi beras di kota bandung exhaust emission reduction calculation through determination of rice distribution routes di bandung city. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22, 240-248.
- Fleischmann, A. (2018). 1.5 °C: The Future and Present of Anthropology in an Era of Climate Change.
- Fouladi-Fard, R., Naddafi, K., Hosseini, M. R., Yunesian, M., Nabizadeh Nodehi, R., Dehghani, M. H., ... & Rajabi, S. (2025). Health risk assessment and Sobol'sensitivity analysis of power plant air pollution (SO₂ and NO_X): the effect of power plant fuel change. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 21(1), 161-171.
- Ghofur, A., Mursadin, A., Amrullah, A., & Raihan, R. (2022). The potential of activated carbon from peat soil as an absorbent for hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) emissions in motor vehicles. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 251-256.
- Halulanga, A., Rosdiana, R., & Adami, A. (2021). Uji Kandungan Gas Sulfur Dioksida (SO₂) pada Udara Ambien Akibat Adanya Pembakaran Batubara PLTU Nii Tanasa, Sulawesi Tenggara. *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari*, 1(2), 05-10.

- Hassan, A., & Crowther, J. (1998). A Simple Model Pollutant Concentration In A Street Canyon. *Journal of Environmental Monitor and Assessment*, 52. 269-280.
- Hastiti, L. R. (2012). *Pajanan PM2.5 dan Gangguan Fungsi Paru Serta Kadar Profil Lipid Darah(HDL, LDL, Kolestrol Total, Trigliserida) Pada Karyawan PT. X Kalimantan Selatan*. Universitas Indonesia.
- Herwandi, G., & Syafrianto, M. (2020). Identifikasi Potensi Bahaya K3 Dan Pengendalian Risiko Terhadap Pekerjaan Pada Kegiatan Pembongkaran (Pengeboran Dan Peledakan) Di Pt. Sulenco Wibawa Perkasa Desa Peniraman, Kecamatan Sungai Pinyuh, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat. *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan, PWK, Sipil, dan Tambang*, 7(1).
- Hettige, H., Martin, P., Singh, M., & Wheeler, D. (1995). *The Industrial Pollution Projection System (IPPS) (World Bank Policy Research Working Paper No. 1431*. Washington, DC: World Bank.
- Hettige, H., Martin, P., Singh, M., & Wheeler, D. (1995). *The Industrial Pollution Projection System (IPPS)* . Washington, DC: World Bank. : (World Bank Policy Research Working Paper No. 1431).
- Himawan, W., & Sari, C. (2018). Aspek hukum dan lingkungan program inventarisasi emisi dalam penyusunan air quality management kota surakarta. *Ekosains*. 10(3), 15-21.
- Huda, S., Ratnani, R. D., & Kurniasari, L. (2020). Karakterisasi karbon aktif dari bambu ori (*bambusa arundinacea*) yang di aktivasi menggunakan asam klorida (HCl). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 5(1).
- Ibitoye, S. E., Loha, C., Mahamood, R. M., Olayemi, O. A., Alam, M., Jen, T. C., ... & Akinlabi, E. T. (2025). Optimization of Rice Straw Properties via Torrefaction for Solid Fuel Applications. *BioEnergy Research*, 18(1), 1-16.
- Ihsan, T., Hamidi, S. A., & Putri, F. A. (2020). Penilaian Risiko dengan Metode HIRADC Pada Pekerjaan Konstruksi Gedung Kebudayaan Sumatera Barat. *Jurnal Civronlit Unbari*, 5(2), 67.
- Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta.
- Indriyaningtyas, S., Hasandy, L., & Dewantoro, B. (2021). Dewantoro, B. E. B. (2021). Dinamika Konsentrasi Emisi Gas Karbon Monoksida (Co) Selama Periode Psbb Menggunakan Komputasi Berbasis Cloud Pada Google Earth Engine. *Majalah Ilmiah Globe*, 23(1), 35-42.
- Ivanovski M, Goricanec D, Krobe J, Urbancl D. (2022). Torrefaction pretreatment of lignocellulosic biomass for sustainable solid. *Energy*, 240:122483.

- Jaya, F. T. (2014). Adsorpsi Emisi Gas CO, NO dan NO_x menggunakan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Kendaraan Bermotor Roda Empat. *Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- Julianto, F. T. (2016). Analisis pengaruh jumlah industri besar dan upah minimum terhadap pertumbuhan ekonomi di Kota Surabaya. *JEB17: Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, 1(02).
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2014). *Pedoman penentuan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup*. Deputi Bidang Tata Lingkungan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). *Pedoman Pengisian Inventarisasi*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2013). *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Perkotaan*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Khreis, H. (2020). Chapter three - traffic, air pollution, and health. In M. J. Nieuwenhuijsen, & H. Khreis (Eds.). *Advances in transportation and health (Elsevier)*, pp. 59-104.
- Kim, Y. P. (2022). Heating and emission characteristics of briquettes developed from spent coffee grounds. *Environmental Engineering Research*, 27(4).
- Kwagheger, A., & Ibrahim, J. S. (2013). Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from mango nuts using HCl. *American Journal of Engineering Research*, 2(7), 74-85.
- Lestari, J., Zulnazri, Z., Nurlaila, R., Faisal, F., Fibarzi, W. U., & Fitri, S. (2024). Pengaruh Konsentrasi Aktivator HCl dan Ukuran Partikel Terhadap Kemampuan Daya Serap Karbon Aktif Dari Ampas Bubuk Kopi. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 4(4), 596-605.
- Long, F., Liu, J., & Zheng, L. (2022). The effects of public environmental concern on urban-rural environmental inequality: Evidence from Chinese industrial enterprises. *Sustainable Cities and Society*, 80 Article 103787.
- Mahendra, S. Q. (2017). Studi Penyaring Emisi Pada Knalpot Sepeda Motor Dengan Briket Arang Batok Kelapa. *Traksi*, 17(2).
- Majdina, N. I. (2024). Penentuan ukuran sampel menggunakan rumus Bernoulli dan Slovin: Konsep dan aplikasinya. *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 16(1), 73-84.

- Maksum, T., & Tarigan, S. (2022). Analisis risiko kesehatan akibat paparan partikel debu (pm_{2.5}) dari aktivitas transportasi. *Jambura Health and Sport Journal*, 4(1), 19-28.
- Maryanto, D., Mulasari, S. A., & Suryani, D. (2009). Penurunan kadar emisi gas buang karbon monoksida (CO) dengan penambahan arang aktif pada kendaraan bermotor di Yogyakarta.
- Masito, A. (2018). nalisis risiko kualitas udara ambien (NO₂ dan SO₂) dan gangguan pernapasan pada masyarakat di Wilayah Kalianak Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 394-401.
- Maula, G. M. (2024). Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia. *Savana: Indonesian Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 1(02), 145-159.
- Maymuchar, M. &. (2011). Efisiensi Katalitik Konverter dalam Mengurangi Emisi Karbon Monoksida dan Hidrokarbon pada Bahan Bakar Bensin 88. *LEMBARAN PUBLIKASI MINYAK DAN GAS BUMI (LPMGB)*, 45(2), 153-158.
- McElroy, J., & Pooler, F. (1968). The St. Louis Dispersion Study, Vol II. Nasional. *Air Pollution Control Administration*.
- Mills, D. (2016). Gas–solid separation devices. In Pneumatic conveying design guide. *Elsevier*, 3rd ed., pp. 139–151.
- Mokhtar, A. (2014). Catalityc converter jenis katalis plat tembaga berbentuk sarang lebah untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor. *Jurnal Gamma*, 10(1).
- Mutiara, P. B. (2021). Analisis matriks IFAS dan EFAS PT Unilever Tbk pada pandemik COVID-19. *Jurnal Bina Bangsa Ekonomika*, 14(2), 363-371.
- Nakhjiri, A., & Kakroodi, A. (2024). Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. *Ecological Informatics*, 80 Article 102504.
- Narputro, P., Artiyasa, M., Putra, C. L. E., Hendrawati, T. D., & Wicaksana, F. A. (2025). Analisis Tekno-Ekonomi Penerapan Co-Firing Biomassa Serbuk Kayu pada PLTU 3× 350 MW. Scientific Exploration. *Journal of Indonesian Academic Research*, 3(1), 1-13.
- Nasihah, M. (2017). Efek Hujan Asam terhadap Pertum buhan Tanaman. *Jurnal EnviScience (Environment Science)*, 1(1).
- Nihayah, D., Mafruhah, I., Hakim, L., & Suryanto, S. (2022). CO₂ emissions in Indonesia: the role of urbanization and economic activities towards net zero carbon. *Economies (Basel)*, 10, 72.
- Nopita, V., Amir, R., Nusu, M., & Hengky, H. (2021). Analisis Risiko Pajanan Nitrogen Dioksida (NO₂) Pada Peternakan Ayam Petelur Di Kecamatan Bacukiki Kota Parepare. *Jurnal Ilmiah: J-HESTECH*, 4(2), 103-116.

- Nugroho, C. P., Prawiranegara, B. M. P., Asdak, C., Widyasanti, A., & Kendarto, D. R. (2025). Pengolahan Limbah Kopi Menjadi Teh Cascara Sebagai Produk Prioritas Berdasarkan Metode AHP di Sub DAS Cikamiri. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 8, 59-64.
- Nurhayati, R. D., & Purnomo, Y. S. (2023). Analisis Risiko K3 dengan Metode HIRADC pada Industri Pengolahan Makanan Laut di Jawa Timur. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(3), 450-461.
- Nurhidayah, R. (2025). Analisis Alih Fungsi Lahan Pertanian di Karanganyar dalam Perspektif Keadilan Ekologis.
- Nuryanti, D. S. (2020). Review analisis daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup dalam kajian lingkungan hidup strategis rencana detail tata ruang studi kasus Kajian Lingkungan Hidup Strategis Rencana Detail Tata Ruang Kecamatan Kedungwuni Kabupaten Pekalongan Tahun 2020. In *Prosiding Seminar Nasional "Pembangunan Hijau dan Perizinan: Diplomasi, kesiapan perangkat dan pola standarisasi"*, (pp. 119-128).
- Nussbaumer, T. (2003). Combustion and co-combustion of biomass: Fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction. *Energy & Fuels*, 17(6), pp.1510–1521.
- Park, H. W. (2015). Simultaneous treatment of NO and SO₂ with aqueous NaClO₂ solution in a wet scrubber combined with a plasma electrostatic precipitator. *Journal of hazardous materials*, 285, 117-126.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar. (2013). *Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar Nomor 1 Tahun 2013 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karanganyar Tahun 2013-2032*.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar. (2019). *Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar Nomor 19 Tahun 2019 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar Nomor 1 Tahun 2013 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karanganyar Tahun 2013-2032*.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar. (2023). *Peraturan Daerah Kabupaten Karanganyar Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah . (2023). *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 4 Tahun 2023 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 64/M-IND/PER/7/2016 tentang Besaran Jumlah Tenaga Kerja dan Nilai Investasi untuk Klasifikasi Usaha Industri*.
- Peraturan Pemerintah RI. (2012). *Peraturan Pemerintah RI Nomor 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*.

- Peraturan Presiden Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 73 Tahun 2023 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Umum Energi Nasional dan Rencana Umum Energi Daerah*.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia. (2025). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025–2029*.
- PFPLand.id. (den 23 Desember 2024). *3 Potensi Ekonomi Karanganyar*. Hämtat från Menelusuri Potensi Ekonomi Tersembunyi Karanganyar: <https://pfpland.id/2024/12/23/potensi-ekonomi-karanganyar/>
- Purnomoasri, R., Yuono, T., Sumina, S., & Utama, F. (2023). Analisis emisi CO dan CO₂ pada simpang bersinyal Bejen Kabupaten Karanganyar. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 25(1), 24-33.
- Purohit, D. P., Siddiqui, D. A., Nandan, A., & Yadav, D. P. (2018). Hazard Identification and Risk Assessment in Construction Industry. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(10), 7639–7667.
- Putra, I. (2023). Potensi dan peluang usaha tani di Desa Jumapolo Karanganyar. *Eastasouth Journal of Positive Community Services*, 1(2), 77–85.
- Radar Lambar*. (den 30 Desember 2025). Hämtat från <https://radarlambar.bacakoran.co/read/8848/ternyata-limbah-cangkah-kulit-kopi-sangat-bermanfaat-bisa-dijadikan-untuk>
- Rahayu, M. L. (2019). PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) di PTPN 8 PERKEBUNAN CIATER -JAWA BARAT.
- Rahmawati, V. H. (2024). Analisis Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Perkotaan. *SEMAR: Jurnal Sosial dan Pengabdian Masyarakat*, 2(3), 17-24.
- Redha, F., Junaidy, R., & Hasmita, I. (2018). Penyerapan emisi CO dan NO_x pada gas buang kendaraan menggunakan karbon aktif dari kulit cangkang biji kopi-(CO and NO_x emissions adsorption in gas vehicles using activated carbon from coffee bean shell). *Biopropal Industri*, 9(1), 37-47.
- Saidur, R. A. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2262-2289.
- San, V., Spoann, V., & Schmidt, J. (2018). Industrial pollution load assessment in Phnom Penh, Cambodia using an industrial pollution projection system. *Science of the total environment*, 615, 990-999.
- Santosa, S., & Sudrajat, S. (2017). Kajian ketersediaan dan kebutuhan konsumsi beras di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(4).

- Santoso, M., . (2020). Assessment of urban air quality in Indonesia. *Aerosol Air Qual. Res*, 20 (10), 2142–2158.
- Satria, N. (2006). Pendugaan konsentrasi karbon monoksida (CO) dari sumber garis transportasi) menggunakan Box-Model" Street Canyon".
- Schnelle Jr, K. B., & Brown, C. A. (2016). Air pollution control technology handbook. *CRC press*.
- Seprihadaniansyah, G. M., Kuswoyo, A., & Adriana, M. (2018). Modifikasi Knalpot Menggunakan Katalitik Konverter Dan Arang Akasia Guna Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan. *Jurnal Elemen*, 5(1), 11-19.
- Seran, S., Henong, S., Semiun, O.E, & Pattiraja, A. (2022). Analisis pencemaran udara di simpangan bersinyal menggunakan box model (studi kasus simpang bersinyal jl. Frans seda). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 9295-9305.
- Setyasadama, S. (2021). Strategi Pengembangan Agribisnis Kopi di Kabupaten Karanganyar. *Universitas Sebelas Maret*, Vol 9, No 2.
- Sherlock, W. J. (2021). Field measurements and modeling of gaseous NO_x, SO₂, HNO₃ AND H₂SO₄ formation from a novel electrostatic precipitator. (*Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign*).
- Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh co-firing biomassa terhadap efisiensi boiler PLTU Batubara. *Kilat*, 1(1), 501695.
- Sinolungan, J. (2009). Dampak polusi partikel debu dan gas kendaraan bermotor pada volume dan kapasitas paru. *Jurnal Biomedik: JBM*, 1(2).
- Sis H. (2009). Application of model-free methods for analysis of coals with different ranks. *Energy Sources Part A Recover Util Environ* , 31:1016–1027.
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran Udara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sompornrattanaphan, M., Thongngarm, T., Ratanawatkul, P., Wongs, C., & Swigris, J. (2020). The contribution of particulate matter to respiratory allergy. In *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, (Vol. 38, Issue 1).
- Sotiropoulos, D., Georgakopoulos, A., & Kolovos, N. (2005). Impact of free calcium oxide content of fly ash on dust and sulfur dioxide emissions in a lignite-fired power plant. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(7), 1042-1049.
- Sukwika, T., & Pranata, H. D. (2022). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bidang Freight Forwarder Menggunakan Metode HIRADC. *Jurnal Teknik*, 20(1), 1–13.

- Suprianti, Y., & Kurniasetyawati, A. S. (2019). Regenerasi in-situ adsorben karbon aktif tipe granul dengan metode termal. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 3(1), 1-9.
- Surya, B.,. (2020). The complexity of space utilization and environmental pollution control in the main corridor of Makassar City, South Sulawesi, Indonesia. *Sustainability (Basel)*, 12 (21).
- Susana, I. G. (2025). KAJIAN ENERGI TERBARUKAN DAN PENINGKATAN EKONOMI DARI PEMANFAATAN LIMBAH SEKAM PADI MELALUI CO-FIRING BIOMASSA. *Energy, Materials and Product Design*, 4(2), 293-300.
- Syafitri, R., & Susetyo, C. (2019). Pemodelan pertumbuhan lahan terbangun sebagai upaya prediksi perubahan lahan pertanian di Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), C255-C262.
- Untajana, S., Oszaer, R., & Latupapua, Y. (2019). Analisis kebutuhan kawasan hutan kota berdasarkan emisi karbon dioksida di Kota Piru, Seram Bagian Barat. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 3(2), 114-126.
- Veijonen, K., Vainikka, P., Järvinen, T., & Alakangas, E. (2003). Biomass co-firing- an efficient way to reduce greenhouse gas emissions.
- Wahyudi, A. (2024). RPJP Sektor Transportasi Terkait Energi Dan Lingkungan Dalam Menghadapi Tantangan Global 2045. *Juremi: Jurnal Riset Ekonomi*, 3(5), 671-684.
- Wakeford, D. (2006). *Mitsui Babcock Energy*. Crawley, UK: personal communication.
- Weltbank. (2012). *Hashemite Kingdom of Jordan-Country Environmental Analysis*. World Bank.
- Wibisono, N. I. (2024). Kajian Beban Emisi SO₂, NO₂ dan Partikulat dari Cerobong Boiler dengan Bahan Bakar Kayu pada PT X. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9379-9389.
- Winda Wati, I. (2012). Application of Industrial Pollution Projection System Model to Estimate the Pollution Level of Industries in Surabaya. *Jurnal Teknologi Pertanian*.
- Wu, Z. (2006). Developments in fluidized bed combustion technology.
- Yusuf, I. H. (2015). Adsorpsi Emisi Gas CO, NO dan NO_x Menggunakan Arang Aktif dan Limbah Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) pada Kendaraan Bermotor Roda. *Jurnal Universitas Hasanuddin*.
- Zhang, H. &. (2025). Experimental study on co-firing of coal and biomass in industrial-scale circulating fluidized bed boilers. *Energies*, 18(14), 3832.

Zulkifle, M. N. (2025). Impact of Biomass Co-Firing on Flame Temperature and Pollutant Emissions in a 300 MW Coal-Fired Boiler: A Computational Fluid Dynamics Analysis. *Chemical Engineering Transactions*, 120, 319-324.

