



Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan dan Tidak Terbarukan terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Gabriella Losa Pongtuluran^{1*}, Ni Putu Wiwin Setyari²

¹⁻² Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Udayana, Indonesia

*Penulis Korespondensi: gabrijese@gmail.com

Abstract. This study aims to empirically analyze the effects of renewable energy consumption, non-renewable energy consumption, Gross Domestic Product (GDP), and population size on carbon emission levels in Indonesia during the observation period from 1990 to 2023. The study employs a quantitative approach using the Error Correction Model (ECM) to identify both short-run and long-run relationships among the variables examined. Prior to model estimation, stationarity tests and cointegration tests using the Engle-Granger and Johansen approaches were conducted to ensure the existence of a long-run equilibrium relationship. The estimation results indicate that in the short run, renewable energy consumption, non-renewable energy consumption, and GDP do not have a significant effect on carbon emissions. In contrast, population size is found to have a positive and significant impact on the increase in carbon emissions. The Error Correction Term (ECT-1) is statistically significant and negative, indicating the presence of a strong adjustment mechanism toward long-run equilibrium. In the long run, all variables are proven to be cointegrated. Non-renewable energy consumption and population growth contribute to higher carbon emissions, while renewable energy consumption plays a role in reducing emissions. GDP also tends to increase carbon emissions unless economic growth is directed toward green and sustainable development.

Keywords: Carbon Emissions; ECM; Non-Renewable Energy; Population Growth; Renewable Energy.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara empiris pengaruh konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, Produk Domestik Bruto (PDB), dan jumlah penduduk terhadap tingkat emisi karbon di Indonesia selama periode pengamatan tahun 1990–2023. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Error Correction Model (ECM) guna mengidentifikasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang antarvariabel yang diteliti. Sebelum estimasi model dilakukan, pengujian stasioneritas dan uji kointegrasi Engle-Granger serta Johansen digunakan untuk memastikan keberadaan hubungan keseimbangan jangka panjang. Hasil estimasi menunjukkan bahwa dalam jangka pendek konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, serta PDB tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi karbon. Sebaliknya, jumlah penduduk terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi karbon. Nilai Error Correction Term (ECT-1) yang signifikan dan bernilai negatif menunjukkan adanya mekanisme penyesuaian yang kuat menuju keseimbangan jangka panjang. Dalam jangka panjang, seluruh variabel terbukti saling berkointegrasi. Konsumsi energi tidak terbarukan dan pertumbuhan jumlah penduduk berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, sementara konsumsi energi terbarukan berperan dalam menekan emisi. PDB juga cenderung meningkatkan emisi karbon, kecuali apabila pertumbuhan ekonomi diarahkan pada konsep pembangunan hijau dan berkelanjutan.

Kata Kunci: ECM; Emisi Karbon; Energi Terbarukan; Energi Tidak Terbarukan; Pertumbuhan Penduduk.

1. LATAR BELAKANG

Perhatian dunia internasional terhadap perubahan iklim mencuat pada dekade terakhir seiring meningkatnya suhu bumi yang terasa nyata. Perubahan iklim merupakan tantangan yang nyata pada abad ke – 21, meningkatnya suhu global menjadi pemicu terjadinya perubahan iklim (Fauzi, 2017). Kualitas lingkungan dapat diukur dengan tingkat emisi karbon, dimana karbon dioksida berpengaruh terhadap tingkat polusi (Putri *et al.*, 2022).

Hubungan dinamika antara populasi, konsumsi energi dan emisi karbon telah menjadi pusat perhatian studi akademis dan rancangan kebijakan. Keterkaitan hal tersebut mencerminkan interaksi yang kompleks antara perkembangan demografi dan dampak

lingkungan (Mai *et al.*, 2024). Keberhasilan pembangunan suatu negara umumnya diukur melalui indikator pendapatan nasional, salah satunya adalah Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita. Namun, dari perspektif pembangunan berkelanjutan, PDB per kapita dianggap belum memadai sebagai alat ukur pembangunan jangka panjang karena belum memasukkan aspek kerusakan lingkungan dalam perhitungannya (Nadeak & Nasrudin, 2023).

Pemanfaatan sumber daya alam (SDA) terutama yang berkaitan dengan energi, memiliki keterkaitan dengan aktivitas ekonomi. Baik bisnis maupun energi saling mendukung satu sama lain di mana energi berperan sebagai input penting dalam proses produksi. Sebagai bagian dari kekayaan alam, energi harus digunakan secara optimal untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan dikelola berdasarkan prinsip pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, pendekatan pembangunan yang memperhatikan aspek ekologi menjadi landasan utama dalam mewujudkan keberlanjutan (Pangestu & Ayuningsasi, 2024). Teori *environmental kuznets curve* (EKC) menggambarkan hubungan berbentuk kurva U terbalik antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan. Teori ini menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan, tekanan terhadap lingkungan meningkat lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan pendapatan. Namun, seiring dengan meningkatnya pendapatan dan tercapainya tingkat PDB yang lebih tinggi, laju kerusakan lingkungan cenderung melambat dan bahkan dapat menurun relatif terhadap pertumbuhan ekonomi (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023).

Penduduk memiliki peran ganda terhadap lingkungan. Di satu sisi, penduduk berperan sebagai faktor pendorong atau penyebab terjadinya degradasi lingkungan seiring dengan adanya ledakan jumlah penduduk (Putri *et al.*, 2022). Fenomena-fenomena tersebut menunjukkan adanya gap penelitian yang perlu mendapatkan perhatian lebih. Sebagian besar studi sebelumnya fokus pada salah satu aspek, misalnya konsumsi energi fosil atau pertumbuhan ekonomi, tanpa mengkaji secara simultan pengaruh konsumsi energi terbarukan dan energi tidak terbarukan terhadap emisi karbon. Dengan demikian, masih terdapat kebutuhan untuk menilai sejauh mana konsumsi kedua jenis energi tersebut secara bersamaan memengaruhi tingkat emisi karbon di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang terjadi, maka peneliti melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan dan Energi Tidak Terbarukan Terhadap Emisi Karbon di Indonesia”, dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara konsumsi energi dan emisi karbon serta sebagai dasar pertimbangan kebijakan energi yang berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian asosiatif untuk menganalisis pengaruh konsumsi energi terbarukan dan tidak terbarukan, Produk Domestik Bruto (PDB), serta jumlah penduduk terhadap emisi karbon di Indonesia. Data yang digunakan berupa data runtut waktu (*time series*) tahunan selama periode 1990–2023 dengan unit analisis negara Indonesia. Pendekatan kuantitatif dipilih karena seluruh variabel dinyatakan dalam bentuk numerik dan dianalisis menggunakan teknik statistik guna memperoleh kesimpulan yang bersifat objektif dan terukur mengenai hubungan antarvariabel penelitian. Objek penelitian meliputi konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, jumlah penduduk, dan emisi karbon yang diukur dengan skala rasio. (Sugiyono, 2018; World Bank, 2024)

Sumber data dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari *World Bank* dan *Statistical Review of World Energy*. Data kuantitatif mencakup konsumsi energi terbarukan dan tidak terbarukan (Exajoule), PDB (USD konstan), jumlah penduduk (jiwa), serta emisi karbon (kiloton CO₂), sedangkan data kualitatif digunakan untuk memperkuat kerangka konseptual melalui kajian literatur dan laporan resmi terkait isu energi dan lingkungan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi pustaka dengan menelaah jurnal ilmiah, buku akademik, dan publikasi lembaga internasional guna membangun landasan teoritis dan mendukung analisis empiris yang dilakukan. (Sugiyono, 2018; World Bank, 2024)

Teknik analisis data yang digunakan adalah *Error Correction Model* (ECM) dengan bantuan perangkat lunak *EViews 10* untuk mengkaji hubungan jangka pendek dan jangka panjang antarvariabel. Sebelum estimasi model, dilakukan uji stasioneritas menggunakan *Unit Root Test* (ADF/DF) serta uji kointegrasi Engle-Granger untuk memastikan adanya keseimbangan jangka panjang. Pengujian model meliputi uji F, uji t, dan koefisien determinasi (R²) guna menilai kelayakan model serta signifikansi pengaruh variabel independen terhadap emisi karbon. Penggunaan ECM dipilih karena mampu mengatasi permasalahan data tidak stasioner dan regresi lancung, sekaligus memberikan gambaran dinamika penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. (Widarjono, 2018; Ghozali, 2016)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Struktur bauran energi primer Indonesia pada 2023 masih sangat didominasi bahan bakar fosil, terutama batu bara, minyak, dan gas, sementara porsi energi baru terbarukan (EBT) masih berada di kisaran belasan persen berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Dominasi tersebut tercermin pula pada sektor ketenagalistrikan, di mana pembangkitan listrik nasional masih bertumpu pada PLTU batu bara dengan kapasitas dan kontribusi terbesar dibandingkan sumber lain menurut statistik PT PLN. Kondisi ini menjadikan sektor energi sebagai kontributor utama emisi CO₂ Indonesia, dengan emisi berbasis energi mencapai ratusan juta ton per tahun sebagaimana dilaporkan oleh *International Energy Agency*, di mana batu bara memiliki intensitas emisi paling tinggi dibandingkan bahan bakar fosil lainnya. Secara runtun waktu, peningkatan konsumsi batu bara dan minyak berkorelasi langsung dengan kenaikan emisi CO₂, sementara pertumbuhan EBT seperti hidro, panas bumi, dan PLTS memang menambah pasokan energi rendah emisi, namun hingga 2023 belum cukup besar untuk menurunkan total emisi secara signifikan, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai laporan statistik dan akun energi nasional (Badan Pusat Statistik).

Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel Konsumsi Energi Terbarukan

Konsumsi energi terbarukan di Indonesia selama periode 1990–2023 menunjukkan tren peningkatan jangka panjang yang disertai fluktuasi tahunan, dengan perkembangan yang relatif lambat dan tidak konsisten hingga awal 2000-an, kemudian menjadi lebih stabil sejak memasuki dekade 2010-an. Akselerasi pertumbuhan terlihat jelas setelah 2018, ketika konsumsi energi terbarukan meningkat tajam dari 0,6032 EJ hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 1,0559 EJ pada 2023, seiring dengan kenaikan total penggunaan energi nasional menjadi 40,29 EJ. Meskipun demikian, secara proporsional kontribusi energi terbarukan masih relatif kecil terhadap keseluruhan kebutuhan energi, tercermin dari nilai rata-rata indikator X1 sebesar 2,0876 EJ, yang menunjukkan bahwa peran energi terbarukan mulai menguat namun belum dominan dalam sistem energi nasional.

Variabel Konsumsi Energi Tidak Terbarukan

Konsumsi energi tidak terbarukan di Indonesia selama periode 1990–2023 menunjukkan tren peningkatan yang sangat kuat meskipun disertai fluktuasi pada beberapa tahun awal, di mana konsumsi tercatat sebesar 2,70 EJ pada 1990, sempat menurun pada awal 1990-an, lalu meningkat secara bertahap hingga mencapai 5,87 EJ pada 2004 dan terus mengalami akselerasi sejak pertengahan 2000-an. Memasuki dekade 2010-an, pertumbuhan konsumsi semakin

tajam, dari sekitar 10,99 EJ pada 2010 menjadi 22,69 EJ pada 2017, dan melonjak signifikan pada periode 2018–2023 dari 24,52 EJ hingga mencapai 37,67 EJ pada 2023. Secara keseluruhan, rata-rata konsumsi energi tidak terbarukan selama periode penelitian mencapai 12,09 EJ, yang menegaskan masih kuatnya dominasi energi fosil dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional sekaligus mencerminkan besarnya tantangan dalam mendorong transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan.

Variabel Produk Domestik Bruto

Produk Domestik Bruto (GDP) riil Indonesia selama periode 1990–2023 menunjukkan tren peningkatan jangka panjang yang kuat meskipun disertai fluktuasi akibat guncangan ekonomi, seperti krisis finansial Asia 1997–1998 yang menyebabkan kontraksi tajam serta perlambatan ekonomi pada masa pandemi COVID-19 tahun 2020. Setelah krisis, perekonomian Indonesia mengalami pemulihan yang konsisten sejak awal 2000-an, dengan pertumbuhan yang semakin kuat pada periode 2007–2012 dan kembali stabil sejak 2016 hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 91.411.410,16 miliar dolar AS pada 2023. Secara keseluruhan, rata-rata GDP sebesar 37.228.224,33 miliar dolar AS mencerminkan kapasitas ekonomi Indonesia yang terus meningkat dalam jangka panjang, sekaligus menegaskan pentingnya stabilitas makroekonomi dan kebijakan yang berkelanjutan dalam menjaga pertumbuhan nasional.

Variabel Jumlah Penduduk

Produk Domestik Bruto (GDP) riil Indonesia selama periode 1990–2023 menunjukkan tren peningkatan jangka panjang yang kuat meskipun disertai fluktuasi akibat guncangan ekonomi, seperti krisis finansial Asia 1997–1998 yang menurunkan GDP secara tajam dan perlambatan ekonomi pada masa pandemi COVID-19 tahun 2020. Setelah krisis, perekonomian Indonesia mengalami pemulihan yang konsisten sejak awal 2000-an, dengan pertumbuhan yang semakin kuat pada periode 2007–2012 dan kembali stabil pasca-2016 hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 91.411.410,16 miliar dolar AS pada 2023. Secara keseluruhan, rata-rata GDP Indonesia sebesar 37.228.224,33 miliar dolar AS mencerminkan kapasitas ekonomi yang terus membesar dalam jangka panjang, meskipun sempat menghadapi tekanan dari krisis global dan domestik.

Variabel Emisi Karbon

Emisi karbon Indonesia selama periode 1990–2023 menunjukkan tren peningkatan yang kuat dan relatif konsisten, dari 161,78 kt pada 1990 menjadi 299,09 kt pada 2000 dan terus meningkat hingga 443,71 kt pada 2010 seiring dengan intensifikasi aktivitas ekonomi dan penggunaan energi fosil. Setelah 2011, emisi cenderung meningkat dengan beberapa fluktuasi,

termasuk lonjakan signifikan pasca-2017 hingga mencapai 637,31 kt pada 2019, penurunan sementara pada 2020 akibat perlambatan ekonomi selama pandemi COVID-19, dan kembali meningkat hingga mencapai 674,54 kt pada 2023. Secara keseluruhan, rata-rata emisi karbon sebesar 401,43 kt mencerminkan bahwa peningkatan emisi merupakan fenomena struktural yang sejalan dengan pola pertumbuhan ekonomi Indonesia, sekaligus menegaskan urgensi percepatan transisi energi dan penerapan kebijakan pembangunan berkelanjutan.

Hasil Analisis

Uji Statistik Deskriptif

Tabel 1. Statistik Deskriptif.

	Konsumsi Energi Terbarukan	Konsumsi Energi Tidak Terbarukan	Produk Domestik Bruto	Jumlah Penduduk	Emisi Karbon
Mean	0.717731	2.100670	26.70950	19.26690	5.918941
Median	0.735715	2.036077	26.70709	19.27723	5.966900
Maximum	1.032228	3.628956	27.94669	19.45454	6.514025
Minimum	0.241852	0.701826	25.28182	19.02773	5.086226
Std. Dev.	0.196230	0.914103	0.880606	0.129930	0.409204
Observations	34	34	34	34	34

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan statistik deskriptif, konsumsi energi terbarukan memiliki rata-rata 0,717731 dengan median yang hampir sama, menunjukkan sebaran data relatif simetris dan variasi rendah hingga sedang. Konsumsi energi tidak terbarukan memiliki rata-rata 2,100670 dengan standar deviasi lebih tinggi, yang mengindikasikan variasi penggunaan antarperiode pengamatan relatif besar. Produk Domestik Bruto (PDB) menunjukkan distribusi data yang seimbang dengan fluktuasi moderat selama periode penelitian. Jumlah penduduk memiliki standar deviasi yang sangat kecil, menandakan pertumbuhan yang relatif stabil dari waktu ke waktu. Sementara itu, emisi karbon memiliki variasi moderat antar observasi, tercermin dari nilai rata-rata 5,918941 dan standar deviasi 0,409204.

Uji Stasioneritas Data

Tabel 2. Hasil Uji Stationeritas Pada Tingkat Level.

Variabel	Nilai DF	Nilai Kritis			Keterangan
		1%	5%	10%	
Konsumsi Energi Keterbarukan	-2.2835	-3.64634	-2.95402	-2.61582	Tidak Stationer
Konsumsi Energi Tidak Keterbarukan	0.975128	-3.65373	-2.95711	-2.61743	Tidak Stationer
PDB	-0.73382	-3.64634	-2.95402	-2.61582	Tidak Stationer
Jumlah Penduduk	-2.93575	-3.66166	-2.96041	-2.61916	Tidak Stationer
Emisi Karbon	-2.16396	-3.64634	-2.95402	-2.61582	Tidak Stationer

Sumber: Data diolah (2025)

Hasil uji stasioneritas pada tingkat level menunjukkan bahwa seluruh variabel penelitian belum memenuhi kriteria stasioner, yang ditandai oleh nilai Dickey-Fuller (DF) masing-masing variabel masih lebih besar daripada nilai kritis pada taraf signifikansi 1%, 5%, dan

10%. Variabel konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, jumlah penduduk, dan emisi karbon seluruhnya memiliki nilai DF yang tidak melampaui batas kritis, sehingga secara statistik dinyatakan tidak stasioner pada tingkat level. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan pada tingkat diferensiasi pertama (first difference) untuk memastikan apakah variabel-variabel tersebut dapat mencapai kondisi stasioner.

Tabel 3. Hasil Uji Stationeritas Pada Tingkat Level 1.

Variabel	Nilai DF	Nilai Kritis			Keterangan
		1%	5%	10%	
Konsumsi Energi Keterbarukan	-7.58462	-3.65373	-2.95711	-2.61743	Stationer
Konsumsi Energi Tidak Keterbarukan	-7.30168	-3.65373	-2.95711	-2.61743	Stationer
PDB	-5.82985	-3.65373	-2.95711	-2.61743	Stationer
Jumlah Penduduk	-0.18521	-3.67017	-2.96397	-2.62101	Tidak Stationer
Emisi Karbon	-5.54877	-3.65373	-2.95711	-2.61743	Stationer

Sumber: Data diolah (2025)

Hasil uji stasioneritas pada tingkat diferensiasi pertama (first difference) menunjukkan bahwa sebagian besar variabel penelitian telah mencapai kondisi stasioner. Variabel konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, dan emisi karbon memiliki nilai Dickey-Fuller (DF) yang lebih kecil daripada seluruh nilai kritis pada taraf signifikansi 1%, 5%, dan 10%, sehingga dinyatakan stasioner. Sebaliknya, variabel jumlah penduduk belum memenuhi kriteria stasioneritas karena nilai DF masih lebih besar dibandingkan nilai kritis, sehingga tetap bersifat tidak stasioner pada tingkat first difference.

Tabel 4. Hasil Uji Stationeritas Pada Tingkat Level 2.

Variabel	Nilai DF	Nilai Kritis			Keterangan
		1%	5%	10%	
Konsumsi Energi Keterbarukan	-7.87312	-3.67017	-2.96397	-2.62101	Stationer
Konsumsi Energi Tidak Keterbarukan	-7.15513	-3.67932	-2.96777	-2.62299	Stationer
PDB	-7.41416	-3.67017	-2.96397	-2.62101	Stationer
Jumlah Penduduk	-4.11733	-3.67017	-2.96397	-2.62101	Stationer
Emisi Karbon	-7.39098	-3.67932	-2.96777	-2.62299	Stationer

Sumber: Data diolah (2025)

Hasil uji stasioneritas pada tingkat diferensiasi kedua (second difference) menunjukkan bahwa seluruh variabel penelitian telah mencapai kondisi stasioner, yang ditandai oleh nilai Dickey-Fuller (DF) masing-masing variabel lebih kecil dibandingkan nilai kritis pada taraf signifikansi 1%, 5%, dan 10%. Variabel konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, jumlah penduduk, dan emisi karbon seluruhnya memenuhi kriteria stasioneritas pada tingkat ini, termasuk variabel jumlah penduduk yang sebelumnya belum stasioner pada level maupun first difference. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa seluruh variabel terintegrasi pada orde dua (I(2)), sehingga analisis lanjutan perlu menggunakan metode yang sesuai, seperti uji kointegrasi dan pendekatan Error Correction Model (ECM) apabila terdapat hubungan jangka panjang antarvariabel.

Uji Jangka Panjang**Tabel 5.** Hasil Uji Kointegrasi Engle Granger.

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C (konstanta)	-68.28395	4.639388	-14.71831	0.0000
X1 (Energi Terbarukan)	0.050610	0.044246	1.143839	0.2620
X2 (Energi Tidak Terbarukan)	-0.139869	0.045975	-3.042271	0.0049
X3 (PDB)	0.045221	0.040360	1.120447	0.2717
X4 (Jumlah Penduduk)	3.801990	0.250401	15.18361	0.0000
Statistik				Nilai
<i>R-squared</i>				0.990730
<i>Adjusted R-squared</i>				0.989451
<i>F-statistic</i>				774.8393
<i>Prob(F-statistic)</i>				0.000000
<i>Durbin-Watson stat</i>				1.424242

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan hasil estimasi jangka panjang, model hubungan antara emisi karbon (Y), konsumsi energi terbarukan (X1), konsumsi energi tidak terbarukan (X2), PDB (X3), dan jumlah penduduk (X4) dapat dirumuskan sebagai berikut:

a. Konsumsi Energi Terbarukan (X1) terhadap Emisi Karbon (Y)

Nilai koefisien konsumsi energi terbarukan sebesar 0.050610, yang berarti jika konsumsi energi terbarukan meningkat 1 satuan, maka emisi karbon akan meningkat sebesar 0.05 satuan dengan asumsi *ceteris paribus*. Namun, nilai probabilitas sebesar 0.2620 (> 0.05) menunjukkan bahwa variabel ini tidak signifikan secara statistik. Artinya, konsumsi energi terbarukan belum berpengaruh nyata terhadap emisi karbon dalam jangka panjang.

b. Konsumsi Energi Tidak Terbarukan (X2) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien konsumsi energi tidak terbarukan adalah -0.139869, dengan probabilitas 0.0049 (< 0.05). Hal ini menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, peningkatan konsumsi energi tidak terbarukan justru menurunkan emisi karbon secara signifikan. Temuan ini dapat disebabkan oleh adanya efisiensi teknologi atau pergeseran pola penggunaan energi tidak terbarukan ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan.

c. Produk Domestik Bruto (X3) terhadap Emisi Karbon (Y)

Nilai koefisien PDB sebesar 0.045221, yang berarti peningkatan PDB 1 satuan berpotensi meningkatkan emisi karbon sebesar 0.045 satuan. Akan tetapi, nilai probabilitas 0.2717 (> 0.05) menunjukkan bahwa pengaruh ini tidak signifikan. Artinya, pertumbuhan ekonomi belum memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi karbon pada jangka panjang.

d. Jumlah Penduduk (X4) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien jumlah penduduk sebesar 3.801990, dengan probabilitas 0.0000 (< 0.05).

Hal ini berarti peningkatan jumlah penduduk 1 satuan akan meningkatkan emisi karbon sebesar 3.80 satuan secara signifikan. Dengan demikian, variabel jumlah penduduk berpengaruh positif signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dalam jangka panjang.

Uji Kointegrasi

Tabel 6. Hasil Uji Stationer Pada Variabel Residual.

Hipotesis No. CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	Nilai Kritis 5%	Prob.	Keterangan
None *	0.693001	78.00765	69.81889	0.0096	Ada kointegrasi
At most 1	0.456554	40.21849	47.85613	0.2148	Tidak ada
At most 2	0.355099	20.70408	29.79707	0.3764	Tidak ada
At most 3	0.140719	6.667001	15.49471	0.6167	Tidak ada
At most 4	0.055108	1.813894	3.841466	0.1780	Tidak ada

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan Tabel 6, hasil uji kointegrasi Johansen dengan pendekatan *Trace Statistic* menunjukkan bahwa hipotesis nol ditolak pada hipotesis pertama karena nilai *Trace Statistic* (78,00765) lebih besar dari nilai kritis 5% (69,81889) dengan probabilitas 0,0096 < 0,05, sehingga mengindikasikan adanya satu persamaan kointegrasi dalam model. Temuan ini menegaskan bahwa variabel emisi karbon, konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, Produk Domestik Bruto, dan jumlah penduduk memiliki hubungan jangka panjang (*long-run equilibrium*), meskipun dalam jangka pendek dapat mengalami fluktuasi.

Estimasi Error Correction Model

Tabel 7. Hasil Uji Jangka Panjang.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-68.28395	4.639388	-14.71831	0.0000
X1	0.050610	0.044246	1.143839	0.2620
X2	-0.139869	0.045975	-3.042271	0.0049
X3	0.045221	0.040360	1.120447	0.2717
X4	3.801990	0.250401	15.18361	0.0000
<i>R-squared</i>	0.990730	<i>Mean dependent var</i>		5.918941
<i>Adjusted R-squared</i>	0.989451	<i>S.D. dependent var</i>		0.409204
<i>S.E. of regression</i>	0.042028	<i>Akaike info criterion</i>		-3.365908
<i>Sum squared resid</i>	0.051224	<i>Schwarz criterion</i>		-3.141443
<i>Log likelihood</i>	62.22043	<i>Hannan-Quinn criter.</i>		-3.289359
<i>F-statistic</i>	774.8393	<i>Durbin-Watson stat</i>		1.424242
Prob(F-statistic)	0.000000			

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan Tabel 7 hasil uji jangka panjang, model regresi terbukti sangat baik dan signifikan secara simultan dengan nilai *R-squared* sebesar 0,9907 dan *Prob (F-statistic)* 0,0000, yang menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi emisi karbon dapat dijelaskan oleh

variabel dalam model. Secara parsial, jumlah penduduk berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan konsumsi energi tidak terbarukan berpengaruh signifikan dengan arah negatif yang mengindikasikan adanya efisiensi atau perbaikan teknologi. Sementara itu, konsumsi energi terbarukan dan Produk Domestik Bruto berpengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi karbon, sehingga dalam jangka panjang faktor demografis dan pola konsumsi energi tertentu menjadi penentu utama perubahan emisi karbon.

Tabel 8. Hasil Uji Jangka Pendek.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.010932	0.033495	-0.326372	0.7467
D(X1)	-0.031538	0.055608	-0.567150	0.5753
D(X2)	-0.050514	0.079890	-0.632300	0.5325
D(X3)	0.001034	0.040352	0.025631	0.9797
D(X4)	4.482291	2.325151	1.927742	0.0645
RESID01(-1)	-0.660340	0.187210	-3.527279	0.0015
<i>R-squared</i>	0.425482	<i>Mean dependent var</i>	0.043267	
<i>Adjusted R-squared</i>	0.319090	<i>S.D. dependent var</i>	0.044284	
<i>S.E. of regression</i>	0.036542	<i>Akaike info criterion</i>	-3.617729	
<i>Sum squared resid</i>	0.036054	<i>Schwarz criterion</i>	-3.345637	
<i>Log likelihood</i>	65.69253	<i>Hannan-Quinn criter.</i>	-3.526178	
<i>F-statistic</i>	3.999183	<i>Durbin-Watson stat</i>	1.688279	
<i>Prob(F-statistic)</i>	0.007627			

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan Tabel 8 hasil uji jangka pendek, model regresi signifikan secara simultan dengan nilai *Prob (F-statistic)* sebesar 0,0076 dan nilai *R-squared* 0,4255, yang menunjukkan bahwa sekitar 42,55% variasi perubahan emisi karbon dapat dijelaskan dalam jangka pendek. Secara parsial, perubahan konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, dan Produk Domestik Bruto tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan emisi karbon, sementara perubahan jumlah penduduk berpengaruh positif namun belum signifikan pada taraf 5%. Variabel RESID01(-1) berpengaruh negatif dan signifikan dengan koefisien -0,6603, yang mengindikasikan adanya mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang, di mana sekitar 66% ketidakseimbangan jangka pendek akan dikoreksi dalam satu periode.

Tabel 9. Hasil ECM.

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Statistik	Prob.
C	-0.010932	0.033495	-0.326372	0.7467
D(X1)	-0.031538	0.055608	-0.567150	0.5753
D(X2)	-0.050514	0.079890	-0.632300	0.5325
D(X3)	0.001034	0.040352	0.025631	0.9797
D(X4)	4.482291	2.325151	1.927742	0.0645
ECT (-1)	-0.660340	0.187210	-3.527279	0.0015

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan Tabel 9, model *Error Correction Model* (ECM) dari nilai koefisien ECT(-1) adalah sebesar -0.660340, yang berarti bahwa ketidakseimbangan jangka pendek akan dikoreksi menuju keseimbangan jangka panjang sebesar 66,03% pada periode berikutnya. Koefisien ini bertanda negatif dan signifikan (*p-value* 0.0015), sehingga sesuai dengan teori ECM. Hasil pengujian jangka pendek dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Konsumsi Energi Terbarukan (X1) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien Konsumsi Energi Terbarukan sebesar -0.031538 menunjukkan bahwa jika terjadi peningkatan Konsumsi Energi Terbarukan sebesar 1 persen, maka akan menurunkan Emisi Karbon sebesar 0,03 persen pada periode yang sama. Namun, nilai probabilitas sebesar $0.5753 > 0.05$, artinya pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan tidak signifikan secara statistik.

b. Konsumsi Energi Tidak Terbarukan (X2) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien Konsumsi Energi Tidak Terbarukan sebesar -0.050514, artinya kenaikan Konsumsi Energi Tidak Terbarukan sebesar 1 persen akan menurunkan Emisi Karbon sebesar 0,05 persen. Akan tetapi, dengan nilai probabilitas 0.5325, variabel Konsumsi Energi Tidak Terbarukan juga tidak signifikan dalam jangka pendek.

c. Produk Domestik Bruto (X3) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien Produk Domestik Bruto sebesar 0.001034 dengan probabilitas 0.9797, artinya variabel ini tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap Emisi Karbon.

d. Jumlah Penduduk (X4) terhadap Emisi Karbon (Y)

Koefisien Jumlah Penduduk sebesar 4.482291 dengan probabilitas 0.0645, menunjukkan adanya pengaruh positif terhadap Emisi Karbon. Walaupun signifikansi hanya pada level 10%, hasil ini mengindikasikan bahwa Jumlah Penduduk merupakan faktor yang cukup penting dalam memengaruhi perubahan Emisi Karbon dalam jangka pendek.

Secara keseluruhan, model ECM yang terbentuk menunjukkan bahwa meskipun sebagian besar variabel independen tidak signifikan dalam jangka pendek, keberadaan ECT(-1) yang signifikan dan bertanda negatif membuktikan adanya koreksi keseimbangan menuju kondisi jangka panjang.

Uji Kelayakan Model

a. Uji Statistik F

Berdasarkan hasil estimasi ECM, nilai F-statistik sebesar 3.999183 dengan nilai probabilitas (*Prob. F-statistic*) sebesar $0.007627 < 0.10$. Hal ini menunjukkan bahwa pada tingkat signifikansi 10%, hipotesis alternatif diterima. Artinya, secara simultan variabel

independen dalam penelitian (X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , dan ECT) berpengaruh terhadap variabel dependen (ΔY). Dengan demikian, model penelitian ini layak digunakan untuk menjelaskan hubungan antar variabel.

b. Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai R-squared sebesar 0.425482 dan Adjusted R-squared sebesar 0.319090. Hal ini mengindikasikan bahwa sekitar 42,5% variasi perubahan pada variabel dependen (ΔY) dapat dijelaskan oleh variasi variabel independen dalam model. Sementara itu, sisanya sebesar 57,5% dijelaskan oleh faktor-faktor lain di luar model penelitian ini. Nilai R^2 yang cukup moderat ini menunjukkan bahwa meskipun model mampu menjelaskan sebagian besar variasi, masih terdapat faktor eksternal lain yang turut memengaruhi ΔY .

c. Uji Hipotesis / Uji Statistik t

Tabel 10. Hasil Uji t.

Variabel	Koefisien	t-Statistik	Prob.	Keterangan
D(X_1)	-0.031538	-0.567150	0.5753	Tidak Signifikan
D(X_2)	-0.050514	-0.632300	0.5325	Tidak Signifikan
D(X_3)	0.001034	0.025631	0.9797	Tidak Signifikan
D(X_4)	4.482291	1.927742	0.0645	Signifikan pada 10%
ECT(-1)	-0.660340	-3.527279	0.0015	Signifikan pada 1%

Sumber: Data diolah (2025)

Berdasarkan hasil uji t di atas, dapat dijelaskan:

- 1) Variabel Konsumsi Energi Terbarukan (X_1), Konsumsi Energi Tidak Terbarukan (X_2), dan Produk Domestik Bruto (X_3) memiliki nilai probabilitas lebih besar dari 0.05 sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap Emisi Karbon (Y).
- 2) Variabel Jumlah Penduduk (X_4) berpengaruh positif terhadap Emisi Karbon (Y) dengan probabilitas 0.0645, signifikan pada tingkat 10%. Artinya, perubahan Jumlah penduduk dalam jangka pendek cukup memengaruhi perubahan Emisi Karbon.
- 3) Variabel ECT (-1) signifikan pada level 1% dengan koefisien negatif (-0.660340). Hal ini menunjukkan adanya mekanisme koreksi kesalahan, di mana ketidakseimbangan jangka pendek dapat terkoreksi menuju keseimbangan jangka panjang sebesar 66,03% pada periode berikutnya.

Pembahasan

Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan, Konsumsi Energi Tidak Terbarukan, PDB, dan Jumlah Penduduk dalam Jangka Pendek terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Berdasarkan hasil estimasi *Error Correction Model* (ECM), konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, dan Produk Domestik Bruto tidak berpengaruh signifikan

terhadap emisi karbon dalam jangka pendek, yang menunjukkan bahwa perubahan ketiga variabel tersebut belum mampu memengaruhi emisi secara langsung dalam periode singkat. Tidak signifikannya energi terbarukan dan energi fosil mencerminkan bahwa kontribusi keduanya terhadap perubahan emisi memerlukan waktu, baik karena skala pemanfaatan energi terbarukan yang masih terbatas maupun adanya faktor efisiensi, teknologi, dan regulasi pada energi fosil. PDB juga tidak berpengaruh signifikan dalam jangka pendek, sejalan dengan pandangan bahwa dampak aktivitas ekonomi terhadap emisi karbon baru terlihat melalui akumulasi proses produksi dan konsumsi dalam jangka panjang. Sebaliknya, jumlah penduduk berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon pada taraf 10%, yang menunjukkan bahwa peningkatan populasi secara cepat mendorong kenaikan emisi melalui peningkatan kebutuhan energi dan aktivitas ekonomi. Selain itu, nilai *error correction term* (ECT) yang negatif dan signifikan (-0,6603) mengindikasikan adanya mekanisme penyesuaian yang kuat, di mana sekitar 66% ketidakseimbangan jangka pendek akan dikoreksi menuju keseimbangan jangka panjang setiap periode.

Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan, Konsumsi Energi Tidak Terbarukan, PDB, dan Jumlah Penduduk dalam Jangka Panjang terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Hasil uji kointegrasi Johansen menunjukkan adanya satu persamaan kointegrasi pada taraf signifikansi 5%, yang menandakan adanya hubungan keseimbangan jangka panjang antara konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, dan jumlah penduduk terhadap emisi karbon di Indonesia. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun dalam jangka pendek sebagian variabel tidak berpengaruh signifikan, dalam jangka panjang seluruh variabel tersebut bergerak bersama dan menentukan dinamika emisi karbon. Energi terbarukan secara teoritis berperan menekan emisi karbon, namun dampak signifikannya baru akan terlihat ketika porsinya dalam bauran energi nasional semakin besar. Sebaliknya, konsumsi energi fosil tetap menjadi penentu utama peningkatan emisi karbon dalam jangka panjang karena tingginya intensitas karbon dari bahan bakar fosil. Selain itu, pertumbuhan PDB dan jumlah penduduk cenderung mendorong emisi karbon dalam jangka panjang, kecuali jika pertumbuhan ekonomi dan demografi tersebut diimbangi dengan kebijakan lingkungan, inovasi teknologi, dan percepatan transisi menuju energi bersih.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa dalam jangka pendek sebagian besar variabel independen, yaitu konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, Produk Domestik Bruto (PDB), dan jumlah penduduk, tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia. Temuan ini mengindikasikan bahwa fluktuasi jangka pendek pada variabel-variabel tersebut belum secara langsung memengaruhi perubahan emisi karbon. Dengan demikian, dinamika emisi karbon cenderung lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor struktural yang bersifat jangka panjang dibandingkan oleh perubahan yang bersifat sementara.

Dalam jangka panjang, hasil uji kointegrasi Johansen membuktikan adanya satu persamaan kointegrasi, yang menunjukkan bahwa konsumsi energi terbarukan, konsumsi energi tidak terbarukan, PDB, dan jumlah penduduk memiliki hubungan keseimbangan jangka panjang dengan emisi karbon di Indonesia. Secara umum, konsumsi energi tidak terbarukan dan pertumbuhan jumlah penduduk berpotensi meningkatkan emisi karbon. Sebaliknya, konsumsi energi terbarukan berpotensi menekan emisi karbon, terutama apabila porsinya semakin besar dalam bauran energi nasional. Sementara itu, peningkatan PDB cenderung mendorong naiknya emisi karbon seiring dengan pertumbuhan aktivitas ekonomi, kecuali apabila arah pembangunan difokuskan pada konsep ekonomi hijau dan pemanfaatan energi bersih yang berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Abidi, I., & Nsaibi, M. (2024). Assessing the impact of renewable energy in mitigating climate change: A comprehensive study on effectiveness and adaptation support. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(3), 442–454. <https://doi.org/10.32479/ijep.15769>
- Adrian, M. A. (2024). Analisis pengaruh aktivitas ekonomi terhadap peningkatan emisi karbon: Studi empiris empat negara ASEAN. *Jurnal Ekonomi Indonesia*, 12(2), 187–202. <https://doi.org/10.52813/jei.v12i2.379>
- Alvika, P., & Busneti, I. (2025). Analysis of influence of GDP, population resident, and FDI against CO₂ emissions in six ASEAN countries. *Jurnal Ilmu Ekonomi (JIE)*, 9(1).
- Amaefule, C., Kalu, I. E., Udeorah, S., & Ebelebe, L. O. (2022). Fossil fuel consumption, CO₂ emissions, and growth in high-income and low-income countries. *European Journal of Sustainable Development Research*, 6(3), 1–24. <https://doi.org/10.21601/ejosdr/12084>
- Aye, G. C., & Edoja, P. E. (2017). Effect of economic growth on CO₂ emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 5(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/23322039.2017.1379239>

- Badan Pusat Statistik. (2022). *Hasil sensus penduduk 2020: Jumlah dan distribusi penduduk Indonesia*.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Produk domestik bruto Indonesia 2018–2022*.
- Bakara, S., Simamora, E., Sarah, K., Siahaan, A., Matondang, K. A., & Irfansyah, F. (2024). Teori Heckscher-Ohlin: Model perdagangan internasional. *JETBUS: Journal of Education, Transportation and Business*, 1, 612–616.
- Fauzi, R. F. (2017). Pengaruh konsumsi energi, luas kawasan hutan, dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN: Pendekatan analisis data panel. *Jurnal Ecolab*, 11(1), 14–26. <https://doi.org/10.20886/jkh.2017.11.1.14-26>
- Febriyastuti Widyawati, R., Hariani, E., Lopa Ginting, A., & Nainggolan, E. (2021). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, populasi penduduk kota, dan keterbukaan perdagangan internasional terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*, 3, 37–47.
- Feng, H. (2022). The impact of renewable energy on carbon neutrality for the sustainable environment: Role of green finance and technology innovations. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.924857>
- Gamatara, M. P. J., & Kusumawardani, D. (2024). Pengaruh deforestasi terhadap emisi CO₂ pada negara beriklim tropis di benua Asia. *Jurnal Ilmiah MEA*, 8(2), 1239–1256.
- Handayani, R. (2024). *Modul ekonomi internasional*. Universitas IPWIJA.
- Helda, P. N., Jamal, A., & Dawood, T. C. (2018). Pengaruh urbanisasi, pertumbuhan PDB sektor industri, dan pertumbuhan PDB sektor transportasi terhadap polusi lingkungan di Indonesia. *Jurnal*, 5, 170–182.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis (Sixth Assessment Report)*.
- International Energy Agency. (2020). *Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025*.
- International Energy Agency. (2021). *World energy outlook 2021*.
- International Energy Agency. (2022). *Global energy review: CO₂ emissions in 2021*.
- International Monetary Fund. (2022). *World economic outlook database: October 2022*.
- International Renewable Energy Agency. (2021). *World energy transitions outlook: 1.5°C pathway*.
- Jaya, I. M. L. M. (2020). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif*. Quadrant.
- Lawal, I. M., & Abubakar, M. (2019). Impact of population growth on carbon dioxide (CO₂) emissions: Empirical evidence from Nigeria. *Jurnal Perspektif Pembangunan dan Pembangunan Daerah*, 6(6).
- Lesmana, I., Astuty, S., & Jamil, M. (2024). Analisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, foreign direct investment, dan konsumsi energi terhadap kualitas lingkungan di Indonesia ditinjau dari emisi karbon dioksida (CO₂). *Jurnal EMT KITA*, 8(3), 1205–1214. <https://doi.org/10.35870/emt.v8i3.2905>
- Liddle, B. (2011). Consumption-driven environmental impact and age structure change in OECD countries: A cointegration-STIRPAT analysis. *Demographic Research*, 24(30), 749–770. <https://doi.org/10.4054/DemRes.2011.24.30>

- Mirziyoyeva, Z., & Salahodjaev, R. (2023). Renewable energy, GDP, and CO₂ emissions in high-globalized countries. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1123269>
- Nadeak, S. A. H., & Nasrudin, 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>
- Oliveira, A., Spinola, V., Garrido, D., Teixeira, M. M., Salles, C., & Haddad, A. E. (2023). Influence of learning styles on student performance in self-instructional courses. *PLOS ONE*, 18(7), e0289036. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289036>
- Onofrei, M., Vatamanu, A. F., & Cigu, E. (2022). The relationship between economic growth and CO₂ emissions in EU countries: A cointegration analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.934885>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Understanding national accounts*.
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwati, A. (2022). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia. *Bullet: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(6).
- Rahman, M. M., & Vu, X. B. (2022). Economic growth, population dynamics, and carbon emissions: New evidence from panel cointegration analysis in developing economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(45), 68012–68027. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20815-4>
- Rosyid, R. M., et al. (2022). *Teknologi pertanian*. PT Global Eksekutif Teknologi.
- Siregar, S. W., & Hasbi. (2023). Analisis pengaruh keterbukaan perdagangan, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon di negara D-8. *Jurnal Magister Ekonomi Syariah*, 2(1), 61–77. <https://doi.org/10.14421/jmes.2023.021-05>
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2018). *Metode penelitian kuantitatif*. Alfabeta.
- Suhartoko, Y. B., & Ekaristi, M. G. D. (2023). The impact of economic growth, foreign direct investment, population, and energy consumption on carbon dioxide emissions in six ASEAN countries during the period 2000–2021. *Society*, 11(2), 771–786. <https://doi.org/10.33019/society.v11i2.557>
- Thi Mai, A. N., Xuan, V. N., Le, H. M., Xuan, H. P., & Thi Phuong, T. N. (2024). Population, carbon dioxide emissions, and renewable energy consumption nexus: New insights from Vietnam. *Energy Exploration & Exploitation*, 42(5), 1763–1798. <https://doi.org/10.1177/01445987241252453>
- Ulucak, R., Danish, & Khan, S. U. (2020). Does information and communication technology affect CO₂ mitigation under the pathway of sustainable development during the mode of globalization? *Sustainable Development*, 28(4), 857–867. <https://doi.org/10.1002/sd.2041>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Emissions gap report 2022*.
- United Nations. (2022). *World population prospects 2022*.

- Wang, Q., Li, R., & Li, S. (2022). Fossil fuel energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Evidence from developing countries. *Energy Economics*, 109, 105958. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105958>
- Widarjono, A. (2018). *Ekonometrika: Pengantar dan aplikasinya disertai panduan EVViews*. UPP STIM YKPN.
- World Bank. (2021). *GDP (current US\$)*.
- World Bank. (2023). *CO₂ emissions (metric tons per capita)*.
- World Bank. (2023). *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption)*.
- Zhao, X., Zhang, Y., Wang, S., & Li, J. (2021). The role of renewable energy consumption and technological innovation in reducing carbon emissions: Evidence from panel data of developing countries. *Renewable Energy*, 170, 531–540. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.090>