ANALISIS PENGARUH KONSUMSI ENERGI FOSIL TERHADAP EMISI KARBON DI INDONESIA: PENDEKATAN REGRESI DATA *TIME SERIES*

Milasari[1)] Rofiqoh Nur Rohmah[2)]

[1] Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
[2] Program Studi Manajemen Bisnis, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: milasari@ppns.ac.id

Abstract

Increased carbon emissions in Indonesia are driven largely by fossil fuel usage. High reliance on coal, petroleum, and natural gas to fulfill national energy needs poses substantial challenges to environmental sustainability and climate action. This research evaluates how fossil energy usage impacts carbon emissions across Indonesia through a time-series regression framework. Annual data from 1990–2024 were obtained from Our World in Data, covering coal consumption, natural gas consumption, oil consumption, and per capita CO_2 emissions. A quantitative method with multiple linear regression was employed. Descriptive analysis indicates that all variables showed an upward trend during the study period. Coal consumption increased substantially from 39.79 TWh in 1990 to 1,311.35 TWh in 2024, accompanied by growth in natural gas and oil consumption. Per capita CO_2 emissions also rose from 0.84 to 2.87 tons. The regression results show that fossil energy consumption significantly affects carbon emissions in Indonesia, with an R^2 value of 0.9769. Coal consumption has a positive and significant effect on carbon emissions, while natural gas and oil consumption show positive but insignificant effects. These findings highlight the dominant role of coal in driving carbon emissions and emphasize the importance of accelerating renewable energy development and reducing coal dependence to support Indonesia's Net Zero Emission target.

Keywords: *Carbon Emissions, Fossil Energy, Coal, Multiple Linear Regression, Time Series.*

Abstrak

Peningkatan emisi karbon di Indonesia sebagian besar didorong oleh penggunaan bahan bakar fosil. Tingginya ketergantungan pada batu bara, minyak bumi, dan gas alam untuk memenuhi kebutuhan energi nasional menimbulkan tantangan substansial terhadap keberlanjutan lingkungan dan aksi iklim. Penelitian ini mengevaluasi bagaimana penggunaan energi fosil memengaruhi emisi karbon di seluruh Indonesia melalui kerangka regresi *time-series*. Data tahunan dari 1990–2024 diperoleh dari Our World in Data, mencakup konsumsi batu bara, konsumsi gas alam, konsumsi minyak bumi, dan emisi CO_2 per kapita. Metode kuantitatif dengan regresi linier berganda digunakan dalam penelitian ini. Analisis deskriptif menunjukkan bahwa seluruh variabel mengalami tren peningkatan selama periode penelitian. Konsumsi batu bara meningkat secara signifikan dari 39,79 TWh pada tahun 1990 menjadi 1.311,35 TWh pada tahun 2024, diiringi oleh pertumbuhan konsumsi gas alam dan minyak bumi. Emisi CO_2 per kapita juga meningkat dari 0,84 menjadi 2,87 ton. Hasil regresi menunjukkan bahwa konsumsi energi fosil berpengaruh secara signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia, dengan nilai R^2 sebesar 0,9769. Konsumsi batu bara memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan konsumsi gas alam dan minyak bumi menunjukkan pengaruh positif tetapi tidak signifikan. Temuan ini menyoroti peran dominan

batu bara dalam mendorong emisi karbon serta menegaskan pentingnya percepatan pengembangan energi terbarukan dan pengurangan ketergantungan pada batu bara untuk mendukung target *Net Zero Emission* Indonesia.

Kata Kunci: Emisi Karbon, Energi Fosil, Batu Bara, Regresi Linier Berganda, *Time Series*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu permasalahan lingkungan global yang paling mendesak saat ini, yang ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata bumi, perubahan pola cuaca, serta meningkatnya frekuensi kejadian ekstrem seperti banjir dan kekeringan. Fenomena ini sebagian besar disebabkan oleh meningkatnya emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO_2), yang berasal dari aktivitas manusia, terutama penggunaan energi berbasis fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan emisi karbon masih menjadi tantangan serius, seiring dengan tingginya permintaan energi global yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil (PwC, 2024).

Sebagai negara berkembang dengan pemenuhan ekonomi yang pesat, Indonesia menghadapi dilema serupa. Pemenuhan konsumsi energi nasional, terutama untuk sektor pembangkit tenaga listrik, manufaktur/industri, dan transportasi masih bergantung kuat pada bahan bakar fosil. Dominasi sumber energi ini memberikan sumbangan besar pada kenaikan tingkat emisi karbon domestik, yang menempatkan posisi Indonesia dalam jajaran produsen emisi relatif tinggi secara global (Wahyuningsih et al., 2025). Tingginya porsi energi fosil ini juga mengindikasikan tingginya rintangan ekonomi dan struktural dalam mengeksekusi percepatan transisi energi bersih.

Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi, hubungan antara penggunaan energi fosil dan emisi karbon menjadi isu penting yang perlu dikaji secara ilmiah. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa konsumsi energi, baik energi terbarukan maupun tidak terbarukan, memiliki keterkaitan yang erat dengan tingkat emisi karbon, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang (Pongtuluran & Setyari, 2026). Penelitian lain juga menegaskan bahwa konsumsi energi fosil merupakan salah satu variabel utama yang mempengaruhi emisi karbon, meskipun besarnya pengaruh dapat bervariasi tergantung pada faktor lain seperti industrialisasi dan kebijakan lingkungan (Widyantoro, 2025) .

Pemerintah Indonesia sendiri telah menetapkan berbagai target penurunan emisi gas rumah kaca sebagai bagian dari komitmen global dalam mitigasi perubahan iklim. Hingga tahun 2023, sektor energi telah berkontribusi terhadap penurunan emisi sebesar 123,22 juta ton CO_2, dan ditargetkan mencapai 358 juta ton CO_2 pada tahun 2030 melalui berbagai strategi seperti efisiensi energi dan pengembangan energi terbarukan (Kementerian ESDM, 2024) . Namun demikian, peningkatan kebutuhan energi yang terus terjadi berpotensi menghambat pencapaian target tersebut apabila tidak diimbangi dengan pengurangan penggunaan energi fosil secara signifikan.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu analisis kuantitatif yang mampu menjelaskan hubungan antara konsumsi energi fosil dan emisi karbon secara lebih mendalam. Pendekatan regresi data time series menjadi salah satu metode yang relevan untuk digunakan, karena mampu menganalisis hubungan antar variabel berdasarkan data historis serta mengidentifikasi pola dan kecenderungan yang terjadi dari waktu ke waktu. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai pengaruh konsumsi energi fosil terhadap emisi karbon di Indonesia, sekaligus menjadi dasar dalam perumusan kebijakan energi yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deskriptif dan inferensial. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian bertujuan untuk menguji hubungan dan pengaruh antara variabel konsumsi energi fosil terhadap emisi karbon secara numerik. Selain itu, penelitian ini menggunakan data *time series* (runtun waktu) sehingga memungkinkan analisis pola dan tren variabel dari waktu ke waktu.

Tabel 1
Definisi Operasional Variabel Penelitian

No	Variabel	Jenis Variabel	Definisi Operasional	Indikator	Satuan	Skala
1	Konsumsi Energi Fosil	Independen	Jumlah total penggunaan energi yang berasal dari sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam dalam periode tertentu	Total konsumsi energi fosil per tahun di Indonesia	Terawatt-hour (TWh) / Exajoule (EJ)	Rasio

2	Emisi Karbon (CO_2)	Dependen	Jumlah emisi karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari aktivitas penggunaan energi, khususnya pembakaran bahan bakar fosil	Total emisi CO_2 per tahun di Indonesia	Juta ton CO_2 ($MtCO_2$)	Rasio

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai lembaga resmi dan kredibel, baik nasional maupun internasional. Pemilihan data sekunder didasarkan pada ketersediaan data historis yang lengkap, konsisten, serta telah melalui proses validasi oleh institusi terkait sehingga layak digunakan untuk analisis ilmiah. Data yang digunakan mencakup informasi mengenai konsumsi energi fosil dan emisi karbon di Indonesia dalam bentuk runtun waktu (time series) tahunan.

Sumber utama data berasal dari *Our World in Data* yang menyediakan dataset global terintegrasi terkait energi dan emisi karbon. Selain itu, untuk mendukung validitas dan memperkuat analisis, penelitian ini juga memanfaatkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta Badan Pusat Statistik sebagai sumber pembanding dan pelengkap. Periode data yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan data yang konsisten, yaitu dalam rentang waktu tertentu (misalnya 2005–2023), sehingga memungkinkan dilakukan analisis tren dan hubungan antar variabel secara lebih akurat.

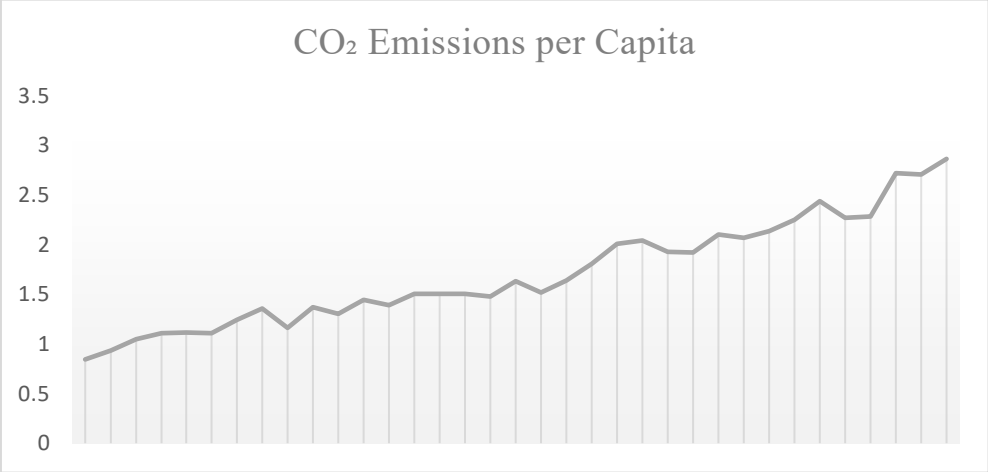
Tabel 2
Sumber dan Jenis Data

No	Jenis Data	Variabel	Sumber Data	Periode Data	Keterangan
1	Data Sekunder	Konsumsi Energi Fosil	*Our World in Data*	1990–2024 (atau sesuai ketersediaan)	Data konsumsi energi berdasarkan jenis energi (batubara, minyak, gas)
2	Data Sekunder	Emisi Karbon (CO_2)	*Our World in Data*	1990–2024 (atau sesuai ketersediaan)	Data emisi CO_2 tahunan Indonesia
3	Data Sekunder (pendukung)	Energi & Statistik Nasional	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	Tahunan	Digunakan untuk validasi dan pembanding data

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif Data Time Series

Data historis menunjukkan bahwa emisi karbon Indonesia mengalami tren meningkat selama periode 1990–2024.



Gambar 1. Emisi Karbon Indonesia Periode 1990–2024.

Berdasarkan Gambar 1, emisi karbon per kapita Indonesia menunjukkan kecenderungan meningkat selama periode 1990–2024. Pada tahun 1990 emisi karbon tercatat sebesar 0,845 ton CO_2 per kapita dan meningkat menjadi sekitar 2,87 ton CO_2 per kapita pada tahun 2024. Secara keseluruhan terjadi peningkatan lebih dari tiga kali lipat selama periode pengamatan. Meskipun terdapat perlambatan pertumbuhan pada akhir dekade 1990-an yang berkaitan dengan krisis ekonomi Asia, tren emisi karbon kembali meningkat secara konsisten sejak awal tahun 2000-an. Kenaikan yang semakin tajam setelah tahun 2010 menunjukkan meningkatnya aktivitas ekonomi, industrialisasi, dan kebutuhan energi nasional yang masih didominasi oleh energi fosil, khususnya batu bara. Pola tren yang terus meningkat tersebut mengindikasikan bahwa pertumbuhan konsumsi energi fosil memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan emisi karbon di Indonesia. Temuan ini selanjutnya diperkuat oleh hasil regresi time series yang menunjukkan bahwa konsumsi batu bara merupakan variabel yang paling signifikan dalam memengaruhi emisi karbon selama periode penelitian.

Tabel 3
Analisis Statistik Deskriptif Variabel Penelitian

Variabel	Minimum	Maksimum	Mean	Std. Deviasi
Emisi CO_2 per Kapita (Ton)	0,845	2,865	1,860	0,623
Konsumsi Batu Bara (TWh)	39,79	1.311,35	458,72	392,84

Konsumsi Gas Alam (TWh)	171,73	472,72	329,84	87,65
Konsumsi Minyak Bumi (TWh)	366,26	878,98	617,45	142,53

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa konsumsi batu bara memiliki tingkat variasi paling tinggi dibandingkan variabel lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa konsumsi batu bara mengalami perubahan yang cukup besar selama periode penelitian dan berpotensi menjadi faktor dominan yang memengaruhi perubahan emisi karbon di Indonesia.

Analisis Regresi Data Time Series

Hasil pengolahan data menggunakan regresi time series menghasilkan output sebagai berikut.

Tabel 4
Hasil Estimasi Regresi Data Time Series

Variabel	Koefisien Regresi	Std. Error	t-statistik	Sig.
Konstanta	0,5059	0,0836	6,049	0,000
Konsumsi Batu Bara	0,001145	0,000071	16,117	0,000
Konsumsi Gas Alam	0,000732	0,000632	1,158	0,256
Konsumsi Minyak Bumi	0,000661	0,000375	1,764	0,088

Berdasarkan hasil estimasi tersebut diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$CO_2 = 0{,}5059 + 0{,}001145(Coal) + 0{,}000732(Gas) + 0{,}000661(Oil)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa seluruh variabel independen memiliki arah hubungan positif terhadap emisi karbon. Artinya, peningkatan konsumsi energi fosil cenderung diikuti oleh peningkatan emisi karbon di Indonesia. Pengujian kelayakan model dilakukan melalui analisis koefisien determinasi (R^2) dan uji simultan (Uji F).

Tabel 5
Hasil Uji Goodness of Fit

Statistik	Nilai
R Square (R^2)	0,9769
Adjusted R^2	0,9747
F-statistic	437,80
Prob(F-statistic)	0,000

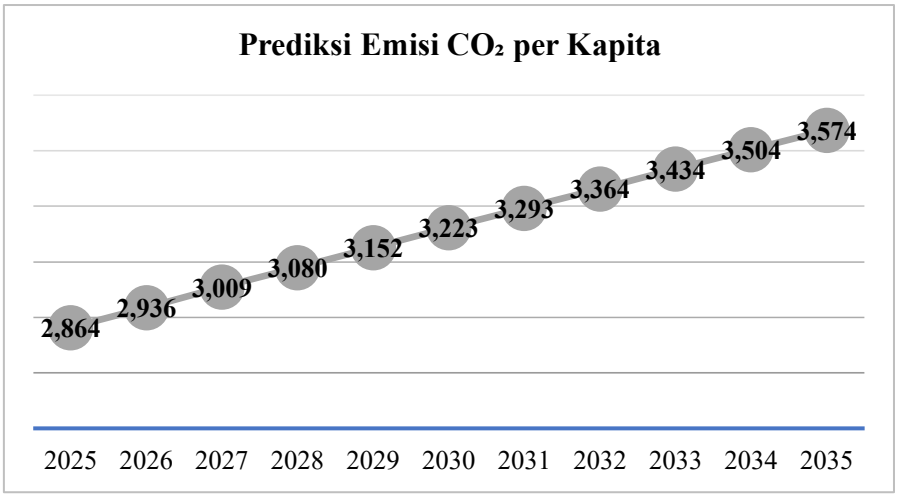
Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9769 menunjukkan bahwa 97,69% variasi emisi karbon di Indonesia dapat dijelaskan oleh variasi konsumsi batu bara, konsumsi gas alam, dan konsumsi minyak bumi. Sementara itu, sebesar 2,31% dijelaskan oleh faktor lain di luar model penelitian. Nilai Prob(F-statistic) sebesar 0,000 lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi yang dibangun layak digunakan untuk menjelaskan hubungan antara konsumsi energi fosil dan emisi karbon di Indonesia.

Time Series Analysis

Tahapan analisis dilakukan dengan memilih model ARIMA terbaik berdasarkan nilai Akaike Information Criterion (AIC) terendah. Hasil identifikasi model menunjukkan bahwa model ARIMA(1,1,2) merupakan model terbaik untuk memprediksi emisi karbon Indonesia.

Tabel 6
Hasil Pemilihan Model ARIMA

Model	**AIC**
ARIMA (1,1,2)	-42,056
Model Terpilih	ARIMA(1,1,2)



Gambar 2. Prediksi Emisi CO_2 per Kapita

Nilai prediksi menunjukkan tren peningkatan emisi karbon sebesar sekitar 24,7% dari tahun 2024 hingga 2035. Kondisi ini mengindikasikan bahwa target pengurangan emisi karbon akan semakin sulit dicapai apabila pertumbuhan konsumsi energi fosil tidak

diimbangi dengan peningkatan penggunaan energi terbarukan dan kebijakan dekarbonisasi yang lebih efektif. Dengan demikian, hasil forecasting ARIMA memberikan gambaran penting mengenai urgensi transformasi sistem energi nasional menuju pembangunan yang lebih berkelanjutan.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi fosil secara simultan berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia selama periode 1990–2024. Model regresi data time series yang dihasilkan memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9769, yang menunjukkan bahwa 97,69% variasi emisi karbon dapat dijelaskan oleh konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi. Temuan ini mengindikasikan bahwa konsumsi energi fosil masih menjadi faktor utama yang mendorong peningkatan emisi karbon di Indonesia.

Secara parsial, konsumsi batu bara berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan batu bara memberikan kontribusi terbesar terhadap peningkatan emisi CO_2 dibandingkan sumber energi fosil lainnya. Temuan tersebut sejalan dengan karakteristik batu bara yang memiliki intensitas emisi karbon lebih tinggi dibandingkan minyak bumi dan gas alam. Peningkatan konsumsi batu bara yang cukup pesat selama periode penelitian mencerminkan tingginya ketergantungan Indonesia terhadap pembangkit listrik dan sektor industri berbasis batu bara. Sementara itu, konsumsi gas alam dan minyak bumi menunjukkan hubungan positif terhadap emisi karbon, namun tidak berpengaruh signifikan secara statistik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kontribusi kedua sumber energi tersebut terhadap perubahan emisi karbon relatif lebih kecil dibandingkan batu bara. Gas alam diketahui memiliki intensitas emisi yang lebih rendah sehingga sering diposisikan sebagai energi transisi dalam proses dekarbonisasi sektor energi.

Analisis tren menunjukkan bahwa emisi karbon Indonesia terus mengalami peningkatan dari 0,845 ton CO_2 per kapita pada tahun 1990 menjadi 2,865 ton CO_2 per kapita pada tahun 2024. Hasil forecasting menggunakan model ARIMA juga menunjukkan bahwa emisi karbon diproyeksikan terus meningkat hingga mencapai sekitar 3,223 ton CO_2 per kapita pada tahun 2030 dan 3,574 ton CO_2 per kapita pada tahun 2035 apabila pola konsumsi energi fosil saat ini tidak mengalami perubahan yang signifikan. Temuan penelitian ini menegaskan pentingnya percepatan transisi energi

melalui pengurangan ketergantungan terhadap batu bara, peningkatan efisiensi energi, serta pengembangan energi terbarukan. Langkah tersebut diperlukan untuk menekan laju peningkatan emisi karbon dan mendukung pencapaian target Net Zero Emission Indonesia pada masa mendatang.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi fosil berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia selama periode 1990–2024. Secara parsial, konsumsi batu bara terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi karbon, sedangkan konsumsi gas alam dan minyak bumi menunjukkan pengaruh positif namun tidak signifikan. Model regresi yang dihasilkan memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menjelaskan variasi emisi karbon dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 97,69%. Selain itu, hasil forecasting menggunakan model ARIMA menunjukkan bahwa emisi karbon Indonesia diproyeksikan terus meningkat hingga tahun 2035 apabila pola konsumsi energi fosil saat ini tidak mengalami perubahan yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan percepatan transisi energi melalui pengurangan penggunaan batu bara dan peningkatan pemanfaatan energi terbarukan guna mendukung upaya penurunan emisi karbon dan pencapaian target Net Zero Emission Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

International Energy Agency. (2024). *CO_2 emissions in fuel combustion 2024*. International Energy Agency. https://www.iea.org

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2024*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

Our World in Data. (2025). *CO_2 emissions and energy consumption database*. https://ourworldindata.org

PricewaterhouseCoopers. (2024). *Net zero economy index 2024: Tracking progress toward global climate goals*. PwC. https://www.pwc.com

United Nations Environment Programme. (2024). *Emissions gap report 2024*. United Nations Environment Programme. https://www.unep.org

Wahyuningsih, D., Prasetyo, A., & Nugroho, B. (2025). The impact of fossil energy consumption on carbon emissions in emerging economies: Evidence from Southeast Asia. *International Journal of Energy Economics and Policy, 15*(2), 145–156.

Widyantoro, R. (2025). Fossil fuel consumption and carbon emissions nexus in Indonesia: A time series analysis approach. *Journal of Environmental Management and Sustainability, 12*(1), 55–68.

Pongtuluran, Y., & Setyari, N. P. W. (2026). Renewable and non-renewable energy consumption and environmental quality: Empirical evidence from ASEAN countries. *Energy Policy Perspectives, 8*(1), 22–35.

World Bank. (2025). *World development indicators*. The World Bank. https://data.worldbank.org