

Nomor Urut : 186 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/VI/2024

187 A/UN7.F3.6.8.TL/DL/VI/2024

Laporan Tugas Akhir

**PERENCANAAN STRATEGI REDUKSI EMISI
UDARA KONVENSIONAL PADA SEKTOR
TRANSPORTASI DAN INDUSTRI DI KABUPATEN
SUKOHARJO**



Disusun oleh :

Ancilla Clareta Primastika 21080120130131

Farrel Zulkarnaen 21080120130051

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

NAMA : Ancilla Clareta Primastika
NIM : 21080120130131
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Udara Konvensional Pada Sektor Transportasi dan Industri di Kabupaten Sukoharjo

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.

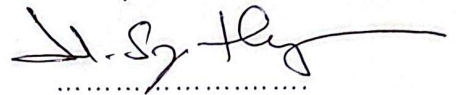
Pembimbing I:

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



Pembimbing II:

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



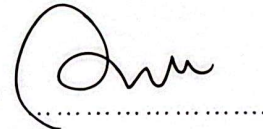
Ketua Penguji:

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



Anggota Penguji:

Prof. Ir. Mochamad Arief Budihardjo, S.T., M.Eng.Sc, Env.Eng,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
197409302001121002



Semarang, 23 Juni 2025

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Undip

Ketua



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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Farrel Zulkarnaen
NIM : 21080120130051
Jurusan/Departemen : Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Undip
Judul Skripsi : Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Udara Konvensional Pada Sektor Transportasi dan Industri di Kabupaten Sukoharjo

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

Pembimbing II:
Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
197402141999031002

Ketua Penguji:
Prof. Ir. Mochamad Arief Budihardjo, S.T., M.Eng.Sc, Env.Eng,
Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
197409302001121002

Anggota Penguji:
Ir. Nurandani Hardyanti, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
197301302000032001

[Signature]

[Signature]

[Signature]

[Signature]

Semarang, 23 Juni 2025
Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Undip
Ketua



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

ABSTRAK

Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu pusat berkegiatan masyarakat yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Laju pertumbuhan penduduk di kabupaten ini diproyeksikan akan terus mengalami peningkatan, sehingga memengaruhi mobilitas dan jumlah industri yang ada sebagai akibat dari aktivitas masyarakat yang semakin padat serta naiknya kebutuhan masyarakat akan lapangan pekerjaan. Beban emisi yang ditanggung oleh Kabupaten Sukoharjo pun ikut mengalami tren kenaikan. Maka dari itu, pada Tugas Akhir ini direncanakan strategi reduksi emisi udara konvensional pada kedua sektor tersebut, di mana analisis terhadap beban emisi pada sektor transportasi dilakukan melalui pendekatan VKT (*Vehicle Kilometres Travelled*), sementara analisis terhadap beban emisi pada sektor industri dilakukan melalui pendekatan IPPS (*The Industrial Pollution Projection System*). Prosedur seleksi strategi reduksi emisi dilaksanakan dengan berpedoman pada perhitungan daya tampung lingkungan wilayah perencanaan terkait berdasarkan hasil analisis inventarisasi emisi yang dilakukan melalui pendekatan pemodelan *box model* dengan mempertimbangkan kondisi eksisting Kabupaten Sukoharjo.

Istilah – Istilah Kunci: Beban Emisi ; Emisi Udara Konvensional ; Sektor Transportasi ; Sektor Industri ; VKT (*Vehicle Kilometres Travelled*) ; IPPS (*The Industrial Pollution Projection System*) ; *Box Model*

ABSTRACT

Sukoharjo Regency is one of the centres of community activities located in Central Java Province. The population growth rate in this regency is projected to keep increasing, thus affecting mobility and the number of existing industries as a result of increasingly active community activities and increased community needs for employment. The emission load of Sukoharjo Regency is also experiencing an upward trend. Therefore, in this Thesis, conventional air emission reduction strategies in both sectors are planned, where the analysis of the emission load in the transportation sector is carried out through the VKT (Vehicle Kilometres Travelled) approach, while the analysis of the emission load in the industrial sector is carried out through the IPPS (Industrial Pollution Projection System) approach. The selection procedure for emission reduction strategies was carried out based on the calculation of the environmental capacity of the relevant planning area based on the results of the emission inventory analysis conducted through the box modelling approach by considering the existing conditions of Sukoharjo Regency.

Key Terms: *Emission Load ; Conventional Air Emissions ; Transportation Sector ; Industrial Sector ; VKT (Vehicle Kilometres Travelled) ; IPPS (The Industrial Pollution Projection System) ; Box Model*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Udara merupakan komponen utama dan terpenting bagi kelangsungan kehidupan di bumi yang mengandung campuran unsur-unsur berupa berbagai gas seperti nitrogen, oksigen, karbon dioksida, dan lainnya (dalam jumlah sedikit bersama dengan uap air yang terlihat sebagai kelembapan dan padatan tersuspensi dalam bentuk partikulat) yang membantu kehidupan untuk menopang dirinya sendiri. Di antara unsur-unsur yang terkandung di dalamnya, udara mengandung oksigen yang merupakan unsur terisolasi di udara. Kita menghirup udara karena oksigen yang ada di udara esensial sekali untuk pernapasan hampir semua makhluk hidup di bumi. Dengan menggunakan permisalan manusia saja: tanpa makanan, manusia dapat bertahan hidup untuk berminggu-minggu sementara tanpa air, manusia masih bisa bertahan hidup selama beberapa hari. Namun, tanpa udara seseorang tidak dapat bertahan hidup lebih dari beberapa menit. Hal ini yang menjadi sebab mengapa udara adalah elemen paling penting dalam hidup. Di lain sisi, karbon dioksida yang ada di udara juga sangat penting bagi tumbuhan dan tanaman hijau untuk memproduksi makanannya sendiri melalui proses fotosintesis. Uap air yang ada di udara juga memberikan pengaruh kelembapan serta membantu dalam memprediksi kondisi iklim di suatu wilayah tertentu.

Pencemaran udara merupakan salah satu tantangan paling signifikan di zaman modern, tidak hanya karena dampaknya terhadap perubahan iklim tetapi juga dampaknya terhadap kesehatan dan kesejahteraan masyarakat dan individu secara global. Udara yang kita hirup tidak hanya membantu kita tetap hidup, tetapi juga menentukan kualitas hidup yang kita jalani. Kualitas udara yang buruk merupakan salah satu faktor yang paling berkontribusi terhadap tantangan kesehatan karena bisa mengakibatkan dampak buruk berupa efek-efek terhadap kesehatan seperti kelelahan, kekeringan pada kulit dan selaput lendir, batuk, radang mata dan mata berair, konsentrasi yang memburuk, rasa kantuk, gangguan pernapasan, sakit kepala dan masalah mental bahkan kematian.

Menurut perkiraan *World Health Organization* (WHO), pencemaran udara luar ruangan membunuh lebih dari 7 juta orang setiap tahunnya (*World Health Organization*, 2014). Pada tahun 2021, WHO menerbitkan acuan dan/atau pedoman kualitas udara baru yang berfungsi sebagai dasar untuk menetapkan atau memperbarui standar kualitas udara ambien secara nasional (*World Health Organization*, 2021). Dokumen ini juga dapat menjadi dasar untuk menetapkan standar nasional udara dalam ruangan, karena tingkat polusi udara yang direkomendasikan berlaku untuk udara luar dan dalam ruangan.

Pencemaran udara sendiri merupakan akibat daripada maraknya pelepasan polutan ke lingkungan. Bahan-bahan berbahaya yang terkandung dalam sejumlah polutan udara tersebut dapat lepas ke lingkungan baik secara tidak sengaja maupun sengaja. Menurut pendefinisian pada umumnya, polutan udara sendiri merupakan segala dan seluruh zat yang dapat membahayakan makhluk hidup berupa manusia, hewan, dan tumbuhan. Bagi manusia secara utama, polutan udara berkontribusi terhadap peningkatan akan angka kematian dan/atau penyakit-penyakit ringan dan serius serta juga menimbulkan risiko lainnya yang berpotensi untuk membahayakan kesehatan manusia. Penentuan apakah suatu zat akan menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia atau tidak didasarkan pada penelitian klinis, epidemiologi, dan/atau hewan-hewan yang menunjukkan bahwasanya paparan suatu zat berhubungan dengan dampak buruk terhadap kesehatan.

Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu pusat berkegiatan masyarakat yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Secara administratif, Kabupaten Sukoharjo terbagi menjadi 12 kecamatan yang terdiri dari 167 desa dan 17 kelurahan. Luas wilayah Kabupaten Sukoharjo tercatat 493,23 km² atau sekitar 1,43% dari keseluruhan luas wilayah Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Sukoharjo memiliki jumlah penduduk sebanyak 932.680 jiwa dengan laju pertumbuhan sebesar 0,99% sehingga mengalami kepadatan penduduk yang cenderung naik seiring dengan kenaikan jumlah penduduk dalam kurun waktu lima tahun terakhir yang dihitung dari 2020-2024 (BPS Kabupaten Sukoharjo, 2024). Naiknya laju pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan pengaruh terhadap beberapa hal, seperti

meningkatnya volume lalu lintas dikarenakan kebutuhan akan transportasi untuk mobilisasi yang semakin tinggi disertai konsumsi bahan bakar yang ikut naik, serta bertambahnya jumlah industri dikarenakan peran integral daripada sektor ini terhadap pendapatan nasional dan penyediaan lapangan kerja bagi para penduduk. Maka dari itu, peningkatan jumlah penduduk berpengaruh terhadap cemaran yang ditimbulkan oleh sektor transportasi dan sektor industri.

Pengembangan infrastruktur konektivitas Kabupaten Sukoharjo menjadi salah satu fokus utama dikarenakan sarana prasarana yang dibutuhkan untuk menunjang mobilisasi dan distribusi manusia, barang, dan jasa. Selain itu, transportasi juga memiliki peran yang integral dalam menunjang sektor-sektor lainnya yang termasuk sektor industri. Maka dari itu, transportasi menjadi kunci utama dalam pembangunan dan pengembangan perekonomian suatu wilayah. Namun, sektor transportasi juga memberikan dampak negatif. Perkembangan transportasi yang semakin meningkat seiring dengan kenaikan jumlah penduduk berbanding lurus dengan meningkatnya aktivitas dan/atau kegiatan manusia yang berhubungan dengan penggunaan transportasi sehingga berdampak buruk pada kualitas udara suatu daerah dikarenakan emisi tinggi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

Sektor transportasi terbukti sebagai penyumbang pencemaran udara terbesar berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2023 lalu sebesar 44%, diikuti sektor industri energi sebesar 31%, sektor domestik sebesar 14%, manufaktur industri sebesar 10%, dan sektor komersial sebesar 1%. Dalam kurun waktu 10 tahun sejak 2004 sampai dengan 2014, terjadi lonjakan jumlah kendaraan bermotor yang amat sangat pesat, terutama sepeda motor yang mengalami peningkatan jumlah sampai 30% dengan kurang lebih 70% yang terdistribusi di berbagai daerah perkotaan. Pada tahun 2005, perbandingan antara jumlah sepeda motor dengan para penduduk di Indonesia diperkirakan telah mencapai 1 : 8 dan terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun setelahnya sehingga mengakibatkan banyak ruas jalan di Indonesia baik di kota besar maupun di pelosok daerah menjadi semakin padat (Ismiyati et al., 2014).

Pengembangan sektor transportasi dikarenakan pertumbuhan jumlah kendaraan mengakibatkan ketidakseimbangan pada sarana dan prasarana transportasi yang menyesuaikan dengan situasi dan/atau kondisi eksisting daerah. Sektor transportasi di Kabupaten Sukoharjo yang terus berkembang akan meningkatkan potensi terhadap naiknya pencemaran udara dikarenakan sektor tersebut. Penurunan kualitas udara yang terjadi di Kabupaten Sukoharjo dikhawatirkan mengikuti tren yang terjadi di kota-kota metropolitan seperti di DKI Jakarta, Surabaya, Bandung, Semarang, Medan, dan lain sebagainya. Di DKI Jakarta sendiri, volume lalu lintas sangat tinggi karena merupakan kota metropolitan sehingga menimbulkan konsekuensi berupa naiknya pencemaran udara sebagai akibat dari gas buang yang dihasilkan kendaraan bermotor (Iskandar, 2006). Beberapa media nasional dan internasional sampai menyoroti ibu kota Indonesia yang menempati posisi ke-3 di dunia ini sebagai kota paling tercemar, terutama dari segi kualitas udara yang sudah tidak sehat untuk dihirup.

Sektor industri juga turut berkontribusi terhadap pencemaran udara. Sektor industri sendiri merupakan salah satu sektor yang mampu membantu dalam mendorong percepatan pertumbuhan ekonomi dikarenakan peran integral daripada sektor ini untuk mengatasi isu pengangguran dan menciptakan ekonomi berbasis agroindustri yang bersifat padat akan karya. Berdasarkan Portal Resmi Kabupaten Sukoharjo, potensi dan peluang investasi di Kabupaten Sukoharjo cukup menjanjikan. Sampai akhir bulan Juni tahun 2009 lalu telah terdapat 8 perusahaan dengan status Penanaman Modal Asing (PMA) dengan nilai investasi sebesar US \$ 163.065.735 yang telah menyerap tenaga kerja sejumlah 21.299 orang dan 14 perusahaan dengan status Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) dengan nilai investasi sebesar Rp 524.445.000.000,- yang telah menyerap tenaga kerja sebanyak 18.803 orang. Kabupaten Sukoharjo sendiri kini memiliki berbagai jenis industri yang cukup beragam seperti industri gamelan, industri gitar, industri mebel rotan, industri mebel kayu, industri tekstil, industri kerajinan kulit, industri penyulingan alkohol, industri jamu tradisional, dan lain sebagainya. Proyeksi pertumbuhan pada sektor industri yang berhubungan atau berkaitan erat dengan sektor transportasi secara otomatis akan berpengaruh terhadap naiknya pencemaran udara di

Kabupaten Sukoharjo dikarenakan hasil emisi yang semakin tinggi dari sektor transportasi dan limbah udara dari proses produksi sektor industri.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran udara merupakan masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Meningkatnya pencemaran udara dapat menimbulkan risiko gangguan yang membahayakan daya tampung lingkungan. Parameter-parameter pencemar udara konvensional diantaranya meliputi karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃), hidrokarbon (HC), dan partikulat (PM₁₀ dan PM_{2,5}). Berdasarkan sektornya, bahan pencemar udara yang dihasilkan sektor transportasi antara lain meliputi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), sulfur dioksida (SO₂), dan timah hitam (Pb). Di lain sisi, bahan pencemar udara yang dihasilkan sektor industri antara lain meliputi partikel-partikel debu, sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon monoksida (CO).

Tingginya aktivitas penduduk berpengaruh pada lalu lintas yang menjadi semakin padat dan jumlah industri yang bertambah semakin banyak di Kabupaten Sukoharjo sehingga meningkatkan kadar emisi udara konvensional yang menimbulkan efek berupa gangguan terhadap kehidupan manusia dan ekuilibrium ekologi secara keseluruhan. Pengelolaan kualitas udara menjadi suatu kewajiban yang perlu diperhatikan semua pihak dengan tujuan menjaga kualitas udara di daerah setempat. Konseptualisasi dan eksekusi daripada pengelolaan kualitas udara dibutuhkan dalam bentuk suatu penyusunan strategi reduksi emisi sebagai upaya pengendalian pencemaran udara pada sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo. Hasil yang didapatkan dari strategi yang telah disusun diharapkan dapat membantu dalam menjadi bahan pertimbangan pengambilan keputusan dan penentuan kebijakan yang lebih menitikberatkan terhadap urgensi berwawasan lingkungan terutama dalam ruang lingkup peningkatan kualitas udara ambien.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat ditentukan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Meningkatnya jumlah penduduk berpengaruh pada mobilitas penduduk di sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo.
2. Meningkatnya jumlah kendaraan yang berpengaruh pada emisi udara pada sektor transportasi di Kabupaten Sukoharjo
3. Meningkatnya jumlah industri yang berpotensi menurunkan kualitas udara ambien di Kabupaten Sukoharjo.

1.3 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana hasil inventarisasi emisi udara konvensional dari sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo?
2. Bagaimana daya tampung beban emisi yang dapat diserap oleh lingkungan di Kabupaten Sukoharjo menggunakan metode *box model*?
3. Bagaimana rencana strategi reduksi emisi udara konvensional pada sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo?

1.4 Rumusan Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, adapun tujuan dari perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Menginventarisasi emisi udara konvensional dari sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo.
2. Menganalisis daya tampung beban emisi yang dapat diserap oleh lingkungan di Kabupaten Sukoharjo menggunakan metode *box model*.
3. Menyusun rencana strategi reduksi emisi udara konvensional pada sektor transportasi dan industri di Kabupaten Sukoharjo.

1.5 Pembatasan Masalah

Perencanaan ini dibatasi oleh permasalahan sebagai berikut:

1. Ruang lingkup wilayah perencanaan Tugas Akhir yang dipilih adalah Kabupaten Sukoharjo.
2. Sumber emisi polutan konvensional yang akan diinventarisasikan pada sektor transportasi adalah transportasi darat *on road* (sepeda motor, mobil, bus dan truk).
3. Sumber emisi polutan konvensional yang akan diinventarisasikan pada sektor industri adalah industri sedang hingga besar.
4. Parameter polutan konvensional yang akan diinventarisasikan adalah SO_x , NO_x , CO, dan TSP.
5. Perencanaan strategi reduksi emisi gas konvensional disusun untuk jangka waktu 10 tahun.

1.6 Rumusan Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Kabupaten Sukoharjo
 - a. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan dalam penentuan kebijakan pengendalian pencemaran udara konvensional pada sektor transportasi dan industri bagi Pemerintah Kabupaten Sukoharjo.
 - b. Sebagai pedoman dalam pelaksanaan penyusunan perencanaan pengendalian pencemaran udara konvensional pada sektor transportasi dan industri bagi Pemerintah Kabupaten Sukoharjo.
2. Bagi Peneliti
 - a. Memberikan gambaran terhadap implementasi teori inventarisasi emisi udara konvensional sebagai perencanaan pengendalian pencemaran udara.
 - b. Menambah ilmu dan wawasan bagi peneliti dalam perencanaan pengendalian pencemara udara.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan referensi mengenai strategi pengendalian pencemaran udara sebagai implementasi partisipasi aktif dalam mengurangi pencemaran udara di Kabupaten Sukoharjo.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrari, A. R & Listiyono. 2024. Analisa Pengaruh Katalis Terhadap Gas Buang Pada Kendaraan Roda 2. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik* , 2(4), 01–13. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.375>
- Achyani & Purnomo, E. 2019. *Tumbuhan Pereduksi Polutan Udara di Kota Metro*. Lampung: Penerbit Laduny.
- Ahmad, A. H., Darmanto, P. S., Haryana, H., Darmawan, A., Aziz, M., & Juangsa, F. B. 2025. Numerical investigation of coal-sawdust co-firing in a Carolina-type boiler: Power derating and emission analysis. *Applied Thermal Engineering*, 266, 125681. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125681>
- Astuti, W., & Kusumawardani, Y. 2017. *Analisis Pencemaran Udara Dengan Box Model (Daya Tampung Beban Pencemar Udara) Studi Kasus di Kota Tangerang*. Neo Teknika, 3(1), 21-28.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Provinsi Jawa Tengah Dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah.
- Badan Pusat Statistik. 2023. Provinsi Jawa Tengah Dalam Angka 2023. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Provinsi Jawa Tengah Dalam Angka 2024. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah.
- Badan Pusat Statistik. 2020. Kabupaten Sukoharjo Dalam Angka 2020. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Kabupaten Sukoharjo Dalam Angka 2021. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Kabupaten Sukoharjo Dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo.

- Badan Pusat Statistik. 2023. Kabupaten Sukoharjo Dalam Angka 2023. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Kabupaten Sukoharjo Dalam Angka 2024. Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukoharjo.
- Blanc, P. 2008. *The Vertical Garden: From Nature to The City*. New York: WW Norton & Company.
- Boschi, N. (Ed.). 2012. *Defining an educational framework for indoor air sciences education*. Dalam: *Education and Training in Indoor Air Sciences*. Luxembourg: Springer Science & Business Media. 245 p.
- Chen, T-M., Gokhale, J., Shofer, S., & Kushner W. G. 2007. *Outdoor Air Pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon Monoxide Health Effects*. 333:249–56. doi: 10.1097/MAJ.0b013e31803b900f
- Cheremisinoff, N. P. (2016). AP – 42, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*.
- Cheung, K., Daher, N., Kam, W., Shafer, M. M., Ning, Z., Schauer, J. J., & Sioutas, C. 2011. *Spatial and temporal variation of chemical composition and mass closure of ambient coarse particulate matter (PM_{10-2.5}) in the Los Angeles area*. 45:2651–62. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.02.066
- Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta. 2006. Penanggulangan Pencemaran Udara sebagai Salah Satu Upaya Pengendalian Pencemaran Udara. Jakarta.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sukoharjo. 2024. Laporan Utama Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Sukoharjo Tahun 2023.
- Dinas Perhubungan Kabupaten Sukoharjo. 2024. Laporan Akhir Lalu Lintas Harian Rata-rata Kabupaten Sukoharjo Tahun 2023.
- Emberson, L. D., Pleijel, H., Ainsworth, E. A., van den Berg, M., Ren, W., Osborne, S., Gina, M., Pandey, D., Dentener, F., Büker, P., Ewert, F., Koeble, R., &

- Dingenen, R. V. 2018. *Ozone effects on crops and consideration in crop models*. 100:19–34. doi: 10.1016/j.eja.2018.06.002
- Hesterberg, T. W., Bunn, W. B., McClellan, R. O., Hamade, A. K., Long, C. M., & Valberg, P. A. 2009. *Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO₂) exposures: Evidence for NO₂ no-effect levels*. 39:743–81. doi: 10.3109/10408440903294945
- Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. 2018. Aplikasi Box Model Sederhana untuk Estimasi Konsentrasi Polutan *Black Carbon* di Atmosfer. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(2), 148. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.148-151>
- Iskandar, A. 2006. *Perkiraan Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk Transportasi Darat*. Badan Litbang Perhubungan Departemen Perhubungan RI Jakarta.
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D., 2014. *Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor*. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, pp. 241 - 248.
- Jain R. dan Janakiram T., 2016. *Vertical gardening: A new concept of modern era. Commercial horticulture*. 1:527-536.
- Kappos, A. D., Bruckmann, P., Eikmann, T., Englert, N., Heinrich, U., Höppe, P., Koch, E., Krause, G. H. M., Kreyling, W. G., Rauchfuss, K., Rombout, P., Schulz-Klemp, V., Thiel, W. R., & Wichmann, H.-Erich. 2004. *Health effects of particles in ambient air*. 207:399–407. doi: 10.1078/1438-4639-00306
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. Petunjuk Teknis Penanaman Spesies Pohon Penyerap Polutan Udara. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. Pedoman Pengisian Inventarisasi. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor: 248/KPTS/M/2015 tentang Penetapan Ruas Jalan dalam Jaringan Primer Menurut Fungsinya Sebagai Jalan Arteri (JAP) dan Jalan Kolektor-1 (JKP-1). Jakarta.
- Morrison S. dan Sweet R., 2011. *Garden up! Smart vertical gardening for small and large spaces*. Cool Springs Press.
- Nakano, T., & Otsuki, T. 2013. *Environmental air pollutants and the risk of cancer*. 40:1441–5.
- Peraturan Daerah Kabupaten Sukoharjo Nomor 3 Tahun 2010 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah Tahun 2005-2025.
- Peraturan Daerah Kabupaten Sukoharjo Nomor 3 Tahun 2021 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Tahun 2021-2026.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Richmont-Bryant, J., Owen, R. C., Graham, S., Snyder, M., McDow, S., Oakes, M., & Kimbrough, S. 2017. *Estimation of on-road NO₂ concentrations, NO₂/NO_x ratios, and related roadway gradients from near-road monitoring data*. 10:611–25. doi: 10.1007/s11869-016-0455-7
- Sahu K.K., dan Sahu M., 2014. *Vertical gardening: For present age environmental protection*. Recent Research in Science and Technology. 6 (1).

- Saito, S. & Nobuyuki, U. 2019. "*Guard Cell Membrane Anion Transport Systems and Their Regulatory Components: An Elaborate Mechanism Controlling Stress-Induced Stomatal Closure*" *Plants* 8, no. 1 : 9.
<https://doi.org/10.3390/plants8010009>
- Soedomo, M. 2001. *Kumpulan Karya Ilmiah Mengenai Pencemaran Udara*. Bandung: Penerbit ITB.
- Soon, W., Baliunas, S. L., Robinson, A. B., & Robinson, Z. W. 1999. *Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide*. 13:149–64 doi: 10.1260/0958305991499694
- Sugiyanto. 2013. *100 Ide Aplikasi Vertical Garden Outdoor & Indoor*. Penerbit Gramedia.
- Udhayakumar, N., Ramesh Babu, S., Bharathwaaj, R., & Sathyamurthy, R. 2021. *An experimental study on emission characteristics in compression ignition engine with silver and zinc coated catalytic converter*. *Materials Today: Proceedings*, 47, 4959-4964. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.314>
- Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- US EPA (*United States Environmental Protection Agency*). 2018. Tersedia secara online di: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics> (diakses Mei 19, 2024).
- Wilson, W. E., & Suh, H. H. 1997. *Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies*. 47:1238–49. doi: 10.1080/10473289.1997.10464074
- World Bank. 1995. *The Industrial Pollution Projection System*. Washington DC: World Bank.
- World Health Organization. 2014. *7 million premature deaths annually linked to air pollution*. Tersedia secara online di <https://www.who.int/news/item/25->

03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution
(diakses Juli 18, 2024).

World Health Organization. 2021. *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Tersedia secara online di <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (diakses Juli 18. 2024).