



Pengaruh Faktor Ekonomi dan Penggunaan Energi terhadap Emisi CO₂ di Indonesia Tahun 1990-2022

Nina Trisnawati^{1*}, Muhammad Anas²

^{1,2}Ekonomi Pembangunan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

Correspondence: E-mail: b300220189@student.ums.ac.id¹, ma912@ums.ac.id²

ABSTRAK

Emisi CO₂ merupakan salah satu tantangan lingkungan yang dihadapi oleh banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Peningkatan aktivitas ekonomi dan penggunaan energi berbahan bakar fosil dapat meningkatkan emisi CO₂ yang berdampak pada perubahan iklim dan penurunan kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi pengaruh konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan konsumsi bahan bakar fosil terhadap emisi CO₂ di Indonesia pada tahun 1990-2022. Penelitian ini menggunakan data time series yang diperoleh dari *World Bank* dengan menggunakan metode *Error Correction Model* (ECM) Domowitz-Elbadawi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam jangka pendek, penggunaan energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi listrik, PDB, investasi asing dan konsumsi bahan bakar fosil tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sementara itu, dalam jangka panjang, PDB, investasi asing, penggunaan energi terbarukan, dan penggunaan bahan bakar fosil berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi listrik tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian, pemerintah diharapkan dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan, mendorong penggunaan teknologi ramah lingkungan, serta memperkuat kebijakan pengelolaan lingkungan untuk mendorong pembangunan yang berkelanjutan.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received 4 August 2026

First Revised 5 August 2026

Accepted 6 August 2026

First Available online 10 August 2026

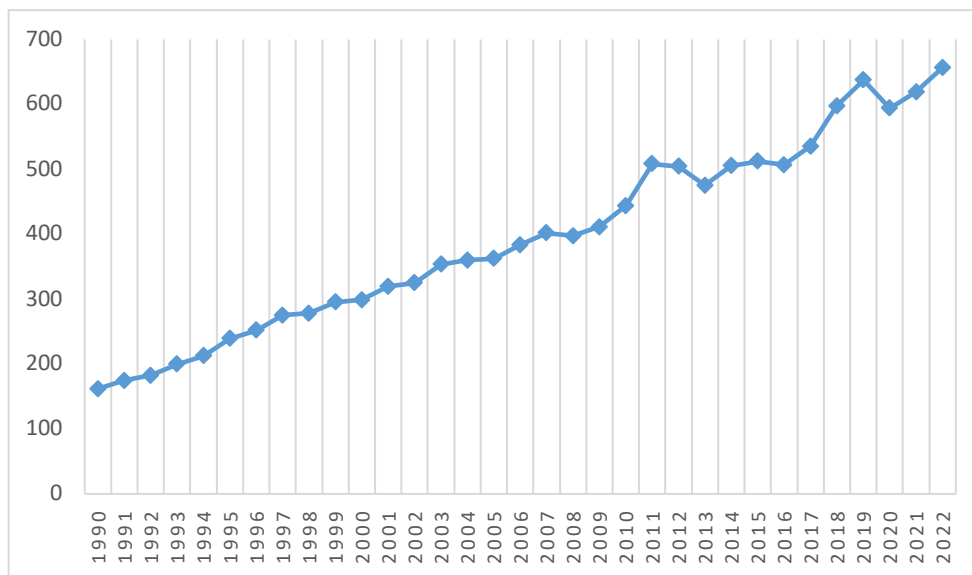
Publication Date 10 August 2026

Keyword:

Error Correction Model, Energi Terbarukan, Emisi CO₂, Investasi Asing, Konsumsi Bahan Bakar Fossil, Konsumsi Listrik, PDB.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan Lingkungan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan karena menjadi sumber utama bagi kegiatan ekonomi dan sosial masyarakat. Oleh sebab itu, pemanfaatan sumber daya alam perlu dilakukan secara bijaksana mengingat ketersediaan yang terbatas dan rentan mengalami kerusakan akibat aktivitas manusia. Pengelolaan lingkungan yang tidak optimal memicu kerusakan lingkungan dan perubahan iklim yang ditandai dengan meningkatnya risiko bencana alam, degradasi ekosistem, pencemaran air dan udara, serta penurunan keanekaragaman hayati. Kerusakan lingkungan akibat perubahan iklim dapat menurunkan kualitas hidup manusia sehingga menghambat pembangunan berkelanjutan (Rahmat, 2024). Perkembangan emisi CO₂ di Indonesia selama periode 1990–2022 disajikan pada Grafik 1 berikut.



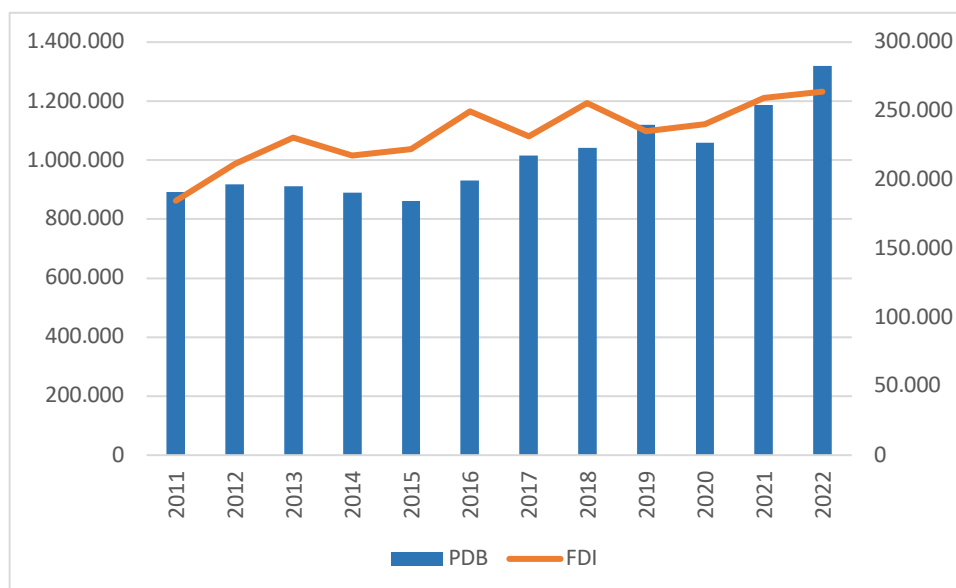
Grafik 1. Emisi CO₂ di Indonesia Tahun 1990-2022 (Juta Metrik Ton)

Sumber: *World Bank*

Berdasarkan Grafik 1, terlihat bahwa emisi CO₂ cenderung meningkat dari sekitar 162 juta metrik ton pada tahun 1990 menjadi sekitar 657 juta metrik ton pada tahun 2022, meskipun pada beberapa tahun terjadi penurunan. Peningkatan ini menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi yang terus berkembang, terutama pada sektor energi berbahan bakar fosil, transportasi dan industri, memberikan tekanan yang semakin besar terhadap lingkungan. Emisi sempat mencapai puncak sekitar 637 juta metrik ton pada tahun 2019, kemudian mengalami penurunan pada tahun 2020 akibat perlambatan aktivitas ekonomi selama *Covid-19*. Namun, setelah aktivitas ekonomi mulai pulih, emisi CO₂ kembali meningkat hingga tahun 2022. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap energi fosil masih cukup tinggi sehingga peningkatan aktivitas ekonomi sering diikuti oleh peningkatan emisi CO₂. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian emisi melalui pengembangan energi terbarukan dan kebijakan energi yang lebih ramah lingkungan (Arifah, L., & Shahmi, 2023).

Aktivitas ekonomi dapat meningkatkan penggunaan energi fosil seperti minyak, batu bara dan gas sehingga dapat meningkatkan emisi CO₂. Dalam proses produksi dan konsumsi, manusia memanfaatkan sumber daya alam yang jika berlebihan dapat menyebabkan pencemaran dan kerusakan lingkungan. Dampak negatif ini mengurangi kualitas hidup manusia dan mengancam keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, menjaga kelestarian

lingkungan sangat penting agar kebutuhan ekonomi generasi sekarang terpenuhi tanpa merusak kemampuan lingkungan bagi generasi mendatang. Dengan pengelolaan yang baik, aktivitas ekonomi dapat berjalan seimbang dengan kelestarian lingkungan sehingga manfaatnya dapat dirasakan secara keberlanjutan (Armayani et al., 2022). Berikut disajikan Grafik 2 mengenai perkembangan Produk Domestik Bruto (PDB) dan Investasi Asing Langsung (FDI) di Indonesia tahun 2011–2022.



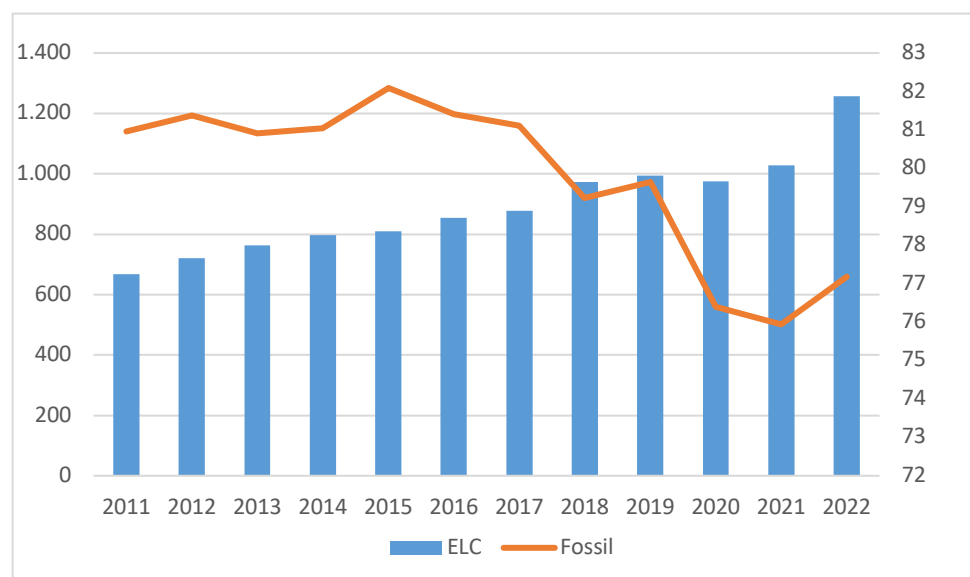
Grafik 2. Produk Domestik Bruto (PDB, Current US\$) dan Investasi Asing Langsung (Foreign Direct Investment atau FDI, Juta Dolar) di Indonesia Tahun 2011-2022

Sumber: *World Bank*

Berdasarkan Grafik 2, terlihat bahwa Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia cenderung meningkat dari tahun 2011 hingga 2022. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi di Indonesia terus berkembang. Namun, terjadi penurunan PDB pada tahun 2015 dan 2020. Penurunan pada tahun 2015 disebabkan oleh perlambatan ekonomi global, penurunan harga komoditas terutama harga minyak mentah dunia serta persaingan perdagangan internasional (BPS, 2015). Sementara itu, penurunan PDB pada tahun 2020 terjadi akibat *Covid-19* yang menyebabkan aktivitas produksi, perdagangan, dan investasi menurun. Sementara itu, *Foreign Direct Investment* (FDI) menunjukkan pergerakan yang fluktuatif meskipun secara umum meningkat hingga tahun 2022. Naik turunnya arus investasi asing sangat dipengaruhi oleh ekonomi global, stabilitas pasar, dan kewajiban investasi suatu negara. Meski demikian, FDI tetap berperan penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi melalui masuknya modal, peningkatan kapasitas produksi, serta transfer teknologi yang dapat meningkatkan produktivitas (Arifah, L., & Shahmi, 2023).

Selain PDB dan investasi, konsumsi listrik dan penggunaan bahan bakar fosil dapat memengaruhi kelestarian lingkungan karena penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam dalam pembangkit listrik menyebabkan tingginya emisi CO₂. Penggunaan energi fosil dapat menghasilkan emisi CO₂ yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan pencemaran udara dan mempercepat terjadinya perubahan iklim. Sekitar 96% konsumsi energi di Indonesia masih didominasi oleh energi yang tidak ramah lingkungan, sehingga peningkatan konsumsi listrik dan bahan bakar fosil dapat berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ dan kerusakan lingkungan. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap energi fosil menjadi salah satu penyebab degradasi lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan energi terbarukan untuk menjaga kelestarian lingkungan (Sasana, H., & Aminata, 2019). Perkembangan konsumsi listrik dan energi bahan bakar fosil di Indonesia selama periode 2011–2022 disajikan pada Grafik 3 berikut.



Grafik 3. Konsumsi Listrik (ELC, KWh Per Kapita) dan Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil (Fossil, %) di Indonesia Tahun 2011-2022

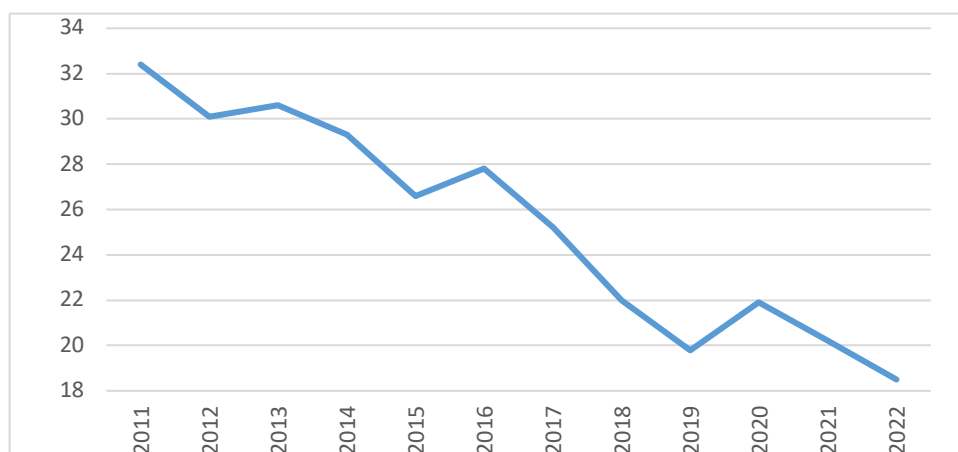
Sumber: *World Bank*

Grafik 3 menunjukkan bahwa konsumsi listrik cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi masyarakat akibat pertumbuhan ekonomi, perkembangan industri, serta meningkatnya aktivitas rumah tangga dan urbanisasi. Sementara itu, konsumsi bahan bakar fosil cenderung stabil pada tahun 2011-2017 dan mulai menurun sejak 2018 yang disebabkan oleh penerapan program biodiesel oleh pemerintah. Peningkatan konsumsi listrik perlu diimbangi dengan pemanfaatan sumber energi yang lebih ramah lingkungan karena sebagian besar pembangkit listrik masih menggunakan bahan bakar fosil yang dapat meningkatkan emisi CO₂. Dalam kenyataannya, pemanfaatan energi bersih di Indonesia masih relatif rendah hal ini disebabkan oleh tingginya harga produksi EBT, serta kurangnya dukungan industri dalam negeri serta sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah juga menjadi faktor yang menghambat percepatan transisi menuju energi bersih (Walujanto et al., 2018).

Hal ini terlihat dari struktur konsumsi energi nasional yang masih didominasi oleh energi fosil dibandingkan energi terbarukan sebagian besar listrik di Indonesia masih dihasilkan dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam sehingga dapat meningkatkan emisi CO₂ yang berdampak buruk pada kualitas lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan penggunaan sumber energi bersih dan ramah lingkungan (Putra & Rusgianto, 2021).

Salah satu upaya penting dalam menjaga kelestarian lingkungan adalah dengan menggunakan energi terbarukan. Energi terbarukan berasal dari sumber alam seperti matahari, angin dan air yang dapat diperbarui secara alami sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan energi fosil. Penggunaan energi terbarukan juga dapat mengurangi emisi CO₂ yang menjadi salah satu penyebab perubahan iklim dan membantu menjaga keberlanjutan lingkungan (Haerani et al., 2023). Selain itu pemanfaatan energi terbarukan juga dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan mendorong masyarakat lebih

sadar dalam menjaga lingkungan serta dapat mengurangi eksploitasi yang berlebihan terhadap sumber daya alam (Rumahorbo, R. P. & Nursadi, 2023). Perkembangan persentase penggunaan energi terbarukan di Indonesia tahun 2011–2022 disajikan pada Grafik 4 berikut.



Grafik 4. Persentase Penggunaan Energi Terbarukan di Indonesia Tahun 2011–2022

Sumber: *World Bank*

Berdasarkan Grafik 4, terlihat bahwa pemanfaatan energi terbarukan cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa energi terbarukan di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala meski potensi sumber daya alamnya melimpah. Salah satu masalah utamanya adalah terbatasnya investasi untuk pembangunan infrastruktur energi terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya dan angin yang membutuhkan dana besar serta teknologi yang tepat. Selain itu, ketergantungan pada kondisi cuaca membuat produksi energi terbarukan kurang stabil. Keterbatasan infrastruktur dan dukungan teknologi membuat energi terbarukan di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal (Solikah & Bramastia, 2024). Di sisi lain, ketidakpastian kebijakan dan regulasi yang rumit memperlambat pelaksanaan program energi terbarukan. Minimnya riset dan inovasi teknologi juga menjadi tantangan. Masalah ini perlu diatasi agar pemanfaatan energi terbarukan dapat berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan di Indonesia (Firmansyah & Prasmasha, 2024).

Penurunan kualitas lingkungan akibat meningkatnya emisi CO₂ menjadi salah satu permasalahan penting dalam pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Beberapa faktor ekonomi seperti pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung, serta meningkatnya konsumsi listrik, berpotensi meningkatkan emisi CO₂. Selain itu, penggunaan energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil yang berpotensi meningkatkan emisi CO₂ yang berdampak pada perubahan iklim dan menurunnya kualitas lingkungan. Di sisi lain, pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih terbatas, sehingga transisi menuju energi yang lebih ramah lingkungan belum berjalan secara optimal. Berdasarkan latar belakang, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi pengaruh pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung, konsumsi listrik, penggunaan bahan bakar fosil, dan penggunaan energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

1.1. Tinjauan Pustaka

Putri et al. (2022) menggunakan *Error Correction Model* (ECM) meneliti pengaruh pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ pada tahun 1992-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sedangkan

pertumbuhan penduduk berpengaruh positif dalam jangka pendek namun dalam jangka panjang berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Sementara itu, pertumbuhan ekonomi tidak berpengaruh. Pratama dan Panjawa (2022) juga menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Sementara itu, konsumsi energi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dalam jangka panjang meski dalam jangka pendek tidak berpengaruh. Kemudian, perkembangan sektor keuangan dan investasi asing tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang pada tahun 1990-2020 di Indonesia. Kemudian, Pongtuluran dan Setyari (2026) dalam penelitiannya menemukan bahwa dalam jangka pendek, konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan dan PDB tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂, sedangkan jumlah penduduk berpengaruh positif. Sementara itu, dalam jangka panjang, konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan dan jumlah penduduk berpengaruh positif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2023.

Rizki dan Anggareni (2022) memperoleh hasil yang berbeda terkait pengaruh PDB terhadap emisi CO₂, di mana di temukan bahwa PDB berpengaruh di Indonesia tahun 1990-2022. Ditemukan juga bahwa penanaman modal asing (FDI) tidak berpengaruh dalam jangka pendek tetapi berpengaruh negatif dalam jangka panjang terhadap emisi CO₂. penanaman modal dalam negeri (PMND) berpengaruh positif dalam jangka panjang terhadap emisi CO₂. Sementara itu, Amalina et al. (2023) mengestimasi pengaruh PDB per kapita dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ pada tahun 1992-2021, dan menemukan bahwa PDB per kapita dan konsumsi energi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek dan jangka panjang. kemudian Nadeak dan Nasrudin (2023) juga menemukan bahwa PDB per kapita dan konsumsi energi tidak terbarukan berpengaruh positif, sementara konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia. Kemudian, hasil regresi ARDL menunjukkan bahwa PDB per kapita tidak berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), sementara lag PDB per kapita, lag kuadrat PDB per kapita, serta konsumsi energi terbarukan dan tidak terbarukan berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca.

Shahbaz et al. (2018) menggunakan model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) untuk mengestimasi pengaruh PDB per kapita, konsumsi energi, kredit domestik, FDI dan inovasi energi terhadap emisi CO₂ di Prancis pada tahun 1960-2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDB per kapita, konsumsi energi, dan FDI berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Sementara itu, kredit domestik dan inovasi energi berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Temuan ini didukung oleh Idroes et al. (2023) yang menemukan bahwa PDB, energi tidak terbarukan dan jumlah korban bencana alam berpengaruh positif terhadap CO₂, sementara konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1980-2021. Hasbi (2024) menemukan hasil yang berbeda, di mana pertumbuhan ekonomi berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di ASEAN tahun 1990-2021, sedangkan urbanisasi, FDI, dan populasi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Kemudian, Rahayu et al. (2024) mengestimasi pengaruh PDB, pertumbuhan penduduk dan konsumsi energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDB dan pertumbuhan penduduk tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂, sementara konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂.

Annisa dan Bashir (2025) menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi, penipisan sumber daya alam, dan ketimpangan pendapatan berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2021. Namun, pengaruh pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂ tidak sejalan dengan temuan Oluwaseun (2025) dalam penelitiannya pada tahun 1972-2021,

di mana pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sedangkan dalam jangka pendek populasi berpengaruh positif meski dalam jangka panjang tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sementara itu, penggunaan bahan bakar fosil dan investasi asing langsung tidak berpengaruh terhadap CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Sementara itu, Magazzino (2016) menemukan bahwa PDB dan konsumsi energi berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Kuwait, Oman dan Qatar pada tahun 1960-2013. Mendonça et al. (2020) menggunakan model regresi hierarkis dengan efek tetap dan acak untuk mengestimasi pengaruh PDB dan energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di 50 negara dengan ekonomi terbesar di dunia pada tahun 1990-2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDB dan populasi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂, sementara energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂.

Marwa et al. (2022) menggunakan *Vector Error Correction Model* (VECM) untuk mengestimasi pengaruh pertumbuhan ekonomi dan konsumsi listrik terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1971-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam jangka pendek, pertumbuhan ekonomi berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi listrik tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sementara itu, dalam jangka panjang, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi listrik berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Juliani et al. (2021) memperoleh hasil yang sama, di mana pertumbuhan ekonomi berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ meski hanya dalam jangka pendek, sementara dalam jangka panjang berpengaruh positif. Energi fosil ditemukan tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Kemudian, Koengkan dan Fuinhas (2017) mengestimasi pengaruh pertumbuhan ekonomi, konsumsi minyak bumi, dan konsumsi energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Amerika Serikat tahun 1980-2012. Ditemukan bahwa pertumbuhan ekonomi dan konsumsi minyak bumi berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Sementara itu, konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek, sedangkan dalam jangka panjang tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂.

Perbedaan penelitian ini dari penelitian-penelitian terdahulu terletak pada penggunaan variabel, metode analisis, serta ruang lingkup penelitian. Penelitian ini menggunakan variabel konsumsi listrik dan konsumsi energi bahan bakar fosil yang masih jarang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Selain itu, penelitian ini menggunakan alat analisis *Error Correction Model* (ECM) yang mampu menganalisis pengaruh jangka pendek dan jangka panjang serta melihat proses penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. Dari sisi objek penelitian, studi ini berfokus pada Indonesia dengan periode waktu yang lebih panjang dan data terbaru, sehingga dapat menggambarkan kondisi yang lebih aktual. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya kajian mengenai faktor-faktor yang memengaruhi emisi CO₂ di Indonesia.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan data sekunder yang diperoleh dari *World Bank* tahun 1990-2022. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *time series* tahun 1990-2022 di Indonesia. Adapun persamaan ekonometrik untuk mengestimasi pengaruh konsumsi listrik, PDB, *Foreign Direct Investment* (investasi asing), energi terbarukan, dan energi fosil terhadap emisi CO₂ adalah sebagai berikut:

$$\Delta \log \widehat{CO2}_t = \widehat{\gamma}_0 + \widehat{\gamma}_1 \Delta \log ELC_t + \widehat{\gamma}_2 \Delta \log PDB_t + \widehat{\gamma}_3 \Delta \log FDI_t + \widehat{\gamma}_4 \Delta \log Renew_t + \widehat{\gamma}_5 \Delta \log Fossil_t + \widehat{\gamma}_6 \log ELC_{t-1} + \widehat{\gamma}_7 \log PDB_{t-1} + \widehat{\gamma}_8 \log FDI_{t-1} + \widehat{\gamma}_9 \log Renew_{t-1} + \widehat{\gamma}_{10} \log Fossil_{t-1} + \lambda ECT_{t-1} + \widehat{e}_t$$

di mana:

$\widehat{CO2}$	:	Emisi Karbon dioksida (juta metrik ton)
ELC	:	Konsumsi listrik (kWh per kapita)
PDB	:	Produk Dometik Bruto (dolar)
FDI	:	<i>Foreign Direct Investment</i> atau investasi asing (juta dolar)
$Fossil$	:	Konsumsi bahan bakar fosil (%)
$Renew$	:	Energi energi terbarukan (%)
Δ	:	<i>First difference</i>
ECT	:	<i>Error Correction Term</i>
		$ECT_{t-1} = \log ELC_{t-1} + \log PDB_{t-1} + \log FDI_{t-1} + \log Renew_{t-1} + \log Fossil_{t-1} - \log CO2_{t-1}$
$\widehat{\gamma}_0$	:	Konstanta
$\widehat{\gamma}_1 \dots \widehat{\gamma}_{10}$	:	Koefisien variabel independen
λ	:	Koefisien ECT
t	:	<i>Time series</i> (tahun 1990-2022)
$\widehat{e}$	:	Residual

Uji eksistensi model atau uji F dilakukan untuk mengetahui apakah variabel-variabel independen secara bersama-sama berpengaruh terhadap variabel dependen. H_0 pada uji F menyatakan bahwa $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \dots = \gamma_{10} = 0$ yang berarti konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan energi fosil secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ di Indonesia. H_0 ditolak apabila probabilitas F -statistik $< \alpha$.

Kemudian, uji t perlu dilakukan untuk mengetahui apakah variabel independen secara individu berpengaruh terhadap variabel dependen baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. H_0 menyatakan bahwa $\gamma_i = 0$ ($i = 1-10$) yang berarti konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan energi fosil masing-masing tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ baik jangka pendek maupun jangka panjang. Adapun H_A menyatakan $\gamma_j < 0$ ($j = 4$ dan 9), yang berarti konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan $\gamma_k > 0$ ($k = 1-3, 5-8$, dan 10), yang berarti PDB, investasi asing, konsumsi listrik, dan konsumsi bahan bakar fosil berpengaruh positif terhadap emisi CO₂.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Untuk mengestimasi faktor yang memengaruhi emisi CO₂ di Indonesia selama kurun waktu 1990-2022 dalam jangka pendek dan jangka panjang, digunakan pendekatan *Error Correction Model* (ECM) Domowitz-Elbadawi. Hasil estimasi model ECM Domowitz-Elbadawi disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Estimasi ECM Domowitz-Elbadawi

Variabel	Koefisien	Prob. t
D(LogELC)	0,284	0,485
D(LogPDB)	-0,005	0,910
D(LogFDI)	-0,003	0,948
D(Renew)	-0,016	0,037*
D(Fossil)	0,000	0,939
LogELC(-1)	-0,114	0,655

LogPDB(-1)	-0,520	0,036*
LogFDI(-1)	-0,531	0,026*
Renew(-1)	-0,523	0,029*
Fossil(-1)	-0,526	0,027*
ECT	0,525	0,028*
$R^2 = 0,660$; Prob. F-stat = 0,040		

* Signifikan pada $\alpha 0,05$

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai koefisien ECT (λ) adalah sebesar 0,524 yang berarti memenuhi syarat $0 < \lambda < 1$. Koefisien ini memiliki nilai probabilitas sebesar 0,028; yang berarti signifikan pada $\lambda = 0,05$. Kedua kondisi ini memperlihatkan bahwa model terestimasi benar-benar merupakan model ECM, sehingga ECM dalam penelitian ini dapat dipakai untuk mengestimasi pengaruh jangka pendek dan jangka panjang dari konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan energi fosil terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Tabel 2 menyajikan hasil uji diagnosis model yang meliputi uji normalitas residual, autokorelasi, heteroskedastisitas, dan multikolinearitas.

Tabel 2. Hasil Uji Diagnosis

Deteksi	Uji	Kriteria	Kesimpulan
Normalitas residual	Jarque-Bera	Prob. JB = 0,877	Residual terdistribusi normal
Autokorelasi	Breusch-Godfrey	Prob. χ^2 = 0,945	Tidak ada autokorelasi
Heteroskedastisitas	White	Prob. χ^2 = 0,475	Residual homoskedastis
VIF	$\Delta \log ELC = 3,741$	$\Delta \text{Fossil} = 1,939$	Renewt-1 =
	$\Delta \log PDB = 2,214$	$\log ELCt-1 = 408,681$	127133,300
	$\Delta \log FDI = 2,414$	$\log PDBt-1 = 780,892$	Fossilt-1 = 42851,170
	$\Delta \text{Renew} = 2,272$	$\log FDI t-1 = 1499,656$	ECTt-1 = 17180,330

Berdasarkan hasil uji asumsi klasik pada Tabel 2, diketahui bahwa model penelitian telah memenuhi uji asumsi asumsi klasik. Hasil uji Jarque-Bera menunjukkan nilai probabilitas JB 0,877 ($> \alpha 0,05$) sehingga residual terdistribusi normal. Selain itu, model regresi juga memenuhi asumsi tidak terjadi autokorelasi yang dibuktikan melalui probabilitas χ^2 pada uji Breusch-Godfrey sebesar 0,945 serta residual bersifat homoskedastis yang dibuktikan melalui probabilitas χ^2 sebesar 0,475 pada uji White. Namun, hasil deteksi multikolineritas menunjukkan beberapa variabel memiliki nilai VIF lebih dari 10 sehingga terdapat gejala multikolineritas dalam model. Kondisi tersebut masih ditoleransi dalam ECM karena adanya hubungan jangka panjang antarvariabel dan penggunaan lag dalam model. Hasil penghitungan konstanta dan koefisien jangka panjang disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Penghitungan Konstanta dan Koefisien Jangka Panjang

Variabel	Koefisien	Penghitungan
C	γ_0	$0,520/0,524 = 0,991$
LogELC	γ_6	$(-0,114 + 0,524)/0,524 = 0,782$
LogPDB	γ_7	$(-0,520 + 0,524)/0,524 = 0,008$
LogFDI	γ_8	$(-0,531 + 0,524)/0,524 = -0,013$
Renew	γ_9	$(-0,523 + 0,524)/0,524 = 0,002$
Fossil	γ_{10}	$(-0,525 + 0,524)/0,524 = -0,002$

Dari hasil penghitungan parameter model jangka panjang, diperoleh model terestimasi jangka panjang sebagai berikut:

$$\Delta \log \widehat{CO2}_t = 0,991 + 0,782 \log ELC_t + 0,008 \log PDB_t - 0,013 \log FDI_t + 0,002 \text{Renew}_t - 0,002 \text{Fossil}_t$$

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai probabilitas F -statistik sebesar $0,0406 < \alpha$ (0,05) sehingga H_0 ditolak, dan dapat disimpulkan bahwa konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan konsumsi bahan bakar fosil secara bersama-sama berpengaruh terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2022.

Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6606 berarti 66,06% perubahan emisi CO₂ disebabkan oleh konsumsi listrik, PDB, investasi asing, energi terbarukan, dan energi fosil terhadap emisi CO₂ di Indonesia, sedangkan sisanya 33,94% disebabkan oleh variabel lain di luar model.

Uji t dilakukan untuk mengetahui apakah variabel independen secara persial atau individu berpengaruh terhadap variabel dependen. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa probabilitas t -statistik $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, dan γ_5 lebih dari 0,05; sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam jangka pendek, konsumsi listrik, PDB, investasi asing dan energi fosil tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂, sedangkan energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Sementara itu, dalam jangka panjang, konsumsi listrik tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂, sedangkan PDB, investasi asing, dan energi fosil berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2022.

Dalam jangka pendek, koefisien *RENEW* sebesar -0,016 dengan pola hubungan log-linier menunjukkan bahwa kenaikan konsumsi energi terbarukan sebesar satu persen akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 1,6 persen, kemudian koefisien konsumsi listrik, PDB, investasi asing, dan konsumsi bahan bakar fosil tidak perlu diinterpretasikan karena tidak signifikan. Sementara itu, dalam jangka panjang, koefisien PDB sebesar -0,520 dengan pola hubungan log-log yang berarti menunjukkan bahwa kenaikan PDB satu persen akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 0,520 persen. Kemudian, koefisien investasi asing sebesar -0,531 dengan pola hubungan log-log, berarti kenaikan investasi asing sebesar satu persen akan menurunkan CO₂ sebesar 0,531 persen. Selanjutnya, koefisien *RENEW* sebesar -0,523 dengan pola hubungan log-linier berarti kenaikan konsumsi energi terbarukan sebesar satu persen akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 52,31 persen. Sementara itu, koefisien *FOSSIL* sebesar -0,526 dengan pola hubungan log-linier, berarti kenaikan konsumsi energi fosil sebesar satu persen akan menurunkan emisi CO₂ sebesar 52,60 persen. Koefisien konsumsi listrik dalam jangka panjang tidak perlu diinterpretasikan karena tidak signifikan. Tabel 4 menunjukkan lima sektor dengan kontribusi terbesar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia selama periode 2018–2022.

Tabel 4. Lima Sektor Penyumbang Terbesar PDB Indonesia Tahun 2018-2022

Tahun	Peringkat kontribusi				
	1	2	3	4	5
2018	Industri pengolahan (19,86)	Perdagangan (13,02)	Pertanian, kehutanan dan perikanan (12,81)	Pertambangan dan penggalian (8,08)	Konstruksi (10,53)
2019	Industri pengolahan (19,70)	Perdagangan (13,01)	Pertanian, kehutanan dan perikanan (12,71)	Pertambangan dan penggalian (7,26)	Konstruksi (10,75)
2020	Industri pengolahan (19,87)	Perdagangan (12,91)	Pertanian, kehutanan dan perikanan (13,70)	Pertambangan dan penggalian (6,43)	Konstruksi (10,70)
2021	Industri pengolahan (19,24)	Perdagangan (12,96)	Pertanian, kehutanan dan perikanan (13,28)	Pertambangan dan penggalian (8,97)	Konstruksi (10,44)

2022	Industri pengolahan (18,34)	Perdagangan (12,85)	Pertanian, kehutanan dan perikanan (12,40)	Pertambangan dan penggalian (12,22)	Konstruksi (9,77)
------	-----------------------------------	------------------------	--	---	----------------------

Konsumsi listrik merupakan salah satu variabel pengaruhnya terbukti tidak sesuai hipotesis penelitian karena terbukti tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Temuan ini sejalan dengan temuan Marwa et al. (2022) yang menyatakan bahwa konsumsi listrik tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Faktor-faktor lain dinilai lebih dominan dalam memengaruhi emisi CO₂, terutama aktivitas ekonomi, penggunaan bahan bakar fosil, dan kegiatan industri. Kondisi ini menunjukkan penggunaan listrik belum menjadi faktor utama yang mendorong kenaikan emisi CO₂ di Indonesia.

Ketidaksignifikanan konsumsi listrik terhadap emisi CO₂ dapat disebabkan oleh struktur ekonomi Indonesia yang tidak sepenuhnya didominasi oleh sektor yang sangat intensif menggunakan listrik. Berdasarkan Tabel 4, nampak bahwa sebagian besar aktivitas ekonomi berasal dari sektor perdagangan, pertanian, dan jasa pendukung lainnya yang tidak menghasilkan emisi sebesar sektor energi dan pembangkit listrik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa aktivitas ekonomi yang mendorong pertumbuhan output nasional tidak selalu berkaitan langsung dengan peningkatan konsumsi listrik yang menghasilkan emisi karbon. Dengan demikian, peningkatan konsumsi listrik tidak selalu diikuti oleh peningkatan emisi karbon yang signifikan.

Berdasarkan hasil regresi, diketahui bahwa dalam jangka pendek, PDB tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan Rahayu et al. (2024) yang menyatakan bahwa PDB tidak memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂. Aktivitas ekonomi yang meningkat tidak seluruhnya berasal dari sektor industri dan manufaktur, tetapi juga berasal dari sektor jasa, perdagangan dan komunikasi yang menghasilkan emisi CO₂ lebih rendah sehingga perubahan PDB belum memberikan perubahan nyata terhadap emisi CO₂. Sementara itu, dalam jangka panjang, diketahui bahwa PDB berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Temuan ini mendukung temuan Magazzino (2016) yang menyatakan bahwa PDB berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂. Meningkatnya pertumbuhan ekonomi dapat mendorong perkembangan teknologi dan inovasi sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien serta ketergantungan terhadap energi fosil yang berpolusi dapat berkurang. Selain itu, penerapan kebijakan lingkungan yang lebih ketat dan penggunaan energi terbarukan dapat menurunkan emisi CO₂. Namun, hasil penelitian ini tidak sejalan dengan Mendonça et al. (2020) di mana PDB berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ di 50 negara dengan ekonomi terbesar di dunia pada tahun 1990-2015. Sementara itu, Idroes et al. (2023) juga menemukan bahwa PDB berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1980-2021. Pertumbuhan ekonomi yang semakin tinggi dapat mendorong aktivitas industri, produksi, transportasi, dan konsumsi energi. Dengan begitu, penggunaan energi berbahan bakar fosil juga meningkat dan pada akhirnya dapat meningkatkan emisi CO₂.

Hasil regresi juga menunjukkan bahwa dalam jangka pendek, investasi asing tidak berpengaruh terhadap CO₂, sementara dalam jangka panjang, investasi asing berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Hasil ini sejalan dengan temuan Rizki dan Anggareni (2022) yang menyatakan bahwa dalam jangka pendek dan jangka panjang penanaman modal asing berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2022. Peningkatan penanaman modal asing dapat mendorong perusahaan multinasional menggunakan teknologi produksi yang lebih maju dan penggunaan energi yang lebih efisien. Selain itu, penerapan teknologi energi bersih dan standar lingkungan yang lebih baik mendorong

penurunan emisi CO₂ dalam jangka panjang. Namun, hasil penelitian ini tidak sejalan dengan Shahbaz et al. (2018) di mana FDI berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ di Prancis pada tahun 1960-2016. Hasbi (2024) juga menemukan bahwa FDI berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ di negara ASEAN tahun 1990-2021. Peningkatan penanaman modal asing dapat mendorong aktivitas industri dan produksi menjadi semakin besar. Dengan begitu, penggunaan energi juga meningkat sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

Berdasarkan hasil regresi, diketahui bahwa energi terbarukan berpengaruh negatif baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Temuan ini sejalan dengan temuan Koengkan dan Fuinhas (2017) yang menyatakan bahwa penggunaan energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap CO₂. Penggunaan energi terbarukan dapat mengurangi penggunaan energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Selain itu, penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya, air, angin dan biomassa cenderung lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan energi bahan bakar fosil sehingga mampu menurunkan emisi CO₂. Temuan ini juga mendukung temuan Oluwaseun (2025) yang menyatakan bahwa dalam jangka pendek maupun jangka panjang konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ pada tahun 1972-2021. Nadeak dan Nasrudin (2023) juga menemukan bahwa konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi gas rumah kaca. Peningkatan penggunaan energi terbarukan dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca, karena energi terbarukan menghasilkan tingkat polusi yang lebih rendah dibandingkan energi bahan bakar fosil sehingga emisi CO₂ yang dihasilkan lebih sedikit.

Berdasarkan hasil regresi, diketahui konsumsi bahan bakar fosil dalam jangka pendek tidak berpengaruh terhadap CO₂. Hasil ini sejalan dengan temuan Juliani et al. (2021) yang menyatakan bahwa konsumsi bahan bakar fosil tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan emisi penggunaan energi fosil belum tentu secara langsung memengaruhi emisi CO₂ karena emisi CO₂ juga dipengaruhi oleh efisiensi, teknologi produksi, dan kebijakan lingkungan. Sementara itu, dalam jangka panjang, penggunaan bahan bakar fosil terbukti berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂. Hasil ini mendukung temuan Pongtuluran & Setyari (2026) yang menyatakan bahwa dalam jangka panjang, penggunaan bahan bakar fosil yang didukung oleh teknologi modern dan pengelolaan energi yang lebih ramah lingkungan dapat membuat penggunaan energi menjadi lebih efisien. Dengan begitu emisi CO₂ yang dihasilkan menjadi lebih rendah sehingga dapat menurunkan emisi CO₂. Namun, hasil penelitian ini berbeda dengan Nadeak dan Nasrudin (2023) yang menemukan bahwa konsumsi energi tak terbarukan berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Peningkatan konsumsi energi tak terbarukan dapat meningkatkan emisi CO₂ karena sebagian besar emisi CO₂ yang dihasilkan berasal dari sektor energi. Dengan begitu, semakin tinggi penggunaan energi tak terbarukan maka emisi CO₂ yang dihasilkan juga akan semakin meningkat.

4. KESIMPULAN

Emisi CO₂ merupakan salah satu tantangan lingkungan yang dihadapi oleh banyak negara di dunia, khususnya negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Peningkatan aktivitas ekonomi dan penggunaan energi berbahan bakar fosil dapat meningkatkan emisi CO₂ yang berdampak pada perubahan iklim dan menurunnya kualitas lingkungan. Pemerintah memiliki peran penting dalam menjaga kelestarian lingkungan melalui kebijakan pembangunan yang

berkelanjutan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengestimasi arah dan besarnya pengaruh konsumsi listrik, PDB, investasi asing, konsumsi bahan bakar fosil, dan energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, digunakan metode *Error Correction Model* (ECM) Domowitz-Elbadawi sebagai model analisis. Hasil regresi menunjukkan bahwa dalam jangka pendek, penggunaan energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi listrik, PDB, investasi asing, dan konsumsi bahan bakar fosil tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sementara itu, dalam jangka panjang, PDB, investasi asing, penggunaan energi terbarukan, dan penggunaan bahan bakar fosil berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂, sedangkan konsumsi listrik tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ di Indonesia tahun 1990-2022.

Berdasarkan hasil penelitian, pemerintah diharapkan dapat memperkuat kebijakan pengelolaan lingkungan melalui peningkatan penggunaan energi terbarukan dan pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil. Selain itu, pemerintah diharapkan dapat mendorong penggunaan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam kegiatan industri, transportasi, dan pembangkit listrik agar emisi CO₂ dapat dikendalikan. Pengembangan investasi yang mendukung energi bersih serta peningkatan kesadaran masyarakat dalam menjaga lingkungan juga perlu ditingkatkan. Dengan adanya kebijakan yang mendukung pembangunan ekonomi, kelestarian lingkungan dan pengendalian emisi CO₂ di Indonesia diharapkan menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

5. REFERENCES

- Amalina, I. S. N., Wahyudi, H., & Ciptawaty, U. (2023). Pengaruh GDP per kapita, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia. *Journal on Education*, 6(1), 6508–6517. <https://jonedu.org/index.php/joe/article/view/3872>
- Annisa, A., Yulianita, A., & Bashir, A. (2025). The impact of economic growth, inequality, and resource depletion on CO₂ emissions in Indonesia: Evidence from the ARDL model. *Jurnal Perspektif Pembiayaan dan Pembangunan Daerah*, 13(3), 2355–8520. <https://online-journal.unja.ac.id/JES/article/view/40844>
- Arifah, L., & Shahmi, M. A. (2023). Pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung dan emisi karbon di Indonesia periode 1990-2022: *Elastisitas: Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 5(1), 92–98. <http://elastisitas.unram.ac.id/index.php/elastisitas/article/view/79>
- Armayani, R. R., Lubis, H. K., & Sari, N. (2022). Hubungan antara ekonomi dengan lingkungan hidup: Suatu kajian literatur. *Sinomics Journal: Publikasi Ilmiah Bidang Ekonomi dan Akuntansi*, 1(2), 175–182. <https://doi.org/10.54443/sinomika.v1i2.181>
- Badan Pusat Statistik. (2015). *Laporan perekonomian Indonesia*. <https://www.bps.go.id/id/publication/2015/09/15/381b2cd8032e7471944a4103/laporan-perekonomian-2015.html>
- Firmansyah, D., Ahwiddhana, F. A., & Prasmasha, R. R. (2024). Analisis ekonomi pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia untuk pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Media Akademik (JMA)*, 2(12), 3031–5220. <https://jurnal.mediaakademik.com/index.php/jma/article/view/1117>

- Haerani, D., Sukmawati, A., Seran, A., Putra, H., Razali, R., Iztiara, R., Salam, B. G., Nurhasan, D., Abikusno, R. M., Nugraha, A. N., Patrick, P., Tangkudung, A. G., & Pakpahan, M. (2023). Inovasi bisnis sebagai solusi percepatan transisi energi baru dan terbarukan yang berkelanjutan untuk mewujudkan kelestarian lingkungan. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(6), 8356–8371. <https://innovative.org/index.php/Innovative/article/view/6926>
- Hasbi. (2024). The impact of economic factors on changing carbon emission landscape ASEAN with ARDL approach. *Kinerja*, 28(2), 173–194. <https://doi.org/10.24002/kinerja.v28i2.8583>
- Idroes, G. M., Hardi, I., Noviandy, T. R., Sasmita, N. R., Hilal, I. S., Kusumo, F., & Idroes, R. (2023). A deep dive into Indonesia's CO₂ Emissions: The role of energy consumption, economic growth and natural disasters. *Ekonomikalia Journal of Economics*, 1(2), 69–81. <https://doi.org/10.60084/eje.v1i2.115>
- Juliani, R., Rahmayani, D., Akmala, N. T., & Janah, L. F. (2021). Analisis kausalitas pariwisata, konsumsi energi fosil, pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ di Indonesia. *Journal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, 4(2), 124–139. https://ejournal.undip.ac.id/index.php/dinamika_pembangunan/article/view/40562/0
- Koengkan, M., & Fuinhas, J. A. (2017). The negative impact of renewable energy consumption on carbon dioxide emissions: An empirical evidence from south American countries. *Revista Brasileira De Energias Renováveis*. <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/49252>
- Magazzino, C. (2016). The relationship between real GDP, CO₂ emissions, and energy use in the GCC countries: A time series approach. *Cogent Economics & Finance*, 34(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2016.1152729>
- Marwa, T., Bashir, A., Atiyatna, D. P., Hamidi, I., Mukhlis, & Sukanto. (2022). The link between economic growth, electricity consumption, and CO₂ emissions: Evidence from Indonesia. *Jurnal Ilmu Ekonomi*, 11(6), 253–272. <https://repository.unsri.ac.id/80582>
- Mendonça, A. K. S., Barni, G. de A. C., Moro, M. F., Bornia, A. C., Kupek, E., & Fernandes, L. (2020). Hierarchical modeling of the 50 largest economies to verify the impact of GDP, population and renewable energy generation in CO₂ emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 22, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.02.001>
- Nadeak, S. A. H., & Nasirudin, N. (2023). Pengaruh PDB per kapita dan konsumsi energi terhadap emisi GRK di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 23(2), 128–145. <https://doi.org/10.21002/jepi.2023.09>
- Oluwaseun, A. (2025). Analyzing the Impact of economic growth, FDI and energy use on CO₂ emission in Kenya: An ARDL Approach. Research Square. <https://www.researchsquare.com/article/rs-6058314/v1>
- Pongtuluran, G. L. & Setyari, N. P. W. (2026). Pengaruh konsumsi energi terbarukan dan tidak terbarukan terhadap emisi karbon di Indonesia. *Journal Publikasi Sistem Informasi dan Management Bisnis*, 5. <https://journalcenter.org/index.php/jupsim/article/view/6358>
- Putra, B. R., & Rusgianto, S. (2021). Analysis of energy consumption and carbon emissions in

- Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 19(1), 44–56.
<https://doi.org/10.22219/jep.v21i01.25337>
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwiati, A. (2022). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan konsumsi energi terhadap emisi CO2 di Indonesia. *BULLET: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(6), 1070–1080.
<https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet/article/view/1767>
- Rahayu, R. P., Thine, E. Y., & Aini, F. A. N. (2024). Transisi ekonomi hijau: Analisis faktor penyebab meningkatnya emisi CO2 guna menyongsong ekonomi berkelanjutan di Indonesia. *Inspire Journal Economics and Development Analysis*, 4(2), 1–18.
<https://ejournal.uksw.edu/inspire/article/view/17198>
- Rahmat, H. K. (2024). Mewujudkan pembangunan berkelanjutan dengan perspektif lingkungan: Solusi untuk tantangan global. *Jurnal Bimbingan, Penyuluhan dan Konseling Islam*, 7(3), 1057–1070. <https://jurnal.pabki.org/index.php/alisyraq/article/view/1045>
- Rizki, C. A., & Anggareni, P. W. (2022). Analisis pengaruh foreign direct investment, penanaman modal dalam negeri, dan gross domestic product terhadap emisi karbon di Indonesia. *Journal of Development Economic and Sosial Studies*, 1(4), 529–538.
<https://jdess.ub.ac.id/index.php/jdess/article/view/72>
- Rumahorbo, R. P., & Nursadi, H. (2023). Energi baru terbarukan sumber daya air : Manfaat dan dampaknya terhadap lingkungan hidup. *Jurnal Darma Agung*, 31(1), 185.
<https://jurnal.universitasdarmaagung.ac.id/jurnaluda/article/view/2967>
- Sasana, H., & Aminata, J. (2019). Energy subsidy, energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission: Indonesian case studies. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 117–122. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7479>
- Shahbaz, M.,f Nasir, M. A. & Roubaud, D. (2018). Environmental degradation in France: The effects of FDI, financial development, and energy innovations. *Energy Economics*, 74, 843–857. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.07.020>
- Solikhah, A. A., & Bramastia. (2024). Systematic literature review: Kajian potensi dan pemanfaatan sumber daya energi baru dan terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 5(1), 27–43. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Walujanto, Suharyati, Pambudi S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. (2018). *Outlook Energi Indonesia*. 1–76. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2018-bahasa-indonesia>