

Pengaruh PDB Sektor Pertambangan dan Penggalian, Industri Pengolahan, serta Transportasi dan Pergudangan terhadap Emisi CO₂ di Indonesia

Relli Anisma Hutabalian¹, Putri Sari Margaret Julianty Silaban²

^{1,2} Program Studi Ilmu Ekonomi, Universitas Negeri Medan

e-mail: rellianisma.7223240020@mhs.unimed.ac.id¹, Poetrisilaban@unimed.ac.id²

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Produk Domestik Bruto (PDB) sektor pertambangan dan penggalian, industri pengolahan, serta transportasi dan pergudangan terhadap emisi CO₂ di Indonesia periode 2000–2024. Penelitian ini menggunakan data sekunder dalam bentuk data runtut waktu (time series) yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Institute Energy, dengan metode analisis Error Correction Model (ECM) yang mencakup uji stasioneritas, uji kointegrasi, uji asumsi klasik, serta uji hipotesis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. PDB sektor industri pengolahan tidak berpengaruh signifikan dalam jangka pendek, namun berpengaruh negatif dan signifikan dalam jangka panjang. Sementara itu, PDB sektor transportasi dan pergudangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Secara simultan, ketiga variabel independen terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, dengan kemampuan model menjelaskan variasi emisi sebesar 94,14% dalam jangka panjang. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengendalian emisi CO₂ di Indonesia memerlukan kebijakan lintas sektor yang mendorong efisiensi energi, adopsi teknologi bersih, dan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Emisi CO₂, PDB Sektoral, Pertambangan Dan Penggalian, Industri Pengolahan, Transportasi Dan Pergudangan, Error Correction Model (ECM)

Abstract

This study aims to analyze the effect of the Gross Domestic Product (GDP) of the mining and quarrying, manufacturing, and transportation and warehousing sectors on CO₂ emissions in Indonesia for the period 2000–2024. This study uses secondary data in the form of time series data obtained from the Central Bureau of Statistics (BPS) and Institute Energy, with the Error Correction Model (ECM) as the analytical method, encompassing stationarity tests, cointegration tests, classical assumption tests, and hypothesis testing. The results indicate that the GDP of the mining and quarrying sector has no significant effect on CO₂ emissions

in either the short or long run. The GDP of the manufacturing sector has no significant effect in the short run, but has a negative and significant effect in the long run. Meanwhile, the GDP of the transportation and warehousing sector has a positive and significant effect on CO₂ emissions in both the short and long run. Simultaneously, all three independent variables are proven to significantly affect CO₂ emissions, with the model explaining 94.14% of emission variations in the long run. These findings indicate that controlling CO₂ emissions in Indonesia requires cross-sectoral policies that promote energy efficiency, clean technology adoption, and sustainable resource management.

Keywords: CO₂ Emissions, Sectoral GDP, Mining and Quarrying, Manufacturing Industry, Transportation and Warehousing, Error Correction Model (ECM)

LATAR BELAKANG

Pembangunan ekonomi memiliki keterkaitan langsung dengan peningkatan kapasitas produksi, perluasan lapangan kerja, dan perbaikan kualitas hidup penduduk. Namun, intensifikasi kegiatan ekonomi khususnya pada sektor industri pengolahan, pertambangan dan penggalan, serta transportasi dan pergudangan mendorong permintaan energi fosil yang semakin tinggi, yang pada gilirannya mempercepat peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂). International Energy Agency (2009) mencatat bahwa sektor energi dan transportasi merupakan kontributor dominan dalam total emisi global, mencerminkan bahwa pertumbuhan ekonomi dunia hingga kini masih bertumpu pada pola konsumsi energi yang tidak berwawasan lingkungan.

Di Indonesia, pembangunan ekonomi masih sangat bergantung pada pemanfaatan sumber daya alam dan energi fosil. Sektor pertambangan dan penggalan, industri pengolahan, serta transportasi dan pergudangan memberikan kontribusi nyata terhadap PDB nasional, sekaligus menjadi penyumbang emisi CO₂ terbesar dalam struktur emisi nasional (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Total emisi gas rumah kaca Indonesia bahkan telah melampaui 1,2 miliar ton CO₂ ekuivalen (Ahdiat, 2023), dengan dampak yang tidak hanya menyentuh kualitas lingkungan, tetapi juga menimbulkan konsekuensi ekonomi serius berupa kenaikan biaya kesehatan, kerusakan infrastruktur, dan penurunan produktivitas akibat perubahan iklim.

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ secara teoritis dapat dijelaskan melalui kerangka Environmental Kuznets Curve (EKC) yang dirumuskan Grossman dan Krueger (1991). Teori ini menggambarkan pola kurva U-terbalik, di mana pada fase awal pembangunan kenaikan PDB cenderung diikuti peningkatan emisi, namun setelah melewati ambang pendapatan tertentu, pertumbuhan ekonomi justru mendorong penurunan emisi melalui adopsi teknologi efisien dan transisi energi bersih. Meski demikian, hipotesis ini belum sepenuhnya terkonfirmasi di Indonesia; Febriyanto dan Panjawa (2020) menemukan bahwa pola U-terbalik tersebut belum terbentuk, sementara Mazwan dan Tain (2024) justru menemukan hasil yang selaras dengan prediksi EKC.

Salah satu sektor yang berkontribusi signifikan adalah sektor pertambangan dan penggalan, yang mencakup subsektor minyak, gas dan panas bumi, batu bara dan lignit,

serta bijih logam. Komoditas unggulan seperti batu bara dan nikel tidak hanya memenuhi kebutuhan domestik, tetapi juga memperkuat ekspor Indonesia di pasar internasional (Irhani et al., 2024). Hubungan antara pengelolaan sumber daya alam dan pertumbuhan ekonomi ini dapat dijelaskan melalui teori *Resource Curse*, di mana Mehlum, Moene, dan Torvik (2006) menunjukkan bahwa negara dengan tata kelola institusi yang kuat mampu mengoptimalkan sumber daya alam secara produktif, sementara institusi yang lemah cenderung berujung pada kerusakan lingkungan dan ketimpangan ekonomi. Di sisi lain, sektor pertambangan juga menjadi salah satu penyumbang emisi CO₂ terbesar secara nasional. Penggunaan alat berat berbahan bakar solar, proses pengolahan mineral yang padat energi, serta pembukaan lahan yang mengurangi tutupan hutan menjadi sumber utama emisi di sektor ini. Pada tahun 2022, sektor pertambangan diperkirakan menghasilkan sekitar 1,2 miliar ton CO₂ ekuivalen atau setara dengan 40% dari total emisi nasional (Nurpratiwi et al., 2023). Kondisi ini memperlihatkan bahwa pertumbuhan PDB sektor pertambangan berpotensi memperbesar tekanan terhadap lingkungan, meskipun penerapan teknologi efisien dan pengelolaan sumber daya yang berkelanjutan membuka peluang untuk menekan emisi karbon di masa depan.

Selain sektor pertambangan, sektor industri pengolahan juga merupakan kontributor signifikan terhadap emisi CO₂ nasional, dengan kontribusi sebesar 25% dari total emisi nasional (Khasanah, 2021). Sektor ini mencakup berbagai kegiatan transformasi bahan baku menjadi produk bernilai tambah tinggi dan ditetapkan sebagai prioritas utama dalam RPJMN 2020–2024. Pertumbuhan sektor industri memperkuat struktur ekonomi melalui ekspansi produksi, penyerapan tenaga kerja, dan peningkatan penerimaan negara, namun sebagian besar energi yang dikonsumsi masih bersumber dari bahan bakar fosil sehingga setiap peningkatan aktivitas produksi cenderung diikuti kenaikan emisi CO₂ (Wahyuning, 2024).

Hubungan antara PDB sektor industri pengolahan dan emisi CO₂ dapat dijelaskan melalui *Pollution Haven Hypothesis*, yang menyatakan bahwa ekspansi industri di negara berkembang berpotensi meningkatkan emisi akibat tingginya ketergantungan pada energi fosil. Meski demikian, apabila industrialisasi diimbangi dengan penerapan teknologi bersih, efisiensi energi, dan kebijakan industri hijau, pertumbuhan PDB sektor industri justru berpotensi menekan emisi CO₂, sebagaimana ditunjukkan oleh Andarini et al. (2016). Hal ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi tertentu, hubungan antara PDB industri pengolahan dan emisi CO₂ dapat bersifat negatif, di mana pertumbuhan ekonomi sektor ini tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan emisi.

Di samping kedua sektor sebelumnya, sektor transportasi dan pergudangan juga memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia sebagai penyedia layanan pengangkutan yang memperlancar distribusi barang dan mobilitas masyarakat. Sektor ini mencakup angkutan darat, laut, udara, rel, pergudangan, serta jasa pos dan kurir. Pertumbuhan sektor transportasi mendorong efisiensi logistik, konektivitas antarwilayah, dan berkembangnya investasi di berbagai daerah. Namun, percepatan ekonomi yang diikuti meningkatnya permintaan transportasi turut mendorong konsumsi bahan bakar fosil yang lebih besar, sehingga sektor ini menjadi penyumbang emisi CO₂ terbesar dengan kontribusi diperkirakan mencapai 60% dari total emisi nasional (Khasanah, 2021). Tingginya emisi ini disebabkan oleh dominasi kendaraan berbahan bakar konvensional dan tingginya preferensi

masyarakat terhadap kendaraan pribadi di tengah terbatasnya moda transportasi rendah emisi (Andarini et al., 2016).

Hubungan antara PDB sektor transportasi dan emisi CO₂ dijelaskan melalui konsep Transport Emission Nexus, yang menegaskan bahwa peningkatan aktivitas transportasi secara langsung mendorong konsumsi energi fosil dan emisi karbon. Rahmasari et al. (2023) menemukan bahwa kendaraan bermotor berkontribusi besar terhadap emisi perkotaan, di mana sepeda motor menjadi penyumbang utama emisi CO dan PM₁₀, sementara truk menghasilkan emisi NO_x dan SO₂ tertinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan PDB sektor transportasi cenderung berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Meski demikian, penerapan sistem transportasi efisien, teknologi rendah karbon, dan perbaikan sistem logistik berpotensi menekan emisi dalam jangka panjang.

Pertumbuhan ekonomi yang tercermin melalui PDB sektoral tidak selalu berkorelasi positif dengan emisi CO₂. Melalui kerangka Environmental Kuznets Curve (EKC) yang dirumuskan Grossman dan Krueger sebagaimana didukung Dinda (2004), dijelaskan bahwa setelah melewati ambang pendapatan tertentu, pertumbuhan ekonomi justru dapat menekan emisi melalui adopsi teknologi efisien, peralihan energi bersih, dan penguatan regulasi lingkungan. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi tertentu, hubungan antara PDB sektoral dan emisi CO₂ dapat bersifat negatif, di mana pertumbuhan ekonomi tidak lagi selalu berbanding lurus dengan peningkatan emisi karbon.

Meskipun kajian mengenai pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon telah berkembang, penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh PDB sektor pertambangan dan penggalian, industri pengolahan, serta transportasi dan pergudangan terhadap emisi CO₂ di Indonesia secara bersamaan masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ketiga sektor tersebut terhadap emisi CO₂ di Indonesia baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang menggunakan Error Correction Model (ECM), sehingga dapat menjadi landasan ilmiah bagi perumusan kebijakan mitigasi emisi yang lebih efektif dan mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder dalam bentuk data runtut waktu (time series) tahun 2000–2024 yang diperoleh melalui teknik dokumentasi dari situs resmi Badan Pusat Statistik (BPS) dan Institute Energy. Variabel independen mencakup PDB sektor pertambangan dan penggalian, industri pengolahan, serta transportasi dan pergudangan, sedangkan emisi CO₂ ditempatkan sebagai variabel dependen. Metode analisis yang digunakan adalah Error Correction Model (ECM) untuk mengkaji dinamika hubungan jangka pendek dan jangka panjang antarvariabel, dengan tahapan meliputi uji stasioneritas, uji kointegrasi, penghitungan Error Correction Term (ECT), uji asumsi klasik, serta uji hipotesis untuk memastikan validitas dan keandalan hasil estimasi, yang seluruhnya diolah menggunakan perangkat lunak Eviews 12.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil
Uji stasioner**

Variabel	Level	1st Difference	2nd Difference
	Prob.	Prob.	Prob.
Emisi CO ₂	0.9012	0.0004	0.0000
PDB Pertambangan dan Penggalian	0.0428	0.0018	0.0003
PDB Industri Pengolahan	0.7861	0.0008	0.0002
PDB Transportasi dan Pergudangan	0.1852	0.0007	0.0000

Tabel 1. Hasil Uji Stasioner

Seluruh variabel menunjukkan nilai probabilitas yang lebih kecil dari 0,05. Nilai tersebut meliputi emisi CO₂ sebesar 0,0004, PDB sektor pertambangan dan penggalian sebesar 0,0018, PDB sektor industri pengolahan sebesar 0,0008, serta PDB sektor transportasi dan pergudangan sebesar 0,0007. Dengan demikian, seluruh variabel telah memenuhi kriteria stasioner pada tingkat first difference.

Uji Kointegrasi

Null Hypothesis: ECT has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=5)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.319182	0.0252
Test critical values: 1% level	-3.737853	
5% level	-2.991878	
10% level	-2.635542	

Gambar 1. Hasil Uji Kointegrasi

Nilai probabilitas ADF yang diperoleh dari residual atau Error Correction Term (ECT) adalah sebesar 0,0252, yang berada di bawah ambang batas signifikansi 5 persen, sehingga residual dapat dinyatakan telah memenuhi syarat stasioner. Dengan demikian, keseluruhan variabel yang digunakan dalam penelitian ini terbukti terkointegrasi, sehingga estimasi menggunakan model ECM dapat dilanjutkan guna mengkaji dinamika hubungan jangka pendek maupun jangka panjang antar variabel yang diteliti.

Uji Estimasi ECM**1. Uji Estimasi ECM Jangka Pendek**

Dependent Variable: D(EMISI)				
Method: Least Squares				
Date: 06/21/25 Time: 15:42				
Sample (adjusted): 2001 2024				
Included observations: 24 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PERTAMBANGAN)	0.011656	0.008066	1.445107	0.1647
D(INDUSTRI)	-0.031841	0.016388	-1.942950	0.0670
D(TRANSPORTASI)	0.054360	0.010826	2.887464	0.0094
ECT(-1)	-0.480983	0.207669	-2.316110	0.0319
C	0.025161	0.012635	1.991374	0.0610
R-squared	0.457042	Mean dependent var	0.041245	
Adjusted R-squared	0.342735	S.D. dependent var	0.061196	
S.E. of regression	0.049613	Akaike info criterion	-2.985092	
Sum squared resid	0.046767	Schwarz criterion	-2.740664	
Log likelihood	40.83310	Hannan-Quinn criter.	-2.920980	
F-statistic	3.996378	Durbin-Watson stat.	1.812983	
Prob(F-statistic)	0.016143			

Gambar 2. Hasil Uji Estimasi Jangka Pendek

Dalam jangka pendek, hanya PDB sektor transportasi dan perdagangan yang berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dengan koefisien 0,054360 dan probabilitas 0,0094, sementara PDB sektor pertambangan dan penggalian serta industri pengolahan tidak berpengaruh signifikan. Nilai ECT(-1) sebesar -0,480983 dengan probabilitas 0,0319 mengkonfirmasi mekanisme koreksi ketidakseimbangan, di mana sekitar 48,10% ketidakseimbangan periode sebelumnya terkoreksi pada periode berjalan.

2. Uji Estimasi ECM Jangka Panjang

Dependent Variable: EMISI
Method: Least Squares
Date: 06/21/26 Time: 17:19
Sample: 2000 2024
Included observations: 25

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PERTAMBANGAN	0.014465	0.008796	1.644581	0.1149
INDUSTRI	-0.075459	0.003931	-19.19629	0.0000
TRANSPORTASI	0.088116	0.017992	4.897374	0.0001
C	7.452367	0.107146	69.55358	0.0000

R-squared	0.948769	Mean dependent var	6.311305
Adjusted R-squared	0.941450	S.D. dependent var	0.269739
S.E. of regression	0.065269	Akaike info criterion	-2.474956
Sum squared resid	0.089461	Schwarz criterion	-2.279935
Log likelihood	34.93695	Hannan-Quinn criter.	-2.420865
F-statistic	129.6361	Durbin-Watson stat	1.187894
Prob(F-statistic)	0.000000		

Gambar 3. Hasil Uji Estimasi Jangka Panjang

Dalam jangka panjang, PDB sektor industri pengolahan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dengan koefisien -0,075459 dan probabilitas 0,0000, sedangkan PDB sektor transportasi dan perdagangan berpengaruh positif dan signifikan dengan koefisien 0,088116 dan probabilitas 0,0001. Adapun PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak terbukti berpengaruh signifikan dengan probabilitas 0,1149.

Uji Asumsi Klasik

Hasil uji asumsi klasik baik pada model jangka pendek maupun jangka panjang menunjukkan bahwa seluruh asumsi telah terpenuhi. Residual berdistribusi normal dengan nilai Jarque-Bera 0,046196 dan 0,404779, bebas dari heteroskedastisitas dengan nilai Prob. Chi-Square masing-masing 0,4128 dan 0,9266, tidak mengandung multikolinearitas dengan seluruh nilai VIF di bawah 10, serta bebas dari autokorelasi dengan nilai Prob. Chi-Square 0,7302 dan 0,3809.

Uji Hipotesis

Uji Hipotesis Jangka Pendek:

1. Uji Parsial (Uji t) Jangka Pendek

Secara parsial, hanya PDB sektor transportasi dan perdagangan yang berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek dengan t-statistic 2,887464 dan probabilitas 0,0094, sedangkan PDB sektor pertambangan dan penggalian (prob. 0,1647) dan industri pengolahan (prob. 0,0670) tidak berpengaruh signifikan.

2. Uji Simultan (Uji F) Jangka Pendek

Secara simultan, seluruh variabel independen berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dengan F-statistic 3,998378 dan probabilitas 0,016143.

3. Uji Koefisien Determinasi (R²) Jangka Pendek

Nilai Adjusted R-squared sebesar 0,342735 mengindikasikan bahwa ketiga variabel independen mampu menjelaskan 34,27% variasi emisi CO₂, sedangkan sisanya 65,73% dipengaruhi variabel lain di luar model.

Uji Hipotesis Jangka Panjang:

1. Uji Parsial (Uji t) Jangka Panjang

Secara parsial, PDB sektor industri pengolahan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dengan t-statistic -19,19629 dan probabilitas 0,0000, serta PDB sektor transportasi dan pergudangan berpengaruh positif dan signifikan dengan t-statistic 4,897374 dan probabilitas 0,0001. Sementara PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak berpengaruh signifikan dengan probabilitas 0,1149.

2. Uji Simultan (Uji F) Jangka Panjang

Secara simultan, ketiga variabel independen berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dengan F-statistic 129,6361 dan probabilitas 0,000000.

3. Uji Koefisien Determinasi (R²) Jangka Panjang

Nilai Adjusted R-squared sebesar 0,941450 mengindikasikan bahwa ketiga variabel independen mampu menjelaskan 94,14% variasi emisi CO₂ dalam jangka panjang, sedangkan sisanya 5,86% dipengaruhi variabel lain di luar model.

Pembahasan Hasil Penelitian

1. Pengaruh PDB Sektor Pertambangan dan Penggalian terhadap Emisi CO₂

Hasil estimasi ECM menunjukkan bahwa PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek (koef. 0,011656; prob. 0,1647) maupun jangka panjang (koef. 0,014465; prob. 0,1149). Meskipun arah hubungan bersifat positif yang mengindikasikan bahwa kenaikan PDB sektor ini berpotensi mendorong peningkatan emisi, pengaruh tersebut belum dapat dibuktikan secara statistik. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan karakteristik aktivitas pertambangan yang melibatkan penggunaan alat berat, proses eksplorasi dan ekstraksi sumber daya alam, serta kegiatan pengangkutan hasil produksi yang memerlukan konsumsi energi cukup besar. Namun demikian, peningkatan efisiensi operasional dan penerapan regulasi lingkungan yang semakin ketat diduga menjadi faktor yang meredam dampak langsung ekspansi sektor ini terhadap emisi karbon. Temuan ini tidak sejalan dengan prediksi teori EKC yang mengantisipasi adanya hubungan antara perkembangan ekonomi dan perubahan kualitas lingkungan, dan sejalan dengan Dewi dkk. (2026) yang menyimpulkan bahwa PDRB sektor pertambangan tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

2. Pengaruh PDB Sektor Industri Pengolahan terhadap Emisi CO₂

Dalam jangka pendek, PDB sektor industri pengolahan tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ (koef. -0,031841; prob. 0,0670), mengindikasikan bahwa perubahan aktivitas industri dalam periode singkat belum mampu menghasilkan dampak yang nyata terhadap emisi karbon. Namun dalam jangka panjang, sektor ini terbukti berpengaruh negatif

dan signifikan terhadap emisi CO₂ (koef. -0,075459; prob. 0,0000), yang berarti bahwa pertumbuhan PDB sektor industri pengolahan dalam jangka panjang justru cenderung menekan emisi CO₂. Hal ini dapat dikaitkan dengan kecenderungan sektor industri untuk secara bertahap meningkatkan efisiensi produksi, mengadopsi teknologi yang lebih mutakhir, serta menerapkan standar lingkungan yang lebih ketat seiring berjalannya waktu. Temuan ini sejalan dengan kerangka teori EKC yang menyatakan bahwa pada tingkat perkembangan ekonomi tertentu, pertumbuhan aktivitas ekonomi justru dapat mendorong perbaikan kualitas lingkungan, serta didukung oleh penelitian Andarini dkk. (2016) dan Nadia Novara (2022) yang menemukan hasil serupa. Dengan demikian, hipotesis pengaruh negatif dan signifikan PDB sektor industri pengolahan terhadap emisi CO₂ dapat diterima dalam jangka panjang, namun tidak terbukti dalam jangka pendek.

3. Pengaruh PDB Sektor Transportasi dan Pergudangan terhadap Emisi CO₂

PDB sektor transportasi dan pergudangan terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek (koef. 0,054360; prob. 0,0094) maupun jangka panjang (koef. 0,088116; prob. 0,0001), dengan pengaruh yang semakin besar dalam jangka panjang. Hasil ini mencerminkan bahwa sektor transportasi Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga setiap peningkatan aktivitas transportasi dan pergudangan diikuti oleh kenaikan konsumsi energi dan emisi karbon. Pertambahan jumlah kendaraan, tingginya volume kegiatan logistik, serta meningkatnya kebutuhan transportasi seiring pertumbuhan ekonomi menyebabkan konsumsi bahan bakar semakin meningkat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sektor transportasi Indonesia masih berada pada fase awal kurva EKC, di mana pertumbuhan ekonomi masih beriringan dengan peningkatan emisi akibat tingginya intensitas penggunaan energi fosil. Temuan ini selaras dengan penelitian Poetri (2021) dan Andarini dkk. (2016) yang juga menemukan bahwa PDB sektor transportasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Oleh karena itu, pengembangan teknologi transportasi yang lebih ramah lingkungan dan pemanfaatan energi bersih menjadi langkah strategis yang perlu diupayakan agar pertumbuhan sektor ini tidak semakin memperburuk kualitas lingkungan.

4. Pengaruh Simultan PDB Sektor Pertambangan dan Penggalan, Industri Pengolahan serta Transportasi dan Pergudangan terhadap Emisi CO₂

Secara simultan, ketiga variabel independen terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek (F-stat. 3,998378; prob. 0,0161) maupun jangka panjang (F-stat. 129,6361; prob. 0,0000). Nilai Adjusted R-squared jangka panjang yang mencapai 0,941450 menunjukkan bahwa 94,14% variasi emisi CO₂ di Indonesia dapat dijelaskan oleh ketiga variabel tersebut, mencerminkan daya penjelas model yang sangat kuat. Temuan ini menegaskan bahwa dinamika aktivitas ekonomi pada sektor pertambangan dan penggalan, industri pengolahan, serta transportasi dan pergudangan memiliki keterkaitan yang nyata dengan perubahan emisi karbon di Indonesia. Setiap sektor memerlukan energi dalam menjalankan aktivitasnya, meskipun besarnya kontribusi masing-masing terhadap emisi CO₂ berbeda-beda. Dengan demikian, upaya pengendalian emisi tidak cukup jika hanya difokuskan pada satu sektor tertentu, melainkan harus didukung oleh kebijakan lintas sektor

yang mendorong peningkatan efisiensi energi dan penerapan teknologi produksi yang lebih ramah lingkungan secara menyeluruh.

SIMPULAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Error Correction Model (ECM) dengan data time series periode 2000–2024, diperoleh kesimpulan bahwa PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek (koef. 0,011656; prob. 0,1647) maupun jangka panjang (koef. 0,014465; prob. 0,1149). PDB sektor industri pengolahan tidak berpengaruh signifikan dalam jangka pendek (koef. -0,031841; prob. 0,0670), namun berpengaruh negatif dan signifikan dalam jangka panjang (koef. -0,075459; prob. 0,0000). Sementara itu, PDB sektor transportasi dan pergudangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek (koef. 0,054360; prob. 0,0094) maupun jangka panjang (koef. 0,088116; prob. 0,0001). Secara simultan, ketiga variabel independen terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek (prob. 0,0161) maupun jangka panjang (prob. 0,0000), dengan kemampuan model menjelaskan variasi emisi CO₂ sebesar 34,27% dalam jangka pendek dan 94,14% dalam jangka panjang.

2. Saran

Meskipun PDB sektor pertambangan dan penggalian tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam tetap perlu diarahkan menuju pengelolaan yang lebih berkelanjutan melalui penerapan teknologi efisien dan pengurangan ketergantungan pada energi beremisi tinggi. Pada sektor industri pengolahan, transformasi menuju industri yang lebih efisien dan berorientasi keberlanjutan perlu terus dipacu, mengingat dalam jangka panjang perkembangan sektor ini terbukti berpotensi menekan emisi CO₂. Adapun pada sektor transportasi dan pergudangan yang terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi, diperlukan penguatan kebijakan pengendalian emisi melalui optimalisasi sistem transportasi, peningkatan infrastruktur, dan penerapan teknologi rendah emisi. Secara keseluruhan, kebijakan pembangunan ekonomi lintas sektor perlu dirumuskan tidak semata-mata untuk mengejar pertumbuhan ekonomi, melainkan juga untuk membentuk struktur ekonomi yang berpijak pada prinsip keberlanjutan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiat, A. (2023). Sektor Energi Sumbang 55% Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Pada 2023. Databoks.
- Andarini, Idris, H., & 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.
- Badan Pusat Statistik. (N.D.). Seri 2000: Distribusi PDB Triwulanan Atas Dasar Harga Berlaku Menurut Lapangan Usaha (Persen), 2000–2014.

- Badan Pusat Statistik. (2024). Distribusi Persentase Produk Domestik Bruto Atas Dasar Harga Berlaku Menurut Lapangan Usaha (Persen), 2021.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Produk Domestik Bruto Indonesia Triwulanan 2020-2024. Badan Pusat Statistik.
- Dewi, J. A. K., Aprilia, S. A., & Yuliawati, Y. (2026). An Analysis Of The Factors Influencing Carbon Emissions In Indonesia. *Jurnal Penelitian Ekonomi Dan Bisnis*, 11(1), 65–76.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis : A Survey. *ECOLOGICAL ECONOMICS*, 49, 431–455.
- Energy Institute. (2025). Statistical Review Of World Energy. <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- Febriyanto, A. D., & Panjawa, J. L. (2020). Economic Growth And Carbon Emissions : Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis In Indonesia From 1990 To 2020. *JURNAL EKONOMI PEMBANGUNAN (JEP)*, 13(1), 1–14.
- International Energy Agency. (2009). Transportasi, Energi, Dan CO2 Bergerak Menuju Keberlanjutan. IEA.
- Irham, F., R. M. Z. D., Fauzan, R. G., & Pramasha, R. R. (2024). Peran Sumber Daya Alam Dalam Mendorong Perekonomian Nasional. *JURNAL MEDIA AKADEMIK (JMA)*, 2(11), 1–17. <https://doi.org/10.62281>.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. (2024). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2023 (Vol. 9).
- Khasanah, L. (2021). Dampak Ketimpangan Pendapatan, Tata Kelola Pemerintahan Dan Korupsi Terhadap Tingkat Kemiskinan Di Indonesia. *Bharanomics*, 1(2), 75–81.
- Mazwan, M. Z., & Tain, A. (2024). Analisis Environmental Kuznets Curve (Menyeimbangkan Industri Hijau Dan Degradasi Lingkungan Di Indonesia).
- Nadia Novara. (2022). Pengaruh Pertumbuhan Pdb Sektoral Terhadap Emisi Co2 Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa Dan Pertanian (JIMDP)*, 9(6), 561–572.
- Nurpratiwi, T., Mulatsih, E. S., & Fikriyansyah, A. (2023). Peran Perempuan Di Dewan Dalam Mendorong Pengungkapan Emisi Karbon Dengan Kebijakan Pajak Karbon. *Al-Buhuts E-Journal*, 19(2), 187–208.
- Poetri, F. D. (2021). The Effect Of Industrial Sector And Transportation Sector On CO₂ Emissions In Indonesia. *AFEBI Economic And Finance Review*, 6(2), 121–133.
- Wahyuning, S. (2024). Literature Review: Pembangunan Industri Inklusif Berbasis Low Carbon Development. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 4(1), 59–63.