

Pengaruh Aktivitas Ekonomi dan Faktor Sosial Terhadap Emisi CO₂: Studi Data Panel 34 Provinsi di Indonesia

Annisa Izzatul Nazmah^{1*}, Avi Budi Setiawan²
annisaizzatuln@gmail.com^{1*}, avibs@mail.unnes.ac.id²

Ekonomi Pembangunan, Universitas Negeri Semarang, Indonesia ^{1*,2}

Abstrak

Pertumbuhan ekonomi di negara berkembang sering menimbulkan dilema antara peningkatan pendapatan dan kenaikan emisi CO₂. Penelitian ini menganalisis pengaruh aktivitas ekonomi dan faktor sosial terhadap emisi CO₂ di Indonesia menggunakan data panel 34 provinsi periode 2017–2023. Variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi PDRB per kapita, PDRB per kapita kuadrat, Penanaman Modal Asing (PMA), industri manufaktur, dan jumlah usia produktif dengan variabel dependen dalam penelitian ini adalah emisi CO₂. Hasil menunjukkan bahwa hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) berlaku di Indonesia. Selain itu, FDI meningkatkan emisi, sementara industri manufaktur mengurangi emisi, dan populasi usia produktif tidak signifikan. Temuan ini menekankan perlunya pemerintah memperkuat fase penurunan emisi, pengelolaan investasi asing yang ramah lingkungan, dukungan terhadap industri beremisi rendah, dan pelatihan tenaga kerja di sektor energi bersih guna menekan tingkat emisi.

Kata Kunci: EKC; CO₂; PDRB per kapita; PDRB per kapita kuadrat; PMA; industri manufaktur; jumlah usia produktif

 This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

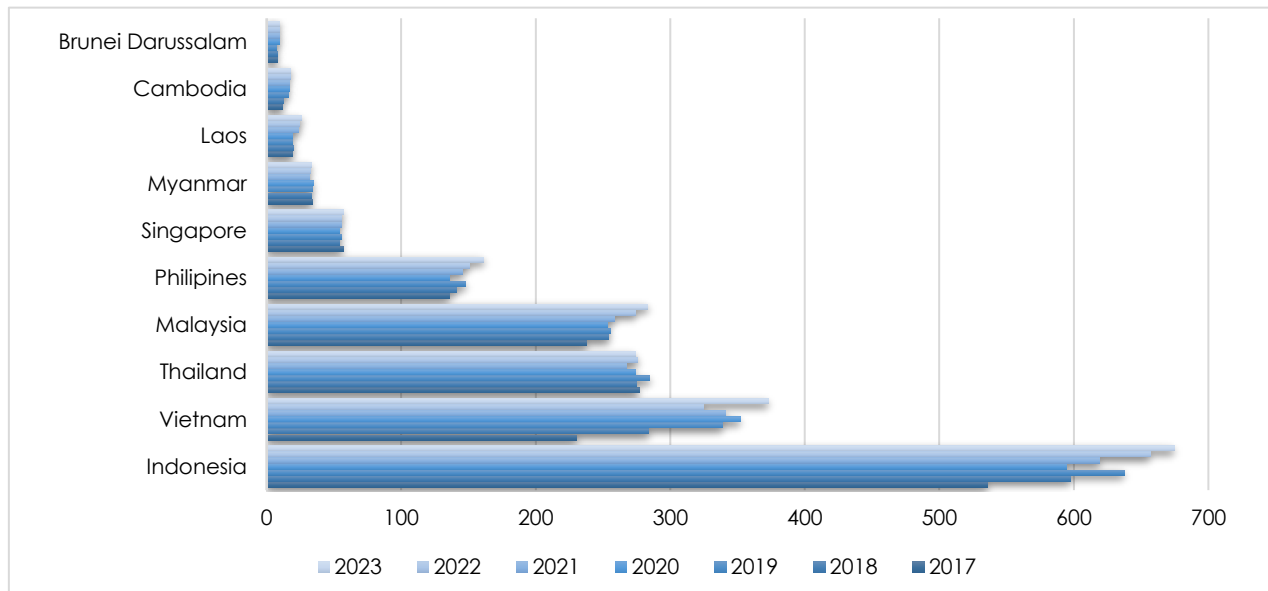
Pendahuluan

Pembangunan ekonomi dipandang sebagai proses berkelanjutan yang meningkatkan pendapatan per kapita dan kesejahteraan masyarakat serta transformasi struktural dalam sektor-sektor ekonomi suatu negara (Sukirno, 2006; Noor & Saputra, 2020; Febriana et al., 2020). Berdasarkan Kurniawan & Managi (2018) dan Chakravarty & Mandal (2020), negara berkembang cenderung memprioritaskan pembangunan ekonomi melalui pertumbuhan ekonomi, upaya untuk mencapai target pertumbuhan ekonomi seringkali mengakibatkan eksploitasi SDA yang menyebabkan degradasi lingkungan. Tidak hanya itu, Pata (2018) dan Aye & Edoja (2017) menyebutkan bahwa pembangunan ekonomi sangat bergantung pada konsumsi energi untuk mendukung proses produksi secara langsung. *Environmental Performance Index (EPI) Report* (2022) menunjukkan bahwa banyak negara berkembang cenderung memiliki performa lingkungan yang buruk, termasuk Indonesia. Hal tersebut dapat menjadi indikasi adanya *trade-off* antara target ekonomi dan lingkungan (Wang et al., 2024). *Trade-off* ini dapat memicu kerusakan lingkungan dan mempercepat perubahan iklim (Akbar et al., 2025).

Hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menunjukkan bahwa pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, peningkatan pendapatan per kapita cenderung meningkatkan polusi karena ekonomi masih bergantung pada eksploitasi sumber daya dan industrialisasi intensif (Panayotou, 2003). Namun, setelah pendapatan mencapai ambang tertentu, pergeseran menuju sektor yang lebih bersih, peningkatan teknologi, dan regulasi lingkungan yang lebih kuat dapat menurunkan emisi (Noor & Saputra, 2020). Pola U-terbalik ini mengisyaratkan bahwa pertumbuhan ekonomi pada tahap yang lebih maju dapat mendukung keberlanjutan lingkungan (Nikensari et al., 2019). Meski demikian, negara

berkembang sering gagal memasuki fase penurunan polusi akibat lemahnya regulasi dan ketergantungan pada sektor beremisi tinggi (Noor & Saputra, 2020). Menurut Todaro & Smith (2011), hal tersebut menyebabkan tekanan ekologis tetap meningkat dan berdampak jangka panjang pada kesehatan, sumber daya alam, dan perubahan iklim.

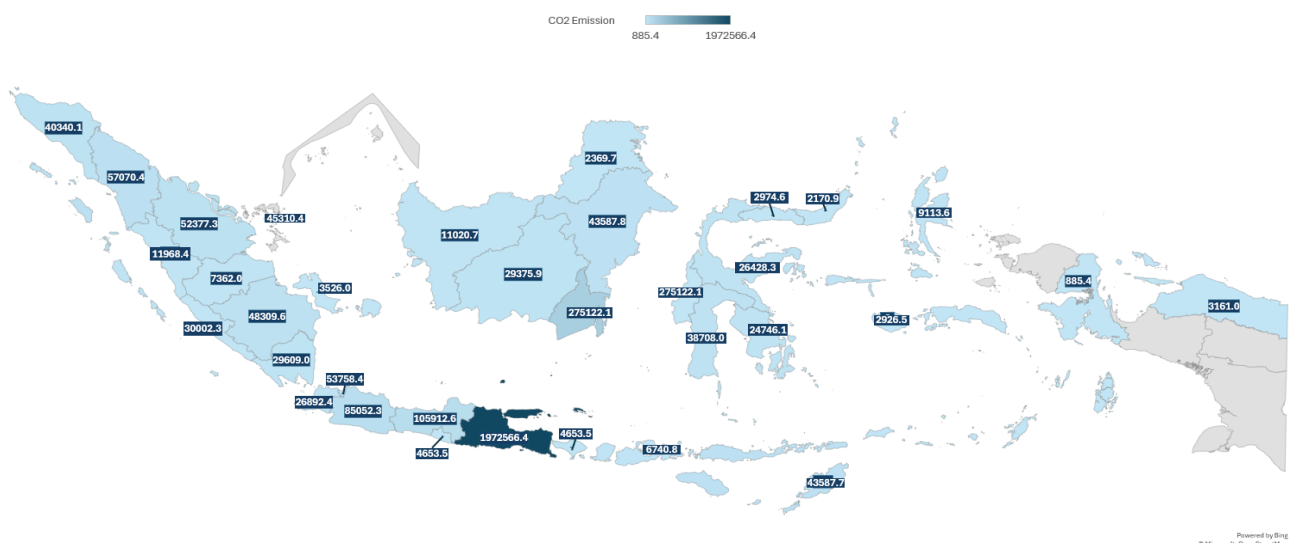
World Bank mencatat Indonesia sebagai negara yang memiliki tingkat emisi CO₂ tertinggi di Asia Tenggara dengan tren menurun di tahun 2019 menuju 2020, namun kembali mengalami peningkatan pada tahun 2020 hingga 2023 seiring dengan tingginya aktivitas ekonomi.



Gambar 1. Total Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Tidak Termasuk LULUCF di Asia Tenggara 2017-2023 (Mt CO₂e)

Sumber: World Bank

Emisi CO₂ merupakan salah satu indikator utama pendorong terjadinya pemanasan global yang dapat memberikan dampak negatif terhadap kondisi sosial dan ekonomi masyarakat (Insani & Robertus, 2024). Sebagai negara berkembang yang memiliki ambisius tinggi untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, kerap dihadapkan pada dilema antara pencapaian target ekonomi dan pelestarian lingkungan. Menurut Andarini et al. (2016), untuk mencapai tujuan tersebut terkadang diperlukan ketergantungan pada kegiatan ekonomi dari berbagai sektor yang dapat menghasilkan emisi CO₂.



Gambar 2. Rata-rata Emisi CO₂ di Indonesia pada 34 Provinsi tahun 2017-2023 (Gg CO₂)

Sumber: KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)

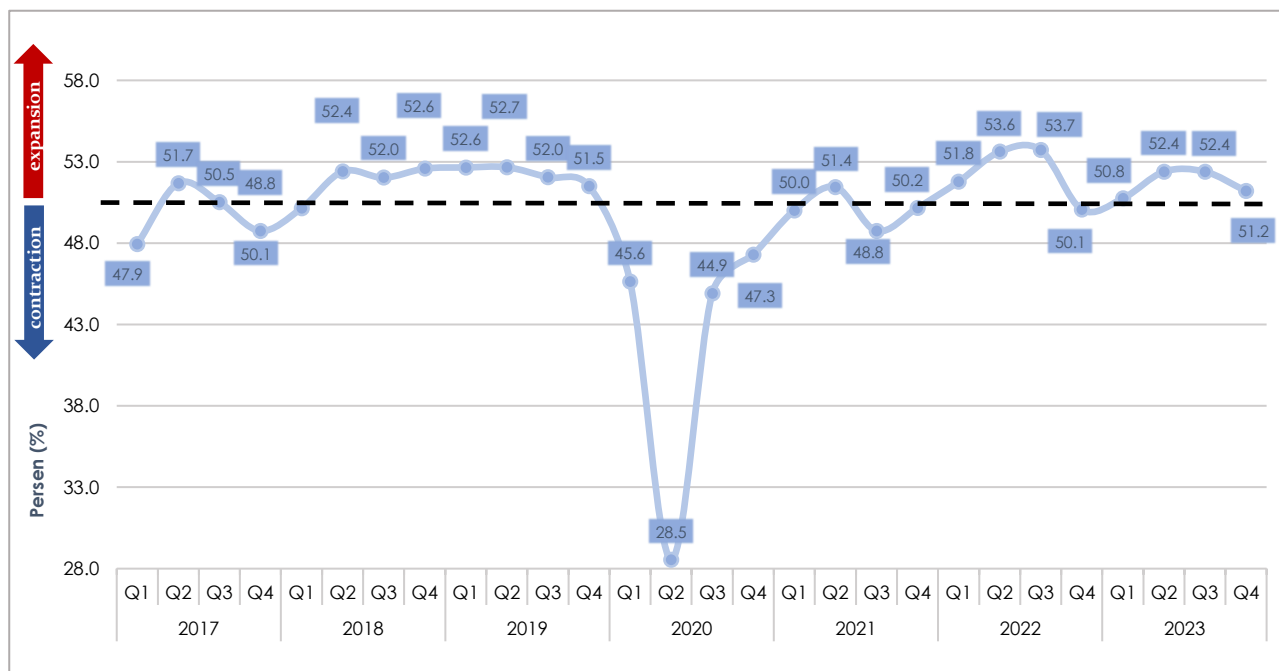
Peta sebaran rata-rata emisi CO₂ per provinsi memperlihatkan adanya perbedaan tingkat emisi antarwilayah yang dipengaruhi oleh variasi aktivitas ekonomi dan faktor sosial. Walaupun setiap provinsi tercatat menghasilkan emisi CO₂ yang berbeda, pada akhirnya tetap berkontribusi pada peningkatan konsentrasi gas rumah kaca. Insani & Robertus (2024) menyebutkan bahwa emisi CO₂ menjadi salah satu kontributor utama dalam pemanasan global yang pada akhirnya akan berdampak negatif pada sosial-ekonomi. Hal tersebut mengindikasikan perlu adanya kajian terkait aktivitas ekonomi dan faktor sosial yang mendorong peningkatan emisi CO₂ di Indonesia (34 provinsi).

Berbagai studi terdahulu, seperti Pata (2018) dan Beşer & Hızarcı Beşer (2017) menunjukkan bahwa pendapatan yang diukur melalui PDB per kapita memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dioksida. Artinya, ketika PDB per kapita mengalami kenaikan, emisi karbon dioksida juga cenderung meningkat, sehingga pertumbuhan ekonomi yang tercermin dari meningkatnya pendapatan masyarakat turut berkontribusi terhadap memburuknya kualitas lingkungan yang dilihat dari peningkatan emisi karbon dioksida (Nadeak & Nasrudin, 2023; Noor & Saputra, 2020; Karunia et al., 2023). Temuan serupa juga disampaikan oleh Karaaslan & Çamkaya (2022), dalam artikelnya menyatakan bahwa peningkatan PDB suatu negara turut berkaitan dengan peningkatan pelepasan karbon dioksida. Sejalan dengan Zubair et al. (2020) menyatakan bahwa PDB memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbondioksida dalam jangka panjang.

F. Z. Putri et al. (2022) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa liberasi perdagangan dan *Foreign Direct Investment* (Penanaman Modal Asing) merupakan penggerak utama pertumbuhan ekonomi yang semakin menguat seiring dengan dinamika globalisasi ekonomi. Isnainul et al. (2020) dan Manullang et al. (2024) menyatakan bahwa investasi asing langsung diakui sebagai salah satu komponen vital dalam proses percepatan pertumbuhan ekonomi dan pembangunan ekonomi nasional. Masuknya penanaman modal asing turut memicu peningkatan kerusakan lingkungan. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa *Foreign Direct Investment* (FDI) seringkali menghadirkan aktivitas industri yang mendorong peningkatan output produksi serta mempercepat laju ekonomi nasional. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Malik et al. (2020) di Pakistan, *Foreign Direct Investment* (FDI) dan ekspansi ekonomi menyebabkan peningkatan emisi karbon dalam jangka pendek dan panjang.

Disisi lain, penelitian oleh Ali et al. (2017) menemukan bahwa dalam jangka pendek investasi asing langsung (FDI) berkorelasi negatif dengan emisi CO₂, polusi udara, dan degradasi ekosistem lokal di Malaysia. Selain itu, penelitian yang meneliti Nigeria menunjukkan bahwa emisi CO₂, pendapatan, integrasi perdagangan, foreign direct investment, PDB, dan modal semuanya berkorelasi dalam jangka panjang (Zubair et al., 2020). Industri manufaktur menjadi motor pertumbuhan ekonomi dalam suatu daerah, sebagaimana berperan sebagai penggerak perekonomian negara (Rakhmawati & Boedirochminarni, 2018). Dengan kata lain, industri manufaktur menjadi salah satu sektor ekonomi yang memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan PDB Indonesia (Saragih, 2018). Masuknya investasi asing berpotensi mendorong aktivitas industri yang lebih intensif, terutama di sektor manufaktur yang menjadi salah satu penyumbang utama pertumbuhan ekonomi dan penyerapan tenaga kerja. Investasi asing langsung memiliki keterkaitan yang erat dan tidak dapat dilepaskan dari industri manufaktur (Nurwahyuni et al., 2023). Berdasarkan penelitian Hafeez et al. (2018) dan Shah et al. (2019), tingkat emisi karbon dioksida memiliki korelasi langsung dan positif dengan volume produksi manufaktur suatu negara. Purno et al. (2025) menyatakan bahwa investasi asing di sektor manufaktur tidak hanya memberikan tambahan modal, tetapi juga transfer teknologi, peningkatan kapasitas produksi, dan penciptaan rantai nilai global yang dapat meningkatkan daya

saing industri domestik.



Gambar 3. Prompt Manufacturing Index Bank Indonesia (PMI-BI) Indonesia Triwulan 2017-2023

Sumber: Bank Indonesia

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan *Prompt Index Manufactur* Bank Indonesia (PIM-BI) yang tetap berada pada fase ekspansi. Rata-rata PMI-BI berada di atas 50% yang menandakan peningkatan aktivitas industri pengolahan atau manufaktur. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya konsumsi energi, terutama energi berbasis fosil. Di satu sisi, sektor ini memberikan kontribusi besar terhadap pertumbuhan ekonomi dan penyerapan tenaga kerja. Namun di sisi lain, aktivitas industri manufaktur juga menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama dalam bentuk emisi gas rumah kaca (A. S. Pratama et al., 2024). Hal ini terjadi karena proses produksi dalam industri manufaktur memerlukan konsumsi energi yang sebagian besar masih bergantung pada bahan bakar fosil (Frianto et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh Ben Jebli et al. (2020) telah membuktikan bahwa terdapat hubungan positif antara industri manufaktur dengan peningkatan emisi karbon. Aktivitas ekonomi mendorong sejumlah aspek penting dalam masyarakat yang dapat memicu pertumbuhan ekonomi nasional. Disamping pertumbuhan ekonomi yang kian berkembang, terdapat aspek lingkungan yang mendapatkan dampak negatif dari aktivitas ekonomi (Siregar & Nasution, 2020). Sementara itu, faktor sosial juga memiliki pengaruh terhadap emisi karbon, salah satunya tercermin dari pertumbuhan jumlah penduduk yang pesat (Ahmed et al., 2017). Yahaya et al. (2020) menyatakan bahwa populasi penduduk dapat meningkatkan degradasi lingkungan dalam jangka panjang. Sejalan dengan penelitian Audi & Ali (2016), bahwa pertumbuhan populasi penduduk meningkatkan emisi CO₂. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan jumlah penduduk berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO₂ (I. Sari & Karimi, 2023; Irfany et al., 2022).

Berdasarkan Lim et al. (2020), menjelaskan bahwa struktur umur populasi berpengaruh terhadap emisi karbon karena setiap kelompok usia memiliki pola aktivitas yang berbeda, sehingga konsumsi energi yang beriringan dengan aktivitasnya juga berbeda. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, jumlah usia produktif (15-64) dari tahun 2017 hingga 2023 terus konsisten mengalami kenaikan hingga 10%. Yaqoob et al. (2024), penduduk dengan kelompok umur 20-34, 35-49, dan 50-64 tahun memiliki hubungan positif dengan emisi CO₂.

Sejalan dengan penelitian Alifah & Pujiati (2025), menyatakan bahwa peningkatan pada populasi usia produktif dapat meningkatkan emisi karbondioksida karena hasil regresi yang berpengaruh positif dan signifikan di Indonesia pada periode 1990-2021.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh *research gap* dari penelitian terdahulu yang mengatakan bahwa beberapa variabel yang memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂, antara lain (1) Beberapa penelitian terdahulu yang sudah dilakukan menyatakan bahwa pendapatan dengan indikator PDB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ (Aulia Tsandra et al., 2023; Pata & Caglar, 2021; Çomuk et al., 2023). Disisi lain, terdapat penelitian oleh Bakhri (2018) yang menyebutkan bahwa pendapatan per kapita (PDB per kapita) memiliki pengaruh negatif terhadap emisi karbondioksida. Berbeda dengan penelitian oleh Putri et al. (2022) yang menyatakan bahwa PDB per kapita tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. (2) Variabel PMA berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ (B. Li & Haneklaus, 2022). Sedangkan dalam penelitian lain, Penanaman Modal Asing tidak memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂ (Xie et al., 2020). (3) Terdapat variabel industri manufaktur dalam penelitian Karedla et al. (2021) dan Yang et al. (2021) yang dalam penelitiannya tercatat bahwa industri manufaktur berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sedangkan pada penelitian Osman (2024), industri manufaktur tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek, sedangkan dalam jangka panjang terdapat indikasi bahwa industri manufaktur dapat meningkatkan emisi CO₂. (4) Selanjutnya, Yaqoob et al. (2024) dalam penelitiannya menemukan bahwa jumlah usia produktif berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sejalan dengan penelitian oleh Alifah & Pujiati (2025), populasi usia produktif berpengaruh positif terhadap peningkatan emisi CO₂. Fitzgerald et al. (2018) dalam penelitiannya menyatakan temuannya yang berbeda, bahwa variabel *working-age population* tidak signifikan dalam kedua model yang diuji. Analisis STIRPAT di Amerika Serikat juga ditemukan bahwa matriks komposisi umur tidak signifikan terhadap emisi CO₂ (Fatmah, 2023).

Oleh karena itu, terdapat beberapa hipotesis dalam penelitian ini: H_{a1}: Terdapat pembentukan kurva U terbalik secara signifikan antara pendapatan per kapita terhadap emisi CO₂. H_{a2}: PDRB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ pada 34 Provinsi di Indonesia tahun 2017-2023. H_{a3}: PDRB per kapita kuadratik berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ pada 34 Provinsi di Indonesia tahun 2017-2023. H_{a4}: Penanaman Modal Asing berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ pada 34 Provinsi di Indonesia tahun 2017-2023. H_{a5}: Industri Manufaktur berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ pada 34 Provinsi di Indonesia tahun 2017-2023. H_{a6}: Jumlah Usia Produktif berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ pada 34 Provinsi di Indonesia tahun 2017-2023.

Metode Analisis

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh aktivitas ekonomi dan faktor sosial terhadap emisi CO₂ di Indonesia dengan menggunakan pendekatan regresi data panel. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gabungan antara data *time series* dari tahun 2017-2023 dan data *cross section* dari 34 provinsi di Indonesia menggunakan Eviews. Penulisan model penelitian dengan variabel yang telah ditentukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

$$CO2e_{it} = \beta_0 + \beta_1 PDRBK_{it} + \beta_2 PDRBK2_{it} + \beta_3 PMA_{it} + \beta_4 IM_{it} + \beta_5 JUP_{it} + \varepsilon_{it} \dots \dots \dots (1)$$

Sebelum dilakukan estimasi regresi, persamaan 3.1 di atas pada beberapa variabelnya diubah ke dalam bentuk logaritma natural (log). Berikut merupakan model regresi setelah dilakukan transformasi logaritma:

$$L(CO2e)_{it} = \beta_0 + \beta_1 PDRBK_{it} + \beta_2 L(PDRBK2)_{it} + \beta_3 PMA_{it} + \beta_4 IM_{it} + \beta_5 JUP_{it} + \varepsilon_{it} \dots \dots \dots (2)$$

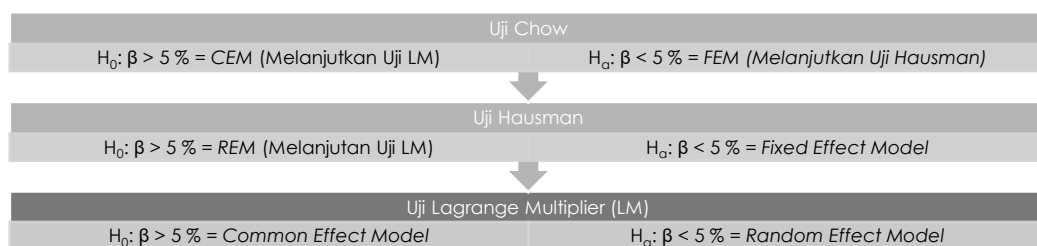
LCO2e = Log emisi CO₂, PDRBK = PDRB per kapita, LPDRBK2 = Log PDRB per kapita kuadratik, PMA = penanaman modal asing, IM = industri manufaktur, JUP= jumlah usia

produktif, β_0 = konstanta, β = koefisien regresi, i = data cross section provinsi di Indonesia, t = data time series tahun 2017-2023, dan ε = error term.

Tabel 1. Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel	Kode	Indicator	Periode	Sumber	Referensi
Emisi CO ₂ (Gg CO ₂)	CO2e	Emisi CO ₂ dari sektor energi, IPPU, peternakan, kehutanan, dan limbah	2017-2023	KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)	(Prasetyanto & Sari, 2021; Destiartono & Firmansyah, 2024; Yanuarti & Rachmawati, 2024) (Idris & Sari, 2022; Pratama, 2020; P. Li et al., 2022)
Produk Domestik Regional Bruto per Kapita (Ribu Rupiah)	PDRBK	Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Harga Konstan Seri 2010 menurut provinsi	2017-2023	Badan Pusat Statistik	(Nadeak & Nasrudin, 2023); (Martial et al., 2023); (Ben Jebli et al., 2020))
Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Kuadrat	PDRBK2	PDRB per kapita kuadrat diolah oleh peneliti untuk menguji validasi teori EKC yang merupakan kuadrat dari PDRB per kapita.	2017-2023	Badan Pusat Statistik	(Keshavarzian & Tabatabaieenasab, 2022); (Rauf et al., 2018); (Yang et al., 2021)
Penanaman Modal Asing (Juta US\$)	PMA	Realisasi Investasi Penanaman Modal Luar Negeri menurut provinsi	2017-2023	Badan Pusat Statistik	(Karedla et al., 2021) ; (Claire & Widyawati, 2023)
Industri Manufaktur (% of GDP)	IM	Proporsi Nilai Tambah Industri Manufaktur terhadap Produk Domestik Bruto berdasarkan provinsi	2017-2023	Badan Pusat Statistik	(Alifah & Pujiati, 2025); (Y. Li et al., 2020)
Jumlah Usia Produktif (ribu jiwa)	JUP	Jumlah penduduk berdasarkan kelompok usia 15-64 tahun	2017-2023	Badan Pusat Statistik	

Menurut Verbeek (2004) model data panel menggabungkan data time series dan cross section sehingga menghasilkan jumlah observasi lebih besar. Gujarati & Porter (2009) menyebutkan enam keunggulan regresi data panel, antara lain mengatasi heterogenitas individu, meningkatkan akurasi estimasi, mengurangi kolinearitas, menyediakan informasi variatif, dan lainnya. Regresi data panel dapat diestimasi menggunakan Common Effect Model (CEM), Fixed Effect Model (FEM), dan Random Effect Model (REM), dengan pemilihan model terbaik mengikuti alur pengujian pada Gambar 4.



Gambar 4. Alur Uji Pemilihan Model Data Panel

Setelah dilakukan uji pemilihan model terbaik, bisa dilanjutkan uji asumsi klasik dengan model yang terpilih.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Pemilihan Model

Dalam penerapan regresi data panel, pemilihan model terbaik dilakukan melalui beberapa tahapan uji.

1. Uji Chow

Tabel 2. Hasil Uji Chow

<i>Effects test</i>	<i>Statistic</i>	<i>d.f</i>	<i>Prob.</i>
<i>Cross-section F</i>	13.849073	(33,199)	0.0000
<i>Cross-section Chi-Square</i>	283.906763	33	0.0000

Sumber: Hasil output Eviews (data diolah), 2025

Hasil pengujian yang diperoleh adalah nilai probabilitas Cross-section Chi-Square ($0.0000 < \alpha (0.05)$) atau hasil uji menolak H_0 . Artinya, model terbaik yang terpilih dari hasil uji Chow adalah fixed effect model.

2. Uji Hausman

Tabel 3. Hasil Uji Hausman

<i>Test Summary</i>	<i>Chi-sq. Statistic</i>	<i>Chi-sq. d.f.</i>	<i>Prob.</i>
<i>Cross-section random</i>	27.398792	5	0.0000

Sumber: Hasil output Eviews (data diolah), 2025

Hasil uji Hausman menunjukkan nilai probabilitas *Cross-section random* sebesar $0.0000 < 0.05$ yang merupakan α . Hasil uji Hausman menolak H_0 dan menerima H_a . Artinya, model terbaik yang terpilih dari hasil uji Hausman adalah *fixed effect model*. Berdasarkan hasil uji Chow dan uji Hausman, *Fixed Effect Model* (FEM) terpilih menjadi model terbaik yang sesuai untuk penelitian ini.

Uji Asumsi Klasik

Berdasarkan hasil regresi data panel yang telah dilakukan, model yang terpilih adalah *Fixed Effects Model* (FEM). Selanjutnya dilakukan uji asumsi klasik, Ghazali & Ratmono (2018) dalam bukunya disebutkan bahwa uji asumsi klasik pada regresi data panel yang fundamental adalah uji multikolinearitas dan uji heteroskedastisitas. Berdasarkan Gujarati & Porter (2009) dalam bukunya, penelitian dengan sampel yang besar dapat mengabaikan normalitas.

1. Uji Multikolinearitas

Tabel 5. Hasil Uji Multikolinearitas

	PDRBK	LPDRBK2	PMA	IM	JUP
PDRBK	1.000000	0.946026	0.317787	0.219525	-0.047405
LPDRBK2	0.946026	1.000000	0.312118	0.359481	-0.027227
PMA	0.317787	0.312118	1.000000	0.566039	0.589077
IM	0.219525	0.359481	0.566039	1.000000	0.560798
JUP	-0.047405	-0.027227	0.589077	0.560798	1.000000

Sumber: Hasil output Eviews (data diolah), 2025

Pada variabel PDRBK dan PDRBK² terjadi gejala multikolinearitas tinggi sebesar $0.946026 > 0.9$, sedangkan variabel lainnya tidak mengalami multikolinearitas. Hal tersebut terjadi karena PDRBK² merupakan fungsi langsung dari PDRBK. Berdasarkan (Gujarati & Porter, 2009), multikolinearitas sering kali muncul akibat penggunaan model kuadrat.

Dengan demikian, estimasi regresi tetap dapat dilakukan meskipun terindikasi masalah multikolinearitas pada variabel kuadratik.

2. Uji Heteroskedastisitas

Seluruh variabel memiliki nilai probabilitas di atas taraf signifikansi 0.05 ($\alpha = 5\%$), dapat disimpulkan bahwa variabel-variabel penelitian ini tidak mengalami masalah heteroskedastisitas.

Tabel 6. Uji Heteroskedastisitas

Variabel	Probabilitas
PDRBK	0.1599
LPDRBK2	0.5915
PMA	0.2092
IM	0.0656
JUP	0.6254

Sumber: Hasil output Eviews (data diolah), 2025

Hasil Regresi Data Panel

Analisis dilakukan menggunakan metode regresi data panel dengan metode terbaik yang terpilih adalah *Fixed Effect Model* (FEM) yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Estimasi *Fixed Effect Model*

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	38.89996	9.041449	4.302403	0.0000
PDRBK	7.55E-05	3.61E-05	2.093508	0.0376
LPDRBK2	-0.296099	0.098855	-2.995283	0.0031
PMA	0.000278	0.000122	2.278791	0.0237
IM	-0.109336	0.045364	-2.410182	0.0169
JUP	2.50E-07	1.96E-07	1.278010	0.2027
R-Square				0.805904
Adjusted R-squared				0.768840
F-statistic				21.74383
Prob. Prob (F-Statistic)				0.000000

Sumber: Hasil output Eviews (data diolah), 2025

Berdasarkan Tabel 7. memperlihatkan hasil estimasi *Fixed Effect Model* (FEM), selain itu diperoleh juga nilai koefisien regresi setiap variabel penelitian yaitu sebagai berikut:

$$\text{LCO}_2 = 38.8999572457 + 7.54834911496\text{e-}05(\text{PDRBK}_{it}) + 0.296098935893(\text{LPDRBK2}_{it}) + 0.000277886081159(\text{PMA}_{it}) - 0.109336276022(\text{IM}_{it}) + 2.4991454419\text{e-}07(\text{JUP}_{it}) + \text{uit} \dots \dots \dots (4.1)$$

Variabel PDRBK memiliki koefisien regresi sebesar 7.55E-05 dengan nilai probabilitas (0.0376) lebih kecil daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa PDRB per kapita berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂. Koefisien bertanda positif menunjukkan bahwa peningkatan PDRB per kapita akan diikuti dengan peningkatan emisi CO₂. Artinya, kenaikan PDRB sebesar 1 ribu rupiah diperkirakan akan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 7.55E-05 % dengan asumsi faktor lain dianggap konstan atau *ceteris paribus*.

Variabel LPDRBK2 memiliki koefisien regresi sebesar -0.296099 dengan nilai probabilitas (0.0031) lebih kecil daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa PDRBK2 berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂. Artinya, kenaikan PDRB per kapita kuadratik sebesar 1% diperkirakan akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 0.296099% dengan asumsi faktor lain dianggap konstan atau *ceteris paribus*.

Variabel PMA memiliki koefisien regresi sebesar 0.000278 dengan nilai probabilitas (0.0237) lebih kecil daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa PMA berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂. Koefisien bertanda positif

menunjukkan bahwa peningkatan PMA akan diikuti dengan peningkatan emisi CO₂. Artinya, kenaikan PMA sebesar 1 juta US\$ diperkirakan akan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 0.000278% dengan asumsi faktor lain dianggap konstan atau *ceteris paribus*.

Variabel IM memiliki koefisien regresi sebesar -0.109336 dengan nilai probabilitas (0.0169) lebih kecil daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa IM berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂. Koefisien bertanda negatif menunjukkan bahwa peningkatan IM justru dapat menurunkan emisi CO₂. Artinya, kenaikan IM sebesar 1% diperkirakan akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 0.109336% dengan asumsi faktor lain dianggap konstan atau *ceteris paribus*.

Variabel JUP memiliki koefisien regresi sebesar 2.50E-07. Artinya, kenaikan jumlah usia produkti 1 ribu jiwa akan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 2.50E-07% dengan asumsi *ceteris paribus*. Nilai probabilitas (0.2027) lebih besar daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa JUP berpengaruh positif tidak signifikan terhadap emisi CO₂.

Koefisien Determinasi (R-Square)

Tabel 7. menunjukkan besaran nilai *Adjusted R-Square* yang mencapai angka 0.768850 atau 76.8840%. Artinya, nilai koefisien determinasi tersebut menunjukkan bahwa variabel independen mampu menjelaskan variabel emisi CO₂ pada 34 provinsi di Indonesia sebesar 76.8840%. sementara itu, sisanya sekitar 23.116% dijelaskan oleh variabel atau faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan ke dalam model penelitian ini.

Uji F-Statistik (Simultan)

Berdasarkan Tabel 7. menunjukkan hasil dari uji *F-Statistic* sebesar 21,74383 > F-Tabel 2.252955 dan nilai *Prob. (F-Statistic)* sebesar 0.000000 < 0.05. Dengan demikian, H₀ ditolak dan menerima H_a yang artinya variabel independen secara bersama-sama memiliki pengaruh terhadap variabel dependen, yaitu emisi CO₂.

Uji-t

Berdasarkan Tabel 7. hasil uji t menunjukkan bahwa variabel PDRBK memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dengan nilai t-hitung 2.093508 > t-tabel 1.970067, koefisien 7.55E-05, dan probabilitas 0.0376 < 0.05. Variabel LPDRBK2 berpengaruh negatif dan signifikan dengan nilai t-hitung -2.995283 > t-tabel 1.970067, koefisien -0.296099, dan probabilitas 0.0031 < 0.05, sehingga mendukung hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Variabel PMA juga menunjukkan pengaruh positif dan signifikan dengan nilai t-hitung 2.278791 > t-tabel 1.970067, koefisien 0.000278, dan probabilitas 0.000278 < 0.05. Sementara itu, variabel IM memiliki pengaruh negatif dan signifikan dengan nilai t-hitung -2.410182 > t-tabel 1.970067, koefisien -0.109336, dan probabilitas 0.0169 < 0.05. Adapun variabel JUP tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, ditunjukkan oleh nilai t-hitung 1.278010 < t-tabel 1.970067 meskipun probabilitasnya 0.0169 < 0.05, sehingga secara keseluruhan hanya PDRBK, LPDRBK2, PMA, dan IM yang terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ pada 34 provinsi di Indonesia.

Estimation Results with Cross-Section Effects

Berdasarkan Mu Tashim & Rudatin (2024), Fixed Effect Model mengasumsikan bahwa setiap unit observasi memiliki nilai yang konstan dari waktu ke waktu, sehingga terdapat variasi intersep tiap provinsi, sementara koefisien kemiringan tetap sama untuk setiap individu. Intersep masing-masing provinsi diperoleh dengan menjumlahkan konstanta utama dalam persamaan estimasi dengan koefisien efek tetap (cross-section effect) dari output EViews. Berdasarkan Tabel 8, setiap provinsi di Indonesia memiliki nilai intersep emisi CO₂ yang berbeda. Berdasarkan Tabel 8, setiap provinsi memiliki intersep yang berbeda, yang mencerminkan nilai awal atau baseline dari variabel dependen sebelum mempertimbangkan pengaruh variabel independen. Nilai intersep ini juga dipengaruhi oleh efek tetap provinsi, yang mewakili karakteristik unik setiap provinsi yang tetap konstan

sepanjang periode penelitian. Provinsi dengan nilai intersep tinggi, seperti Kepulauan Riau (46.00855), Riau (44.26239), dan Kalimantan Timur (43.29897), menunjukkan bahwa emisi CO₂ mereka relatif tinggi pada nilai baseline dibandingkan provinsi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa provinsi-provinsi tersebut memiliki karakteristik struktural yang berkontribusi pada tingginya emisi, seperti aktivitas industri yang besar, ketergantungan pada energi fosil, atau faktor sosial tertentu. Sebaliknya, provinsi dengan nilai intersep rendah, seperti Nusa Tenggara Timur (32.90754), Jawa Barat (34.36202), dan Maluku (35.09713), memiliki baseline emisi CO₂ yang lebih rendah. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa provinsi-provinsi tersebut secara alami menghasilkan emisi lebih sedikit karena aktivitas industri yang lebih rendah, penggunaan energi bersih yang lebih besar, atau karakteristik demografis tertentu.

Tabel 8. Intercept CO2 Emissions in 34 Provinces of Indonesia

Province	Coefficient	Fixed Effect	Intercept
Aceh	38.89996	-1.72753	37.17244
North Sumatra	38.89996	0.963413	39.86337
West Sumatra	38.89996	-0.24574	38.65422
Riau	38.89996	5.362429	44.26239
Jambi	38.89996	0.711337	39.6113
South Sumatra	38.89996	1.99636	40.89632
Bengkulu	38.89996	-2.46102	36.43895
Lampung	38.89996	0.597558	39.49752
Bangka Belitung Islands	38.89996	1.301711	40.20167
Riau Islands	38.89996	7.108591	46.00855
DKI Jakarta	38.89996	0.007851	38.90781
West Java	38.89996	-4.53794	34.36202
Central Java	38.89996	-2.13073	36.76923
DI Yogyakarta	38.89996	-1.00052	37.89944
East Java	38.89996	-0.03521	38.86475
Banten	38.89996	1.146862	40.04682
Bali	38.89996	0.084625	38.98459
West Nusa Tenggara	38.89996	-3.50224	35.39772
East Nusa Tenggara	38.89996	-5.99242	32.90754
West Kalimantan	38.89996	-0.29913	38.60083
Central Kalimantan	38.89996	1.824354	40.72431
South Kalimantan	38.89996	3.219187	42.11915
East Kalimantan	38.89996	4.399012	43.29897
North Kalimantan	38.89996	1.359084	40.25904
North Sulawesi	38.89996	-0.91438	37.98558
Central Sulawesi	38.89996	2.992275	41.89224
South Sulawesi	38.89996	1.276086	40.17605
Southeast Sulawesi	38.89996	1.037303	39.93726
Gorontalo	38.89996	-2.39439	36.50557
West Sulawesi	38.89996	-2.01592	36.88404
Maluku	38.89996	-3.80283	35.09713
North Maluku	38.89996	-3.54606	35.3539
West Papua	38.89996	0.680626	39.58059
Papua	38.89996	-1.46072	37.43924

Sumber: Diolah Penulis, 2025

Uji Hipotesis *Environment Kuznets Curve* (EKC)

Berdasarkan hasil estimasi *Fixed Effect Model* pada Tabel 7, diperoleh informasi bahwa variabel PDRB memiliki koefisien positif sebesar 7.55E-05 dengan nilai probabilitas (0.0376) < taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$). Hal ini mengindikasikan bahwa pada tahap awal, peningkatan PDRB cenderung meningkatkan emisi CO₂. Sementara itu, variabel LPDRBK2 menunjukkan koefisien negatif sebesar -0.296098935893 dengan nilai probabilitas (0.0031) lebih kecil daripada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0.05$), maka dapat disimpulkan bahwa PDRBK2 berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂. Kombinasi tanda positif pada PDRB dan

tanda negatif pada PDRBK² sesuai dengan hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang memprediksi adanya pola kurva U terbalik, di mana pertumbuhan ekonomi pada tahap awal meningkatkan degradasi lingkungan, tetapi setelah mencapai titik balik tertentu, peningkatan pendapatan justru menurunkan emisi.

Pembahasan

Analisis Keberadaan Teori EKC di Indonesia

Hasil estimasi regresi panel dengan model terbaik Fixed Effect Model (FEM) menunjukkan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ di Indonesia mengikuti pola *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Fajar & Hariyanto (2021) yang menyatakan bahwa fenomena EKC terbukti valid di Indonesia. Penelitian tersebut menerangkan bahwa dalam jangka pendek peningkatan pendapatan sejalan dengan peningkatan emisi CO₂ di Indonesia. Selanjutnya, dalam jangka panjang peningkatan pendapatan beriringan dengan penurunan emisi CO₂ di Indonesia. Sejalan dengan penelitian Prasetyanto & Sari (2021), pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ di Indonesia terbukti memiliki hubungan yang membentuk kurva U terbalik dalam jangka pendek dan jangka panjang. Terdapat penelitian terkait hubungan berbentuk U terbalik antara PDB per kapita dengan emisi metana per kapita sebagai indikator degradasi lingkungan di Indonesia (Destiartono & Firmansyah, 2024). Yanuarti & Rachmawati (2024) hipotesis EKC terbukti di Indonesia karena berada dalam tahapan pembangunan ekonomi yang memiliki heterogenitas regional yang luas, dimana berbagai provinsi berada pada fase pembangunan yang berbeda dari provinsi agraris di KTI hingga provinsi *post-industrial* seperti DKI Jakarta.

Penelitian oleh Idris & Sari (2022), pola EKC hampir terbukti di seluruh pulau di Indonesia, seperti Sumatra, Sulawesi, Kalimantan, dan wilayah pulau kecil di KTI (Kawasan Timur Indonesia). Hipotesis EKC di Indonesia bukan semata-mata korelasi antara pendapatan nasional dan emisi, melainkan hasil dari transformasi struktural menuju manufaktur yang lebih bersih dengan dukungan transfer teknologi hijau dan adopsi praktik produksi efisiensi rendah emisi melalui *FDI* (Deng et al., 2024). Selain itu, kebijakan pemerintah berupa insentif pajak atau *tax holiday* untuk investasi industri ramah lingkungan serta percepatan transisi energi terbarukan. Kondisi ini menandakan adanya perbaikan keberlanjutan pembangunan di Indonesia, meskipun pencapaiannya masih terbatas (Kurniawan & Managi, 2018). Hasil penelitian ini didukung juga dari sejumlah studi internasional, salah satunya adalah hipotesis EKC juga terlihat pada *low-income countries* dengan memiliki pola kurva U terbalik yang pada tahap tertentu peningkatan pendapatan dapat mendorong perbaikan kualitas lingkungan hidup (Martial et al., 2023). Hasil dari penelitian ini sama dengan hasil penelitian dari Nikensari et al. (2019) yang menemukan bahwa adanya koefisien PDB per kapita bertanda positif dan koefisien PDB per kapita kuadrat bertanda negatif dengan lingkup penelitian negara *high income*. Di negara Serbia menunjukkan bahwa adanya hubungan berbentuk *inverted U-shape* antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂.

Pengaruh Produk Domestik Regional Bruto per Kapita terhadap Emisi CO₂

Berdasarkan hasil regresi data panel dengan model terpilih adalah *Fixed Effect Model*, Indonesia menerima H_{a2} yang menyatakan bahwa PDRB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dan menolak H₀₂. Artinya, pertumbuhan ekonomi di Indonesia dengan data 34 provinsi pada periode penelitian tersebut masih membawa konsekuensi berupa tekanan terhadap lingkungan. Temuan ini juga selaras dengan penelitian H. Wahyudi (2024) yang menemukan bahwa pendapatan atau PDB per kapita memiliki pengaruh positif terhadap emisi CO₂ di Indonesia periode 1990 hingga 2021 dengan metode *Error Correction Model* (ECM). Penelitian lain dengan periode 1975-2017,

menunjukkan bahwa PDB per kapita di Indonesia berpengaruh positif signifikan terhadap emisi karbondioksida dalam jangka pendek dan jangka panjang (Kusumawardani & Dewi, 2020). Sejalan dengan penelitian H. Wahyudi et al. (2024), dalam jangka pendek dan jangka panjang ditemukan bahwa PDB per kapita di Indonesia memiliki pengaruh positif terhadap emisi CO₂. Tidak hanya itu, beberapa penelitian juga mengungkapkan adanya temuan terkait pendapatan per kapita atau PDB per kapita berpengaruh terhadap peningkatan emisi di Indonesia (F. Z. Putri et al., 2022; Fattah et al., 2021; Nadeak & Nasrudin, 2023).

Pada negara berkembang seperti Indonesia, pembangunan ekonomi yang diukur melalui PDB per kapita pada tahap awal cenderung meningkatkan emisi CO₂, sejalan dengan hipotesis EKC (Klavuz & Doğan, 2021). Dalam tulisannya, P. Li et al. (2022) pada negara G-20 (1995–2018) menunjukkan bahwa PDB berpengaruh positif dan PDB² berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂, temuan yang konsisten juga ditunjukkan oleh Karedla et al. (2021) di India. Hal serupa terlihat pada negara-negara E7 termasuk Indonesia, di mana pertumbuhan PDB per kapita meningkatkan degradasi lingkungan dan emisi CO₂ pada tahap awal (Adeleye et al., 2025). Peningkatan emisi ini didorong oleh aktivitas ekonomi berbasis energi non-renewable, dengan negara berkembang yang lebih memprioritaskan pertumbuhan ekonomi melalui investasi asing dan eksploitasi sumber daya alam (Hunjra et al., 2024). Hal tersebut akan menyebabkan peningkatan PDB per kapita yang diiringi dengan tingginya emisi CO₂. Kondisi ini menegaskan bahwa orientasi pembangunan yang fokus pada pencapaian target ekonomi tanpa strategi mitigasi lingkungan, dapat memperburuk degradasi lingkungan di negara berkembang. Saat sudah mencapai titik balik pendapatan tertentu, fenomena hipotesis EKC akan tercapai apabila wilayah tersebut mengadopsi kebijakan-kebijakan ramah lingkungan.

Pengaruh Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Kuadratik terhadap Emisi CO₂

Hasil regresi dengan model Fixed Effect Model (FEM) menunjukkan bahwa hubungan antara PDRB per kapita dan emisi CO₂ di Indonesia mengikuti pola Environmental Kuznets Curve (EKC), di mana emisi meningkat pada tahap awal pembangunan namun menurun setelah melewati titik balik pendapatan tertentu. Artinya, pada tingkat PDRB per kapita yang lebih tinggi, peningkatan pendapatan akan cenderung menurunkan emisi CO₂. Nadeak & Nasrudin (2023) dan Yanuarti & Rachmawati (2024) dalam penelitiannya, menunjukkan bahwa model kuadratik PDB dapat mengungkapkan pola *inverted-U*. Massagony & Budiono (2023) dalam penelitiannya juga menggunakan PDB kuadratik untuk membuktikan valid atau tidaknya hipotesis EKC di Indonesia. Sejalan dengan penelitian Eko Prastiyo & Hardyastuti (2020), hipotesis EKC terkonfirmasi di Indonesia dengan model PDB kuadratik untuk pengujian *Greenhouse Gas emissions* (GHG).

Nadeak & Nasrudin (2023) dan Prasetyanto & Sari (2021) dalam penelitiannya menemukan hasil yang sama dengan penelitian ini, yaitu terbuktinya hipotesis *Environmental Kuznets Curve* di Indonesia. Tidak hanya itu, penelitian dengan wilayah yang lebih kecil, yaitu Jawa Timur juga ditemukan bahwa terbukti valid hipotesis EKC (Kurniawan et al., 2025). Secara keseluruhan, hasil analisis mengonfirmasi hipotesis *Environmental Kuznets Curve* di Indonesia. Artinya, pada tahap awal pembangunan di Indonesia cenderung hanya akan melihat perkembangan pertumbuhan ekonomi tanpa melihat dampak lingkungannya. PDRB per kapita meningkat yang diiringi peningkatan emisi CO₂ akibat aktivitas ekonomi yang ditopang energi *non-renewable* dan pemanfaatan SDA yang masif. Adeleye et al. (2025) menyatakan bahwa *non-renewable resources*, khususnya bahan bakar fosil berkontribusi besar terhadap peningkatan emisi. Steve et al. (2022) menyatakan bahwa dengan memusatkan upaya pada peralihan penggunaan energi

terbarukan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dapat mengurangi dampak negatif dari penggunaan sumber daya energi yang terbatas.

Pengaruh Penanaman Modal Asing terhadap Emisi CO₂

Hasil dari estimasi regresi panel dengan pemilihan model terbaik *Fixed Effect Model* (FEM) menunjukkan bahwa Penanaman Modal Asing (PMA) berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Temuan ini sejalan dengan teori *Pollution Haven Hypothesis* (PHH) yang menyatakan bahwa investasi asing cenderung mengalir ke negara-negara berkembang yang memiliki regulasi lingkungan kurang ketat (Pata et al., 2023). Pola migrasi pemindahan operasi manufaktur ke negara-negara dengan regulasi lingkungan yang rendah sebagai bentuk untuk menekan biaya kepatuhan lingkungan perusahaan (Solarin et al., 2017). Hal tersebut terindikasi meningkatkan emisi CO₂ karena negara berkembang masih menghadapi tantangan dalam hal penegakan standar lingkungan yang ketat, sehingga investor asing dapat lebih leluasa beroperasi meskipun aktivitas produksinya menghasilkan eksternalitas negatif terhadap lingkungan (Pham et al., 2025; Guzel & Okumus, 2020; Lee et al., 2021). Akibatnya, Penanaman Modal Asing yang ada di negara berkembang termasuk Indonesia tidak hanya mendorong pembangunan ekonomi melalui pertumbuhan ekonomi, tetapi juga sebagai penyumbang peningkatan emisi CO₂.

P. Li et al. (2022) dalam penelitiannya menemukan bahwa *Foreign Direct Investment* (FDI) memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Temuan tersebut sejalan dengan hasil regresi data panel dalam penelitian ini, dimana FDI yang berpengaruh terhadap CO₂ mendukung adanya *Pollution Haven Hypothesis* (PHH). Hal serupa ditunjukkan oleh Guzel & Okumus (2020) di lima negara ASEAN, serta Xie et al. (2020) di *emerging countries* termasuk Indonesia. Farabi & Abdullah (2020) juga menegaskan bahwa FDI meningkatkan emisi CO₂ di Indonesia dan Malaysia. Fenomena ini tidak hanya terkait dengan migrasi industri, tetapi juga *scale effect* (Pham et al., 2025), di mana arus PMA mendorong ekspansi produksi dan konsumsi sehingga meningkatkan permintaan energi berbasis fosil. Sejalan dengan (Pazienza, 2019), aktivitas ekonomi yang lebih besar berbasis energi tidak terbarukan berimplikasi pada meningkatnya emisi karbon. Dengan demikian, meskipun FDI mendorong pertumbuhan ekonomi yang pada akhirnya memperburuk degradasi lingkungan melalui peningkatan emisi CO₂. Kondisi ini berimplikasi pada semakin besarnya tingkat emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer. Dengan demikian, meskipun PMA atau investasi asing memiliki kontribusi positif terhadap peningkatan pertumbuhan ekonomi, tetapi juga memperburuk degradasi lingkungan melalui peningkatan emisi CO₂.

Pengaruh Industri Manufaktur terhadap Emisi CO₂

Hasil dari estimasi regresi panel dengan pemilihan model terbaik *Fixed Effect Model* (FEM) menunjukkan bahwa semakin berkembangnya industri manufaktur akan menurunkan emisi CO₂ di Indonesia selama periode penelitian. Temuan penelitian ini tidak mendukung *Pollution Haven Hypothesis*, sejalan dengan Luo et al. (2021) yang menunjukkan bahwa transfer teknologi dari FDI mendorong modernisasi dan produksi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian oleh Elfaki et al. (2022) pada ASEAN+3 menunjukkan bahwa industrialisasi berhubungan negatif dengan degradasi lingkungan, sehingga peningkatan aktivitas industri berpotensi menurunkan emisi CO₂ melalui pemanfaatan energi bersih dan teknologi ramah lingkungan. Duan & Jiang (2021) Penelitian pada 30 provinsi di Cina menunjukkan bahwa aktivitas industri manufaktur yang terhubung dengan MNEs (*Multinational Enterprises*) menghasilkan intensitas emisi lebih rendah dibandingkan

perusahaan lokal, sehingga kehadiran MNEs berpotensi menurunkan emisi CO₂ melalui transfer teknologi dan praktik produksi yang lebih efisien.

Fang et al. (2022), menemukan bahwa transformasi digital pada sektor manufaktur secara signifikan menurunkan intensitas emisi karbon, khususnya pada industri yang sebelumnya bersifat polutif, melalui peningkatan efisiensi energi dari adopsi teknologi digital. Temuan ini semakin diperkuat oleh penelitian Yu & Liu (2024) menyimpulkan bahwa teknologi digital meningkatkan *Carbon Productivity* (CP) secara global, dengan Indonesia termasuk negara berlevel tinggi dalam digitalisasi (DIG) sekaligus memiliki CP yang signifikan. Di Indonesia, upaya penurunan emisi mulai terlihat melalui berbagai kebijakan, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden No. 112 Tahun 2022 yang membatasi pembangunan pembangkit berbahan bakar fosil dan mendorong pembangunan tenaga listrik dari sumber energi terbarukan. Berdasarkan publikasi Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan ESDM, Indonesia merencanakan *Net Zero Emissions*. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia mempublikasikan dengan siaran pers HM.4.6/328/SET.M.EKON.3/09/2024, menyatakan komitmennya dalam *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) terhadap strategi untuk mengurangi emisi di lima sektor, yaitu limbah proses industri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan dan penggunaan bahan lainnya, serta sektor energi yang mencakup sektor transportasi. Kebijakan ekonomi berbasis energi bersih dan kebijakan biodiesel yang menurunkan emisi karbon dari 945 juta ton CO₂ (2020) menjadi 885 juta ton (2022) yang dapat menghemat devisa Rp404,32 triliun. Hal tersebut menggambarkan pertumbuhan ekonomi dapat berjalan seiring dengan penurunan emisi.

Pengaruh Jumlah Usia Produktif terhadap Emisi CO₂

Koefisien yang bertanda positif tetapi tidak signifikan mengindikasikan bahwa meskipun jumlah penduduk usia produktif berhubungan dengan aktivitas ekonomi, kontribusinya terhadap emisi karbon tidak cukup kuat untuk mempengaruhi hasil secara statistik dengan asumsi *ceteris paribus*. Hasil penelitian ini tidak sejalan dengan teori *Neo-Malthusian* yang menekankan bahwa pertumbuhan penduduk menimbulkan bencana, salah satunya adalah masalah lingkungan. Artinya, pertumbuhan penduduk akan meningkatkan konsumsi sumber daya dan polusi, terlebih penduduk dengan usia produktif memiliki kontribusi aktivitas ekonomi paling tinggi. Hasil penelitian ini sejalan dengan Petrović et al. (2018) dalam penelitiannya menggunakan model STIRPAT yang menunjukkan bahwa variabel demografi dengan indikator penduduk usia produktif dan anak-anak <14 tahun tidak signifikan mempengaruhi emisi CO₂. Hasil dari penelitian ini sejalan dengan temuan di Shanghai oleh Y. Li et al. (2020), ditemukan bahwa struktur usia memiliki sifat *constraining effect*, meskipun ukuran populasi memiliki pengaruh positif terhadap emisi. Artinya, struktur usia berperan membatasi atau menekan pertumbuhan emisi di Shanghai. Hal ini menegaskan bahwa jumlah usia produktif tidak selalu meningkatkan emisi karbon. Meskipun jumlah usia produktif tidak berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂ di Indonesia dapat dijelaskan melalui sejumlah faktor struktural. Walaupun usia produktif mendominasi angkatan kerja, sekitar tiga perempat penduduk usia produktif di Indonesia bekerja di sektor formal yang berada di sektor jasa dan pertanian (International Energy Agency, 2022). Sektor tersebut memiliki produktivitas yang rendah, sehingga kontribusinya terhadap emisi tidak signifikan terutama dari aktivitas berbasis energi *non-renewable* cenderung terbatas.

Simpulan dan Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi, seperti PDRB per kapita berpengaruh positif signifikan terhadap emisi, sedangkan PDRB per kapita kuadratik

berpengaruh negatif signifikan yang mendukung hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC). Penanaman Modal Asing (PMA) memiliki pengaruh positif signifikan, menandakan bahwa investasi asing masih menambah tekanan lingkungan. Sebaliknya, industri manufaktur berpengaruh negatif signifikan, menunjukkan adanya peran teknologi dan efisiensi produksi dalam menurunkan emisi. Faktor sosial, seperti demografi yang digunakan yaitu jumlah usia produktif tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂.

Penelitian ini menekankan pentingnya bagi pemerintah untuk memperkuat upaya penurunan emisi pasca-titik balik EKC melalui pengembangan energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan penerapan teknologi rendah karbon. Penanaman Modal Asing (PMA) perlu diarahkan pada penggunaan teknologi ramah lingkungan, industri dengan intensitas emisi rendah harus didukung melalui kegiatan riset dan pemberian insentif, serta tenaga kerja produktif perlu dilibatkan melalui program pelatihan di sektor energi bersih guna menjamin efektivitas penurunan emisi.

Penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain periode observasi yang relatif singkat (2017–2023) sehingga pola jangka panjang dan efek tertunda belum sepenuhnya terlihat. Selain itu, penggunaan data sekunder berpotensi mengandung bias pencatatan dan perbedaan standar antar-provinsi. Variabel yang digunakan pun masih terbatas sehingga belum sepenuhnya mencakup aktivitas ekonomi dan faktor sosial yang juga memengaruhi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperpanjang periode observasi, memperluas variabel, serta mengombinasikan metode kuantitatif dan kualitatif guna memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara pembangunan ekonomi, investasi, industri manufaktur, jumlah usia produktif, dan emisi CO₂.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada pembimbing atas arahan, bimbingan, dan dukungan yang diberikan sepanjang penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan dan semua pihak yang telah berkontribusi melalui saran dan kritik yang membangun.

Referensi

- Adeleye, B. N., Soyulu, Ö. B., Ergül, M., & Balsalobre-Lorente, D. (2025). Reintroducing evidence of the role of energy usage dynamics on environmental management in E7 countries. *Journal of Environmental Management*, 386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125667>
- Ahmed, K., Rehman, M. U., & Ozturk, I. (2017). What drives carbon dioxide emissions in the long-run? Evidence from selected South Asian Countries. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 70, pp. 1142–1153). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.018>
- Akbar, A., Gul, A., Haider, S. A., Ahmad, S., Chen, S., Tehseen, S., & Asif, M. (2025). China's Outward FDI and Globalization's Impact on CO2 Emissions: A Cross-Country Panel Data Analysis. *Journal of the Knowledge Economy*. <https://doi.org/10.1007/s13132-024-02404-y>
- Ali, W., Abdullah, A., & Azam, M. (2017). Re-visiting the environmental Kuznets curve hypothesis for Malaysia: Fresh evidence from ARDL bounds testing approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 990–1000. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.236>

- Alifah, S., & Pujiati, A. (2025). Analisis Pengaruh GDP Per Kapita, Financial Development, Energy Use, dan Populasi Usia Produktif Terhadap Emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 6(6), 2326. <https://doi.org/1047467/elmal.v6i6.8153>
- Andarini, A., Indris, & Ariusni. (2016). Pengaruh Kegiatan Sektor Industri, Pertambangan dan Transportasi terhadap Kualitas Lingkungan Ditinjau dari Emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Kajian Ekonomi Dan Pembangunan*, 5(2), 125–136. <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/ekosains/article/viewFile/110652/104179>
- Audi, M., & Ali, A. (2016). *Environmental Degradation, Energy consumption, Population Density and Economic Development in Lebanon: A time series Analysis (1971-2014)*. <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/74286>
- Aulia Tsandra, N., Pandu Sunaryo, R., & Octaviani, D. (2023). Pengaruh Konsumsi Energi dan Aktivitas Ekonomi Terhadap Emisi CO₂ di Negara G20 (The Effect of Energy Consumption and Economic Activity on CO₂ Emissions in G20 Countries). *Pengaruh Konsumsi Energi Dan Aktivitas ... E-Journal Ekonomi Bisnis Dan Akuntansi*, 10(2), 69–79.
- Aye, G. C., & Edoja, P. E. (2017). Effect of economic growth on CO₂ emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics and Finance*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2017.1379239>
- Bakhri, M. S. (2018). Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi, Globalisasi dan Emisi CO₂ : Studi Kasus Asean-5. *Economics Bulletin*, 67–5.
- Ben Jebli, M., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.009>
- Beşer, M. K., & Hızarcı Beşer, B. (2017). The Relationship between Energy Consumption, CO₂ Emissions and GDP per Capita: A Revisit of the Evidence from Turkey. *Alphanumeric Journal*. <https://doi.org/10.17093/alphanumeric.353957>
- Chakravarty, D., & Mandal, S. K. (2020). Is economic growth a cause or cure for environmental degradation? Empirical evidences from selected developing economies. *Environmental and Sustainability Indicators*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100045>
- Claire, B., & Widyawati, D. (2023). Impact of industrialization and renewable energy on carbon dioxide emission in 9 ASEAN countries. *Economic Journal of Emerging Markets*, 183–198. <https://doi.org/10.20885/ejem.vol15.iss2.art6>
- Çomuk, P., Akkaya, B., Ercoşkun, S., & Apostu, S. A. (2023). The foreign direct investments, economic growth, renewable energy and carbon (CO₂) emissions nexus: an empirical analysis for Turkey and European Union Countries. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03382-y>
- Deng, W., Meng, T., Kharuddin, S., Ashhari, Z. M., & Zhou, J. (2024). The impact of renewable energy consumption, green technology innovation, and FDI on carbon emission intensity: Evidence from developed and developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 483. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144310>
- Destiartono, M. E., & Firmansyah. (2024). Does the Linkage between GDP, Renewable Energy, and Methane Validate the EKC hypothesis? Evidence from Indonesia. *International*

Journal of Energy Economics and Policy, 14(2), 711–720.
<https://doi.org/10.32479/ijeep.15075>

- Duan, Y., & Jiang, X. (2021). Pollution haven or pollution halo? A Re-evaluation on the role of multinational enterprises in global CO₂ emissions. *Energy Economics*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105181>
- Eko Prastiyo, S., & Hardyastuti, S. (2020). How agriculture, manufacture, and urbanization induced carbon emission? The case of Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10148-w/Published>
- Elfaki, K. E., Khan, Z., Kirikkaleli, D., & Khan, N. (2022). On the nexus between industrialization and carbon emissions: evidence from ASEAN + 3 economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(21), 31476–31485. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18560-0>
- Fajar, M., & Hariyanto. (2021). Pengujian Eksistensi Environmental Kuznets Curve di Indonesia. *Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 2(1), 62–68. <https://doi.org/10.46306/lb.v2i1.56>
- Fang, H., Jiang, C., Hussain, T., Zhang, X., & Huo, Q. (2022). Input Digitization of the Manufacturing Industry and Carbon Emission Intensity Based on Testing the World and Developing Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912855>
- Farabi, A., & Abdullah, A. (2020). Environmental Degradation in Indonesia and Malaysia: The Effect of Energy Consumption, Economic Growth, Population, and Foreign Direct Investment (FDI). *Jurnal Manajemen Teori Dan Terapan*, 13(2), 160. <https://doi.org/10.20473/jm>
- Fatmah, F. (2023). The driving factors behind urban communities' carbon emissions in the selected urban villages of Jakarta, Indonesia. *PLoS ONE*, 18(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288396>
- Fattah, A. M., Aminata, J., Susilowati, I., & Pujiyono, A. (2021). Causality Analysis: Economic Growth, Economic Openness, Energy Consumption, and Carbon Dioxide Emission Indonesia. *Media Ekonomi Dan Manajemen*, 36(2), 124. <https://doi.org/10.24856/mem.v36i2.2029>
- Febriana, S., Cahyo Diartho, H., & Istiyani, N. (2020). Hubungan Pembangunan Ekonomi terhadap Kualitas Lingkungan Hidup di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, 2(2), 58. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jdep.2.2.58-70>
- Fitzgerald, J. B., Schor, J. B., & Jorgenson, A. K. (2018). Working hours and carbon dioxide emissions in the United States, 2007-2013. *Social Forces*, 96(4), 1851–1874. <https://doi.org/10.1093/sf/soy014>
- Frianto, D., Sutrisno, E., & Wahyudi, A. (2023). Pelaku Industri dalam Pengendalian Emisi dan Standardisasi. *STANDAR: Better Standard Better Living*, 2(5), 41–44.
- Ghozali, I., & Ratmono, D. (2018). *Analisis Multivariat dan Ekonometrika: Teori, Konsep, dan Aplikasi dengan EvIEWS 10* (Edisi 2). Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics* (5th ed.). McGraw-Hill.

- Guzel, A. E., & Okumus, İ. (2020). Revisiting the pollution haven hypothesis in ASEAN-5 countries: new insights from panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18157–18167. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08317-y>
- Hafeez, M., Chunhui, Y., Strohmaier, D., Ahmed, M., & Jie, L. (2018). Does finance affect environmental degradation: evidence from One Belt and One Road Initiative region? *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9579–9592. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1317-7>
- Hunjra, A. I., Bouri, E., Azam, M., Azam, R. I., & Dai, J. (2024). Economic growth and environmental sustainability in developing economies. *Research in International Business and Finance*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102341>
- Idris, I., & Sari, Y. P. (2022). Economic Growth and The Quality of Environment: Evidence of The Environmental Kuznets Curve (EKC) in Indonesia. *Ekonomi Bisnis*, 27(1), 12. <https://doi.org/10.17977/um042v27i1p12-23>
- Insani, N. F. N., & Robertus, M. H. (2024). Analisis Environmental Kuznets Curve pada PDRB Sektor terhadap Emisi Gas Rumah Kaca di Provinsi Jawa Timur Tahun 1990-2022. *Diponegoro Journal of Economics*, 13(3), 9–21. <https://doi.org/10.14710/djoe.45139>
- International Energy Agency. (2022). *An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia*. www.iea.org/t&c/
- Irfany, M. I., Tarmizi, M. M., Fitri, R., & Hasanah, N. (2022). Development and Climate Change in OIC Countries: Examining Causality between Economic Development, Energy Consumption, and Emissions. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(4), 61–66. <https://doi.org/10.32479/ijeep.13058>
- Isnainul, O., Pakpahan, E. F., Hadlen, M., Michael, Danniell, & Violita, Ci. W. (2020). Peranan Investasi Asing Dalam Percepatan Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia. *JATISWARA*, 35(3), 241–254. <https://doi.org/https://doi.org/10.29303/jtsw.v35i3.266>
- Karaaslan, A., & Çamkaya, S. (2022). The relationship between CO2 emissions, economic growth, health expenditure, and renewable and non-renewable energy consumption: Empirical evidence from Turkey. *Renewable Energy*, 190, 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.139>
- Karedla, Y., Mishra, R., & Patel, N. (2021). The impact of economic growth, trade openness and manufacturing on CO2 emissions in India: an autoregressive distributive lag (ARDL) bounds test approach. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 26(52), 376–389. <https://doi.org/10.1108/JEFAS-05-2021-0057>
- Karimi, K., Putri, F. Z., Hamdi, M., Bakaruddin, & Rahayu, N. I. (2022). Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Jumlah Industri, Penanaman Modal Asing Dan Kemiskinan Terhadap Emisi Co2 Di Indonesia. *Jurnal Akuntansi Dan Ekonomika*, 12(2), 221–228. <https://doi.org/10.37859/jae.v12i2.4302>
- Karunia, M. R., Komarulzaman, A., & Tjahjawardita, A. (2023). Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan dan Emisi Karbon di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(1), 81–92. <https://doi.org/10.21002/jepi.2023.06>
- Keshavarzian, M., & Tabatabaieinasab, Z. (2022). The Effects of Electricity Consumption on CO2 Emissions in Iran. *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 14(7). <https://doi.org/10.1007/s40866-022-00140-3/Published>

- Kllavuz, E., & Doğan, I. (2021). Economic growth, openness, industry and CO₂ modelling: are regulatory policies important in Turkish economies? *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(2), 476–487. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa070>
- Kurniawan, R., Kautsar, S., Wahyuni, R. N. T., Gio, P. U., Wongsonadi, S. K., Zubaidi, M., & Andayani, F. (2025). Assessing economic and social determinants of carbon emissions towards sustainable development in West Java, Indonesia. *Carbon Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44246-025-00200-0>
- Kurniawan, R., & Managi, S. (2018). Economic Growth and Sustainable Development in Indonesia: An Assessment. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 54(3), 339–361. <https://doi.org/10.1080/00074918.2018.1450962>
- Kusumawardani, D., & Dewi, A. K. (2020). The effect of income inequality on carbon dioxide emissions: A case study of Indonesia. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04772>
- Lee, H. S., Moseykin, Y. N., & Chernikov, S. U. (2021). Sustainable relationship between FDI, R&D, and CO₂ emissions in emerging markets: An empirical analysis of BRICS countries. *Russian Journal of Economics*, 7(4), 297–312. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.7.77285>
- Li, B., & Haneklaus, N. (2022). Reducing CO₂ emissions in G7 countries: The role of clean energy consumption, trade openness and urbanization. *Energy Reports*, 8, 704–713. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.238>
- Li, P., Akhter, M. J., Aljarba, A., Akeel, H., & Khoj, H. (2022). G-20 economies and their environmental commitments: Fresh analysis based on energy consumption and economic growth. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.983136>
- Li, Y., Wei, Y., Zhang, D., Huo, Y., & Wu, M. (2020). Impacts Of Demographic Factors On Carbon Emissions Based On The Stirpat Model And The Pls Method: A Case Study Of Shanghai. *Environmental Engineering and Management Journal*, 19(8), 1443–1458. <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/http://www.eemj.eu>
- Lim, H., Kim, J., & Jo, H. H. (2020). Population age structure and greenhouse gas emissions from road transportation: A panel cointegration analysis of 21 OECD countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217734>
- Luo, Y., Salman, M., & Lu, Z. (2021). Heterogeneous impacts of environmental regulations and foreign direct investment on green innovation across different regions in China. *Science of the Total Environment*, 759. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143744>
- Malik, M. Y., Latif, K., Khan, Z., Butt, H. D., Hussain, M., & Nadeem, M. A. (2020). Symmetric and asymmetric impact of oil price, FDI and economic growth on carbon emission in Pakistan: Evidence from ARDL and non-linear ARDL approach. *Science of The Total Environment*, 726, 138421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138421>
- Manullang, R. R., Nasution, A. A., Nasution, A. A., Syofya, H., & Haeril, H. (2024). Analisis Pengaruh Investasi Asing dan Investasi Dalam Negeri Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Edunomika*, 8(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.29040/jie.v8i2.13133>

- Martial, A. A. A., Dechun, H., Voumik, L. C., Islam, M. J., & Majumder, S. C. (2023). Investigating the Influence of Tourism, GDP, Renewable Energy, and Electricity Consumption on Carbon Emissions in Low-Income Countries. *Energies*, 16(12). <https://doi.org/10.3390/en16124608>
- Massagony, A., & Budiono. (2023). Is the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis valid on CO2 emissions in Indonesia? *International Journal of Environmental Studies*, 80(1), 20–31. <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2029097>
- Mu Tashim, T., & Rudatin, A. (2024). Analisis ekonomi negara BRICS terhadap emisi karbon dioksida (CO2). *Jurnal Kebijakan Ekonomi Dan Keuangan*, 205–214. <https://doi.org/10.20885/jkek.vol2.iss2.art12>
- Nadeak, S. A. H., & Nasrudin. (2023). Pengaruh PDB per Kapita dan Konsumsi Energi terhadap Emisi GRK di Indonesia The Effect of GDP Per Capita and Energy Consumption on GHG Emissions in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(2), 128–145.
- Nikensari, I., Destilawati, S., & Nurjanah, S. (2019). Studi Environmental Kuznets Curve di Asia: Sebelum dan Setelah Millennium. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, 27, 11–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.14203/JEP.27.2.2019.11-25>
- Noor, M. A., & Saputra, P. M. A. (2020). Emisi Karbon dan Produk Domestik Bruto: Investigasi Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) pada Negara Berpendapatan Menengah di Kawasan ASEAN. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 8(3), 230–246. <https://doi.org/10.14710/jwl.8.3.230-246>
- Nurwahyuni, S., Rayka, M., Alwasi, Y., Komaludin, A., & Faturrohman, R. (2023). Pengaruh Investasi Asing Langsung, Upah Kerja dan Literasi Tenaga Kerja Terhadap Industri Manufaktur di Indonesia. 4(1). <http://jurnal.unsil.ac.id/index.php/welfare>
- Osman, Y. (2024). The Correlation among Industrial Economic Growth, Renewable Energy Provision and CO2 Emissions in Saudi Arabia. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 20, 339–349. <https://doi.org/10.37394/232015.2024.20.33>
- Panayotou, T. (2003). *Economic Growth and The Environment*.
- Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, 187, 770–779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.236>
- Pata, U. K., & Caglar, A. E. (2021). Investigating the EKC hypothesis with renewable energy consumption, human capital, globalization and trade openness for China: Evidence from augmented ARDL approach with a structural break. *Energy*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119220>
- Pata, U. K., Dam, M. M., & Kaya, F. (2023). How effective are renewable energy, tourism, trade openness, and foreign direct investment on CO2 emissions? An EKC analysis for ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14821–14837. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23160-z>
- Pazienza, P. (2019). The impact of FDI in the OECD manufacturing sector on CO2 emission: Evidence and policy issues. *Environmental Impact Assessment Review*, 77, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.04.002>

- Petrović, P., Nikolić, G., & Ostojić, I. (2018). Emissions of CO₂ in the European Union: Empirical analysis of demographic, economic and technological factors. *Stanovništvo*, 56(1), 63–82. <https://doi.org/10.2298/STNV180614005P>
- Pham, P. M. H., Nguyen, T. D., Nguyen, M., & Tran, N. T. (2025). FDI inflows and carbon emissions: new global evidence. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01292-9>
- Prasetyanto, P. K., & Sari, F. (2021). Environmental kuznets curve: Economic growth with environmental degradation in indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(5), 622–628. <https://doi.org/10.32479/IJEEP.11609>
- Pratama, A. S., Didin, D., & Permadi, A. (2024). Pengaruh Emisi dari Kegiatan Industri Manufaktur terhadap Kualitas Udara (PM_{2.5}, PM₁₀, Black Carbon dan Organic Carbon) di Kota Tangerang. In *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 10, Issue 2).
- Pratama, Y. P. (2020). Konsensus Kemitraan Global PBB (MDGs & SDGs), Hipotesis Environmental Kuznet Curve (EKC), dan Degradasi Kualitas Udara di Indonesia Periode 1980-2018. *Diponegoro Journal Of Economics*, 9, 1–3810. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jme>
- Purno, M., Hermana, B., & Sudaryanto, S. (2025). *Pengaruh Foreign Direct Investment (FDI) & Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) Terhadap Kinerja Industri Manufaktur dan Dampaknya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi /PDRB (Studi Kasus di Kota Tangerang)* (Vol. 19, Issue 1).
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwiati, A. (2022). *Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Pertumbuhan Penduduk, dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO₂ di Indonesia*. 1(6), 1070–1080. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet>
- Rakhmawati, A., & Boedirochminarni, A. (2018). Analisis Tingkat Penyerapan Tenaga Kerja Sektor Industri di Kabupaten Gresik. In *Jurnal Ilmu Ekonomi* (Vol. 2).
- Rauf, A., Zhang, J., Li, J., & Amin, W. (2018). Structural changes, energy consumption and carbon emissions in China: Empirical evidence from ARDL bound testing model. *Structural Change and Economic Dynamics*, 47, 194–206. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2018.08.010>
- Saragih, J. P. (2018). *Kinerja Industri Manufaktur di Provinsi-provinsi Sumatera Tahun 2010-2015*. 131–146.
- Sari, I., & Karimi, K. (2023). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Jumlah Penduduk Dan Konsumsi Energi Terhadap Degradasi Lingkungan Di Indonesia. *Jurnal Economic Development*, 1(1).
- Shah, W. U. H., Yasmeen, R., & Padda, I. U. H. (2019). An analysis between financial development, institutions, and the environment: a global view. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(21), 21437–21449. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05450-1>
- Siregar, E. S., & Nasution, M. W. (2020). Dampak Aktivitas Ekonomi terhadap Pencemaran Lingkungan Hidup (Studi Kasus di Kota Pejuang, Kotanopan). *Jurnal Education and Development*, 8(4).

- Solarin, S. A., Al-Mulali, U., Musah, I., & Ozturk, I. (2017). Investigating the pollution haven hypothesis in Ghana: An empirical investigation. *Energy*, 124, 706–719. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.089>
- Steve, Y. S., Murad, A. B., Gyamfi, B. A., Bekun, F. V., & Uzuner, G. (2022). Renewable energy consumption a panacea for Sustainable economic growth: panel causality analysis for African blocs. *International Journal of Green Energy*, 19(8), 847–856. <https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1966793>
- Sukirno, S. (2006). *Ekonomi Pembangunan: Proses, Masalah, dan Dasar Kebijakan*. Prenada Media Group.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2011). *Pembangunan Ekonomi Jilid 1 Edisi 11 (Ke-11)* (Adi Maulana & Novietha Indra Sallama, Eds.; Agus Dharma, Trans.). Penerbit Erlangga.
- Verbeek, M. (2004). *A Guide to Modern Econometrics 2nd edition* (2nd Edition). John Wiley & Sons Inc.
- Wahyudi, H. (2024). The Effect of GDP per Capita, Population, and Income Inequality on CO2 Emissions in Indonesia. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 20, 616–623. <https://doi.org/10.37394/232015.2024.20.59>
- Wahyudi, H., Gunarto, T., Ciptawaty, U., Aida, N., Yunita, R., & Putri, R. M. (2024). The Influence of Determinants on CO2 Emission in Indonesia for a Decade. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(1), 61–65. <https://doi.org/10.32479/ijeep.15132>
- Wang, A., Zheng, W., Tan, Z., Han, M., & Chan, E. H. W. (2024). Synergies and trade-offs in achieving sustainable targets of urban renewal: A decision-making support framework. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. <https://doi.org/10.1177/23998083241261750>
- Xie, Q., Wang, X., & Cong, X. (2020). How does foreign direct investment affect CO2 emissions in emerging countries? New findings from a nonlinear panel analysis. *Journal of Cleaner Production*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119422>
- Yahaya, N. S., Hussaini, M., & Bashir, A. B. (2020). Population Growth and Environmental Degradation in Nigeria. *Academic Journal of Economic Studies*, 6(1), 31–35.
- Yang, M., Wang, E. Z., & Hou, Y. (2021). The relationship between manufacturing growth and CO2 emissions: Does renewable energy consumption matter? *Energy*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121032>
- Yanuarti, W. A., & Rachmawati, L. (2024). Analyzing Sustainable Development in Indonesia Based on Environmental Kuznet Curve. *JEJAK*, 17(1), 42–56. <https://doi.org/10.15294/jejak.v17i1.5584>
- Yaqoob, M., Mhd Bani, N. Y. B., Ishaq, S., & Rosland, A. B. (2024). Estimating the effect of population age distribution on CO2 emissions in developing countries. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 13(4), 489–502. <https://doi.org/10.1080/21606544.2024.2309944>
- Yu, H., & Liu, H. (2024). Impact of digitization on carbon productivity: an empirical analysis of 136 countries. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55848-2>

Zubair, A. O., Abdul Samad, A. R., & Dankumo, A. M. (2020). Does gross domestic income, trade integration, FDI inflows, GDP, and capital reduces CO2 emissions? An empirical evidence from Nigeria. *Current Research in Environmental Sustainability*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100009>