

**DETERMINAN INDEKS KUALITAS UDARA: STUDI KASUS 10 PROVINSI
DENGAN JUMLAH INDUSTRI BESAR MENENGAH (IBM) TERBANYAK DI
INDONESIA**

(Skripsi)

Oleh

**IMAN JAYA GEA
2211021138**



**PROGRAM STUDI S1 EKONOMI PEMBANGUNAN
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

DETERMINAN INDEKS KUALITAS UDARA: STUDI KASUS 10 PROVINSI DENGAN JUMLAH INDUSTRI BESAR MENENGAH (IBM) TERBANYAK DI INDONESIA

Oleh

IMAN JAYA GEA

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis determinan yang mempengaruhi Indeks Kualitas Udara (IKU) di sepuluh provinsi dengan jumlah Industri Besar dan Menengah (IBM) di Indonesia yaitu Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Banten, Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tenggara, selama tahun 2015-2024. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya aktivitas industri, bertambahnya jumlah kendaraan, dan jumlah penduduk yang semuanya dapat berkontribusi pada degradasi kualitas udara. Penelitian ini menggunakan data panel dengan pendekatan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) untuk menganalisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang antara nilai PDRB industri manufaktur, jumlah kendaraan, dan jumlah penduduk, terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU). Hasil estimasi menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, peningkatan aktivitas industri, pertumbuhan jumlah kendaraan, dan jumlah penduduk secara signifikan mempengaruhi kualitas udara provinsi pada penelitian ini.

Kata Kunci : Indeks Kualitas Udara (IKU), PDRB industri manufaktur, jumlah kendaraan, jumlah penduduk, ARDL, *Environmental Kuznets Curve* (EKC).

ABSTRACT

DETERMINANTS OF THE AIR QUALITY INDEX: A CASE STUDY OF 10 PROVINCES WITH THE LARGEST NUMBER OF MEDIUM AND LARGE INDUSTRIES (MSMES) IN INDONESIA

By

IMAN JAYA GEA

This study aims to analyze the determinants influencing the Air Quality Index (AQI) in ten provinces with large and medium-sized industries (LMICs) in Indonesia: Jakarta, West Java, East Java, Central Java, Banten, North Sumatra, Riau, Lampung, East Kalimantan, and Southeast Sulawesi, during 2015-2024. This research is motivated by increasing industrial activity, the number of vehicles, and the population, all of which can contribute to air quality degradation. This study uses panel data with an Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach to analyze the short- and long-term relationships between the GRDP value of the manufacturing industry, the number of vehicles, and the population, and the Air Quality Index (AQI). The estimation results show that in the long term, increased industrial activity, vehicle growth, and population significantly affect air quality in the provinces studied. However, in the short term, the influence of each variable varies across provinces, indicating differences in characteristics and levels of environmental stress.

Keywords : *Air Quality Index (AQI), GDP manufacturing industry, number of vehicles, population, ARDL, Environmental Kuznets Curve (EKC).*

**DETERMINAN INDEKS KUALITAS UDARA: STUDI KASUS 10 PROVINSI
DENGAN JUMLAH INDUSTRI BESAR MENENGAH (IBM) TERBANYAK DI
INDONESIA**

Oleh

IMAN JAYA GEA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA EKONOMI**

Pada

**Jurusan Ekonomi Pembangunan
Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI S1 EKONOMI PEMBANGUNAN
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

**: DETERMINAN INDEKS KUALITAS UDARA: STUDI
KASUS 10 PROVINSI DENGAN JUMLAH INDUSTRI
BESAR MENENGAH (IBM) TERBANYAK DI
INDONESIA**

Nama Mahasiswa

: Iman Jaya Gea

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2211021138

Program Studi

: Ekonomi Pembangunan

Fakultas

: Ekonomi dan Bisnis

MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Zulfa Emalia, S.E., M.Sc.
NIP. 1985505102010122004

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan

Dr. Arivina Ratih Y.T, S.E., M.M.
NIP. 198007052006042002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

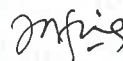
Ketua : **Zulfa Emalia, S.E., M.Sc.**



Penguji I : **Dr. I Wayan Suparta, S.E., M.Si.**



Penguji II : **Emi Maimunah, S.E., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis



Prof. Dr. Nairobi, S.E., M.Si.
NIP. 196606211990031003

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **23 Februari 2026**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Iman Jaya Gea
NPM : 2211021138

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul ” Determinan Indeks Kualitas Udara: Studi Kasus 10 Provinsi Dengan Jumlah Industri Besar Menengah (IBM) Terbanyak Di Indonesia” adalah hasil karya saya sendiri dan telah ditulis dengan sungguh-sungguh dan bukan merupakan penjiplakan hasil karya orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka, saya sanggup menerima hukuman/sanksi sesuai yang berlaku.

Bandar lampung, 23 Februari 2026

Penulis



Iman Jaya Gea

NPM. 2211021138

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Iman Jaya Gea lahir pada tanggal 09 Juni 2003 di Kota Rokan Hilir Provinsi Riau. Penulis lahir sebagai anak pertama dari 5 bersaudara dari pasangan Bapak Aroli Gea dan Ibu Mariana Bate'e.

Penulis memulai pendidikannya di Sekolah Dasar di SD N 19 Sam-sam dan Tamat pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP N 3 Kecamatan Kandis dan tamat pada tahun 2019. Lalu melanjutkan pendidikan di SMA N 1 Kecamatan Kandis dan tamat pada tahun 2022. Selama masa sekolah di SMP dan SMA penulis aktif mengikuti kegiatan OSIS dan mengikuti berbagai perlombaan dan olimpiade untuk mewakili sekolah di tingkat nasional.

Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ekonomi Pembangunan di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti organisasi kegiatan di kampus. Penulis mengikuti UKM-F Economic & Business Entrepreneur Club (EBEC) FEB Unila sebagai Kepala Bidang II Pengembangan Manajemen dan Praktik Usaha Mahasiswa 2024. Selain itu, penulis juga aktif melakukan kegiatan Magang untuk menambah skill diri. Pada bulan Juli 2025 penulis melakukan Magang di Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Lampung sebagai staff Divisi Fungsi Perumusan Kebijakan Daerah Provinsi (FPKP) selama satu bulan. Pada bulan September- Oktober tahun 2025 penulis kembali mengikuti Program Magang Kementerian Keuangan di Kantor Pelayanan Perbendaharaan Negara (KPPN) di Kota Bandar Lampung sebagai staff Verifikasi dan Akutansi (VERA) penulis mendapatkan pengalaman dan wawasan yang berguna dan dapat bermanfaat nanti di dunia pekerjaan. Penulis juga melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukasari Kecamatan Tanjung Raja Kabupaten Lampung Utara selama 40 hari dan memiliki program kerja sosialisasi Digital Marketing kepada desa untuk mengembangkan Badan Usaha Milik Desa (BUMDES) di Desa Sukasari pada tahun 2025.

MOTTO

”Sebab Aku ini, Tuhan Allahmu, memegang tangan kananmu dan berkata kepadamu:
Jangan Takut, Akulah yang menolong engkau.”

(Yesaya 41:13)

” When I look back over my life and I think how good you have been,
my soul sings, “Great is” Great is your faithfulness”

(Elevation Worship)

“ Hidup yang tidak di pertaruhkan tidak akan pernah dimenangkan ”

(Sutan Sjahrir)

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan anugerah-Nya peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Kupersembahkan karya ini sebagai tanda bakti dan cinta kasihku kepada:

Bapak Aroli Gea dan Ibu Mariana Bate'e

Terima kasih telah menjadi sumber kekuatan di saat penulis merasa lelah, serta menjadi penguat ketika ragu, dan menjadi alasan untuk terus berjuang menyelesaikan pendidikan ini. Tidak ada kata yang mampu sepenuhnya menggambarkan betapa besar arti kehadiran dan pengorbanan kalian dalam hidup ku. Semoga setiap usaha, doa, dan air mata yang telah diberikan menjadi amal kebaikan yang dibalas dengan keberkahan dan kebahagiaan. Karya ini adalah persembahan kecil sebagai bentuk bakti dan rasa cinta yang mendalam. Semoga aku bisa terus membanggakan dan menjadi alasan senyum bagi Bapak dan Ibu, hari ini dan selamanya.

Almamater Tercinta

Dengan penuh rasa hormat dan kebanggaan, karya ini aku persembahkan kepada almamater tercinta, tempat aku bertumbuh, belajar, dan membentuk jati diri sebagai insan akademis. di lingkungan inilah aku tidak hanya memperoleh ilmu pengetahuan, tetapi juga nilai-nilai integritas, tanggung jawab, dan semangat pengabdian. Terimakasih atas ruang pembelajaran, pengalaman, dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat berkembang secara intelektual maupun pribadi. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi bagian kecil dari kontribusi bagi almamater tercinta dan membawa nama baik institusi di masa yang akan datang.

SANWACANA

Puji Syukur Kehadirat Tuhan Yesus Kristus, pengasih dan penyayang yang telah melimpahkan Rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Determinan Indeks Kualitas Udara: Studi Kasus 10 Provinsi Dengan Jumlah Industri Besar Menengah (IBM) Terbanyak Di Indonesia”** sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini. Sebagai wujud rasa hormat dan penghargaan, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nairobi, S.E., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Arivina Ratih Yulihar, S.E., M.M. selaku Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung
3. Ibu Zulfa Emalia, S.E., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan serta meluangkan waktu dan pikirannya untuk membimbing serta mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran, yang selalu memberikan nasihat, solusi dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas ilmu dan motivasi yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. I Wayan Suparta, S.E., M.Si. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan waktu dan pikirannya untuk memberikan masukan, nasihat, dan saran yang membangun dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Ibu Emi Maimunah, S.E., M.Si. selaku Dosen penguji II yang telah memberikan waktu dan pikirannya untuk memberikan masukan, nasihat, dan saran yang membangun dalam proses penyelesaian Skripsi ini.
6. Bapak Dr. Heru Wahyudi, S.E., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan motivasi, nasihat, dan bantuannya selama proses pendidikan penulis di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
7. Seluruh Dosen Fakultas Ekonomi dan Bisnis yang telah memberikan ilmu, pelajaran, dan motivasi yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
8. Seluruh Karyawan/Staff Fakultas Ekonomi dan Bisnis yang telah membantu penulis selama menjadi mahasiswa di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
9. Teristimewa untuk Mama dan Papa yang menjadi alasan penulis untuk menjadi orang yang sukses dan menjadi Sarjana Pertama di keluarga. Terima kasih untuk dukungan, pengorbanan, motivasi, serta kasih sayang dan doa yang tiada henti kepada penulis sehingga penulis bisa kuat dan menyelesaikan pendidikan dengan baik dan membanggakan bagi mereka.
10. Terkhusus pula untuk adik-adiku Mei, Agus, dan Dedi dengan penuh rasa haru dan bangga, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada mereka yang telah menunjukkan ketulusan, kedewasaan, dan kerja keras luar biasa selama perjalanan pendidikan ini. Semoga segala jerih payah dan ketulusan hati mereka dibalas dengan keberhasilan, kebahagiaan, dan masa depan yang lebih indah.
11. Bapak pendeta Samuel Situmorang beserta ibu yang telah memberikan doa, dukungan dan motivasinya kepada penulis, sehingga bisa menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini.
12. Bapak pendeta Saksi Ginting beserta ibu yang telah memberikan doa, Nasihat dan motivasi kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan perkuliahan dan Skripsi ini.

13. Sahabat-sahabat seimanku Victorious Youth GKII bandar lampung, bang Berton dan Kak marya selaku koordinator Vyouth GKII Bandar Lampung terima kasih untuk kebersamaan dan kehangatan kekeluargaan yang diberikan dan selalu menyemangati, menghibur dan mendoakan penulis selama ini.
14. Terkhusus sahabat-sahabat seperjuanganku semasa dari semester awal kuliah Lengzeh Ent Dhiwa, Eva, Anggun, Jasmine, dan Anika. Terimakasih buat persahabatan yang tulus, canda tawa, dan selalu ada sebagai pelengkap kebahagiaan selama ini, semoga kita semua menjadi orang yang sukses dan bisa mewujudkan mimpi-mimpi kita masing-masing.
15. Teruntuk sahabat ku Adelia putri, Safitri pandan, dan Salsadilla terima kasih buat dukungan, kebaikan, dan menjadi teman penulis dalam menyelesaikan skripsi. Selalu menjadi tempat untuk bercerita tentang semua apa yang penulis rasakan, semoga kita semua bisa menjadi orang yang sukses dan membanggakan kedua orangtua kita.
16. Teruntuk temen terbaikku selama KKN di Desa Sukasari Dira dan Cindy terima kasih sudah menjadi teman yang baik selama penulis KKN, semoga kita tetap menjadi temen yang baik dan sukses bersama dan mencapai cita-cita kita.
17. Teman seperjuangan dari Mahasiswa Baru sekaligus Roomateku Yaka dan Andi. Terimakasih sudah menjadi temen roommate yang selalu setia mendengarkan cerita hidupku, keluh kesah dan cerita random ku, dan selalu memberikan support selama berkuliah dan penyelesaian Skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kita semua. amin

Bandar Lampung, Februari 2026
Penulis

Iman Jaya Gea

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Manfaat Penelitian	19
II. TINJAUAN PUSTAKA	21
2.1 Tinjauan Teoritis	21
2.1.1 Teori Environmental Kuznets Curve (EKC)	21
2.2 Hubungan Antar Variabel	23
2.2.2 Hubungan Nilai PDRB Industri Manufaktur Terhadap Indeks Kualitas Udara	24
2.2.3 Hubungan Jumlah Penduduk terhadap Indeks Kualitas Udara	25
2.3 Penelitian Terdahulu	26
2.4 Kerangka Pemikiran	32
2.5 Hipotesis Penelitian	34
III. METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Jenis Dan Sumber Data	35
3.2 Definisi Operasional Variabel	36
3.2.1 Indeks Kualitas Udara (IKU)	36
3.2.2 Nilai PDRB Industri Manufaktur	37
3.2.3 Jumlah Kendaraan	37
3.2.4 Jumlah Penduduk	37

3.3 Model Analisis Data	38
3.4 Teknik Analisis	41
3.4.1 Uji Stationeritas	41
3.4.2 Uji Kointegrasi	42
3.4.3 Uji Lag Optimum	43
3.4.4 Uji Hipotesis	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Deskriptif Statistik	46
4.2 Hasil Analisis Data	48
4.2.1 Uji Stationeritas	48
4.2.2 Uji Kointegrasi	49
4.2.3 Uji Lag Optimum	49
4.2.4 Estimasi Regresi Model ARDL	50
4.2.5 Hasil Estimasi Jangka Panjang ARDL	51
4.2.6 Hasil Estimasi Jangka Pendek ARDL	52
4.2.7 <i>Cross-Section Short Run Result</i>	53
4.2.8 Rekapitulasi <i>Cross-Section Short Run Result</i> provinsi	55
4.2.9 Pengujian Hipotesis	56
4.3 Pembahasan	59
4.3.1 Pengaruh Nilai PDRB Industri Manufaktur Terhadap Indeks Kualitas Udara	59
4.3.2 Pengaruh Jumlah Kendaraan Terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU)	64
4.3.3 Pengaruh Jumlah Penduduk terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU)	68
4.3 Implikasi Hasil Penelitian	70
V. KESIMPULAN DAN SARAN	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	75

LAMPIRAN	81
-----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. 1 Pembobotan IKLH Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).....	4
1. 2 Kategori Indeks Kualitas Udara.....	6
2. 1 Tinjauan Empiris	26
4. 1 Analisis Deskriptif.....	46
4. 2 Hasil Uji Stationeritas	48
4. 3 Uji Kointegrasi.....	49
4. 4 Estimasi Model ARDL	50
4. 5 Estimasi Jangka Panjang ARDL	51
4. 6 Estimasi Jangka Pendek ARDL	52
4. 7 Hasil Estimasi Jangka Pendek Provinsi Jawa Barat.....	54
4. 8 Hasil estimasi jangka pendek Provinsi Sulawesi Tenggara.....	54
4. 9 Rekapitulasi Koefisien jangka pendek antar provinsi	55
4. 10 Uji-t jangka panjang	56
4. 11 Hasil Uji-t Jangka Pendek	57
4. 12 Hasil Uji Serempak	58
4. 13 Tabel Implikasi Hasil Penelitian	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. 1 Trend Indeks Kualitas Udara (IKU) Indonesia 2015-2024	9
1. 2 Jumlah IBM dan IKU menurut Provinsi di Indonesia Tahun 2015-2024	11
1. 3 rata-rata jumlah kendaraan 10 Provinsi dengan IBM terbanyak di Indonesia 2015-2024.....	15
1. 4 Jumlah penduduk 10 Provinsi dengan IBM terbanyak di Indonesia Tahun 2015-2024.....	17
2. 1 Environmental Kuznets Curve (EKC).....	22
2. 2 Kerangka Pemikiran.....	33
4. 1 Uji Lag Optimum.....	49
4. 2 Perbandingan nilai PDRB industri manufaktur dan IKU 10 provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia Tahun 2015-2024.....	63
4.3 Perbandingan Jumlah Kendaraan dan IKU 10 provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia Tahun 2015-2024	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi merupakan peningkatan kapasitas produksi suatu negara dari waktu ke waktu, yang tercermin dalam peningkatan output barang dan jasa. Selama dekade terakhir, ekonomi global telah menunjukkan tren pertumbuhan yang konsisten, ditandai dengan peningkatan output industri, perluasan perdagangan internasional, dan percepatan inovasi teknologi. Ditingkat global pertumbuhan ekonomi di dorong oleh industrialisasi yang maju. Industrialisasi mendorong penciptaan nilai tambah yang lebih besar dalam proses produksi dan menjadi fondasi bagi transformasi ekonomi struktural dari sektor primer ke sektor sekunder dan tersier (Oentoro et al., 2024). Industrialisasi dipandang sebagai prasyarat krusial bagi negara-negara untuk mencapai pertumbuhan ekonomi jangka panjang dan peningkatan kesejahteraan. Namun pengalaman berbagai negara menunjukkan bahwa proses industrialisasi bukannya tanpa konsekuensi lingkungan yang signifikan (Abid et al., 2023). Meningkatnya permintaan energi, perluasan kawasan industri, dan intensifikasi transportasi telah menyebabkan penurunan kualitas udara, terutama dinegara-negara yang mengalami pertumbuhan industri yang agresif. Fenomena ini tidak hanya terjadi di negara negara maju, tetapi semakin menonjol di negara-negara berkembang yang mana pertumbuhan ekonomi yang pesat sering kali tidak dibarengi dengan pengelolaan lingkungan yang memadai (Voumik & Sultana, 2022).

Pertumbuhan global yang didorong oleh ekspansi industri, juga menghadirkan tantangan baru bagi lingkungan. Meningkatnya produksi industri, konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil, dan urbanisasi yang pesat telah menjadi faktor utama yang

mendorong peningkatan emisi gas polutan dan penurunan kualitas udara di berbagai wilayah di dunia (Lei et al., 2021). Masalah kualitas udara telah menjadi salah satu tantangan lingkungan paling kritis dalam beberapa tahun terakhir. Polusi udara, yang ditandai dengan tingginya konsentrasi polutan seperti PM_{2.5}, CO₂, NO_x, dan SO₂, terus meningkat seiring dengan meningkatnya aktivitas produksi dan mobilitas penduduk. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi PM_{2.5} di beberapa wilayah perkotaan dan industri masih berada di atas standar keamanan WHO sebesar 5 µg/m³ per tahun. Beberapa kota besar bahkan mencatat konsentrasi PM_{2.5} tahunan mencapai 20–30 µg/m³, menunjukkan tingkat polusi yang cukup serius dibandingkan standar internasional. Kondisi ini diperparah dengan meningkatnya emisi CO₂ dari sektor energi dan industri, serta emisi NO_x dan SO₂ dari pembakaran bahan bakar fosil.

Indonesia juga mengalami hal serupa dimana industrialisasi pendorong utama pembangunan nasional karena berperan dalam meningkatkan nilai tambah, menyerap tenaga kerja, dan memperkuat daya saing ekonomi. Indonesia telah menunjukan pertumbuhan ekonomi yang relatif stabil, didukung oleh transformasi struktural yang memposisikan sektor manufaktur sebagai kontributor utama Produk Domestik Bruto (PDB) (R et al., 2025). Pertumbuhan ini penting karena mencerminkan peningkatan kesejahteraan masyarakat, perluasan kesempatan kerja, dan kemampuan negara untuk menyediakan layanan publik dan infrastruktur yang lebih baik, dengan begitu pertumbuhan ekonomi menjadi indikator kunci keberhasilan pembangunan dan fondasi bagi stabilitas ekonomi jangka panjang. Konsentrasi industrialisasi ini membawa manfaat ekonomi yang signifikan, tetapi disaat yang sama, menimbulkan tantangan lingkungan yang signifikan. Namun, pembangunan industri di Indonesia belum merata secara geografis (Fasta et al., 2025).

Menurut data Kementerian Perindustrian (2024) menunjukan bahwa kegiatan industri besar dan menengah cenderung terkonsentrasi di beberapa provinsi di Indonesia seperti Pulau Jawa yang merupakan pusat pertumbuhan ekonomi dan episentrum kegiatan

produksi nasional. Pertumbuhan ekonomi yang dihasilkan melalui peningkatan kegiatan produksi seringkali menimbulkan *trade-off* dengan kualitas lingkungan. Indikasi adanya *trade-off* antara ekspansi ekonomi dan degradasi lingkungan juga terlihat jelas dalam berbagai data nasional. Menurut Bank Dunia (2023), emisi CO₂ Indonesia meningkat dari 421 juta ton pada tahun 2010 menjadi 619 juta ton pada tahun 2022, sejalan dengan pertumbuhan PDB nasional. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2023) menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar fosil juga meningkat dari 1.085 juta BOE menjadi 1.650 juta BOE selama periode yang sama. Kemudian data dari Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat peningkatan drastis jumlah kendaraan bermotor dari 94 juta unit pada tahun 2015 menjadi lebih dari 150 juta unit pada tahun 2023, terutama pada Provinsi industri. Data ini memperkuat dilema yang dihadapi Indonesia antara mengejar pertumbuhan ekonomi melalui industrialisasi dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Pemerintah Indonesia dalam menghadapi tekanan lingkungan, memerlukan instrumen evaluasi yang mampu menggambarkan kondisi lingkungan secara komprehensif. Salah satu instrumen yang resmi digunakan adalah Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH), yang diterbitkan setiap tahun oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). IKLH menjadi acuan penting bagi pemerintah dalam merumuskan respons kebijakan baik berupa pengendalian emisi, penataan ruang, maupun penguatan regulasi industri. Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) terdiri dari tiga komponen utama yaitu Indeks Kualitas Udara (IKU), Indeks Kualitas Air (IKA), dan Indeks Kualitas Tutupan Lahan (IKTL), untuk memberikan gambaran komprehensif tentang tekanan lingkungan di tingkat Provinsi dan nasional. Komponen IKA menunjukkan kualitas sumber daya air, yang seringkali terdegradasi oleh limbah industri dan aktivitas domestik. Komponen IKTL mencerminkan kemampuan ekosistem darat dalam menjaga keseimbangan lingkungan, terutama terkait perubahan tutupan lahan akibat ekspansi industri dan urbanisasi. Dan komponen IKU mencerminkan kualitas udara, salah satu sektor yang paling terpengaruh oleh

industrialisasi dan peningkatan jumlah kendaraan serta urbanisasi atau jumlah penduduk. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) memberikan bobot kepada setiap komponen analisis mengenai pengaruh lingkungan (IKLH) untuk memastikan bahwa penilaian kualitas lingkungan mencerminkan kontribusi signifikan masing-masing aspek. Dalam pembobotan resmi, IKU menerima bobot tertinggi karena dianggap paling berpengaruh terhadap kondisi lingkungan dan kesehatan masyarakat, diikuti oleh IKA dan IKTL, hal ini menjadikan penelitian tentang IKU menjadi menarik untuk dilakukan. Bobot ini menjadi dasar perhitungan IKLH nasional Tahun 2022 dan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. 1 Pembobotan IKLH Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)

Komponen IKLH			Bobot %	Deskripsi
Indeks Kualitas Udara (IKU)			40 %	Menilai tingkat pencemaran udara dari industri, kendaraan, dan aktivitas domestik
Indeks Kualitas Air (IKA)			30%	Menggambarkan kualitas air sungai, limbah industri, dan beban pencemar domestik.
Indeks Kualitas Tutupan Lahan (IKTL)			30%	Menilai kondisi ekosistem darat dan perubahan penggunaan lahan karena urbanisasi dan industri.

Sumber. Dokumen Pembobotan IKLH Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)

Indeks Kualitas Udara (IKU) merupakan komponen kunci dari IKLH yang berfungsi menggambarkan tingkat pencemaran udara di suatu wilayah. IKU diukur berdasarkan konsentrasi berbagai polutan utama, seperti partikulat halus (PM_{2.5} dan PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dan ozon permukaan (O₃). Nilai IKU merupakan indikator penting dalam menilai kemampuan suatu wilayah dalam menjaga kualitas udara di tengah tekanan pembangunan dan aktivitas ekonomi. Kualitas udara di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama emisi dari kegiatan industri, pertumbuhan penduduk, dan pertumbuhan kendaraan (W. A. Khan et al., 2023). Secara konsep IKU lebih menekankan pada penilaian struktural dan jangka menengah hingga panjang terhadap kualitas udara. Indeks Kualitas Udara sangat relevan untuk digunakan dalam studi pembangunan regional, analisis hubungan antara industrialisasi dan kualitas lingkungan, serta evaluasi keberhasilan kebijakan pengendalian polusi udara serta juga berfungsi sebagai alat analisis untuk memahami *trade-off* antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan di Indonesia.

Dalam kerangka IKLH yang ditetapkan di Indonesia melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 27 Tahun 2021, Indeks Kualitas Udara (IKU) disajikan pada skala 0-100, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan kualitas udara yang lebih baik dan nilai yang lebih kecil menunjukkan kualitas udara yang buruk. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mendefinisikan rentang skor IKU menjadi tiga kategori kualitas untuk memfasilitasi interpretasi kebijakan dan evaluasi kinerja lingkungan regional. Kategori-kategori tersebut adalah: Baik, Sedang, dan Buruk. Klasifikasi ini memungkinkan pemerintah daerah untuk secara objektif dan terukur mengidentifikasi status kualitas udara di wilayah masing-masing. Berdasarkan peraturan tersebut rentang skor IKU dan kategorinya adalah sebagai berikut :

Tabel 1. 2 Kategori Indeks Kualitas Udara

Kategori IKU	Rentang Skor IKU
Baik	$85 < \text{IKU} < 100$
Sedang	$60 < \text{IKU} < 85$
Buruk	$0 < \text{IKU} < 60$

Sumber. Laporan IKLH Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) 2024

Dalam konteks tersebut, IKU berfungsi untuk merepresentasikan kondisi mutu udara ambien berdasarkan parameter pencemar utama yang berpengaruh terhadap kesehatan dan lingkungan. Parameter yang digunakan dalam perhitungan IKU meliputi partikulat halus (PM_{2.5}), partikulat kasar (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan karbon monoksida (CO). Konsentrasi masing-masing parameter diperoleh dari stasiun pemantauan kualitas udara yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia.

Secara metodologis, nilai IKU dihitung dengan membandingkan konsentrasi aktual pencemar terhadap baku mutu udara ambien nasional yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Formula dasar yang digunakan adalah proses normalisasi sebagai berikut:

$$I_i = \text{BM}_i / C_i \times 100$$

di mana:

I_i : indeks untuk parameter pencemar ke-i

BM_i : baku mutu nasional untuk parameter ke-i

C_i : konsentrasi aktual hasil pemantauan

Pendekatan ini menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi pencemar dan nilai indeks bersifat terbalik (inverse relationship). Apabila konsentrasi pencemar menurun dan berada jauh di bawah baku mutu, maka nilai indeks akan meningkat. Sebaliknya,

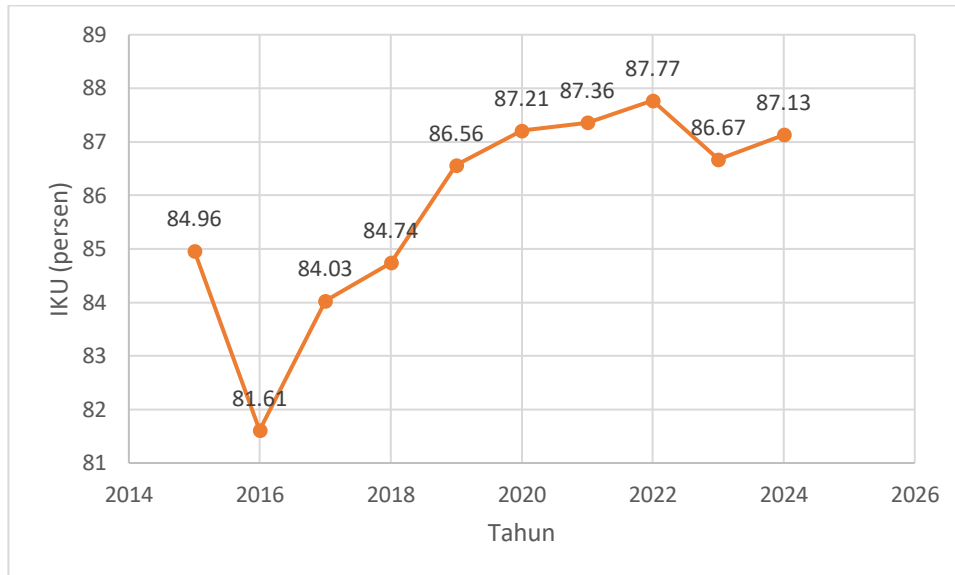
apabila konsentrasi pencemar melebihi atau mendekati baku mutu, maka nilai indeks akan menurun.

Oleh karena itu, dalam sistem IKU dan IKLH berlaku prinsip bahwa semakin tinggi nilai indeks, maka kualitas lingkungan semakin baik. Skala indeks umumnya berada pada rentang 0–100 atau lebih, dengan kategori mutu mulai dari sangat buruk hingga sangat baik. Perbedaan mendasar muncul apabila dibandingkan dengan sistem *Air Quality Index* (AQI) yang digunakan secara internasional dan dirujuk oleh World Health Organization. Pada sistem AQI, nilai indeks berbanding lurus dengan konsentrasi polutan, sehingga semakin tinggi nilai AQI menunjukkan kualitas udara yang semakin buruk. Sebaliknya, IKU dalam kerangka IKLH dirancang sebagai indikator evaluatif kinerja lingkungan daerah, sehingga menggunakan pendekatan “*higher is better*”.

Berdasarkan hasil perhitungan Indeks Kualitas Udara (IKU) nasional yang di publikasikan oleh KLHK dalam Laporan IKLH 2024, Indonesia masih di klasifikasikan memiliki kualitas udara sedang, sesuai dengan skala penilaian yang ditetapkan. Klasifikasi ini secara umum menunjukkan bahwa ditingkat nasional, kualitas udara relatif terkendali dan memenuhi standar yang ditetapkan dalam kerangka Indeks Kualitas Lingkungan (IKLH). Namun angka ini merupakan hasil agregat dari berbagai kondisi kualitas udara di tingkat provinsi. Pendekatan rata-rata ini berpotensi menutupi masalah kualitas udara di wilayah tertentu, oleh karena itu kualitas udara yang diklasifikasikan sedang secara nasional belum tentu mencerminkan kualitas udara yang seragam di seluruh Indonesia. Meskipun secara nasional, konsentrasi polutan tetap berada dalam batas yang dapat ditoleransi, pada skala regional, beberapa provinsi menghadapi tekanan polusi udara yang lebih besar karena aktivitas ekonomi. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan kualitas udara antar provinsi dengan beberapa wilayah mempertahankan kualitas udara yang baik sementara wilayah lain mengalami penurunan kualitas udara karena beban emisi yang lebih tinggi.

Kualitas udara di Indonesia menjadi salah satu isu lingkungan paling krusial selama dekade terakhir. Meskipun pemerintah telah menunjukkan peningkatan Indeks Kualitas Udara (IKU) nasional melalui berbagai program pengendalian polusi, kualitas udara di banyak daerah, terutama kota-kota besar dan kawasan industri, masih berada pada tingkat yang mengkhawatirkan. Indeks Kualitas Udara (IKU) merupakan komponen kunci dari Indeks Kualitas Lingkungan (IKLH), yang menggambarkan polusi udara berdasarkan konsentrasi polutan utama seperti PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO_x, CO₃, dan O₃. Rendahnya Indeks Kualitas Udara (IKU) menunjukkan akumulasi polutan yang tinggi yang dipengaruhi tingginya aktivitas ekonomi terhadap lingkungan. Laporan pemantauan kualitas udara tahun 2023 menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi PM_{2.5} nasional adalah 37,1 µg/m³, jauh di atas standar WHO sebesar 5 µg/m³. Wilayah perkotaan seperti Jakarta, Bekasi, Tangerang, dan Bandung bahkan mencatat konsentrasi PM_{2.5} harian yang seringkali berada di kisaran 30–55 µg/m³, yang dianggap "tidak sehat" bagi masyarakat. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas udara di Indonesia bukan sekadar masalah lokal, melainkan fenomena struktural yang berulang seiring meningkatnya tekanan pembangunan, urbanisasi, dan pertumbuhan ekonomi nasional.

Permasalahan kualitas udara berkaitan erat dengan sektor industri yang berkembang pesat. Pengoperasian pabrik manufaktur, smelter, pembangkit listrik berbahan bakar fosil, dan fasilitas industri lainnya berkontribusi signifikan terhadap emisi PM_{2.5}, NO_x, SO₂, dan senyawa hidrokarbon. Pemerintah bahkan menindak lebih dari seratus industri pada tahun 2023 karena melanggar standar emisi, yang menunjukkan bahwa aktivitas industri merupakan kontributor utama terhadap memburuknya IKU di berbagai provinsi. Menurut data laporan IKLH provinsi dengan konsentrasi Industri Besar dan Menengah (IKM) terbanyak cenderung mengalami penurunan IKU, yang mencerminkan tingginya kegiatan produksi dan meningkatnya polusi. Berikut disajikan laporan IKLH status Indeks Kualitas Udara (IKU) Indonesia pada periode Tahun 2015-2024 :



Gambar 1. 1 Trend Indeks Kualitas Udara (IKU) Indonesia 2015-2024

Sumber. Laporan IKLH Indonesia 2015-2024 (data diolah)

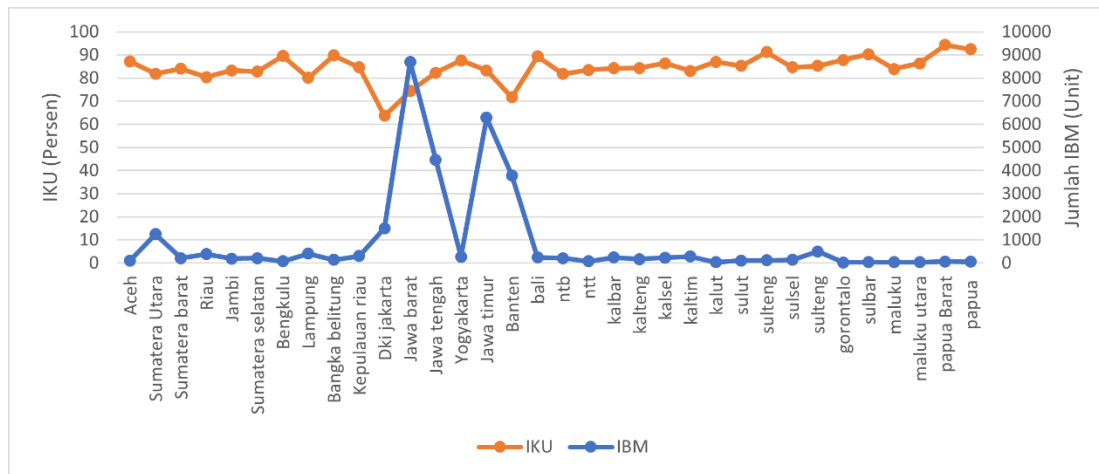
Gambar 1.1 menunjukkan masalah terhadap Indeks Kualitas Udara meskipun trendnya meningkat, terjadi penurunan tajam pada Tahun 2016 dan penurunan lagi pada Tahun 2023, yang menunjukkan bahwa upaya pengendalian polusi tidak konsisten dan kualitas udara nasional masih rentan terhadap penurunan. Setelah mengalami perbaikan di Tahun 2022, pada Tahun 2023 kembali terjadi fluktuatif, ketika nilai IKU turun dari 87,77 menjadi 86,67. Penurunan ini menandakan bahwa upaya perbaikan kualitas udara belum konsisten, dan masih mudah terpengaruh oleh kondisi eksternal seperti peningkatan aktivitas transportasi, industri, atau lemahnya penegakan regulasi. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2023) dalam laporan Indeks Kualitas Lingkungannya menegaskan bahwa komponen Indeks Kualitas Udara (IKU) menunjukkan variasi tertinggi antar provinsi, terutama di provinsi-provinsi dengan populasi industri dan kendaraan terbesar. Hal ini menunjukkan bahwa faktor ekonomi dan demografi terutama aktivitas industri, jumlah kendaraan, dan urbanisasi berperan penting dalam membentuk dinamika kualitas udara di Indonesia.

Secara teoritis, penelitian ini didasarkan pada Environmental Kuznets Kurva (EKC) yang diperkenalkan oleh Grossman & Krueger (1991), yang menjelaskan hubungan berbentuk U terbalik antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan. Pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, peningkatan aktivitas industri, jumlah kendaraan, dan urbanisasi cenderung menurunkan Indeks Kualitas Udara (IKU). Namun, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, pertumbuhan ekonomi dapat meningkatkan kesadaran lingkungan dan adopsi teknologi bersih, yang berpotensi meningkatkan kualitas udara. Hal ini sejalan dengan penemuan oleh Shahbaz et al. (2023) menemukan hubungan berbentuk U terbalik antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ di negara-negara ASEAN, termasuk Indonesia, di mana peningkatan industrialisasi awalnya menurunkan kualitas udara, tetapi efeknya berbalik setelah pendapatan per kapita melampaui titik ambang batas. Dan penelitian yang dilakukan Alola et al. (2024) juga menegaskan penerapan EKC di negara-negara G20, termasuk Indonesia, dengan menunjukkan bahwa transformasi industri menuju ekonomi hijau dapat meningkatkan kualitas udara bahkan ketika pertumbuhan ekonomi terus berlanjut.

Berdasarkan landasan teori dan hasil temuan dari penelitian terdahulu, penelitian ini menggunakan variabel nilai PDRB industri manufaktur, jumlah total kendaraan, dan jumlah penduduk atau urbanisasi di Provinsi Indonesia dengan konsentrasi industri terbesar periode 2015-2024. Penelitian ini memodifikasi model empiris sebelumnya dengan mengintegrasikan variabel ekonomi, aktivitas industri, dan sosial untuk menganalisis determinan Indeks Kualitas Udara (IKU) dengan konsentrasi industri terbesar. Pendekatan ini mengisi kesenjangan penelitian yang masih terbatas dalam penggunaan IKU sebagai indikator komposit, sekaligus menempatkan analisis dalam kerangka Kurva Kuznets Lingkungan (EKC) untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang dinamika hubungan ekonomi dan lingkungan.

Sektor industri memainkan peran strategis dalam perekonomian Indonesia, tetapi juga merupakan penyumbang utama polusi udara, terutama wilayah dengan konsentrasi dan jumlah industri terbanyak. Berbagai kegiatan seperti proses produksi, pembakaran

energi, dan penggunaan bahan bakar fosil yang akan melepaskan polutan udara yang dapat menurunkan kualitas udara secara signifikan. Sektor industri memberikan kontribusi substansial terhadap emisi partikulat di banyak wilayah Indonesia (Lazarov et al., 2013). Menilai kontribusi industri terhadap emisi merupakan langkah krusial terkait kualitas udara di Indonesia. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Kim et al (2015) yang menunjukkan bahwa pembakaran biomassa dan aktivitas industri di Indonesia berkontribusi signifikan terhadap peningkatan polusi udara regional. Temuan ini menyoroti bahwa pengaruh emisi tidak hanya dirasakan secara lokal tetapi juga menyebar lintas batas, sehingga memperburuk kualitas udara di negara-negara sekitarnya. Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai Indeks Kualitas Udara dan jumlah IBM terbesar di Provinsi Indonesia pada Tahun 2015-2024. Data berikut memperlihatkan adanya variasi tingkat kualitas udara dan jumlah IBM di antar Provinsi.

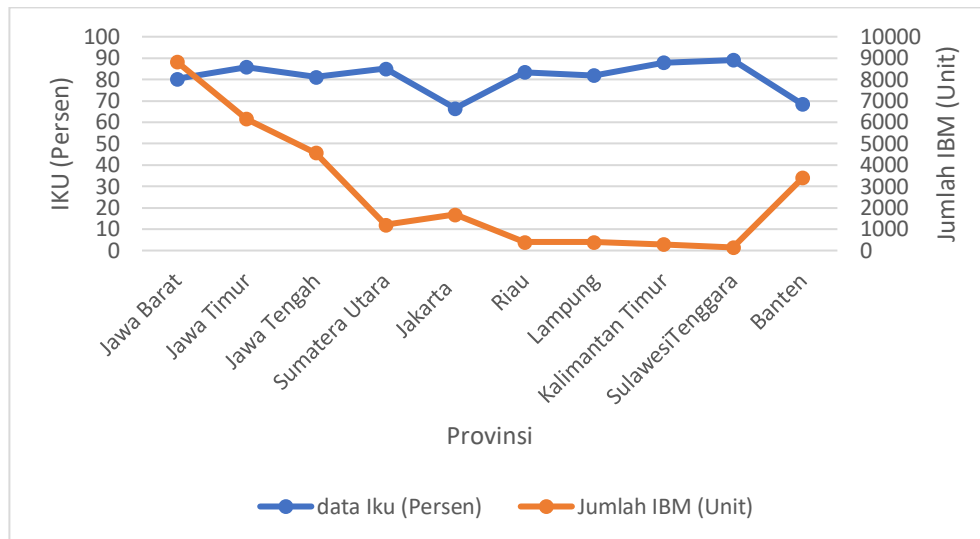


Gambar 1. 2 Jumlah IBM dan IKU menurut Provinsi di Indonesia Tahun 2015-2024
Sumber. Laporan IKLH dan Badan Pusat Statistik Tahun 2015-2024 (data diolah)

Berdasarkan gambar 1.2 dapat dilihat bahwa jumlah IBM menunjukkan pola yang sangat timpang di Indonesia. IBM terbanyak berada di beberapa provinsi tertentu, khususnya di Pulau Jawa seperti DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Banten, kemudian di pulau lain juga seperti di Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tenggara. Provinsi-provinsi tersebut mencatat

lonjakan IBM yang signifikan dibandingkan dengan provinsi lainnya, kondisi ini menjelaskan bahwa Provinsi dengan IBM yang banyak cenderung menunjukkan penurunan nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) dibandingkan Provinsi dengan jumlah industri yang rendah. Meskipun demikian Provinsi dengan IBM tinggi mengalami penurunan IKU, penurunannya tidak bersifat ekstrem hal ini menunjukkan bahwa wilayah dengan aktivitas industri yang sangat intensif masih mampu mempertahankan IKU pada tingkat relatif tinggi.

Berdasarkan data diatas, penelitian ini akan fokus menganalisis fenomena pada sepuluh Provinsi dengan jumlah industri besar menengah (IBM) terbanyak berdasarkan data laporan publikasi resmi Kementerian Perindustrian dan Badan Pusat Statistik selama Tahun 2015-2024 sesuai dengan gambar 1.2. Alasan dipilihnya 10 Provinsi ini yaitu dengan mempertimbangkan bahwa provinsi-provinsi ini merupakan wilayah dengan intensitas industrialisasi dan tekanan polusi udara tertinggi. Sebaran IBM di Indonesia tidak merata sehingga pengaruh aktivitas industri terhadap kualitas udara lebih jelas dan terukur di wilayah-wilayah ini. Pemilihan ini bertujuan untuk meningkatkan ketajaman analisis dan mengurangi heterogenitas struktural, karena Provinsi dengan IBM terbanyak memiliki karakteristik ekonomi dan tingkat industrialisasi yang relatif sebanding. maka untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai kondisi Indeks Kualitas Udara (IKU) dan jumlah IBM di provinsi ini. Berikut disajikan data IKU dan IBM selama Tahun 2015-2024 pada 10 Provinsi yaitu DKI Jakarta, Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Banten, Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tenggara. Data berikut memperlihatkan adanya variasi tingkat kualitas udara dan jumlah IBM di antar provinsi.



Gambar 1. 3 Data rata-rata IKU 10 Provinsi dengan IBM terbanyak di Indonesia Tahun 2015-2024

Sumber. Laporan IKLH dan Badan Pusat Statistik Tahun 2015-2024 (data diolah)

Gambar 1.3 menunjukkan bahwa Provinsi dengan jumlah IBM terbanyak cenderung memiliki nilai IKU yang lebih rendah dibandingkan wilayah lain. Pada Provinsi diatas aktivitas industri sangat padat, nilai IKU tidak berada pada level optimal. Hal ini menunjukkan bahwa emisi yang dihasilkan dari proses produksi indutri, penggunaa energi fosil dan hal pendukung lainnya telah memberikan tekanan nyata terhadap kualitas udara. Kondisi lebih mengkhawatirkan terlihat pada Provinsi DKI Jakarta dan Banten, kedua wilayah ini menunjukkan nilai IKU yang relatif lebih rendah dibandingkan provinsi industri lainnya. Fenomena ini mencerminkan akumulasi sumber pencemaran udara, baik dari cerobong industri dan lainnya membuat kualitas udara menjadi kurang baik meskipun berada di pusat pertumbuhan ekonomi nasional. Fenomena ini menjadi sinyal penting untuk menetapkan regulasi lingkungan yang tepat.

Perluasan kawasan industri di berbagai wilayah Indonesia seperti Jawa Barat, Banten, Jawa Timur, Riau dan Kalimantan Timur menunjukkan peningkatan aktivitas produksi yang diiringi dengan peningkatan penggunaan energi dan peningkatan kapasitas fasilitas industri (Hariwan et al., 2022). Perkembangan ini berkontribusi pada

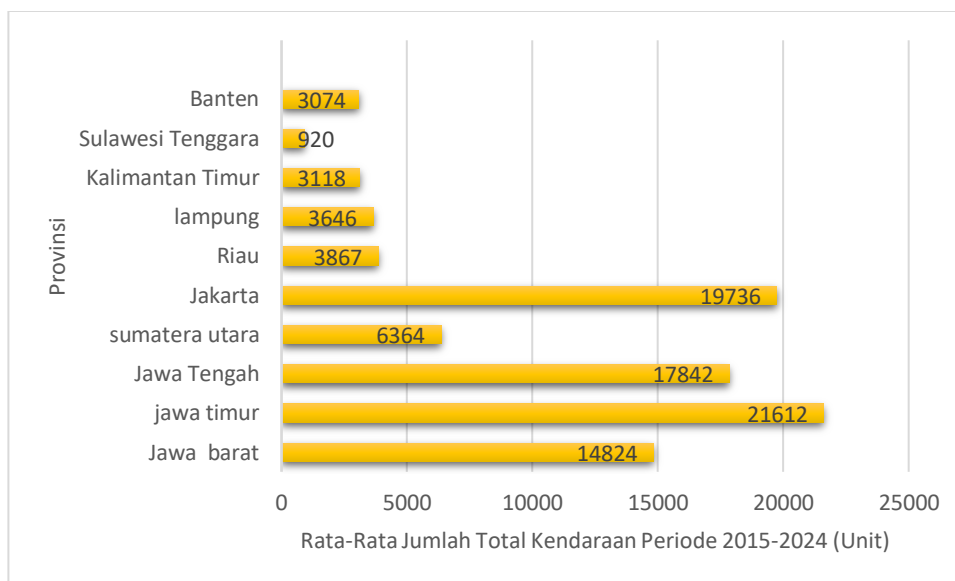
peningkatan tingkat polusi udara, sebagaimana tercermin dari penurunan indeks industri (IIK) di wilayah dengan konsentrasi industri tinggi. Sektor industri merupakan elemen krusial dalam menganalisis hubungan antara aktivitas ekonomi dan penurunan Indeks Kualitas Udara (IKU) di Indonesia, temuan emisi SO_2 dan NO_x yang tinggi di kawasan industri seperti SIER dengan jelas menunjukkan bahwa kontribusi industri terhadap polusi udara tidak dapat diabaikan (Jurnal et al., 2017). Pertimbangan ini yang digunakan oleh peneliti untuk memilih Provinsi-Provinsi di atas menjadi objek penelitian karena tingkat jumlah IBM yang besar dan IKU yang terbilang kurang baik akibat meluasnya industrialisasi.

Selain sektor industri, sektor transportasi adalah salah satu penyumbang polusi udara terbesar di wilayah perkotaan Indonesia (Etchie & Etchie, 2020). Jumlah kendaraan pribadi serta pembangunan transportasi umum yang terus bertambah setiap tahunnya, situasi ini terus menurunkan kualitas udara di kota-kota besar di Indonesia. Pemilihan jumlah kendaraan sebagai variabel karena didasarkan pada teori Keterkaitan Transportasi Emisi (*Transport-Emission Linkage*), yang menyatakan bahwa sektor transportasi merupakan penyumbang emisi udara terbesar di wilayah perkotaan dan industri. Kendaraan bermotor menghasilkan polutan utama seperti CO_2 , NO_x , SO_2 , dan $\text{PM}_{2.5}$ komponen kunci dalam penghitungan Indeks Kualitas Udara (IKU). Dan dibuktikan juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang et al (2024) menunjukkan bahwa peningkatan jumlah kendaraan memiliki hubungan negatif yang signifikan dengan IKU, terutama di Provinsi-Provinsi industri dengan pusat logistik dan rantai pasok yang kompleks.

Menurut laporan *Better Air, Better Indonesia* yang dirilis tahun 2025 mencatat bahwa sektor transportasi menyumbang sekitar 60% emisi $\text{PM}_{2.5}$ dan NO_x di Jakarta. Hal ini memperlihatkan bahwa meskipun pemerintah telah mengeluarkan berbagai regulasi untuk menekan polusi, tingginya aktivitas kendaraan bermotor masih menjadikan transportasi sebagai sumber utama pencemaran udara di kawasan perkotaan. Hal ini didukung juga oleh penelitian yang dilakukan oleh Gina et al., (2020) yang

menggunakan model *MOVES* untuk menghitung estimasi emisi kendaraan di kota Bandung dan hasilnya menunjukkan bahwa selain CO dan CO₂ emisi PM_{2.5} dan NO_x menunjukkan bahwa tingginya ketergantungan masyarakat terhadap kendaraan. Berikut disajikan data pertumbuhan jumlah kendaraan di Indonesia Tahun 2015-2024 dari Laporan Publikasi Badan Pusat Statistik Indonesia :

Gambar 1. 3 Rata-rata jumlah kendaraan 10 Provinsi dengan IBM terbanyak di Indonesia 2015-2024



Sumber. Badan Pusat Statistik Indonesia 2015-2024 (data diolah)

Pada Gambar 1.3 menunjukkan Provinsi dengan rata-rata jumlah kendaraan terbesar di Indonesia. DKI Jakarta menempati posisi tertinggi mencapai rata-rata lebih dari 19 ribu unit yang mencerminkan tingginya mobilitas masyarakat. Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat juga mencatat jumlah kendaraan besar yang sejalan dengan jumlah industri yang padat. Sebaliknya, Provinsi seperti Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, serta terutama Sulawesi Tenggara dan Banten memiliki jumlah kendaraan yang jauh lebih rendah, yang menggambarkan tingkat mobilitas dan tekanan lingkungan yang lebih kecil. Hal ini menegaskan bahwa Provinsi dengan jumlah kendaraan terbesar memiliki aktivitas ekonomi dan mobilitas yang lebih besar

berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara dibandingkan Provinsi dengan tingkat mobilitas yang lebih rendah.

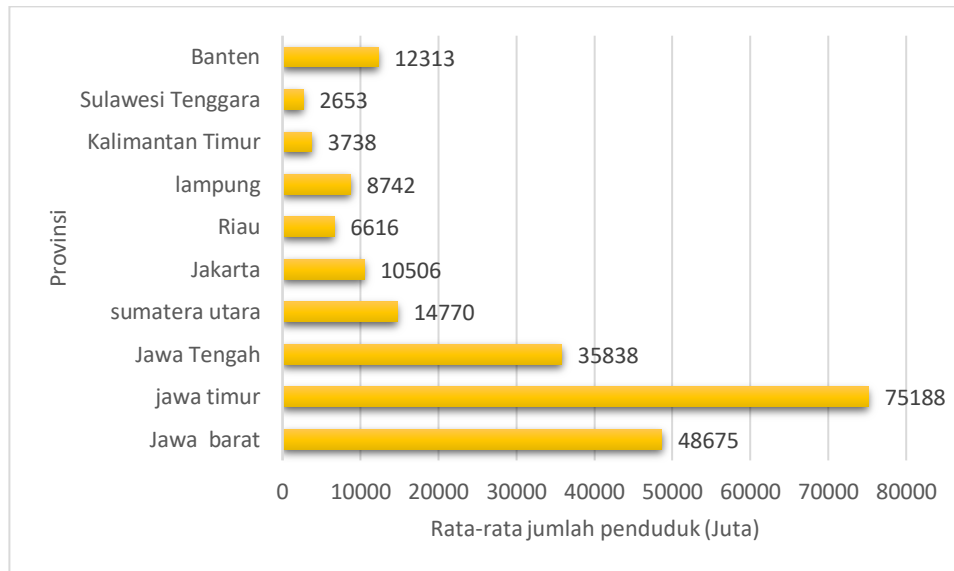
Jumlah penduduk adalah faktor yang tidak kalah penting kontribusinya selain dua sektor diatas. Jumlah penduduk di wilayah perkotaan Indonesia memiliki konsekuensi ekologis yang signifikan, sehingga meningkatkan tekanan lingkungan. Kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan kini menjadi kawasan kritis dengan konsentrasi PM2.5 tahunan berkisar hampir delapan kali lipat diatas standar aman WHO (IQAir, 2024). Tingginya tingkat urbanisasi tanpa infrastruktur lingkungan yang memadai memperburuk kualitas udara akibat peningkatan konsumsi energi, aktivitas transportasi, dan jumlah kendaraan. Urbanisasi memiliki efek kausal positif terhadap peningkatan polusi udara di kota-kota besar di Indonesia, dimana setiap peningkatan 1% proporsi penduduk perkotaan dikaitkan dengan peningkatan emisi CO₂ sebesar 0,72% (Phungrassami & Usubharatana, 2021).

Variabel jumlah penduduk dipilih karena mampu menjelaskan bahwa pertumbuhan penduduk dan urbanisasi meningkatkan tekanan lingkungan melalui konsumsi energi, aktivitas transportasi, dan peningkatan permintaan industri. Penduduk di kawasan industri padat menghasilkan permintaan energi yang lebih tinggi dan intensitas mobilitas yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan beban emisi udara. Hal ini juga dibuktikan dengan penelitian yang dilakukan oleh Enok Maryani (2022) menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk secara signifikan menurunkan nilai IKU melalui peningkatan permintaan transportasi dan barang-barang industri.

Pada Provinsi dalam penelitian ini yaitu Jawa Barat, Jakarta, Banten, Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Tenggara, hubungan antara urbanisasi, kepadatan penduduk, dan tingkat kualitas udara semakin jelas. Berdasarkan analisis longitudinal oleh Badan Pusat Statistik (BPS) 2015-2024 dengan Jakarta, Banten, dan Jawa Barat melampaui rata-rata nasional 56,4%. Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai jumlah penduduk di Provinsi yang

menjadi objek dalam penelitian ini, disajikan data rata-rata jumlah penduduk periode tahun 2015-2024.

Gambar 1. 4 Jumlah penduduk 10 Provinsi dengan IBM terbanyak di Indonesia Tahun 2015-2024



Sumber. Badan Pusat Statistik Tahun 2015-2024 (data diolah)

Berdasarkan Gambar 1.4 menunjukkan bahwa rata-rata jumlah penduduk pada 10 Provinsi di Indonesia menunjukkan variasi yang signifikan, dengan Jawa Timur memiliki jumlah penduduk yaitu 75.188, diikuti oleh Jawa Barat dengan 48.675, dan Jawa Tengah dengan 35.838, yang menjelaskan tingginya jumlah penduduk di ketiga Provinsi ini. Provinsi Sumatera Utara (14.770), DKI Jakarta (10.506), dan Banten (12.313) terus mencatat jumlah penduduk yang tinggi karena urbanisasi yang terjadi. Sementara itu, Provinsi Riau (6.616), Lampung (8.742), Kalimantan Timur (3.738), dan Sulawesi Tenggara (2.653) juga termasuk dalam kelompok Provinsi dengan jumlah penduduk yang cukup banyak, yang menunjukkan bahwa faktor jumlah penduduk berkontribusi terhadap Indeks Kualitas Udara di wilayah-wilayah ini.

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas secara ekstensif hubungan antara aktivitas industri, urbanisasi, dan pertumbuhan penduduk dengan penurunan kualitas udara di negara-negara berkembang, termasuk Asia Tenggara. Penelitian Pach et al (2018) menunjukkan bahwa proses urbanisasi yang didorong oleh industrialisasi berkontribusi terhadap peningkatan emisi partikulat di negara-negara berpenghasilan menengah. Namun, sebagian besar studi ini berfokus pada analisis skala makro di seluruh negara dan belum mengkaji variasi spasial di tingkat Provinsi dalam konteks Indonesia. Selanjutnya studi tentang kualitas udara di Indonesia umumnya bersifat parsial dan cenderung statis, Chandra dkk (2021) misalnya mengkaji hubungan antara urbanisasi dan emisi CO₂ di kota besar menggunakan pendekatan panel konvensional tanpa membedakan efek jangka pendek dan jangka Panjang. Faktanya, dinamika polusi udara seringkali dipengaruhi oleh faktor-faktor temporal seperti perubahan musim, pertumbuhan industri, dan ekspansi perkotaan, yang memiliki durasi pengaruh yang bervariasi. Situasi ini menunjukkan adanya kesenjangan dalam penelitian yang menggabungkan dimensi spasial dan temporal untuk menilai determinan kualitas udara secara dinamis. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam dan konseptual tentang dinamika polusi udara di Indonesia, sekaligus memperkuat basis empiris bagi kebijakan lingkungan yang berorientasi pada Pembangunan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah pengaruh jangka pendek & jangka panjang jumlah kendaraan terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak?
2. Bagaimana pengaruh jangka pendek & jangka panjang nilai PDRB industri manufaktur terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak?

3. Bagaimana pengaruh jangka pendek & jangka panjang jumlah penduduk terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pengaruh jangka pendek & jangka panjang jumlah kendaraan terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak
2. Untuk menganalisis pengaruh jangka pendek & jangka panjang nilai PDRB industri manufaktur terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak
3. Untuk menganalisis pengaruh jangka pendek & jangka panjang jumlah penduduk terhadap Indeks Kualitas Udara pada sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Akademik
 - a) Menambah literatur terkait dinamika kualitas udara khususnya sepuluh Provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia.
 - b) Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai dinamika Indeks Kualitas Udara khususnya sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia
 - c) Menjadi referensi akademik dalam pengembangan model ekonometrika lingkungan berbasis data panel provinsi.
2. Manfaat Praktis
 - a) Membantu mengidentifikasi faktor dominan penyebab penurunan kualitas udara di setiap Provinsi, sehingga kebijakan dapat lebih terarah
 - b) Menyediakan dasar ilmiah bagi pemerintah pusat dan daerah dalam merumuskan kebijakan pengendalian kualitas udara yang berbasis bukti empiris.

- c) Menjadi bahan evaluasi bagi implementasi kebijakan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) dan program Net Zero Emission Indonesia 2060.
- d) Menjadi rujukan bagi lembaga lingkungan dan sektor industri dalam menerapkan prinsip green industri dan efisiensi energi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Teoritis

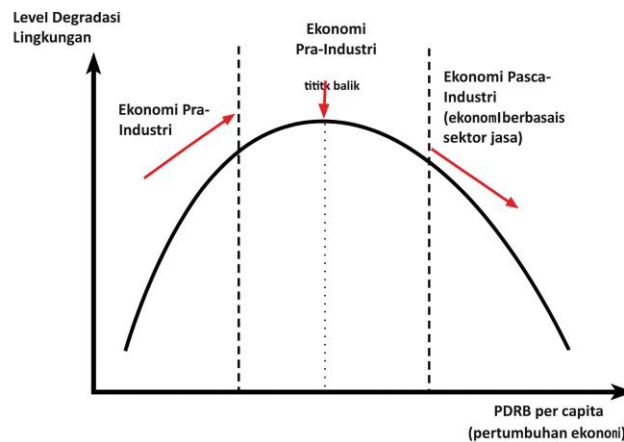
2.1.1 Teori Environmental Kuznets Curve (EKC)

Indeks Kualitas Udara adalah kondisi atau tingkat kebersihan udara di suatu lingkungan yang dinilai berdasarkan jumlah dan jenis polutan atau kontaminan yang ada (Maleki et al., 2021). Polutan ini dapat berasal dari sumber alami (seperti abu vulkanik atau kebakaran hutan) atau buatan manusia (seperti emisi kendaraan, pabrik dan pembakaran bahan bakar fosil). Menurut WHO (2023) polutan udara meningkatkan risiko penyakit jantung, pernapasan dan kematian dini. Di Indonesia, Indeks Kualitas Udara (IKU) digunakan sebagai indikator standar untuk menilai tingkat pencemaran berdasarkan batas ambang baku mutu udara ambien (LKJ KLHK, 2024). Pengurangan emisi udara memberikan manfaat ekonomi yang jauh lebih besar daripada biaya mitigasi, terutama karena berkurangnya beban kesehatan masyarakat (Landrigan, 2023).

Melalui Teori Kurva Kuznets Lingkungan (EKC) yang dikemukakan pertama kali oleh Grossman dan Krueger pada tahun 1991 berdasarkan hipotesis kurva kuznets awal simon kuznets pada tahun 1950-an, menawarkan kerangka kerja analitis yang menarik untuk memahami interaksi kompleks antara kemajuan ekonomi dan kesehatan lingkungan. EKC menggambarkan hubungan non-linier antara pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita dan laju degradasi lingkungan, yang sering divisualisasikan sebagai kurva berbentuk "U" terbalik. Pada dasarnya, teori ini menyiratkan bahwa polusi lingkungan tidak meningkat secara linear seiring

pertumbuhan ekonomi, melainkan berfluktuasi tergantung pada tahap perkembangan sosial-ekonomi suatu negara.

Gambar 2. 1 Environmental Kuznets Curve (EKC)



Sumber. Sarkodie & Strezov (2019)

Kurva Kuznets pada gambar 2.1 menggambarkan hubungan antara pertumbuhan ekonomi (PDRB sektor industri manufaktur) dengan degradasi lingkungan yang berbentuk U terbalik. Pada tahap pra-industri, aktivitas ekonomi di wilayah ini terbatas dan sebagian besar berbasis pertanian serta sektor jasa sederhana, sehingga tingkat polusi udara relatif rendah. Pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri sangat minim, sehingga kontribusi sektor manufaktur terhadap penurunan kualitas udara tidak signifikan.

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan transformasi menuju ekonomi industri, sektor manufaktur mulai berkembang pesat sebagai pendorong utama pembangunan regional. Selama fase ini, degradasi lingkungan semakin cepat, terutama melalui peningkatan emisi karbon dioksida (CO_2), partikulat ($\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10}), serta polutan gas seperti SO_2 dan NO_x , yang berasal dari proses produksi, transportasi logistik, dan konsumsi energi berbasis fosil. Hal ini sejalan dengan bahwa Sektor industri di Indonesia berkontribusi signifikan terhadap total emisi partikulat di wilayah perkotaan, mencapai 20–40% dari total emisi $\text{PM}_{2.5}$ di beberapa kota besar

(Lazarov et al., 2013). hal ini sejalan dengan penelitian Oentoro et al (2024) yang menunjukkan bahwa peningkatan output industri manufaktur memiliki hubungan kausal positif dengan konsentrasi polutan udara di negara berkembang.

Memasuki tahap pasca-industri, seiring dengan meningkatnya pendapatan ekonomi, struktur ekonomi mulai bergeser ke sektor industri dan jasa yang berbasis teknologi bersih dan efisiensi energi. Selama fase ini, kesadaran akan pentingnya kualitas lingkungan meningkat, diikuti dengan penerapan kebijakan lingkungan yang lebih ketat, seperti penerapan standar emisi industri, sistem manajemen energi, dan pemantauan udara ambien. Lebih lanjut, inovasi teknologi seperti penggunaan energi terbarukan (biomassa, surya, dan listrik), sistem penyaringan udara industri, dan konsep ekonomi sirkular berkontribusi dalam mengurangi tingkat polusi udara. Dengan demikian, sesuai dengan teori EKC, degradasi lingkungan (dalam hal ini, penurunan kualitas udara) cenderung menurun meskipun pertumbuhan ekonomi di sektor manufaktur terus berlanjut.

2.2 Hubungan Antar Variabel

2.2.1 Hubungan Jumlah Kendaraan Terhadap Indeks Kualitas Udara

Jumlah total kendaraan yang beroperasi di suatu wilayah merupakan salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan kualitas udara. Jumlah total kendaraan mencakup semua jenis kendaraan mulai dari sepeda motor dan mobil pribadi hingga kendaraan logistic dan transportasi umum yang secara kolektif merupakan sumber emisi utama. Menurut data publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) setiap tahunnya total jumlah kendaraan di Indonesia terus meningkat. Semakin banyak kendaraan yang aktif dan terdaftar, semakin besar pula aktivitas transportasinya, yang menghasilkan polutan. Sejumlah penelitian seperti Haslina et al (2020) telah menunjukan bahwa peningkatan jumlah kendaraan berpengaruh negative terhadap kualitas udara, terutama wilayah perkotaan yang padat penduduk. Pertumbuhan kendaraan memicu kemacetan, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan menyebabkan proses pembakaran yang tidak

efisien, sehingga mengakibatkan peningkatan emisi. Penelitian yang dilakukan di kota-kota besar di Indonesia juga menegaskan bahwa sektor transportasi merupakan penyumbang polusi udara ambien terbesar, sehingga peningkatan jumlah kendaraan secara langsung menurunkan Indeks Kualitas Udara (IKU).

Dalam jangka pendek, peningkatan jumlah kendaraan langsung meningkatkan emisi karena pertumbuhan ini tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jalan, kualitas layanan transportasi umum, atau adopsi teknologi rendah emisi. Dalam jangka Panjang, meskipun ada kemajuan regulasi yang kuat dan kendaraan listrik, dominasi kendaraan konvensional pada periode 2015-2024 terus menyebabkan hubungan kuat antara pertumbuhan kendaraan dan penurunan kualitas udara.

2.2.2 Hubungan Nilai PDRB Industri Manufaktur Terhadap Indeks Kualitas Udara

Nilai PDRB industri manufaktur mencerminkan intensitas kegiatan produksi dalam sektor industri di suatu Provinsi. Peningkatan PDRB industri manufaktur biasanya menunjukkan peningkatan output, konsumsi energi yang lebih besar, dan intensifikasi proses produksi. Berbagai proses industri seperti pembakaran, pemanasan, pemurnian, dan penggunaan bahan kimia umumnya menghasilkan polutan seperti CO₂, SO₂, NO_x dan partikulat, yang dapat memperburuk kualitas udara di Kawasan industri (Wen et al., 2024).

Beberapa hasil temuan yang dikaji mengenai hubungan antara industrialisasi dan kualitas lingkungan di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas manufaktur cenderung diiringi dengan peningkatan emisi polutan udara. Hal ini terjadi karena Sebagian besar industri masih bergantung pada bahan bakar fosil, beroperasi pada Tingkat efisiensi yang rendah, dan belum sepenuhnya menerapkan teknologi produksi yang lebih bersih. Sistem pengawasan dan penegakan peraturan lingkungan seperti PROPER dan AMDAL seringkali tidak beroperasi secara optimal, sehingga mengakibatkan emisi industri yang terus tinggi.

Dalam jangka pendek, peningkatan output industri secara langsung mendorong peningkatan emisi, yang pada akhirnya menurunkan Indeks Kualita Udara. Dalam jangka Panjang, industrialisasi yang dikelola secara berkelanjutan memang dapat memfasilitasi adopsi teknologi ramah lingkungan. Namun, realisasinya sangat bergantung pada ketersediaan investasi, kebijakan pemerintah, dan komitmen para pelaku industri dan setiap tahunnya peningkatan PDRB di industri manufaktur masih menunjukan korelasi yang kuat dengan penurunan kualitas udara.

2.2.3 Hubungan Jumlah Penduduk terhadap Indeks Kualitas Udara

Pertumbuhan penduduk terutama ketika terkonsentrasi di wilayah perkotaan sangat berkaitan dengan perubahan kualitas udara. Proses urbanisasi mendorong peningkatan aktivitas ekonomi, konsumsi energi, kebutuhan transportasi, dan pembangunan infrastruktur, yang pada akhirnya meningkatkan emisi polutan (Odugbesan, 2020). Semakin besar populasi suatu wilayah, semakin besar pula tekanan terhadap lingkungan, termaksud peningkatan jumlah kendaraan, penggunaan bahan bakar, dan intensitas kegiatan domestik dan industri.

Banyak studi empiris telah menunjukan bahwa pertumbuhan penduduk berkorelasi positif dengan meningkatnya tingkat polusi udara, terutama untuk indikator PM2.5 dan CO2. populasi yang lebih besar memicu peningkatan emisi dari transportasi, aktivitas rumah tangga, dan layanan publik. Lebih lanjut, pertumbuhan penduduk meningkatkan kebutuhan listrik dan bahan bakar, yang sebagian besar masih bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga memperburuk kualitas udara (Xuan, 2024).

Dalam jangka pendek, pertumbuhan penduduk yang cepat dapat menurunkan kualitas udara akibat peningkatan konsumsi energi dan aktivitas ekonomi yang tidak sejalan dengan peningkatan kapasitas infrastruktur perkotaan. Dalam jangka panjang, urbanisasi sebenarnya berpotensi meningkatkan kualitas udara jika didukung oleh kebijakan yang tepat, seperti pengembangan transportasi umum, pemanfaatan energi terbarukan, dan perencanaan tata ruang yang matang. Namun, berdasarkan data yang

dirilis Badan Pusat Statistik (BPS) pertumbuhan penduduk dan urbanisasi secara umum masih berkaitan dengan penurunan Indeks Kualitas Udara.

2.3 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Tinjauan Empiris

Penulis	Judul	Metode	Hasil
Nazmah, A. I., & Setiawan, A. B. (2025)	<i>Pengaruh Aktivitas Ekonomi dan Faktor Sosial Terhadap Emisi CO₂: Studi Data Panel 34 Provinsi di Indonesia</i>	regresi data panel dengan pendekatan model efek tetap (Fixed Effect Model/FEM)	Hipotesis Kurva Kuznets Lingkungan (EKC) berlaku di Indonesia: emisi CO ₂ meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi tetapi menurun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu. Penanaman Modal Asing (PMA) memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ . Industri manufaktur memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO ₂ , artinya sektor ini justru membantu mengurangi emisi. Jumlah penduduk usia produktif tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO ₂ .
Al Alim, M., Hoque, M., Hore, S., & Hore, R. (2025)	<i>Environmental impacts of transportation in rapidly urbanizing South</i>	Analisis korelasi Pearson menggunakan perangkat lunak R	Kendaraan pribadi dan sepeda motor memberikan pengaruh lingkungan paling besar.

Penulis	Judul	Metode	Hasil
	<i>and Southeast Asian Cities</i>		MRT dan sepeda menunjukkan pengaruh lingkungan sangat rendah (hampir nol). Korelasi kuat antara PM _{2.5} dan kebisingan ($r = 0.89$).
Zheng, D., & Dong, D. (2025)	<i>The Beneficial Spatial Spillover Effects of China's Carbon Emissions Trading System on Air Quality</i>	Data panel 288 kota di Tiongkok (2005–2020). Regresi linier berganda dengan variabel spasial Uji robustness dan analisis heterogenitas	ETS (Emissions Trading System) di wilayah lain menurunkan polutan di wilayah non-ETS Penurunan signifikan pada: BC, NO ₂ , OC, PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ Tidak ada efek signifikan pada O ₃ dan SO ₂ Mekanisme utama: inovasi hijau, transisi energi, dan upgrading struktur industri Efek spasial terlihat konsisten di berbagai jenis kota (industri, padat penduduk
Cahyo, H., Purnomo, S. D., Octisari, S. K., Surveyandini, M., Sundari, S., & Purwendah, E. K. (2023)	<i>Environment, Population, and Economy on CO₂ Emission in Indonesia</i>	Regresi linier berganda (multiple linear regression)	Penelitian ini menemukan bahwa luas hutan, urbanisasi, dan industrialisasi berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO ₂ , menunjukkan bahwa peningkatan ketiganya membantu menekan emisi. Sebaliknya, jumlah kendaraan bermotor dan ekspor

Penulis	Judul	Metode	Hasil
			barang berpengaruh positif signifikan, yang berarti keduanya meningkatkan emisi CO ₂ . Dengan kata lain, menjaga luas hutan dan menerapkan teknologi efisien dalam urbanisasi dan industri penting untuk mengurangi emisi, sementara pertumbuhan kendaraan dan ekspor perlu pengelolaan agar tidak memperparah polusi.
eriansyah, F., Nugroho, H., Larre, A. A., Septiavin, Q., & Nisa, C. K. (2022).	<i>Economic Growth and CO₂ Emission in ASEAN: Panel- ARDL Approach</i>	Panel ARDL (Pooled Mean Group)	Terdapat hubungan jangka panjang yang signifikan antara GDP dan emisi CO ₂ . GDP berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ dalam jangka panjang. Dalam jangka pendek, GDP signifikan meningkatkan CO ₂ di Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Kamboja. Penelitian menyarankan ASEAN menerapkan kebijakan green growth
Phungrassami, H., & Usubharatana, P. (2021)	<i>Environmental Problem Shifting Analysis of Pollution Control</i>	Panel ARDL / PMG-ARDL	Urbanisasi meningkatkan emisi CO ₂ .

Penulis	Judul	Metode	Hasil
	<i>Units in a Coal-Fired Powerplant Based on Multiple Regression and LCA Methodology</i>		Pertumbuhan industri memperburuk kualitas lingkungan. Dalam jangka panjang, variabel ekonomi seperti: • Pertumbuhan GDP • Penggunaan energi memiliki efek signifikan terhadap emisi karbon. Model PMG menunjukkan pengaruh jangka panjang lebih kuat dibanding jangka pendek. Kebijakan lingkungan di negara berkembang belum cukup menahan tekanan dari industrialisasi & urbanisasi.
Baek, J. I., & Ban, Y. U. (2020).	<i>The Impacts of Urban Air Pollution Emission Density on Air Pollutant Concentration Based on a Panel Model</i>	Data panel 35 kota di Korea Selatan (2008–2016) Model panel fixed/random effect	NO₂: dipengaruhi oleh jumlah kendaraan, kepadatan populasi, dan jarak ke PLTU. O₃: berkorelasi positif dengan suhu, durasi sinar matahari, dan jumlah kendaraan. PM₁₀: dipengaruhi kuat oleh yellow dust (debu kuning) dan kepadatan emisi. Kepadatan sumber emisi dan karakteristik spasial

Penulis	Judul	Metode	Hasil
			berpengaruh berbeda tergantung jenis polutan
Behera, J., & Mishra, A. K. (2019)	<i>Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in G7 countries: evidence from panel autoregressive distributed lag (P-ARDL) model</i>	Panel Autoregressive Distributed Lag (P-ARDL) Model	Dalam jangka panjang, harga energi, tenaga kerja, dan modal berpengaruh positif dan signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi negara G7. Dalam jangka pendek, terdapat kausalitas dari konsumsi energi tidak terbarukan dan modal menuju pertumbuhan ekonomi. Energi terbarukan tidak menunjukkan pengaruh signifikan. Nilai error correction term yang negatif dan signifikan menegaskan adanya hubungan keseimbangan jangka panjang antar variabel. Secara keseluruhan, studi ini menyoroti pentingnya investasi energi dan teknologi rendah emisi bagi negara G7.
Handriyono, R. E., & Kusuma, M. N. (2017)	<i>Kajian beban emisi so2 dan nox dari kegiatan industri di kawasan industri sier surabaya (the study of so2</i>	Menghitung beban emisi menggunakan persamaan faktor emisi: $q = \sigma(\text{fuel} \times \text{ef})$ atau $q = \sigma(\text{fuel} \times \text{ef} \times (100 -$	Total beban emisi so ₂ dari kegiatan industri di kawasan industri sier surabaya adalah 382,48 ton/tahun, sedangkan nox adalah 155,32 ton/tahun.

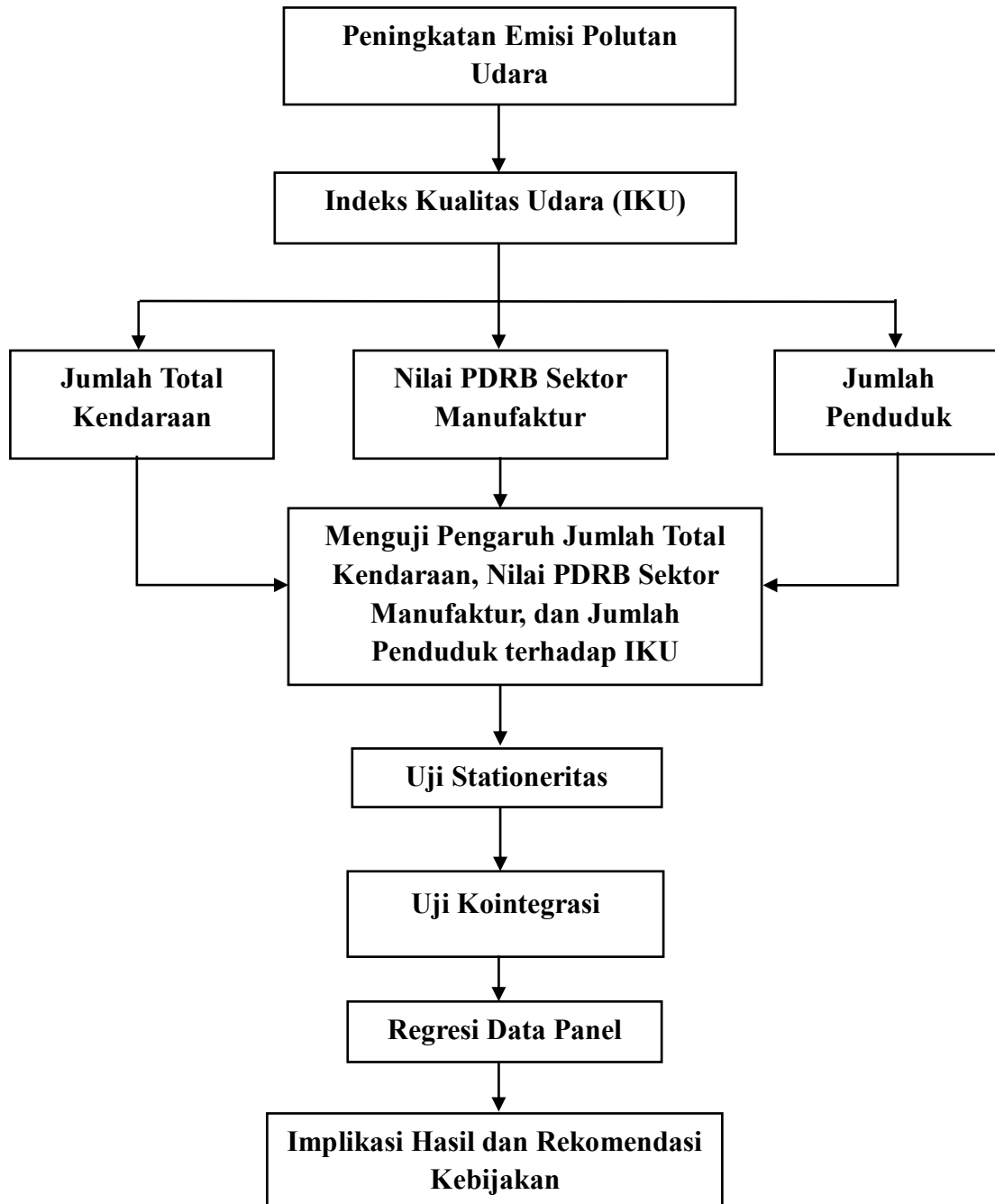
Penulis	Judul	Metode	Hasil
	<i>and nox emission from industrial activity in the sier industrial area surabaya)</i>	ce)/100) jika ada peralatan pengendali emisi.	Konsumsi energi dari penggunaan batubara merupakan penyumbang terbesar, yaitu 195,05 ton/tahun untuk so ₂ dan 90,27 ton/tahun untuk nox. Industri minyak goreng kelapa sawit menjadi industri penghasil emisi terbesar karena satu-satunya yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Hanya tiga dari 12 industri yang memiliki peralatan pengendali emisi (cyclone).
Agung, P. S. (Prima Agung P. S.), Hartono, D., & Awirya, A. A. (2017)	<i>The Influence of Urbanization on Energy Consumption and CO2 Emission: Analysis of Provinces in Indonesia</i>	Analisis Data Panel dengan pendekatan <i>Fixed-Effects Model</i> (FEM)	Urbanisasi memiliki hubungan positif dan signifikan terhadap konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan total konsumsi energi, tetapi tidak signifikan terhadap konsumsi listrik dan emisi CO ₂ . Populasi memiliki hubungan positif dan signifikan terhadap semua jenis konsumsi energi (BBM, listrik, total) dan emisi CO ₂ . Pertumbuhan ekonomi memiliki

Penulis	Judul	Metode	Hasil
			hubungan positif dan signifikan terhadap konsumsi BBM, konsumsi listrik, dan emisi CO₂. Sektor industri dan jasa tidak konsisten pengaruhnya, di mana sektor jasa signifikan positif terhadap konsumsi listrik.

2.4 Kerangka Pemikiran

Kualitas udara merupakan salah satu indikator utama untuk menilai keberlanjutan pembangunan di tingkat Provinsi. Indeks Kualitas Udara (IKU) mencerminkan tingkat pencemaran udara di suatu wilayah yang dipengaruhi oleh berbagai kegiatan ekonomi dan sosia. Di wilayah dengan tingkat industrialisasi dan mobilitas tinggi, perubahan IKU berkaitan erat dengan dinamika sektor transportasi, aktivitas manufaktur, dan pertumbuhan penduduk. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada tiga faktor penting yaitu jumlah total kendaraan, PDRB industri manufaktur, dan jumlah penduduk sebagai penentu kualitas udara di sepuluh Provinsi dengan industri manufaktur terbesar di Indonesia.

Menurut teori Environmental Kuznets Curve (EKC) dan konsep Industrialisasi Ecology peningkatan aktivitas ekonomi, terutama di sektor transportasi dan industri cenderung meningkatkan emisi polutan. Pertumbuhan jumlah kendaraan menunjukkan tingginya aktivitas transportasi yang menghasilkan emisi langsung dari pembakaran bahan fosil, semakin banyak kendaraan yang beroperasi di suatu wilayah, semakin besar pula tekanan kualitas udara, terutama di wilayah perkotaan yang padat penduduk.



Gambar 2. 2 Kerangka Pemikiran

2.5 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan Landasan Teori dan Temuan Peneliti Terdahulu yang sudah dibahas sebelumnya, maka untuk memperjelas arah hubungan antar variabel dalam penelitian ini, dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga jumlah total kendaraan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU).
2. Diduga nilai PDRB industri manufaktur berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU).
3. Diduga Jumlah penduduk berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU).
4. Diduga Jumlah total kendaraan, nilai PDRB industri manufaktur, dan jumlah penduduk secara serempak berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analisis, yang bertujuan untuk melihat pengaruh jumlah kendaraan, nilai PDRB, dan jumlah penduduk terhadap kualitas udara di Indonesia. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengukuran hubungan antar variabel menggunakan data numerik dan analisis ekonometrik berbasis panel.

Pemilihan sepuluh provinsi yaitu Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Banten, Sumatera Utara, Riau, Lampung, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Selatan, dilakukan berdasarkan representasi wilayah dengan tingkat urbanisasi, aktivitas industri, dan kepadatan penduduk yang tinggi. Penelitian ini tidak hanya menilai pengaruh langsung dari aktivitas ekonomi dan demografis terhadap kualitas udara, tetapi juga memahami hubungan struktural dan keberlanjutan pengaruhnya.

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai Lembaga resmi nasional dan internasional. Data yang digunakan mencakup beberapa variabel makroekonomi dan lingkungan yang berkaitan langsung dengan kualitas udara. Data yang digunakan yaitu Indeks Kualitas Udara (IKU), jumlah kendaraan, Nilai PDRB industri manufaktur dan jumlah penduduk untuk mewakili urbanisasi.

Semua data diperoleh dari sumber terpercaya seperti Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Perindustrian, dan basis data global seperti Bank Dunia dan Basis Data Kualitas Udara IQAir. Data

penelitian ini dikompilasi sebagai kumpulan data panel tahunan yang mencakup 10 provinsi utama di Indonesia. Periode penelitian ditetapkan dari tahun 2015-2024, periode ini di pilih sebab rentang waktu ini mempresentasikan pergeseran nyata dalam hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas udara di Indonesia yaitu dari fase ekspansi industri intensif (2015-2019), shock lingkungan dan pandemi (2020-2021), hingga arah transisi hijau (2022-2024). Selain itu juga dengan menyesuaikan ketersediaan data terbaru dan relevansi dinamika sosial ekonomi terhadap isu kualitas udara nasional. Rentang waktu ini diharapkan memberikan gambaran penting untuk penerapan berbagai kebijakan Pembangunan hijau dan industri berkelanjutan.

3.2 Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel dalam studi ini mencakup variabel dependen dan independen, yang diukur secara kuantitatif di tingkat provinsi. Semua variabel dianalisis di sepuluh provinsi dengan jumlah Industri Besar dan Menengah (IBM) terbesar di Indonesia. Pengukuran dilakukan untuk memastikan konsistensi analisis dan memungkinkan interpretasi yang akurat tentang hubungan antara aktivitas industri, tekanan demografi, transportasi, dan kualitas udara. Variabel dependen dalam studi ini adalah Indeks Kualitas Udara (IKU), sedangkan variabel independen meliputi jumlah kendaraan, nilai PDRB Sektor Manufaktur, dan jumlah penduduk untuk periode 2015-2024.

3.2.1 Indeks Kualitas Udara (IKU)

Indeks Kualitas Udara (IKU) dalam penelitian ini didefinisikan sebagai indeks komposit yang menggambarkan tingkat kualitas udara di suatu provinsi berdasarkan konsentrasi polutan utama, seperti $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO_2 , dan O_3 . IKU digunakan sebagai variabel dependen yang menunjukkan kondisi lingkungan, khususnya tingkat pencemaran udara.

Nilai IKU diperoleh dari data resmi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atau dihitung menggunakan Indeks Kualitas Udara (IKU), yang menyajikan kualitas

udara dalam skala 0–500, dengan nilai yang lebih rendah menunjukkan kualitas udara yang lebih buruk. Dalam studi ini, IKU menggunakan rata-rata tahunan di tingkat provinsi. Variabel ini dapat ditransformasikan ke dalam logaritma natural untuk mengurangi heteroskedastisitas dan memudahkan interpretasi hasil estimasi dan variabel ini dinyatakan dalam satuan skor indeks.

3.2.2 Nilai PDRB Industri Manufaktur

PDRB industri manufaktur di definisikan sebagai nilai tambah bruto yang dihasilkan oleh industri pengolahan di suatu provinsi. Variabel ini digunakan untuk mengukur aktivitas ekonomi industri, yang seringkali berkaitan dengan konsumsi energi, penggunaan mesin berbahan bakar fosil, dan emisi dari proses produksi. Pengukuran ini menggunakan PDRB atas dasar harga konstan (tahun dasar 2010) untuk menghilangkan distorsi inflasi. Semakin tinggi PDRB sektor manufaktur, semakin besar potensi tekanan lingkungan melalui peningkatan emisi industri dan akumulasi polutan di atmosfer, satuan variabel ini dinyatakan dengan milyar.

3.2.3 Jumlah Kendaraan

Jumlah kendaraan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang terdaftar di setiap Provinsi pada tahun tertentu, termasuk mobil penumpang, kendaraan barang, dan sepeda motor. Variabel ini merepresentasikan intensitas aktivitas transportasi, yang merupakan salah satu penyumbang emisi terbesar, terutama dari asap buang berbahan bakar fosil. Data jumlah kendaraan diperoleh dari publikasi tahunan Badan Pusat Statistik (BPS) dan Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia (Korlantas Polri). Peningkatan jumlah kendaraan dianggap sebagai indikator peningkatan mobilitas penduduk, konsumsi bahan bakar, dan potensi polusi berupa CO₂, NO_x, dan partikulat. variabel ini dinyatakan dalam satuan unit.

3.2.4 Jumlah Penduduk

Jumlah penduduk di definisikan sebagai total jumlah penduduk yang tinggal di suatu Provinsi pada akhir tahun berjalan. Variabel ini digunakan untuk mengukur tekanan

demografis terhadap lingkungan, karena pertumbuhan penduduk mendorong permintaan energi, transportasi, aktivitas ekonomi, dan konsumsi sumber daya. Pertumbuhan populasi mengakibatkan peningkatan emisi rumah tangga, kemacetan lalu lintas, dan tingginya permintaan untuk kegiatan industri dan logistik. Data diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) melalui proyeksi dan sensus penduduk. Variabel ini dinyatakan dalam satuan juta jiwa.

3.3 Model Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode Autoregressive Distributed Lag (ARDL) pada data panel untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi Indeks Kualitas Udara (IKU) di sepuluh Provinsi dengan jumlah Industri Besar dan Menengah (IBM) terbesar di Indonesia. Model panel ARDL dipilih karena dapat mengidentifikasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang secara simultan antara variabel kualitas udara dan determinannya. Model ARDL menggabungkan dua pendekatan estimasi yaitu Autoregressive (AR) distributed Lag (DL). Pendekatan AR menggabungkan nilai-nilai masa lalu variabel dependen (IKU lag), sedangkan pendekatan DL menghubungkan nilai-nilai saat ini variabel independen dengan nilainya pada periode sebelumnya (Lag) (Iqbal et al., 2024).

Model umum untuk penelitian ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Ln}(\text{IKU}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(\text{IND}_{it}) + \beta_2 \text{Ln}(\text{KEND}_{it}) + \beta_3 \text{Ln}(\text{POP}_{it}) + \varepsilon_{it}$$

Di mana:

IKU	: Indeks Kualitas Udara (skor)
KEND	: jumlah Kendaraan (unit)
IND	: nilai PDRB sektor manufaktur (miliar rupiah)
POP	: jumlah penduduk (jiwa)
i	: Provinsi
t	: waktu (2015-2024)
$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$	: koefisien jangka panjang

ε : error term

Model ARDL ini dipilih karena pertimbangan sebagai berikut:

- 1) Mampu menganalisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang
- 2) Tidak Mensyaratkan Tingkat Integrasi Variabel yang Sama ($I(0)$ atau $I(1)$)
- 3) Cocok untuk data dengan periode relatif pendek (short panel)
- 4) Mampu menyertakan lag variabel penjelas secara sistematis
- 5) Mampu mengatasi masalah endogenitas yang dinamis

Setelah melakukan pengujian, metode Autoregressive Distributed Lag (ARDL) dipilih sebagai pendekatan analisis dalam penelitian ini karena selaras dengan karakteristik data panel dari sepuluh provinsi dengan jumlah IBM terbesar di Indonesia. Hasil uji stationeritas menunjukkan bahwa variabel-variabel memiliki orde integrasi campuran, karena sebagian terintegrasi pada level $I(0)$ dan sebagian lagi pada level $I(1)$. kondisi ini menjadikan ARDL metode yang tepat karena dapat digunakan pada data dengan kombinasi orde integrasi selama tidak ada variabel yang berada pada level $I(2)$. lalu hasil uji kointegrasi mengonfirmasi adanya hubungan jangka panjang antara Indeks Kualitas Udara (IKU) dan determinannya seperti jumlah kendaraan, nilai PDRB sektor manufaktur, dan jumlah penduduk. Karena ARDL mampu memperkirakan dinamika jangka pendek dan hubungan jangka panjang dalam satu kerangka model, pendekatan ini sangat relevan untuk mengidentifikasi bagaimana tekanan industri memengaruhi kualitas udara secara temporal dan struktural.

Model Autoregressive Distributed Lag (ARDL) yang dikembangkan oleh Pesaran, Shin, dan Smith (2001) digunakan untuk menganalisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel. Secara umum, model $ARDL(p, q)$ dapat dirumuskan sebagai berikut:

Model umum ARDL :

$$\Delta(\text{IKU}_{it}) = \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_{1p} \Delta(Y_{i,t-j}) + \sum_{q=0}^Q \beta_{2q} \Delta(X1_{i,t-j}) + \sum_{r=0}^R \beta_{3r} \Delta(X2_{i,t-j}) + \sum_{s=0}^S \beta_{4s} \Delta(X3_{i,t-j})$$

Keterangan:

Y	: Indeks Kualitas Udara (skor)
X1	: Jumlah kendaraan (unit)
X2	: Nilai PDRB sektor manufaktur (miliar rupiah)
X3	: Jumlah penduduk (jiwa)
I	: Provinsi
T	: Waktu (2015–2024)
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: Koefisien jangka panjang
Δ	: Perubahan variabel (efek jangka pendek)
α_i	: Efek tetap tiap provinsi
ε_{it}	: Error term

Spesifikasi model yang digunakan dalam penelitian ini memodifikasi model penelitian yang digunakan oleh (Feriansyah & Larre, 2022), yaitu sebagai berikut:

$$\Delta \text{Ln}(\text{IKU}_{it}) = \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_{1p} \Delta \text{Ln}(\text{IKU}_{i,t-j}) + \sum_{q=0}^Q \beta_{2q} \Delta \text{Ln}(\text{IND}_{i,t-j}) + \sum_{r=0}^R \beta_{3r} \Delta \text{Ln}(\text{KEND}_{i,t-j}) + \sum_{s=0}^S \beta_{4s} \Delta \text{Ln}(\text{POP}_{i,t-j}) + \lambda \text{ECT}_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$$

Di mana:

IKU_{it}	: Indeks Kualitas Udara Provinsi i pada tahun t (skor)
KEND_{it}	: jumlah kendaraan bermotor (unit)
IND_{it}	: nilai PDRB industri manufaktur (miliar rupiah)
POP_{it}	: jumlah penduduk (jiwa)
ε_{it}	: error term
Δ	: operator first difference
j	: Panjang lag

$\alpha_i, \beta_{1p}, \beta_{2q}, \beta_{3r}, \beta_{4s}$: koefisien jangka pendek

p, q, r, s : Panjang lag optimum untuk masing-masing variabel

3.4 Teknik Analisis

3.4.1 Uji Stationeritas

Uji stationer dilakukan untuk menentukan apakah data panel yang digunakan dalam penelitian ini stationer atau mengandung unit root. Hal ini penting karena karakteristik dinamika data dan waktu di setiap Provinsi dapat memengaruhi validitas estimasi model panel ARDL (Oprea et al., 2025). Uji stationer yang dilakukan menggunakan panel unit root test, khususnya metode ADF-Fisher Chi-square, yang menggabungkan hasil uji ADF individual dari setiap Provinsi (cross section).

Hipotesis yang di uji Adalah:

H_0 : data mengandung unit root (non stationer)

H_1 : data tidak mengandung unit root (stationer)

Kriteria pengambilan Keputusan :

Jika nilai probabilitas (p-value) $> \alpha$ (0,05), maka H_0 diterima, artinya variabel tidak stationer pada Tingkat level tersebut.

Jika nilai probabilitas (p-value) $\leq \alpha$ (0,05), maka H_0 ditolak, artinya variabel stationer pada Tingkat level tersebut.

Jika variabel tidak stationer pada level $I(0)$, pengujian dilanjutkan pada level first difference $I(1)$ untuk menentukan apakah variabel tersebut menjadi stationer setelah perbedaan pertama. Model ARDL dapat digunakan selama tidak ada variabel yang stationer pada level $I(2)$.

3.4.2 Uji Kointegrasi

Uji kointegrasi dilakukan untuk melihat apakah variabel dependen memiliki hubungan jangka panjang dengan variabel-variabel independen dalam penelitian ini. Karena data penelitian berbentuk data panel Provinsi selama beberapa tahun, maka metode yang digunakan adalah pedroni residual cointegration test, yang merupakan salah satu uji kointegrasi panel paling umum digunakan (H. Khan & Khan, 2023). Uji pedroni menghasilkan tujuh statistik, yaitu:

1. Within-dimension test:
 - a) Panel v-statistik
 - b) Panelrho-statistik
 - c) Panel pp-statistik (non parametric)
 - d) Panel ADF-statistik (parametric)
2. Between-dimension test:
 - a) Group rho-ststistik
 - b) Group pp-statistik
 - c) Group ADF-statistik

Hasil dari masing-masing statistic digunakan untuk menilai apakah model panel menunjukkan adanya kointegrasi antara variabel dependen dan variabel independent.

Hipotesis uji kointegrasi:

H_0 : tidak terdapat hubungan jangka panjang antar variabel (tidak terkointegrasi)

H_1 : terdapat hubungan jangka panjang antar variabel (terkointegrasi)

Kriteria Pengambilan Keputusan:

Jika nilai probabilitas (p-value) $> \alpha$ (0,05), H_0 diterima, artinya tidak ada hubungan kointegrasi atau tidak ada ekuilibrium jangka panjang antara variabel dependen dan independen.

Jika nilai probabilitas (p-value) $\leq \alpha$ (0,05), H_0 ditolak, artinya terdapat hubungan kointegrasi, sehingga variabel-variabel dalam model berada dalam ekuilibrium jangka panjang.

Jika setidaknya satu atau beberapa statistic pedroni menunjukkan nilai probabilitas (p-value) $< 0,05$ maka disimpulkan bahwa model memiliki hubungan kointegrasi antara variabel dependen dan variabel independent (Iqbal et al., 2024).

3.4.3 Uji Lag Optimum

Menentukan Panjang log optimum Adalah tahap penting dalam model ARDL untuk melihat dinamika hubungan antarvariabel dalam jangka pendek maupun jangka Panjang (Laloan et al., 2023). Penentuan Panjang lag dilakukan dengan mempertimbangkan Akaike Information Criterion (AIC) dan Schwarz Bayesian Criterion (SBC). Lag optimal dipilih berdasarkan nilai kriteria informasi terkecil agar model mampu menangkap dinamika hubungan antarvariabel tanpa overfitting.

3.4.4 Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis dilakukan untuk menentukan signifikansi pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen, Baik secara parsial (uji t) maupun serentak (uji f) Dengan tingkat signifikansi 0,05 dan penggunaan uji satu arah (one-tailed test) (Batalgi, 2021).

a. Uji - t (Parsial)

Uji t digunakan untuk mengukur pengaruh koefisien variabel independen secara individual terhadap variabel dependen, sambil mengendalikan variabel lainnya.

Hipotesis 1 (Jumlah kendaraan)

$H_0 : \beta_1 = 0$ maka jumlah kendaraan tidak berpengaruh signifikan terhadap IKU

$H_a : \beta_1 < 0$ maka jumlah kendaraan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara

Hipotesis 2 (nilai PDRB sektor manufaktur)

$H_0 : \beta_2 = 0$ maka nilai PDRB sektor manufaktur tidak berpengaruh signifikan terhadap IKU

$H_a : \beta_2 < 0$ maka nilai PDRB berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara

Hipotesis 3 (jumlah penduduk)

$H_0 : \beta_3 = 0$ maka jumlah penduduk tidak berpengaruh signifikan terhadap IKU

$H_a : \beta_3 < 0$ maka jumlah penduduk berpengaruh negatif terhadap Indeks Kualitas Udara.

Kriteria pengambilan Keputusan:

- Terima H_0 apabila $t\text{-hitung} < t\text{-tabel}$ dengan signifikansi $> \alpha$ (0.05).
- Terima h_a apabila $t\text{-hitung} > t\text{-tabel}$ dengan signifikansi $< \alpha$ (0.05).

b. Uji pengaruh serempak

Uji pengaruh serempak digunakan untuk menentukan apakah semua variabel independen secara bersama sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Uji ini tidak dilakukan menggunakan uji F pada model panel ARDL dengan estimator PMG, tidak seperti pada regresi OLS. Hal ini disebabkan oleh penggunaan metode maksimum likelihood, yang tidak menghasilkan nilai F-statistik dan R-squared. Pengaruh variabel dependen akan dievaluasi menggunakan signifikansi error correction term (ECT) dan koefisien jangka Panjang (Mestiri, 2025).

Hipotesis yang diuji:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, secara serempak, jumlah kendaraan, nilai PDRB sektor manufaktur, dan jumlah penduduk tidak berpengaruh signifikan terhadap IKU.

H_1 : Setidaknya satu $\beta_i \neq 0$, secara serempak, jumlah kendaraan, nilai PDRB sektor manufaktur, dan jumlah penduduk berpengaruh signifikan terhadap IKU.

Kriteria pengambilan keputusan:

- Terima H_0 apabila probabilitas > 0.05
- Terima h_a apabila probabilitasnya < 0.05

Dengan demikian, kombinasi hasil uji-t dan uji-F akan memberikan gambaran yang komprehensif tentang hubungan antara variabel ekonomi dan sosial terhadap kualitas udara baik secara individual maupun kolektif.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari rumusan masalah, hipotesis, hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan dalam penelitian ini, maka di tarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai PDRB industri manufaktur pada jangka panjang berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU), sedangkan di jangka pendek nilai PDRB industri manufaktur berpengaruh positif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU) pada 10 provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia.
2. Jumlah kendaraan pada jangka panjang berpengaruh positif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU), sedangkan di jangka pendek jumlah kendaraan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU) pada 10 provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia.
3. Jumlah penduduk pada jangka panjang berpengaruh negatif dan signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU), sedangkan di jangka pendek jumlah kendaraan berpengaruh negatif dan tidak signifikan terhadap Indeks Kualitas Udara (IKU) pada 10 provinsi dengan jumlah IBM terbanyak di Indonesia.

B. Saran

a) Jangka panjang

1. Strategi Pembangunan industri berkelanjutan harus diarahkan pada penerapan produksi bersih dan regulasi efisiensi energi untuk meminimalkan dampak negatif terhadap Indeks Kualitas Udara oleh pemerintah pusat dan daerah.

2. Perencanaan Pembangunan wilayah harus mengintegrasikan aspek lingkungan dengan kebijakan pertumbuhan ekonomi untuk memastikan bahwa peningkatan PDRB tidak berpengaruh negatif terhadap kualitas udara.
3. Investasi pada transportasi umum dan kendaraan rendah emisi harus ditingkatkan oleh pemerintah pusat sebagai Upaya untuk mengurangi tekanan polusi udara di masa depan.

b) Jangka pendek

1. Pengendalian terhadap kegiatan manufaktur perlu diperkuat melalui pemantauan emisi dan kepatuhan terhadap standar kualitas lingkungan, khususnya di provinsi yang jumlah industri nya cukup tinggi.
2. Pemerintah pusat dan daerah harus membuat kebijakan transportasi ramah lingkungan untuk mencapai tujuan negara yaitu Net Zero Emmission 2026 sebagai startegi untuk mencegah penurunan kualitas udara.
3. Pemeirntah daerah disarankan untuk meningkatkan sistem pemantauan kualitas udara secara berkala untuk mengetahui pengaruh fluktuasi dari aktivitas industri, emisi kendaraan, agar dapat mengantisipasi dan menetapkan regulasi yang tepat.
4. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk menambahkan variabel lingkungan lainnya yang relevan dalam memperkuat bukti empiris tentang hubungan negatif antara faktor -faktor yang mempengaruhi Indeks Kualitas Udara (IKU), serta untuk menguji pengaruh keberlanjutan ini di berbagai wilayah dan periode yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Alola, A., Sunday, T., Temitope, T., & Bob, O. (2024). Technology in Society Moderating roles of technological innovation and economic complexity in financial development-environmental quality nexus of the BRICS economies. *Technology in Society*, 78(May), 102581. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102581>
- Amponsah, S., Kwesi, S., & Junior, H. (2025). Research and development , economic growth , CO 2 emissions and environmental Kuznets curve. *Sustainable Futures*, 9(March), 100541. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100541>
- Artikel, S. (2022). *Pemetaan Perkembangan Program Kampung Keluarga Berencana (KB) dengan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Sukabumi. 1*, 1–7.
- Borck, R., & Schrauth, P. (2020). Jo ur na l Pr e f. *Regional Science and Urban Economics*, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2020.103596>
- Chandra, I. (2021). Quantitative analysis of automobile sector in Indonesian automotive roadmap for achieving national oil and CO 2 emission reduction targets by 2030. *Energy Policy*, 150(2), 112135. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112135>
- Development, E., Quality, I., & Force, L. (2023). *Role of industrial growth on economic development: A comparative analysis of developed and developing countries*. 256–276.
- Ekonomi, D. I., Hasanuddin, U., Ekonomi, D. I., Hasanuddin, U., Ekonomi, P., & Penduduk, K. (2025). *Faktor Penentu Kualitas Lingkungan Hidup pada Pusat Populasi Indonesia Yusliaty Bubun Kondolele 1* , Bakhtiar Mustari 2 1. 4, 71–93.
- Emalia, Z., Moniyana, R., & Asia, E. (2020). *Economic determinants of carbon dioxide emissions : A proof of the environmental kuznet curve hypothesis in Asia*. 6877, 6877–6885.
- Emi Maimunah, Muhiddin Sirat, D. M. P.. (2021). *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*. 9(March), 72–84.
- Etchie, T. O., & Etchie, A. T. (2020). *Particulate air pollution in Indonesia : quality index , characteristic , and source identification Particulate air pollution in Indonesia : characteristic , and source identification index ,.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012084>
- Fasta, B., Zaharani, H. H., & Widodo, W. U. (2025). *Peran Kebijakan Pemerintah*

Dalam Mendorong Pertumbuhan Industri Manufaktur.

- Feng, T., Chen, X., Ma, J., Sun, Y., Du, H., Yao, Y., Chen, Z., Wang, S., & Mi, Z. (2023). Air pollution control or economic development ? Empirical evidence from enterprises with production restrictions. *Journal of Environmental Management*, 336(February), 117611. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117611>
- Feriansyah, F., & Larre, A. A. (2022). *Economics and Finance in Indonesia Economic Growth and CO2 Emission in ASEAN : Panel-ARDL Approach Economic Growth and CO 2 Emission in ASEAN : Panel-ARDL Approach*. 68(2).
- Gina, N., Yackob, S., & Fitria, A. (2020). *Correlation Model of Horizontal Geometric and Road Grade on CO 2 and PM 2 . 5 Vehicle Emission In Bandung City*. 198(Issat), 239–245.
- Gutman, S., & Malashenko, M. (2025). *The Impact of Transport Infrastructure on Sustainable Economic Development of Russian Regions*.
- Hariwan, P., Sunaryo, F. K., & Kholil, M. (2022). Available online : <http://journal.uir.ac.id/index.php/JEEE/index> *Journal of Earth Energy Engineering Publisher : Universitas Islam Riau (UIR) Press Determining Factors of Energy Intensity in The Manufacturing Industry of Provinces in Indonesia. 2019.* <https://doi.org/10.25299/jeee.2022.10649>
- Haslina, S., Shafie, M., & Mahmud, M. (2020). *Urban Air Pollutant from Motor Vehicle Emissions in Kuala Lumpur , Malaysia*. 2793–2804.
- Huang, F., & Wu, Q. (2023). *Population Mobility and Urban Air Quality : Causal Inference and Impact Measurement*. 1–19.
- Indriyani, Y. S., Sumiardi, A., Studi, P., Lingkungan, T., Banten, U., Studi, P., Sipil, T., & Banten, U. (2022). 2), 2). 04(02), 89–98.
- Industri, S., Indeks, T., & Udara, K. (2024). *Pengaruh jumlah penduduk, jumlah kendaraan dan pdrb sektor industri terhadap indeks kualitas udara di indonesia*.
- Iqbal, K., Hassan, S. T., & Geng, Y. (2024). *Impact of Green Technological Innovations , ICT , and Renewable Energy on CO 2 Emissions in Emerging Economies. 2024.* <https://doi.org/10.1155/er/5594324>
- Jurnal, J., Lingkungan, T., & Handriyono, R. E. (2017). *KAJIAN BEBAN EMISI SO 2 DAN NO x DARI KEGIATAN INDUSTRI DI KAWASAN INDUSTRI SIER SURABAYA `*. 3(x), 41–46.
- Khan, H., & Khan, I. (2023). *The effect of technological innovations , urbanization and economic growth on environmental quality : does governance matter ? October*, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1239288>

- Khan, W. A., Sharif, F., Khokhar, M. F., Shahzad, L., Ehsan, N., & Jahanzaib, M. (2023). *Monitoring of Ambient Air Quality Patterns and Assessment of Air Pollutants ' Correlation and Effects on Ambient Air Quality of Lahore , Pakistan.*
- Kim, S., Broderick, E., Koplitz, S. N., Mickley, L. J., Marlier, M. E., Buonocore, J. J., & Kim, P. S. (2015). *Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September – October 2015 : demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September – October 2015 : demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure. October.*
- Laloan, E. E. T., Nainggolan, N., & Hatidja, D. (2023). *d ' CartesiaN Jurnal Matematika dan Aplikasi Penerapan Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Dalam Memodelkan Pengaruh Lama Sekolah Dan Tingkat Pengangguran Terbuka Terhadap Kemiskinan di Kota Manado.*
- Landrigan, P. J. (2024). Comment The health and economic benefits of climate mitigation and pollution control. *The Lancet Planetary Health*, 2(3), e107–e108. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30008-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30008-1)
- Lazarov, B., Swinnen, R., Spruyt, M., Goelen, E., Stranger, M., Desmet, G., & Wauters, E. (2013). Optimisation steps of an innovative air sampling method for semi volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*, 79, 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.059>
- Lei, R., Feng, S., & Lauvaux, T. (2021). Country-scale trends in air pollution and fossil fuel CO 2 emissions during 2001 – 2018 : confronting the roles of national policies and economic growth OPEN ACCESS Country-scale trends in air pollution and fossil fuel CO 2 emissions during 2001 – 2018 : confronting the roles of national policies and economic growth. *Environmental Research Letters*, 16(1), 14006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc9e1>
- Li, H., & Chen, Y. (2025). *Polluting Industry Agglomeration , Environmental Regulation , and Urban Air Quality.*
- Maleki, H., Sorooshian, A., Goudarzi, G., Baboli, Z., Birgani, T., Rahmati, M., Diseases, R., Sciences, M., & Sciences, A. (2021). *HHS Public Access*. 21(6), 1341–1352. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01709-w>Air
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., & Stavropoulos, A. (2020). *Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review*. 8(February), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Mark, E. J. E., Agustin, I. N., Mahendra, R. A., & Hesniati, H. (2025). *How does Green Finance affect the environment in the ASEAN emerging countries ?* 17(1), 70–81.

- Mazwan, M. Z., & Tain, A. (2024). *ANALISIS ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE (Menyeimbangkan Industri Hijau dan Degradasi Lingkungan di Indonesia)*. 2748(105).
- Mestiri, S. (2025). *MODELING THE UNEMPLOYMENT RATE USING THE PANEL ARDL*. 10(1), 51–79.
- Odugbesan, J. A. (2020). *Relationship Among Economic Growth , Energy Consumption , CO 2 Emission , and Urbanization : Evidence From MINT Countries*. <https://doi.org/10.1177/2158244020914648>
- Oentoro, Y. P., Auxilidora, I., Marcal, F., Yasin, M., Jl, A., No, S., Pumpungan, M., & Sukolilo, K. (2024). *Konsep Industrialisasi , Transformasi Struktural Program Studi Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi Bisnis*. 2(3), 10–18.
- Oprea, S., Adela, B., & Georgescu, I. A. (2025). *Investments , Economics , Renewables and Population Versus Carbon Emissions in ASEAN and Larger Asian Countries : China ,.* 1–31.
- Pach, J. E., Id, B. G., Lombana, O., Carmona, L. G., Fajardo, S., Rinc, A., Meneses, S., Chaparro, R., Nedbor-gross, R., & Henderson, B. (2023). *Development and Evaluation of a Comprehensive Atmospheric Emission Inventory for Air Quality Modeling in the Megacity of Bogot á*. 1–17. <https://doi.org/10.3390/atmos9020049>
- Phungrassami, H., & Usubharatana, P. (2021). *Environmental Problem Shifting Analysis of Pollution Control Units in a Coal-Fired Powerplant Based on Multiple Regression and LCA Methodology*.
- Prasetyanto, P. K., & Sari, F. (2021). *Environmental Kuznets Curve : Economic Growth with Environmental Degradation in Indonesia*. 11(5), 622–628.
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., Murwiati, A., Studi, P., Pembangunan, E., Lampung, U., & Lampung, B. (2022). *Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi , Pertumbuhan Penduduk , dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO2 di Indonesia*. 1(6), 1070–1080.
- R, A. A., Wisra, M., & Anisa, N. (2025). *CONTRIBUTION OF ECONOMIC SECTORS BASED ON BUSINESS FIELDS TO INDONESIA ' S GDP GROWTH 2014-2023*. 8(1), 20–31.
- Ravi, S. S., Osipov, S., & Turner, J. W. G. (2023). *Impact of Modern Vehicular Technologies and Emission Regulations on Improving Global Air Quality*. 1–20.
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2019). *Science of the Total Environment A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis*. *Science of the Total Environment*, 649, 128–145.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.276>

- Shahbaz, M., Lorente, D. B., Statistics, B., Mancha, C. La, & Sharma, R. (2022). *Economic Growth and Environmental Quality in a Post-pandemic World*.
- Suparta, I. W., Wiryawan, D., Ciptawaty, U., & Wahyudi, H. (2025). *Impact of Covid – 19 and Foreign Direct Investment on Indonesia ’ s Economic Growth*. 15(2), 1–8.
- T, S. K. E., & Kavitha, R. (2024). *International Journal of Research Publication and Reviews Impact of Urban Development on Air Quality and Predictive Analysis*. 5(3), 1994–2004.
- Voumik, L. C., & Sultana, T. (2022). Heliyon Impact of urbanization , industrialization , electri fi cation and renewable energy on the environment in BRICS : fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Heliyon*, 8(11), e11457. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11457>
- Wahyudi, H., Ciptawaty, U., Ratih, A., & Pratama, A. D. (2023). *Comparison of renewable and non-renewable energy in the long and short term of Indonesia economy Comparison of Renewable and Non-Renewable Energy in the Long and Short Term of Indonesia Economy*. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14611>.This
- Wang, Q., Chen, L., Jia, F., Luo, Y., & Zhang, Z. (2024). *The relationship between supply chain integration and sustainability performance : a*. 5567. <https://doi.org/10.1080/13675567.2022.2144812>
- Wen, W., Deng, Z., Ma, X., Xing, Y., Pan, C., Liu, Y., Zhang, H., Tharaka, W. A. N. D., Hua, T., & Shen, L. (2024). Analysis of the synergistic benefits of typical technologies for pollution reduction and carbon reduction in the iron and steel industry in the Beijing – Tianjin – Hebei region. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63338-8>
- Wrightson, S. (2025). Higher population density is associated with worse air quality and related health outcomes in TAmaki Makaurau. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 49(1), 100213. <https://doi.org/10.1016/j.anzjph.2024.100213>
- Xuan, V. N. (2024). Journal of Open Innovation : Technology , Market , and Complexity Determinants of environmental pollution : Evidence from Indonesia. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(4), 100386. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100386>
- Ye, L. (2025). *The Impact of New-Quality Productivity on Environmental Pollution : Empirical Evidence from China*.