

**PENGARUH ENERGI TERBARUKAN, KONSUMSI ENERGI, DAN
PRODUK DOMESTIK BRUTO (PDB) TERHADAP EMISI KARBON
DIOKSIDA (CO₂) DI INDONESIA**

(Skripsi)

Oleh:

**Almausshofi
NPM 2211021107**



**PROGRAM SARJANA EKONOMI PEMBANGUNAN
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH ENERGI TERBARUKAN, KONSUMSI ENERGI, DAN PRODUK DOMESTIK BRUTO (PDB) TERHADAP EMISI KARBON DIOKSIDA (CO₂) DI INDONESIA

Oleh

ALMAUSSHOFI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh energi terbarukan, konsumsi energi, dan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia periode 1995-2024. Penelitian ini menggunakan data sekunder runtut tahun (*time series*) dengan metode analisis regresi linear berganda *Ordinary Least Square* (OLS) yang dikoreksi menggunakan pendekatan *Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent* (HAC) Newey-West. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi terbarukan tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, yang disebabkan oleh masih rendahnya pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional yang hanya mencapai 10,95% pada tahun 2024. Variabel konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂, dimana setiap kenaikan 1% konsumsi energi meningkatkan emisi CO₂ sebesar 84,23%. Variabel Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂, setiap kenaikan 1% PDB per kapita meningkatkan emisi CO₂ sebesar 35,03%, mengindikasikan bahwa Indonesia masih berada pada sisi kurva EKC. Secara simultan, ketiga variabel berpengaruh signifikan dengan nilai *Adjusted R-squared* sebesar 53,63%. Temuan ini menegaskan bahwa struktur bauran energi Indonesia yang masih didominasi bahan bakar fosil menjadi faktor utama tingginya emisi karbon dioksida. Diperlukan kebijakan efisiensi energi yang menyeluruh, percepatan transisi energi terbarukan, serta strategi pertumbuhan ekonomi yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Emisi CO₂, Energi Terbarukan, Konsumsi Energi, PDB per Kapita, *Environmental Kuznets Curve*, Indonesia

ABSTRACT

THE IMPACT OF RENEWABLE ENERGY, ENERGY CONSUMPTION, AND GROSS DOMESTIC PRODUCT (GDP) ON CARBON DIOXIDE (CO₂) EMISSIONS IN INDONESIA

By

ALMAUSSHOFI

This study aims to analyze the impact of renewable energy, energy consumption, and Gross Domestic Product (GDP) per capita on carbon dioxide (CO₂) emissions in Indonesia for the period 1995-2024. This study uses secondary data over time (time series) with the Ordinary Least Square (OLS) multiple linear regression analysis method corrected using the Newey-West Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent (HAC) approach. The results show that renewable energy does not have a significant impact on CO₂ emissions, which is caused by the still low share of renewable energy in the national energy mix which only reaches 10.95% in 2024. Energy consumption has a positive and significant impact on CO₂ emissions, where every 1% increase in energy consumption increases CO₂ emissions by 84.23%. Gross Domestic Product (GDP) per capita has a positive and significant impact on CO₂ emissions. Every 1% increase in GDP per capita increases CO₂ emissions by 35.03%, indicating that Indonesia remains on the EKC curve. Simultaneously, all three variables have a significant impact, with an adjusted R-squared value of 53.63%. This finding confirms that Indonesia's energy mix, still dominated by fossil fuels, is a major factor in high carbon emissions. Comprehensive energy efficiency policies, accelerated renewable energy transitions, and greener and more sustainable economic growth strategies are needed.

Keywords: CO₂ Emissions, Renewable Energy, Energy Consumption, Gross Domestic Product, Environmental Kuznets Curve, Indonesia

**PENGARUH ENERGI TERBARUKAN, KONSUMSI ENERGI, DAN
PRODUK DOMESTIK BRUTO (PDB) TERHADAP EMISI KARBON
DIOKSIDA (CO₂) DI INDONESIA**

Oleh

ALMAUSSHOFI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA EKONOMI

Pada

Jurusan Ekonomi Pembangunan

Fakultas Ekonomi dan Bisnis

Universitas Lampung



**FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**Judul Skripsi : PENGARUH ENERGI TERBARUKAN,
KONSUMSI ENERGI, DAN PRODUK
DOMESTIK BRUTO (PDB) TERHADAP
EMISI KARBON DIOKSIDA (CO₂) DI
INDONESIA**

Nama Mahasiswa : Almausshofi

Nomor Pokok Mahasiswa : 2211021107

Program Studi : Ekonomi Pembangunan

Fakultas : Ekonomi dan Bisnis



Ambya

Prof. Dr. Ambya, S.E., M.Si.

NIP. 195907191987031002

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan

Arivina

Dr. Arivina Ratih Y.T., S.E., M.M.

NIP. 198007052006042002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

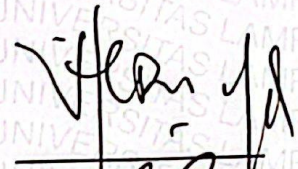
Ketua

: **Prof. Dr. Ambya, S.E., M.Si.**



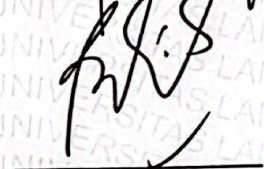
Penguji I

: **Dr. Heru Wahyudi, S.E., M.Si.**



Penguji 2

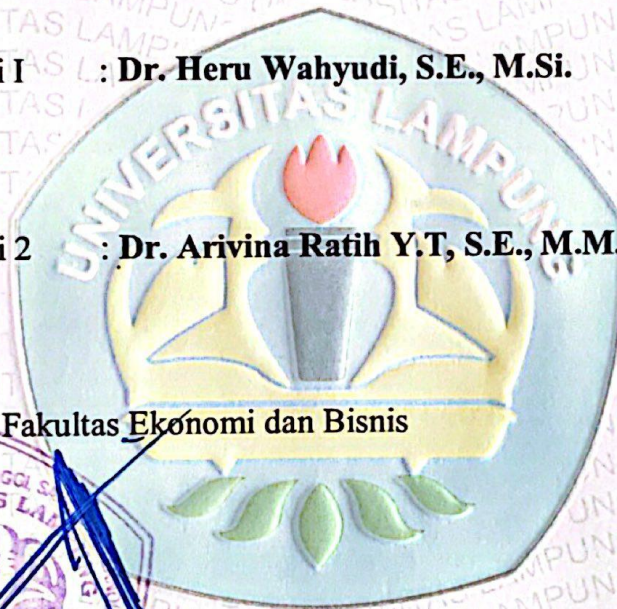
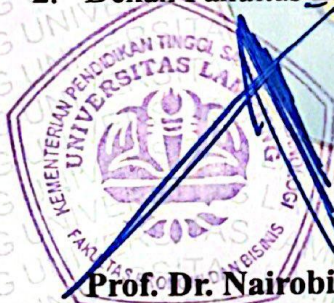
: **Dr. Arivina Ratih Y.T, S.E., M.M.**



2. Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis

Prof. Dr. Nairobi, S.E., M.Si.

NIP. 196606211990031003



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 04 Juni 2026

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri yang disusun secara mandiri dan bukan hasil plagiarisme atau penjiplakan terhadap karya ilmiah pihak lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima hukuman/sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Juni 2026

Almausshofi

RIWAYAT HIDUP



Almausshofi lahir di Talang Padang, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada 12 September 2003. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Aliudin dan Ibu Imnaiyah, serta anak ketiga dari empat bersaudara, yaitu Nurun Nadia, Nabila Assyifa, dan Amira Aflahia.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-Kanak di TK Aisyiyah 1 Talang Padang yang diselesaikan pada tahun 2010. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan dasar di MI Al-Khairiyah Sinar Banten dan lulus pada tahun 2015. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMPN 1 Talang Padang hingga lulus pada tahun 2018, kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan menengah atas di SMAN 1 Talang Padang dan lulus pada tahun 2021.

Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2022. Selama menjalani perkuliahan, penulis tidak hanya memenuhi kewajiban akademik, tetapi juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus. Penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Ekonomi Pembangunan (HIMEPA) sebagai staf Bidang 2 yang berfokus pada seni, kreativitas, dan publikasi, serta menjadi anggota aktif Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Ekonomi dan Bisnis pada tahun 2023. Selain itu, penulis juga telah melaksanakan program Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode 1 tahun 2025 di Desa Hatta, Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Untuk menambah pengalaman praktik, penulis mengikuti kegiatan magang mandiri di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Provinsi Lampung pada tahun 2025.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Dan Allah sebaik-baiknya perencana”

(Q.S. Ali Imran: 54)

“Steady and sure”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan Syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala limpahan rahmat serta karunia-Nya dan syafaat Nabi Muhammad SAW yang selalu dinantikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Atas ketulusan dan kerendahan hati, penulis mempersembahkan karya terbaik ini kepada:

Abah dan Emak

Kedua orang tuaku yang saya cintai, saya sayangi, dan saya hormati sebagai panutan dalam hidup penulis. Penulis bersyukur memiliki orang tua yang tidak pernah lelah mendoakan, mendukung, dan mempercayai setiap langkah penulis. Semoga kalian sehat selalu dan selalu dalam perlindungan Allah SWT. sehingga dapat mendampingi setiap langkah penulis di masa depan. Terima kasih atas segalanya.

Nurun Nadia, Nabila Assyifa, Amira Aflahia

Terima kasih kepada kakak-kakakku dan adikku, yang selalu menjadi bagian dari proses dan alasan untuk terus melangkah.

Serta

Almamater tercinta

**Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas
Lampung**

Bapak/Ibu dosen Fakultas Ekonomi dan Bisnis Jurusan Ekonomi Pembangunan dan sahabat-sahabat yang senantiasa membantu, memberikan motivasi dan semangat dalam pengerjaan karya tulis ini.

SANWACANA

Alhamdulillahirobbilalamin, segala puji Syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Energi Terbarukan, Konsumsi Energi, dan Produk Domestik Bruto (PDB) terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Indonesia” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan bimbingan, do'a, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Atas segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nairobi, S.E., M.Si., selaku Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Arivina Ratih Y.T., S.E., M.M., selaku Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung sekaligus sebagai Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan saran yang membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.
3. Ibu Zulfa Emalia, S.E., M.Sc., selaku Sekretaris Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung
4. Bapak Prof. Dr. Ambya, S.E., M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing dengan sangat baik, memberikan nasihat, kritik dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Prof. Dr. Toto Gunarto, S.E., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan ilmu, kritik dan saran yang membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Heru Wahyudi, S.E., M.Si. selaku Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan saran yang membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Ibu Dr. Tiara Nirmala, S.E., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, saran dan ilmu kepada penulis selama masa kuliah.
8. Kedua orang tuaku tercinta, terkasih, tersayang, abah Aliudin dan emak Imnaiyah. Terima kasih atas segala kerja keras yang dilakukan selama ini untuk membesarkan penulis dengan penuh cinta kasih dan sayang. Semoga pengorbananmu menjadi amal dan berkah yang di ridhoi Allah SWT. semoga kalian sehat selalu dan dalam lindungan Allah SWT. sekali lagi, semoga abah dan emak selalu dapat mendampingi setiap langkah penulis di masa depan.
9. Kakak-kakak dan adik-adikku, Teh Nadia dan Bang Adit, Teh Bila, Amira dan keponakanku Rahsya. Terima kasih selalu ada, selalu mendukung, dan selalu jadi tempat berbagi dalam setiap proses yang penulis jalani. Kehadiran kalian, sekecil apapun, selalu menjadi semangat untuk terus melangkah sampai akhirnya bisa di titik ini. Semoga kalian selalu sehat dan bahagia.
10. Seluruh keluarga besarku, terima kasih atas dukungan dan motivasi selama penulis berproses.
11. Sahabat-sahabat kuliahku (ayam geprek cute), Ira, Septi, Atri, Putri, Retno, dan Lira. Terima kasih sudah berjuang bersama, saling menguatkan, dan menemani di setiap proses yang tidak selalu mudah. Kalian bukan hanya teman belajar, tapi juga tempat berbagi cerita dan semangat. Semoga apa yang kita usahakan bisa membawa kita ke tujuan masing-masing.
12. Sahabat-sahabat SMA-ku (kaway), Rena, Alya, Puput, Mpi, Muli, Yulia, dan Oting. Terima kasih sudah tetap ada sampai sekarang, walaupun sudah jarang bertemu dan sibuk dengan jalan masing-masing, kebersamaan dan kenangan yang kita punya tetap berarti bagi penulis. Semoga kalian selalu diberi kelancaran dalam setiap langkah.

13. Teman-teman KKN-ku (hahihuhata), Talida, Olivia, Faros, Andre, dan Galang. Terima kasih atas kebersamaan, cerita, dan pengalaman berharga yang dilalui bersama. Momen singkat itu menjadi kenangan masa kuliah yang berarti bagi penulis. Semoga kalian menemukan jalan terbaik masing-masing.
14. Teman-teman Ekonomi Pembangunan Angkatan 2022 dan teman-teman lain yang tidak bisa disebut satu persatu. Terima kasih atas kebersamaan selama ini. Semoga kita semua bisa mencapai tujuan masing-masing.
15. Semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi dalam proses penulisan skripsi ini.
16. Seluruh *Civitas Academica* Fakultas Ekonomi Bisnis dan Universitas Lampung.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Semoga segala doa, dukungan, dan bimbingan yang telah diberikan kepada penulis meendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung, 04 Juni 2026
Penulis

Almausshofi
2211021107

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	17
1.3. Tujuan Penelitian.....	18
II. TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1. Kajian Teori.....	19
2.1.1. Peran dan Fungsi Pemerintah.....	19
2.1.2. Teori Neo-Klasik Solow.....	20
2.1.3. Teori Transisi Energi (<i>Energy Transition</i>).....	22
2.1.4. Teori Permintaan Energi.....	24
2.1.5. <i>Enviromental Kuznets Curve</i> (EKC).....	25
2.2. Penelitian Terdahulu.....	28
2.3. Kebaruan Penelitian	32
2.4. Kerangka Pemikiran.....	32
2.5. Hipotesis.....	34
III. METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Jenis dan Sumber Data	36
3.2. Ruang Lingkup Penelitian.....	37
3.3. Definisi Operasional Variabel	37
3.4. Metode Analisis Data	39
3.4.1. Model Regresi	39
3.4.2. Tahapan Analisis	41

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Hasil Penelitian	47
4.1.1. Analisis Statistik Deskriptif	47
4.1.2. Pengujian Stasioneritas (<i>Unit Roots Test</i>)	49
4.1.3. Pengujian Asumsi Klasik	51
4.1.4. Model Analisis Data	54
4.1.5. Pengujian Hipotesis.....	57
4.2. Pembahasan.....	60
4.2.1. Pengaruh Energi Terbarukan Terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) di Indonesia.....	60
4.2.2. Pengaruh Konsumsi Energi Terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) di Indonesia.....	63
4.2.3. Pengaruh Produk Domestik Bruto per Kapita Terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) di Indonesia.....	67
V. KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu	28
Tabel 2. Variabel, Notasi, Satuan Pengukur, dan Sumber Data	37
Tabel 3. Definisi Operasional Variabel	38
Tabel 4. Hasil Uji Statistik Deskriptif	47
Tabel 5. Hasil Uji Akar Unit <i>Augemnted Dickey-Fuller</i> pada Level	49
Tabel 6. Hasil Uji Akar Unit <i>Augmented Dickey-Fuller</i> pada <i>First Difference</i>	50
Tabel 7 Hasil Uji Multikolinearitas	52
Tabel 8. Hasil Uji Heterokedastisitas	53
Tabel 9. Hasil Uji Autokorelasi	53
Tabel 10. Hasil Regresi Linear Berganda <i>Ordinary Least Square</i> (OLS) dengan Pendekatan <i>Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent</i> (HAC)	56
Tabel 11. Hasil Uji Signifikansi Simultan (Uji F).....	57
Tabel 12. Hasil Uji Koefisien Determinasi (R^2).....	58
Tabel 13. Hasil Uji Signifikansi Parsial (Uji t)	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kurva Hipotesis EKC.....	27
Gambar 2. Kerangka Pemikiran.....	34
Gambar 3. Hasil Uji Normalitas	51
Gambar 4. Scatter Plot Emisi CO ₂ & PDB per Kapita.....	72

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Emisi karbon dioksida (CO₂) merujuk pada jumlah total gas CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil dari pembakaran bahan bakar fosil yang terkait dengan produksi, transportasi, dan distribusi bahan bakar fosil, serta emisi karbon dioksida dari proses industri. Pengukuran emisi CO₂ dinyatakan dalam satuan juta ton (Ritchie et al., 2023). Karbon dioksida menjadi salah satu gas rumah kaca utama yang berkontribusi besar terhadap pemanasan global serta perubahan iklim. Gas tersebut dihasilkan dari sektor-sektor seperti transportasi, industri, pembangkitan energi, dan kegiatan lain yang bergantung pada energi berbasis fosil (Kaparang et al., 2023).

Pangsa energi terbarukan merujuk pada proporsi atau persentase energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan (seperti tenaga surya, air, angin, dan biomassa) terhadap total konsumsi energi nasional (Hannah Ritchie, 2020). Pangsa energi terbarukan menjadi ukuran penting dalam mengevaluasi sejauh mana suatu negara telah bertransisi dari ketergantungan pada energi berbasis fosil menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Semakin besar pangsa energi terbarukan dalam bauran energi, semakin besar kontribusi energi bersih dalam memenuhi kebutuhan energi nasional yang pada akhirnya dapat berfungsi untuk menurunkan emisi CO₂. Pangsa energi terbarukan dipandang sebagai salah satu faktor yang dapat mengurangi emisi CO₂ dengan cara menggantikan energi fosil dalam proses produksi listrik dan konsumsi energi. Saat pangsa energi terbarukan bertambah, ketergantungan pada energi fosil yang menjadi penyebab emisi CO₂

akan berkurang. Oleh karena itu, diharapkan pangsa energi terbarukan memiliki hubungan negatif dengan emisi CO₂ (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023).

Konsumsi energi merujuk pada jumlah total energi yang digunakan yang dihitung dari bentuk energi primer sebelum mengalami proses konversi menjadi energi lain. Energi primer mencakup seluruh sumber energi yang diperoleh langsung dari alam, seperti batubara, minyak bumi, gas alam, energi air (*hydro*), panas bumi, biomassa, angin, dan surya (Hannah et al., 2020). Konsumsi energi adalah faktor yang mempunyai keterkaitan langsung dengan emisi CO₂. Jika energi yang digunakan berasal dari sumber fosil, proses pembakarannya akan menghasilkan CO₂ sebagai limbah yang dikeluarkan ke udara. Karena itu, konsumsi energi yang lebih banyak dari sumber fosil akan menunjukkan hubungan positif terhadap emisi CO₂. Dengan meningkatnya penggunaan energi fosil, kadar emisi CO₂ yang dilepaskan juga akan meningkat (Osobajo et al., 2020).

Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita adalah pendapatan rata-rata penduduk di suatu negara yang dihitung dengan membagi total Produk Domestik Bruto (PDB) negara dengan jumlah penduduknya. PDB per kapita berfungsi sebagai indikator penting untuk menilai tingkat aktifitas ekonomi serta pertumbuhan ekonomi sebuah negara (*World Bank*, 2015). Dalam studi ini, PDB per kapita diambil sebagai representasi pertumbuhan ekonomi Indonesia. Pertumbuhan ekonomi yang diukur menggunakan PDB per kapita memiliki keterkaitan yang rumit dengan emisi CO₂ (Nikensari et al., 2019).

Perubahan iklim kini menjadi salah satu tantangan paling penting yang dihadapi seluruh dunia, dengan konsekuensi yang mengancam tidak hanya ekosistem, tetapi juga kestabilan ekonomi internasional. Berdasarkan analisis dari *Swiss Re Institute*, jika suhu global naik melebihi 3°C, maka perekonomian dunia diperkirakan mengalami penurunan 18% (Re, 2021). Penurunan PDB sebesar 18% tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan merupakan akumulasi dari erosi bertahap kapasitas produktif ekonomi melalui lima saluran transmisi utama. Pertama, sektor pertanian terdampak langsung melalui meningkatnya frekuensi kekeringan, banjir, dan gelombang panas yang menyebabkan gagal panen secara masif sehingga mendorong inflasi harga pangan dan mengguncang ketahanan pangan global.

Kedua, produktivitas tenaga kerja tergerus akibat stres panas (heat stress) yang memaksa para pekerja di sektor konstruksi, pertanian, dan manufaktur untuk mengurangi jam kerja efektif mereka, sehingga output ekonomi secara keseluruhan mengalami penurunan yang signifikan. Ketiga, naiknya permukaan air laut mengancam kawasan pesisir yang selama ini menjadi pusat aktivitas ekonomi dunia. Hilangnya lahan produktif dan ancaman tenggelamnya kota-kota pesisir memaksa terjadinya migrasi massal penduduk dan relokasi modal dalam skala besar. Keempat, intensitas bencana alam seperti badai tropis, kebakaran hutan, dan banjir bandang meningkat tajam, menimbulkan kerugian aset yang masif dan merusak infrastruktur sebelum sempat dipulihkan dari bencana sebelumnya. Kelima, gangguan pada rantai pasok dan perdagangan global akibat ketidakstabilan iklim menyebabkan biaya logistik melonjak dan aktivitas ekspor-impor terganggu secara sistematis (Re, 2021). Ancaman ini menjadikan penanganan perubahan iklim bukan sekadar masalah lingkungan, melainkan isu ekonomi yang mendesak untuk segera diatasi. Penyebab utama dari perubahan iklim adalah meningkatnya kadar gas rumah kaca di udara, terutama karbon dioksida (CO₂) yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil di sektor energi, industri, dan transportasi (Kaparang et al., 2023). Karbon dioksida menyumbang hampir setengah dari total dampak rumah kaca yaitu sebesar 64% sejak *the industrial era* (1750), yang berakibat pada pemanasan global (Dunn et al., 2025). Dengan demikian, emisi CO₂ menjadi ukuran penting dalam menilai pengaruh aktivitas ekonomi terhadap lingkungan serta menjadi perhatian utama dalam upaya untuk mengurangi perubahan iklim global.

Emisi karbon dioksida (CO₂) sangat terkait dengan kondisi ekonomi karena banyak aktivitas ekonomi saat ini masih bergantung pada penggunaan energi dari sumber fosil (*International Energy Agency, 2023*). Dalam teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC), umumnya emisi mengalami peningkatan sejalan dengan pertumbuhan ekonomi pada fase awal industrialisasi, kemudian cenderung menurun setelah suatu negara mencapai tingkat pendapatan tertentu akibat adanya perubahan dalam struktur ekonomi dan penerapan kebijakan lingkungan yang lebih tegas (Ardiana & Naylah, 2024). Untuk menggali faktor-faktor yang berpengaruh terhadap emisi CO₂, studi ini mengidentifikasi tiga variabel independen utama yang

mungkin memiliki pengaruh, yaitu energi terbarukan, konsumsi energi, serta Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita.

Dalam konteks Indonesia, urgensi pengendalian emisi CO₂ tidak lagi bersifat normatif, melainkan telah menjadi kebutuhan strategis Pembangunan (Husain & Nurfadhilah, 2024). Indonesia termasuk dalam sepuluh besar negara penghasil emisi CO₂ global dan pada saat yang sama merupakan negara yang rentan terhadap dampak perubahan iklim seperti kenaikan muka air laut, cuaca ekstrem, dan gangguan ketahanan pangan (*World Bank*, 2023). Tanpa upaya pengendalian emisi yang terstruktur, pertumbuhan ekonomi yang dicapai berpotensi dibayangi oleh kerugian ekonomi jangka panjang akibat bencana iklim dan penurunan produktivitas (Bank, 2023). Oleh karena itu, pengendalian emisi CO₂ menjadi bagian penting dari agenda pembangunan nasional yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, ditahun 2024 emisi CO₂ di tingkat global masih didominasi oleh beberapa negara besar yang memiliki tingkat aktivitas industri dan ekonomi yang tinggi. Mengacu pada data *Global Carbon Budget (2025)*, China berada di posisi teratas dengan penghasil emisi tertinggi di dunia mencapai 12,29 Miliar Ton CO₂, berikutnya Amerika Serikat dengan 4,90 Miliar Ton CO₂, diikuti India yang menghasilkan 3,19 Miliar Ton CO₂, Rusia dengan 1,78 Miliar Ton CO₂, dan Jepang mencapai 961,87 Juta Ton CO₂. Indonesia menempati urutan keenam dengan penghasil emisi sebesar 812,22 Juta Ton CO₂, yang menandakan kontribusi yang signifikan terhadap total emisi global. Tingginya angka emisi di negara-negara tersebut, terutama di China, disebabkan oleh ketergantungan yang besar terhadap batu bara sebagai sumber energi utama serta pertumbuhan ekonomi yang cepat (Sandalow et al., 2022). Sementara itu, negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan beberapa negara Eropa mulai menunjukkan penurunan atau stabilisasi emisi berkat penerapan kebijakan yang mendorong efisiensi energi serta peningkatan pemanfaatan energi terbarukan (*European Environment Agency*, 2024). Variasi dalam pola emisi ini menandakan bahwa perkembangan ekonomi serta kebijakan energi yang diterapkan di suatu negara sangat mempengaruhi volume emisi CO₂ yang dihasilkan.

Indonesia, sebagai salah satu negara dengan tingkat emisi CO₂ tertinggi di dunia dan tertinggi di ASEAN, mengalami lonjakan emisi yang signifikan dalam tiga dekade terakhir. Berdasarkan informasi dari *Global Carbon Budget (2025)*, emisi CO₂ di Indonesia meningkat dari 222,23 Juta Ton CO₂ pada tahun 1995 menjadi 812,22 Juta Ton CO₂ pada tahun 2024 (Ritchie et al., 2023). Kenaikan emisi ini menunjukkan bahwa Indonesia masih berhadapan dengan tantangan serius dalam mengendalikan emisi karbon saat menjalani proses pembangunan ekonomi.

Tingginya emisi CO₂ yang terus meningkat membawa dampak negatif yang luas, mencakup degradasi lingkungan, gangguan kesehatan masyarakat, serta kerugian ekonomi akibat perubahan iklim dan bencana alam, dimana emisi karbon CO₂ terbukti meningkatkan suhu global, memperburuk kualitas udara, serta menurunkan produktivitas ekonomi, khususnya di negara berkembang (Sukmawati & Hariyani, 2025). Dari sisi lingkungan, menurut laporan *Climate change 2023*, peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer mempercepat pemanasan global yang memicu perubahan iklim ekstrem, seperti meningkatnya frekuensi banjir, kekeringan berkepanjangan, badai tropis, serta pencairan es di kutub yang menyebabkan kenaikan permukaan air laut (Lee et al., 2023). Bagi Indonesia sebagai negara kepulauan, kenaikan muka air laut menjadi ancaman eksistensial yang nyata, mengancam wilayah pesisir, pulau-pulau kecil, serta pemukiman padat penduduk di daerah dataran rendah. Selain itu, perubahan pola curah hujan akibat pemanasan global mengganggu produktivitas sektor pertanian dan ketahanan pangan nasional, yang pada gilirannya dapat memperburuk kemiskinan dan ketimpangan sosial di daerah pedesaan yang bergantung pada hasil pertanian (F. and A. O. of the U. Nations, 2021).

Dari sisi kesehatan masyarakat, emisi CO₂ yang tinggi seringkali beriringan dengan peningkatan polutan udara. Menurut laporan *World health statistics, 2022*, paparan jangka panjang terhadap polusi udara ini berkontribusi pada meningkatnya prevalensi penyakit pernapasan seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), penyakit kardiovaskular, hingga kanker paru-paru (*World Health Organization, 2023*). Kemudian, biaya perawatan kesehatan akibat penyakit yang dipicu polusi udara menciptakan tekanan tambahan pada sistem kesehatan nasional

sekaligus menurunkan produktivitas tenaga kerja secara keseluruhan (Zhao et al., 2022).

Dampak ekonomi dari tingginya emisi CO₂ juga tidak kalah serius. Bencana iklim yang dipicu oleh perubahan iklim, seperti banjir bandang, longsor, dan kekeringan, menyebabkan kerugian infrastruktur dan aset produktif yang nilainya terus meningkat dari tahun ke tahun. *Swiss Re Institute* memperkirakan bahwa jika suhu global naik lebih dari 3°C, perekonomian dunia dapat mengalami kontraksi hingga 18% dari PDB global (Re, 2021). Di tingkat nasional, sebagai negara kepulauan yang sangat bergantung pada sektor pertanian, perikanan, dan sumber daya alam lainnya, Indonesia berada dalam posisi yang sangat rentan terhadap gangguan iklim, sehingga kerugian ekonomi yang ditimbulkan berpotensi menghapus capaian pertumbuhan yang telah diraih selama bertahun-tahun (Turnip et al., 2025). Di sisi perdagangan internasional, tekanan dekarbonisasi global semakin menguat dengan diterapkannya mekanisme seperti *Carbon Border Adjustment Mechanism* (CBAM) oleh Uni Eropa, yang memberlakukan tarif tambahan terhadap produk-produk dengan jejak karbon tinggi (Elder et al., 2025).

Selama beberapa dekade, pola pembangunan Indonesia masih sangat bertumpu pada energi berbasis fosil, khususnya Batubara yang menjadi tulang punggung pembangkit listrik nasional. Model pertumbuhan seperti ini memang mendorong ekspansi industri dan meningkatkan PDB, namun di sisi lain menghasilkan intensitas karbon yang tinggi (*Institute for Essential Services Reform* (IESR), 2024). Dalam beberapa tahun terakhir, mulai terlihat adanya pergeseran paradigma pembangunan dari sekadar mengejar pertumbuhan ekonomi menuju pertumbuhan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Pergeseran ini tercermin dalam komitmen transisi energi, pengembangan energi baru terbarukan, serta target *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat sebagaimana dinyatakan pemerintah Indonesia (*Agency*, 2022).

Energi terbarukan dalam penelitian ini diukur menggunakan variabel pangsa energi terbarukan (*share of renewable energy*), yaitu proporsi atau persentase energi yang bersumber dari sumber-sumber terbarukan terhadap total konsumsi energi final nasional secara keseluruhan. Berdasarkan definisi yang ditetapkan oleh *Energy*

Institute, konsumsi energi terbarukan merupakan total penggunaan energi terbarukan terhadap total konsumsi energi final, mencakup seluruh bentuk energi yang digunakan oleh konsumen akhir dari semua sumber, baik fosil maupun non-fosil (Hannah Ritchie, 2020). Lebih lanjut, menurut *Energy Institute* mendefinisikan pangsa energi terbarukan sebagai persentase konsumsi energi final yang berasal dari sumber-sumber terbarukan terhadap total konsumsi energi final (Hannah Ritchie, 2020). Dengan kata lain, angka ini tidak dihitung dari sebagian bauran saja, melainkan dari seluruh konsumsi energi nasional. Pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional dianggap sebagai salah satu instrumen dalam upaya mengurangi emisi CO₂. Berdasarkan teori transisi energi (*energy transition theory*), sistem energi global secara bertahap mengalami perubahan dari ketergantungan pada energi berbasis fosil menuju penggunaan energi yang lebih bersih dan berkelanjutan seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa (Smil, 2010; Sovacool, 2016). Kenaikan pangsa energi terbarukan diperkirakan akan memberikan efek positif terhadap pengurangan emisi CO₂ melalui proses penggantian energi fosil dengan sumber energi terbarukan (Sukmawati & Hariyani, 2025). Pemerintah Indonesia telah menetapkan komitmen untuk meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan sebagai bagian dari transisi energi nasional dengan target sebesar 23% pada tahun 2025. Namun, hingga tahun 2024, kontribusi EBT hanya mencapai 14% yang menunjukkan jarak yang masih jauh dari target tersebut (*Institute for Essential Services Reform (IESR)*, 2024). Berbagai kebijakan serta program telah diperkenalkan, termasuk penguatan kapasitas pembangkit energi terbarukan, penyusunan target bauran energi, dan pengaturan insentif bagi para pengembang energi terbarukan (Energi & Mineral, 2020). Menurut *Energy Institute* data menunjukkan bahwa pangsa energi terbarukan di Indonesia meningkat, di tahun 1995 sebesar 3,44% dan tahun 2024 sebesar 10,95% (*Energy Institute*, 2025). Meskipun terjadi peningkatan, angka tersebut mengindikasikan bahwa energi fosil masih mendominasi struktur energi nasional dan percepatan peningkatan pangsa energi terbarukan diperlukan untuk mencapai target bauran energi nasional.

Selain pangsa energi terbarukan, kemampuan sektor energi bersih dalam menekan emisi karbon juga ditentukan oleh kapasitas terpasang energi baru terbarukan dan

konservasi energi (EBTKE). Kapasitas EBTKE mencerminkan kemampuan sistem energi nasional dalam menghasilkan energi rendah karbon secara berkelanjutan. Semakin besar kapasitas pembangkit energi terbarukan yang terpasang, semakin besar pula peluang untuk menggantikan pembangkit berbasis bahan bakar fosil yang menjadi sumber utama emisi CO₂. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, peningkatan kapasitas pembangkit energi terbarukan merupakan salah satu strategi utama dalam mencapai target bauran energi nasional dan penurunan emisi gas rumah kaca. Dengan demikian, efektivitas pangsa energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon tidak hanya dipengaruhi oleh proporsinya dalam bauran energi, tetapi juga oleh kemampuan kapasitas EBTKE yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan energi nasional (*International Energy Agency*, 2023; Mineral, 2025)

Mekanisme yang menjelaskan bagaimana pangsa energi terbarukan berpotensi menurunkan emisi CO₂ dapat diuraikan melalui berbagai langkah. Pertama, semakin tinggi pangsa energi terbarukan berarti semakin banyak penggunaan energi yang berasal dari sumber yang rendah karbon seperti tenaga surya, angin, hidro, geothermal, dan biomassa. Peningkatan proporsi ini menghadirkan kemungkinan untuk menggantikan energi fosil yang merupakan salah satu penyumbang utama emisi CO₂ (Karlilar Pata & Balcilar, 2024). Kedua, transisi menuju energi terbarukan mendorong kemajuan dan penggunaan teknologi yang lebih efisien serta berdampak rendah terhadap emisi, yang pada akhirnya dapat menurunkan intensitas karbon selama proses produksi energi (Tong et al., 2025). Ketiga, peningkatan pangsa energi terbarukan menyusun dampak jangka panjang melalui perubahan dalam komposisi energi nasional. Semakin tinggi persentase energi terbarukan dalam campuran energi, maka semakin sedikit emisi CO₂ yang dihasilkan untuk setiap unit energi yang digunakan (Kongkuah & Alessa, 2025). Bukti empiris mengenai dampak energi terbarukan terhadap emisi CO₂ telah diungkap oleh berbagai penelitian global. Studi oleh Mirziyoyeva & Salahodjaev (2023) menunjukkan bahwa energi terbarukan dapat menurunkan emisi karbon dioksida. Ini berarti bahwa peningkatan dalam EBT dapat secara efisien mengurangi emisi CO₂. Penelitian yang dilakukan oleh Muço et al. (2021) di berbagai negara Eropa yang sedang dalam transisi juga menunjukkan bahwa peningkatan proporsi energi

terbarukan berpengaruh besar dalam menurunkan emisi CO₂. Hasil ini menunjukkan bahwa kontribusi energi terbarukan dalam menekan emisi sangat tergantung pada tingkat penggunaannya. Dengan semakin meningkatnya proporsi energi terbarukan dalam campuran energi, dampaknya terhadap pengurangan emisi CO₂ menjadi semakin penting.

Faktor kedua yang diyakini mempengaruhi emisi CO₂ adalah konsumsi energi. Konsumsi energi adalah faktor yang berkaitan langsung terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Menurut teori permintaan energi, konsumsi energi meningkat seiring dengan bertambahnya aktivitas ekonomi dan kebutuhan masyarakat terhadap energi (Dahl, 2012; Pindyck & Rubinfeld, 2018). Berdasarkan data dari *Energy Institute*, konsumsi energi primer di tingkat nasional meningkat yaitu dari tahun 1995 sebesar 869,43 TWh dan tahun 2024 sebesar 2990.65 TWh (*Energy Institute*, 2025). Kenaikan konsumsi energi ini sejalan dengan bertambahnya emisi CO₂ yang terjadi dalam rentang waktu yang sama. Hubungan langsung antara konsumsi energi dan emisi CO₂ terjadi akibat struktur bauran energi di Indonesia yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil, khususnya batubara, minyak, dan gas alam (Sukmawati & Hariyani, 2025). Struktur bauran energi primer Indonesia pada tahun 2024 masih didominasi oleh bahan bakar fosil sebesar 89,05%, yang terdiri dari batu bara sekitar 40%, minyak bumi sekitar 29%, dan gas alam sekitar 16% (Mineral, 2025). Sementara itu, kontribusi energi baru terbarukan hanya sebesar 10,95% dari total bauran energi primer nasional (*Energy Institute*, 2025). Komposisi EBT tersebut didominasi oleh biomassa tradisional seperti kayu bakar dan arang sekitar 5,5%, diikuti biodiesel berbasis minyak kelapa sawit melalui program B35 sekitar 2,5%, tenaga air sekitar 1,7%, panas bumi sekitar 1,5%, bioenergi listrik sekitar 1,1%, serta energi surya dan angin secara gabungan masih di bawah 0,5% (*Institute for Essential Services Reform* (IESR), 2024; Mineral, 2025). Ketika energi fosil dibakar untuk menghasilkan listrik, menggerakkan kendaraan, atau menjalankan proses industri, reaksi kimia dari pembakaran tersebut menghasilkan CO₂ sebagai produk sampingan yang kemudian dilepaskan ke atmosfer (Kaparang et al., 2023). Semakin tinggi jumlah energi yang digunakan, semakin banyak pula CO₂ yang dilepaskan, terutama ketika energi tersebut berasal dari sumber fosil.

Selain besarnya konsumsi energi, tingkat efisiensi penggunaan energi juga berperan penting dalam menentukan besarnya emisi karbon yang dihasilkan. Efisiensi tersebut umumnya diukur menggunakan indikator Intensitas Konsumsi Energi (ICE), yaitu jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan satu unit output ekonomi. Semakin rendah nilai intensitas energi, semakin efisien suatu perekonomian dalam memanfaatkan energi untuk menghasilkan nilai tambah. Menurut *International Energy Agency* (IEA), perbaikan efisiensi energi merupakan salah satu instrumen paling efektif untuk menekan emisi karbon karena mampu mengurangi kebutuhan energi tanpa menghambat aktivitas ekonomi. Oleh karena itu, peningkatan konsumsi energi tidak selalu menghasilkan kenaikan emisi yang sama besar apabila disertai dengan perbaikan intensitas energi dan penggunaan teknologi yang lebih efisien (Agency, 2025; U. Nations, 2025).

Mekanisme hubungan antara konsumsi energi dan emisi CO₂ dapat dilihat melalui berbagai sektor. Pertama, dalam sektor pembangkit listrik, di mana Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batubara masih memiliki peran utama, menghasilkan emisi CO₂ yang sangat tinggi (Bank, 2023). Setiap peningkatan kebutuhan listrik yang dipenuhi oleh PLTU akan mengakibatkan kenaikan dalam penggunaan batubara serta emisi CO₂ yang meningkat. Kedua, pada sektor transportasi, di mana hampir sepenuhnya bergantung pada bahan bakar minyak (seperti bensin dan solar), menghasilkan emisi CO₂ yang sebanding dengan penggunaan bahan bakar tersebut (Bank, 2023). Ketiga, sektor industri yang memanfaatkan energi untuk kegiatan produksi, khususnya pada industri berat seperti semen, baja, dan petrokimia, menggunakan energi fosil dalam volume yang besar dan menghasilkan emisi CO₂ (Bank, 2023). Berbagai penelitian empiris telah menunjukkan secara konsisten adanya hubungan positif antara konsumsi energi dan emisi CO₂. Penelitian yang dilakukan oleh Osobajo et al. (2020) mengungkapkan bahwa penggunaan energi memiliki dampak positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ di berbagai negara, dengan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan variabel ekonomi lainnya. Temuan serupa juga dipastikan oleh Ahmat et al. (2025) di Malaysia, yang menjelaskan bahwa peningkatan konsumsi energi, khususnya energi non-terbarukan, secara signifikan dan konsisten mendorong peningkatan emisi karbon.

Penelitian yang dilakukan oleh He et al. (2021) di China, Finlandia, dan Malaysia juga mengindikasikan bahwa konsumsi energi secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ dalam kedua periode tersebut. Konsistensi hasil dari berbagai studi ini menunjukkan bahwa selama proporsi energi fosil mendominasi, setiap kenaikan dalam konsumsi energi akan berbanding lurus dengan kenaikan emisi CO₂. Penelitian Muço et al. (2021) di negara-negara transisi Eropa pun mendukung bahwa peningkatan penggunaan energi juga berkontribusi pada emisi CO₂, namun efek tersebut dapat ditekan dengan meningkatkan proporsi energi terbarukan dalam campuran energi. Implikasi dari hasil-hasil ini adalah bahwa tanpa ada perubahan mendasar dalam struktur campuran energi, pertumbuhan ekonomi yang memerlukan lebih banyak energi akan terus meningkatkan emisi CO₂. Oleh karena itu, manajemen konsumsi energi melalui kebijakan efisiensi energi dan pergeseran menuju sumber energi yang lebih bersih sangatlah penting dalam upaya mengurangi emisi karbon di Indonesia. Dalam hal ini, peningkatan pangsa energi terbarukan menjadi semakin penting sebagai alat untuk mengubah struktur bauran energi dari fosil ke terbarukan.

Faktor ketiga yang diperkirakan memengaruhi peningkatan emisi CO₂ adalah perkembangan ekonomi yang diukur lewat Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita. PDB per kapita di Indonesia dari tahun 1995 sampai 2024 menunjukkan pola yang terus meningkat yaitu pada tahun 1995 sebesar 1905,5 dollar USD dan 4367,9 dollar USD di tahun 2024. Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ memiliki dinamika yang kompleks dan dapat dijelaskan melalui kerangka teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Teori EKC, yang dikembangkan oleh Grossman dan Krueger (1995) berdasarkan teori Kuznets, menjelaskan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, emisi lingkungan cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi karena aktivitas industrialisasi yang intensif dan konsumsi energi yang tinggi (Panayotou, 1993). Pada tahap ini, negara-negara berkembang lebih fokus pada pertumbuhan ekonomi untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, sementara perhatian terhadap kualitas lingkungan masih terbatas dan masyarakat terlalu miskin untuk membayar pengendalian lingkungan (Dasgupta et al., 2002). Namun, setelah ekonomi mencapai tingkat pendapatan tertentu (titik balik atau *turning point*), emisi mulai

menurun karena terjadi beberapa perubahan struktural. Pertama, terjadi perubahan struktur ekonomi dari industri padat energi dan berat menuju sektor jasa dan industri berbasis teknologi yang lebih bersih. Kedua, meningkatnya kesadaran lingkungan masyarakat dan permintaan terhadap kualitas lingkungan yang lebih baik seiring dengan naiknya tingkat pendapatan. Ketiga, adopsi teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan yang dimungkinkan oleh ketersediaan modal dan kapasitas inovasi yang lebih besar. Keempat, penguatan kebijakan dan regulasi lingkungan yang lebih efektif sejalan dengan meningkatnya kapasitas institusional negara (Ardiana & Naylah, 2024). Di Indonesia, hubungan antara PDB dan emisi CO₂ masih menunjukkan pola positif, yang mengindikasikan bahwa Indonesia masih berada pada tahap awal kurva EKC (sisi kiri dari titik balik). Hal ini didukung oleh fakta bahwa sebagian besar aktivitas ekonomi Indonesia masih bergantung pada energi fosil, menciptakan sistem ekonomi berbasis karbon (*carbon-based economy*) (Ashraf et al., 2019). Dalam sistem ini, setiap aktivitas ekonomi yang membutuhkan energi seperti produksi industri, kebutuhan rumah tangga, dan transportasi secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ (Noor & Saputra, 2020).

Mekanisme keterkaitan antara PDB per kapita dan emisi CO₂ dapat dijelaskan melalui beberapa faktor. Pertama, peningkatan PDB per kapita mencerminkan meningkatnya produktivitas dan output ekonomi per individu, yang mendorong ekspansi sektor industri dalam memenuhi permintaan yang lebih tinggi (*International & Agency, 2024*). Sektor-sektor seperti industri pengolahan, perdagangan, pertanian, pertambangan, dan konstruksi dapat dianggap sebagai sektor-sektor utama yang menjadi motor penggerak perekonomian Indonesia masih bergantung pada energi fosil sebagai sumber utama (Statistik, 2025a). Semakin tinggi PDB per kapita, semakin besar skala aktivitas produksi per orang yang dibutuhkan, sehingga konsumsi energi fosil dan emisi CO₂ yang dihasilkan pun turut meningkat secara proporsional (Ahmad et al., 2024). Kedua, peningkatan pendapatan masyarakat (dampak pendapatan) akibat pertumbuhan ekonomi menjadikan daya beli dan konsumsi meningkat. Kenaikan dalam konsumsi tersebut mencakup barang-barang manufaktur, penggunaan kendaraan pribadi, serta konsumsi listrik untuk beragam keperluan rumah tangga. Semua kegiatan konsumsi ini secara tidak langsung meningkatkan permintaan energi serta menghasilkan

emisi CO₂, baik dari proses produksi barang maupun dari pemakaian energi secara langsung (Nugraha & Osman, 2019). Ketiga, pertumbuhan ekonomi sering kali diikuti oleh urbanisasi yang mempercepat pergeseran gaya hidup masyarakat menuju pola konsumsi yang lebih mengandalkan energi. Pembangunan infrastruktur di perkotaan, gedung-gedung pencakar langit, dan sarana komersial memerlukan energi dalam jumlah besar, baik untuk pembangunan maupun operasional (Sufyanullah et al., 2022).

Bukti empiris mengenai keterkaitan antara PDB per kapita dan emisi CO₂ menunjukkan variasi hasil yang terpengaruh oleh konteks negara dan fase perkembangan ekonominya. Penelitian yang dilakukan oleh Osobajo et al. (2020) menemukan adanya pengaruh positif yang signifikan dari PDB terhadap emisi CO₂, meskipun pengaruh tersebut lebih rendah dibandingkan dengan efek konsumsi energi. Penelitian yang dilakukan oleh Muço et al. (2021) di negara-negara transisi di Eropa menunjukkan bahwa pertumbuhan PDB secara signifikan meningkatkan emisi CO₂, yang menunjukkan bahwa pada tahap tertentu dalam pembangunan, pertumbuhan ekonomi masih sangat terkait dengan peningkatan emisi. Sementara itu, penelitian Aslam et al. (2021) di China menemukan hasil yang berbeda, di mana PDB per kapita dalam jangka panjang berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂. Temuan ini menunjukkan bahwa China mungkin telah melewati titik balik kurva EKC, di mana pertumbuhan ekonomi mulai disertai dengan penurunan emisi berkat transformasi struktural ekonomi dan kebijakan lingkungan yang lebih kuat. Perbedaan temuan ini menegaskan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ sangat bergantung pada struktur ekonomi, kebijakan lingkungan, dan tingkat adopsi teknologi bersih di masing-masing negara.

Jika ditelusuri secara historis, perhatian terhadap pengembangan energi bersih di Indonesia mulai memperoleh dasar kebijakan yang lebih jelas sejak diterbitkannya Kebijakan Energi Nasional (KEN) tahun 2006, yang untuk pertama kalinya menekankan pentingnya diversifikasi energi dan pengurangan ketergantungan terhadap minyak bumi (Indonesia, 2006). Komitmen tersebut kemudian diperkuat melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, yang menetapkan target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada

tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 (*Institute for Essential Services Reform (IESR)*, 2024).

Momentum transisi energi semakin menguat ketika Indonesia meratifikasi Paris Agreement melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016. Pada tahun yang sama, Indonesia secara resmi menyampaikan *Nationally Determined Contribution (NDC)* pertama kepada *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*, dengan komitmen penurunan emisi sebesar 29% secara mandiri dan hingga 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 (Kehutanan, 2022).

Seiring perkembangan dinamika global dan tekanan perubahan iklim yang semakin nyata, pemerintah Indonesia memperbarui komitmen tersebut melalui Enhanced NDC pada tahun 2022, yang meningkatkan target penurunan emisi menjadi 31,89% secara mandiri dan 43,20% dengan dukungan internasional (Kehutanan, 2022). Pembaruan ini menunjukkan adanya peningkatan ambisi kebijakan iklim nasional serta pengakuan bahwa strategi pembangunan ekonomi ke depan tidak dapat dipisahkan dari agenda dekarbonisasi. Arah kebijakan tersebut kemudian dijabarkan lebih operasional melalui Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sebagai peta jalan transisi energi Indonesia (Indonesia, 2017). Dengan demikian, sejak 2006 hingga 2022 terlihat adanya evolusi kebijakan energi dan lingkungan dari tahap diversifikasi energi menuju komitmen dekarbonisasi yang lebih sistematis dan terukur.

Selain faktor ekonomi dan energi, berbagai kebijakan pemerintah juga berperan penting dalam memengaruhi tingkat emisi karbon dioksida. Dalam literatur ekonomi lingkungan, intervensi pemerintah diperlukan untuk mengatasi eksternalitas negatif yang muncul akibat aktivitas ekonomi yang menghasilkan emisi. Kebijakan tersebut dapat berupa pengembangan energi terbarukan, penerapan standar efisiensi energi, pemberian insentif investasi hijau, pengurangan subsidi energi fosil, hingga penerapan instrumen ekonomi seperti perdagangan karbon dan pajak karbon. Menurut Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), kombinasi kebijakan energi dan kebijakan lingkungan yang tepat mampu mendorong dekarbonisasi ekonomi tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi jangka panjang. Oleh karena itu, perubahan tingkat emisi CO₂ suatu

negara tidak hanya dipengaruhi oleh konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi, tetapi juga oleh efektivitas kebijakan yang diterapkan pemerintah dalam mengarahkan transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (W. B. Group, 2026; OECD, 2025)

Berdasarkan penjelasan di atas, terdapat beberapa hal yang belum diteliti secara mendalam dan perlu dikaji lebih lanjut. Pertama, meskipun banyak studi yang membahas dampak dari konsumsi energi terhadap emisi karbon dioksida (CO₂), penelitian tentang pengaruh pangsa energi terbarukan terhadap CO₂ di Indonesia masih sangat sedikit. Kedua, hasil penelitian terkait pengaruh Produk Domestik Bruto (PDB) terhadap emisi CO₂ menunjukkan perbedaan pendapat dan kadang bertentangan. Penelitian oleh Aslam et al., (2021) menemukan bahwa PDB per kapita berpengaruh negatif terhadap emisi CO₂ di Tiongkok, sementara penelitian Osobajo et al., (2020) menemukan pengaruh positif di beberapa negara termasuk Indonesia. Perbedaan hasil ini perlu dijelaskan dalam konteks Indonesia yang memiliki keadaan ekonomi dan struktur energi yang berbeda sebagai negara berkembang. Ketiga, belum ada penelitian yang secara menyeluruh menganalisis dampak ketiga faktor yaitu energi terbarukan, konsumsi energi, dan Produk Domestik Bruto (PDB) terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia menggunakan data terbaru (1995-2024). Keempat, periode analisis 1995-2024 sangat penting dalam konteks kebijakan energi dan lingkungan di Indonesia. Periode ini mencakup masa sebelum dan setelah *Paris Agreement* (2015), penerapan berbagai kebijakan transisi energi, serta masa pemulihan ekonomi setelah pandemi COVID-19. Karena adanya celah dalam penelitian sebelumnya, penelitian ini dirancang untuk menjawab pertanyaan penelitian, yaitu bagaimana pengaruh energi terbarukan, konsumsi energi, dan Produk Domestik Bruto (PDB) terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia dalam periode 1995-2024.

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan kerangka teoritis yang relevan dengan kondisi perekonomian dan struktur energi Indonesia. Emisi CO₂ dipilih sebagai variabel dependen karena gas ini merupakan penyumbang terbesar efek rumah kaca dan secara langsung dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil di sektor energi, industri, maupun transportasi,

sehingga paling tepat digunakan sebagai ukuran tekanan lingkungan akibat aktivitas ekonomi (Kaparang et al., 2023). Energi terbarukan dipilih karena berlandaskan pada Teori Transisi Energi yang menjelaskan bahwa pergeseran dari energi fosil menuju energi bersih akan secara langsung menurunkan intensitas karbon dalam sistem energi suatu negara (Smil, 2010; Sovacool, 2016). Selain itu, Teori Peran dan Fungsi Pemerintah turut mendasari pemilihan variabel ini, karena emisi CO₂ merupakan bentuk eksternalitas negatif yang tidak dapat diselesaikan oleh mekanisme pasar secara otomatis, sehingga intervensi pemerintah melalui kebijakan bauran energi dan insentif energi terbarukan menjadi instrumen utama dalam menekan emisi karbon (Yunus & Anwar, 2021). Konsumsi energi dimasukkan karena Teori Permintaan Energi menegaskan bahwa selama bauran energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil, setiap kenaikan konsumsi energi akan berbanding lurus dengan kenaikan emisi CO₂ (Dahl, 2012; Pindyck & Rubinfeld, 2018). Sementara itu, PDB per kapita digunakan sebagai representasi pertumbuhan ekonomi yang didasarkan pada dua teori sekaligus. Pertama, Teori Pertumbuhan Neo-Klasik Solow menjelaskan bahwa peningkatan output ekonomi membutuhkan akumulasi modal yang pada fase pembangunan menengah seperti Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil sebagai penggerak produksi, sehingga pertumbuhan PDB cenderung diiringi kenaikan emisi CO₂ (Ashraf et al., 2019; Solow, 1956). Kedua, Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menyatakan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi lingkungan bersifat nonlinier, di mana pada fase awal pembangunan pertumbuhan ekonomi mendorong kenaikan emisi, namun akan berbalik menurun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu (Grossman, 1991; Panayotou, 1993). Mengingat Indonesia masih berada pada fase pembangunan menengah dengan dominasi energi fosil yang masih sangat tinggi, ketiga variabel ini dinilai paling relevan untuk menjelaskan dinamika emisi CO₂ di Indonesia selama periode 1995–2024.

1.2. Rumusan Masalah

1. Pangsa energi terbarukan diperkirakan memiliki hubungan negatif terhadap emisi CO₂, di mana peningkatan proporsi energi bersih dalam bauran energi diharapkan dapat menggantikan peran energi fosil sehingga emisi CO₂ berkurang (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023). Berdasarkan data *Energy Institute* (2025), pangsa energi terbarukan di Indonesia memang menunjukkan peningkatan dari 3,44% pada tahun 1995 menjadi 10,95% pada tahun 2024. Namun, peningkatan tersebut belum mampu menahan laju kenaikan emisi CO₂ secara signifikan, mengingat bauran energi Indonesia masih didominasi oleh energi fosil sebesar 89,05% dan kontribusi energi terbarukan yang masih jauh dari target nasional sebesar 23% pada tahun 2025 (*Institute for Essential Services Reform* (IESR), 2024). Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas sektor energi terbarukan dalam menekan emisi CO₂ di Indonesia belum optimal, sehingga perlu dikaji lebih lanjut seberapa besar pengaruh pangsa energi terbarukan terhadap emisi CO₂.
2. Konsumsi energi memiliki hubungan langsung dengan jumlah emisi CO₂. Naiknya konsumsi energi sejalan dengan meningkatnya emisi CO₂ (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023). Hal ini disebabkan karena struktur bauran energi Indonesia masih didominasi oleh bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam) sebesar 89,05% dan energi terbarukan sebesar 10,95%. Menurut data dari *Energy Institute* (2025) Konsumsi energi nasional meningkat secara signifikan dari tahun 1995 sebesar 869,43 TWh sampai tahun 2024 sebesar 2990.65 TWh.
3. PDB per kapita Indonesia yang terus naik sejak tahun 1995 hingga 2024 diperkirakan masih berkaitan positif dengan emisi CO₂. Sesuai dengan teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC), pada masa awal pembangunan ekonomi, pertumbuhan ekonomi biasanya menyebabkan peningkatan emisi karena aktivitas industri dan konsumsi energi meningkat. Namun, setelah ekonomi berkembang lebih lanjut, emisi mulai berkurang karena penggunaan teknologi ramah lingkungan (Puspita Rahayu et al., 2024; Nikensari et al., 2019). Studi oleh Sukmawati & Hariyani (2025) di negara OECD menunjukkan hubungan negatif antara PDB dan emisi CO₂ dalam

jangka panjang yang mendukung validitas kurva EKC. Namun, di Indonesia menunjukkan hasil berbeda di mana penelitian (Osobajo et al., 2020) menemukan bahwa PDB berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Mengingat struktur ekonomi Indonesia yang masih bergantung pada industri padat energi fosil dengan penggunaan energi fosil sebesar 89,05% dan energi terbarukan sebesar 10,95% (*Energy Institute, 2025*).

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Indonesia.
2. Menganalisis pengaruh konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia.
3. Menganalisis pengaruh PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia.
4. Menganalisis pengaruh simultan energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Teori

2.1.1. Peran dan Fungsi Pemerintah

Kegagalan pasar tidak terlepas dari peran pemerintah. Kegagalan pasar ini membuat pemerintah harus melakukan intervensi. Mekanisme pasar dianggap tidak bisa menjalankan fungsinya dengan baik dan efisien karena adanya *invisible hand* akibat kegagalan pasar tradisional. Kegagalan pasar adalah salah satu alasan pemerintah melakukan intervensi terhadap ekonomi agar bisa memberikan kesejahteraan yang optimal bagi rakyat. Secara umum, peran pemerintah dan kebijakan publik adalah mengatasi kegagalan pasar untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengalokasikan sumber daya dan barang, serta merealisasikan peluang dan barang agar tercapai nilai distribusi serta nilai-nilai lainnya. Dengan demikian, peran pemerintah adalah mengurangi dampak kegagalan pasar sehingga tujuan pemerataan kesejahteraan serta keadilan sosial dapat tercapai.

Sistem pemerintahan daerah di Indonesia menggunakan dua cara, yaitu dekonsentrasi dan desentralisasi. Dekonsentrasi adalah ketika pemerintah pusat mengurus tugas pemerintahan daerah. Sementara desentralisasi adalah ketika pemerintah daerah diberi wewenang untuk mengambil keputusan tertentu sendiri.

Perekonomian modern, menurut R.A. Musgrave, dalam (Yunus & Anwar, 2021) peranan pemerintah dapat diklasifikasikan dalam 3 fungsi utama yaitu:

1. Peran alokasi adalah proses mengoptimalkan penggunaan sumber daya ekonomi oleh pemerintah, salah satunya untuk mengatasi ketidakmampuan pasar dalam memberikan hasil yang adil.
2. Peran distribusi adalah upaya pemerintah dalam menyebarluaskan pendapatan secara merata kepada masyarakat. Upaya untuk memastikan distribusi pendapatan berhasil meliputi:
 - a. Kepemilikan faktor-faktor produksi.
 - b. Permintaan dan penawaran faktor produksi yang bergantung pada teknologi yang dimiliki.
 - c. Sistem pewarisan.
 - d. Kemampuan memperoleh pendapatan yang bergantung pada tingkat pendidikan, bakat, dan kemampuan seseorang.
3. Peran stabilisasi adalah upaya pemerintah dalam menyelaraskan kebijakan yang diambil. Terkadang kebijakan yang diambil tidak sesuai dengan kondisi di lapangan.

Teori peran dan fungsi pemerintah menunjukkan bahwa emisi CO₂ adalah contoh kegagalan pasar yang terjadi karena adanya eksternalitas negatif yang tidak dapat diperbaiki melalui mekanisme pasar secara otomatis, sehingga diperlukan adanya intervensi dari pemerintah (Yunus & Anwar, 2021). Dengan menjalankan fungsi alokasi, distribusi, dan stabilisasi pemerintah berkontribusi untuk mendorong pertumbuhan energi terbarukan melalui kebijakan campuran energi, insentif untuk investasi, dan regulasi yang berkaitan dengan lingkungan. Peningkatan proporsi energi terbarukan yang dihasilkan dari kebijakan public ini bertujuan untuk menggantikan energi fosil yang menghasilkan karbon tinggi dan mengurangi emisi CO₂, sehingga teori ini mendasari adanya hubungan negatif antara konsumsi energi terbarukan dan emisi CO₂ (Energi & Mineral, 2020).

2.1.2. Teori Neo-Klasik Solow

Teori Pertumbuhan Ekonomi Neo-Klasik yang diperkenalkan oleh Robert M. Solow (1956) merupakan salah satu model pertumbuhan ekonomi paling fundamental dalam literatur ekonomi modern. Model ini menjelaskan bahwa

pertumbuhan ekonomi ditentukan oleh tiga komponen utama, yaitu akumulasi modal (capital accumulation), pertumbuhan tenaga kerja, dan kemajuan teknologi.

Kemajuan teknologi dalam model Solow dimasukkan dengan menambahkan faktor pengali teknologi $A(t)$ pada fungsi produksi:

$$Y = A(t)F(K, L)$$

Dimana:

Y = output total

K = stok modal

L = tenaga kerja

$A(t)$ = tingkat teknologi pada waktu t (produktivitas total faktor)

$F(K, L)$ = fungsi produksi

Output (Y) dipengaruhi oleh modal (K), tenaga kerja (L), dan teknologi (A) sebagai peningkatan produktivitas total faktor atau *Total Factor Productivity* (TFP). Solow (1956) menegaskan bahwa penambahan modal dan tenaga kerja hanya mampu meningkatkan *output* dalam jangka pendek karena adanya *diminishing returns to capital* dan *diminishing returns to labor*. Oleh karena itu, pertumbuhan jangka panjang hanya dapat dicapai melalui kemajuan teknologi, yang dalam model Solow diperlakukan sebagai faktor eksogen. Temuan ini kemudian diperkuat oleh Swan (1956) yang secara independen mengembangkan kerangka teori serupa, sehingga keduanya dikenal sebagai Model Pertumbuhan Solow–Swan. Literatur modern juga menegaskan bahwa model Solow menghasilkan kondisi *steady state*, yaitu titik di mana pertumbuhan modal per pekerja dan output per pekerja menjadi konstan, dan bahwa perubahan teknologi merupakan satu-satunya sumber pertumbuhan ekonomi per kapita berkelanjutan dalam jangka Panjang. Oleh sebab itu, teori pertumbuhan Solow menjadi dasar penting dalam analisis empiris pertumbuhan ekonomi dan sering digunakan sebagai kerangka untuk menilai peran modal, tenaga kerja, dan produktivitas dalam menjelaskan variasi pertumbuhan ekonomi antar negara (Solow, 1956).

Teori pertumbuhan ekonomi neoklasik yang dikemukakan oleh Solow mengemukakan bahwa peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) sebagai

indikator pertumbuhan ekonomi dipengaruhi oleh akumulasi modal, jumlah tenaga kerja, dan inovasi teknologi (Solow, 1956). Selama proses pertumbuhan ekonomi, peningkatan hasil produksi memerlukan sumber daya energi sebagai faktor penggerak utama, sehingga pertumbuhan PDB sering kali diiringi dengan kenaikan konsumsi energi. Pada fase awal dan menengah dari Pembangunan, seperti yang dialami oleh negara-negara berkembang termasuk Indonesia, konsumsi energi yang meningkat masih didominasi oleh sumber energi fosil, yang pada akhirnya turut berkontribusi pada peningkatan emisi CO₂ (Ashraf et al., 2019; Osobajo et al., 2020). Dengan demikian, teori Solow menguraikan hubungan positif yang ada antara PDB, penggunaan energi, dan emisi karbon, sekaligus menggarisbawahi pentingnya kemajuan teknologi sebagai elemen kunci untuk mereduksi dampak lingkungan dalam jangka panjang.

2.1.3. Teori Transisi Energi (*Energy Transition*)

Teori transisi energi adalah pendekatan ilmiah yang menggambarkan cara suatu sistem energi beralih dari ketergantungan pada bahan bakar fosil menuju penggunaan sumber energi yang lebih bersih, berkelanjutan, dan rendah karbon. Perubahan ini melibatkan tidak hanya teknologi, tetapi juga institusi, perilaku sosial, pasar, dan kebijakan. Menurut Sovacool (2016), “transisi energi adalah perubahan mendasar dalam cara energi diproduksi, didistribusikan, dan dikonsumsi dalam suatu masyarakat”, dengan kata lain transisi energi adalah perubahan dasar dalam cara masyarakat memproduksi, menyalurkan, dan menggunakan energi.

Dari sudut pandang sejarah, Smil (2010) menegaskan bahwa “semua transisi energi besar dalam sejarah selalu merupakan proses bertahap yang berlangsung selama beberapa dekade”. Ini berarti bahwa semua transisi utama dalam energi (dari penggunaan biomassa ke batu bara, dari batu bara ke minyak, hingga gas alam) selalu berlangsung secara bertahap dan memerlukan periode yang panjang. Hal ini menunjukkan bahwa pergeseran menuju energi terbarukan juga memerlukan dukungan kebijakan yang berkesinambungan, investasi besar, dan kesiapan sosial-ekonomi.

Pendekatan teoretis lain yang berpengaruh adalah *Sociotechnical Transition Theory* (Geels, 2002), yang menjelaskan bahwa transisi energi tidak terjadi tanpa sebab, melainkan akibat interaksi antara tiga lapisan, yaitu *landscape* (kondisi makro seperti krisis iklim, tekanan ekonomi, geopolitik), *regime* (struktur energi yang sudah ada seperti PLN, pasar energi, regulasi), dan *niche innovations* (inovasi baru seperti energi matahari, baterai, kendaraan listrik). Geels (2002) menekankan bahwa “Transisi terjadi melalui proses yang melibatkan evolusi bersama dan penguatan saling dari teknologi, kebijakan, praktik pengguna, serta makna budaya”. Dengan kata lain, keberhasilan transisi energi ditentukan oleh ko-evolusi dan penguatan hubungan antara teknologi, kebijakan, praktik pengguna, dan makna sosial. Oleh karena itu, teori transisi energi memandang peralihan menuju energi terbarukan sebagai bukan hanya penggantian teknologi, tetapi sebagai perubahan sistem yang melibatkan struktur institusional, pola produksi, perilaku pengguna, hingga norma-norma sosial. Dalam konteks Indonesia, teori ini sangat relevan karena ketergantungan yang tinggi pada batubara memerlukan adanya perubahan dalam teknologi, regulasi, dan perilaku masyarakat untuk mengurangi emisi karbon secara signifikan.

Teori transisi energi memberikan kerangka konseptual yang penting dalam memahami kontribusi energi terbarukan terhadap penurunan emisi CO₂. Pendekatan ini melihat pergeseran dari energi fosil ke energi terbarukan sebagai suatu perubahan mendasar dalam sistem energi yang menyentuh aspek teknologi, institusi, kebijakan, dan perilaku sosial (Smil, 2010; Sovacool, 2016). Peningkatan proporsi energi terbarukan memungkinkan penggantian energi fosil dengan sumber energi yang memiliki karbon lebih rendah, sehingga mengurangi intensitas karbon dalam proses produksi dan konsumsi energi (Geels, 2002; Karlilar Pata & Balcilar, 2024). Dengan demikian, teori transisi energi secara langsung memperkuat argumen bahwa energi terbarukan memiliki dampak negatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia (Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023; Muço et al., 2021).

2.1.4. Teori Permintaan Energi

Teori Permintaan Energi merupakan pendekatan yang menjelaskan bagaimana konsumsi energi dalam suatu perekonomian dipengaruhi oleh variabel ekonomi seperti harga energi, pendapatan (PDB), teknologi, dan kebijakan. Dasar teori ini berasal dari teori permintaan mikroekonomi, yaitu bahwa besarnya permintaan suatu barang ditentukan oleh harga, pendapatan, dan preferensi (Pindyck & Rubinfeld, 2018).

Menurut Bohi (2013), konsumsi energi ditentukan oleh struktur produksi, perkembangan teknologi, dan perubahan perilaku pengguna. Sementara Dahl (2012) menunjukkan bahwa permintaan energi dipengaruhi secara signifikan oleh pendapatan dan harga energi, namun permintaan energi cenderung bersifat inelastis, terutama dalam jangka pendek. Hal ini berarti bahwa perubahan harga energi tidak langsung menyebabkan penurunan besar pada konsumsi energi karena energi merupakan kebutuhan esensial dalam kegiatan produksi maupun konsumsi rumah tangga.

Permintaan energi juga dipengaruhi oleh perbaikan teknologi yang meningkatkan efisiensi energi. Teknologi yang lebih efisien dapat menurunkan intensitas energi, sehingga konsumsi energi per unit output cenderung menurun meskipun aktivitas ekonomi meningkat (Bohi, 2013). Selain itu, kebijakan energi seperti penghapusan subsidi, penetapan tarif energi, atau kebijakan transisi energi terbarukan turut memengaruhi konsumsi energi melalui mekanisme harga dan substitusi antarjenis energi.

Secara umum, teori permintaan energi menekankan bahwa konsumsi energi merupakan fungsi dari:

1. Pendapatan atau PDB, yang merepresentasikan aktivitas ekonomi.
2. Harga energi, yang memengaruhi keputusan konsumsi dan substitusi energi.
3. Teknologi, yang memengaruhi efisiensi penggunaan energi.
4. Kebijakan energi, yang dapat meningkatkan atau menghambat konsumsi.

Penelitian mengenai hubungan energi terbarukan, konsumsi energi, PDB, dan emisi karbon, teori permintaan energi memberikan dasar bahwa konsumsi energi merupakan variabel yang sangat responsif terhadap kegiatan ekonomi dan perkembangan teknologi. Semakin tinggi PDB, konsumsi energi meningkat; namun peningkatan investasi EBT dan teknologi efisiensi dapat menurunkan konsumsi energi fosil dan pada akhirnya menurunkan emisi karbon.

Teori permintaan energi mengungkapkan bahwa penggunaan energi dipengaruhi oleh pendapatan, harga energi, teknologi yang tersedia, dan kebijakan yang ada (Pindyck & Rubinfeld, 2018). Ketika PDB mengalami pertumbuhan, aktivitas produksi serta konsumsi masyarakat juga meningkat, yang pada gilirannya menyebabkan permintaan energi menjadi lebih tinggi. Mengingat bahwa energi adalah kebutuhan dasar, permintaan energi cenderung kurang responsif, terutama dalam periode singkat (Dahl, 2012). Dalam sistem penggunaan energi yang terutama masih bergantung pada bahan bakar fosil, peningkatan penggunaan energi akan berimbas langsung pada lonjakan emisi CO₂ (Bohi, 2013; Ahmat et al., 2025). Oleh karena itu, teori permintaan energi menegaskan adanya hubungan positif antara penggunaan energi dan emisi karbon, serta menjelaskan fungsi konsumsi energi sebagai saluran utama yang menghubungkan pertumbuhan ekonomi dengan kerusakan lingkungan.

2.1.5. *Environmental Kuznets Curve (EKC)*

Hipotesis EKC hadir sebagai pengembangan Grossman dan Krueger (1995) atas teori Kuznets pada tahun 1991 mengenai kurva U-terbalik yang menjelaskan hubungan antara ketimpangan pendapatan dengan pertumbuhan ekonomi, dimana pada awal pertumbuhan ekonomi ketimpangan meningkat, namun ketimpangan akan menurun seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi (Nikensari et al., 2019).

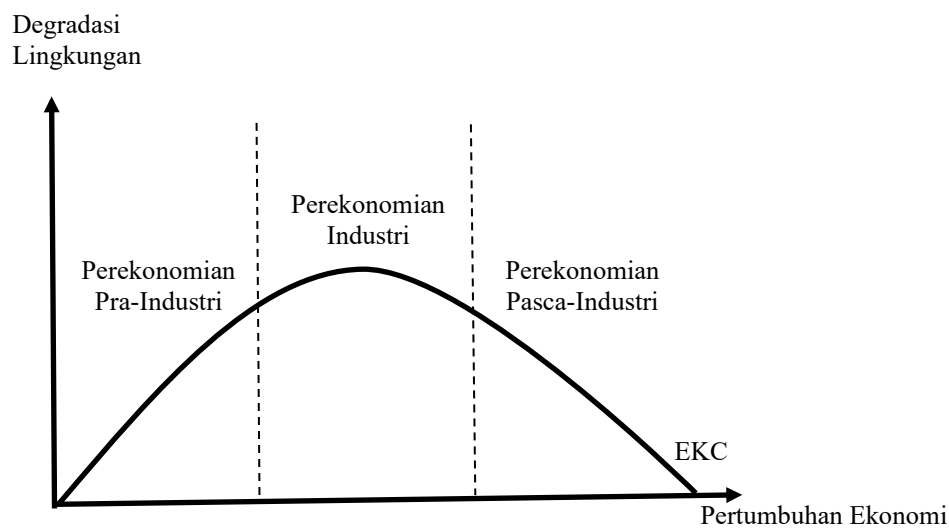
Berdasarkan gambar yang menggambarkan hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan, kurva EKC (*Environmental Kuznets Curve*) dapat dibagi menjadi tiga tahapan utama. Secara teoritis, hubungan berbentuk U-terbalik ini bermula dari proses transformasi ekonomi, yakni ketika suatu negara

bergerak dari sektor pertanian menuju industrialisasi, lalu kemudian beralih ke ekonomi berbasis jasa. Dalam perjalanan transisi tersebut, tekanan terhadap lingkungan cenderung meningkat seiring pergeseran pola produksi dari desa ke kota dan dari kegiatan agraris ke manufaktur skala besar yang mendorong konsumsi massal. Namun setelah mencapai titik puncaknya, degradasi lingkungan mulai berkurang ketika ekonomi bertransformasi lagi dari industri padat energi menuju industri dan layanan berbasis teknologi (Panayotou, 1993). Di awal masa industrialisasi, pencemaran lingkungan melonjak tajam karena masyarakat jauh lebih mengutamakan lapangan kerja dan peningkatan pendapatan ketimbang memperhatikan kualitas udara maupun air. Selain itu, keterbatasan ekonomi masyarakat membuat mereka tidak mampu membiayai upaya pengendalian lingkungan, sementara regulasi yang ada pun belum berjalan dengan semestinya (Dasgupta et al., 2002).

Ketika pendapatan masih berada di level rendah, negara cenderung meninggalkan sektor pertanian dan beralih ke industri, sehingga intensitas polusi ikut meningkat seiring dengan pertumbuhan produksi dan konsumsi. Hal ini dipicu oleh eksploitasi sumber daya alam yang semakin masif, peningkatan emisi, serta dorongan untuk terus menggenjot output. Sebaliknya, ketika pendapatan sudah mencapai level tinggi, roda pembangunan ekonomi mulai didorong oleh sektor jasa dan pasca-industri. Pada fase ini, kepedulian terhadap lingkungan tumbuh lebih kuat, alokasi anggaran untuk perlindungan lingkungan meningkat, teknologi yang digunakan semakin efisien, dan permintaan terhadap produk serta layanan ramah lingkungan pun ikut naik (Mrabet et al., 2014). Kondisi ini pada akhirnya mendorong sektor industri untuk beroperasi secara lebih bersih, masyarakat semakin menghargai kualitas lingkungan, dan regulasi yang berlaku menjadi lebih efektif dalam memberikan perlindungan nyata (Dasgupta et al., 2002).

Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menjelaskan hubungan nonlinier antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan. Pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan PDB cenderung meningkatkan emisi CO₂ akibat industrialisasi, urbanisasi, dan penggunaan energi fosil yang intensif (Panayotou, 1993; Dasgupta et al., 2002). Namun, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu,

emisi diperkirakan menurun seiring dengan perubahan struktur ekonomi menuju sektor jasa, peningkatan kesadaran lingkungan, penerapan regulasi yang lebih ketat, serta adopsi teknologi dan energi yang lebih bersih (Grossman, 1991; Nikensari et al., 2019). Dalam konteks Indonesia yang masih berada pada tahap pembangunan menengah, penelitian ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan PDB masih berkorelasi positif dengan emisi CO₂, sehingga teori EKC menjadi landasan dalam menjelaskan pengaruh PDB terhadap emisi karbon di Indonesia.



Sumber: Panayotou, (1993)

Gambar 1. Kurva Hipotesis EKC

Dalam konteks penerapan teori EKC di Indonesia, terdapat sejumlah bukti empiris yang secara spesifik mengidentifikasi posisi Indonesia dalam kurva tersebut. Penelitian Noor & Saputra (2020) yang menganalisis negara-negara berpendapatan menengah di kawasan ASEAN, termasuk Indonesia, menemukan bahwa Indonesia belum melewati *turning point* kurva EKC, yang berarti hubungan antara PDB per kapita dan emisi CO₂ masih bersifat positif dan Indonesia berada pada sisi kiri (*ascending phase*) dari kurva tersebut. Hal ini dikonfirmasi pula oleh penelitian Puspita Rahayu et al. (2024) yang menegaskan bahwa Indonesia masih dalam fase dimana pertumbuhan ekonomi beriringan dengan peningkatan emisi karbon, mengingat struktur industri dan energi nasional yang masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil.

Secara metodologis, identifikasi *turning point* dalam kurva EKC umumnya dilakukan dengan memasukkan variabel PDB per kapita dan kuadrat PDB per kapita (PDB^2) secara bersamaan ke dalam model regresi. Apabila koefisien PDB per kapita bernilai positif dan koefisien PDB^2 per kapita bernilai negatif secara signifikan, maka hipotesis EKC terbukti valid dan besarnya *turning point* dapat dihitung menggunakan rumus (Grossman, 1991; Panayotou, 1993):

$$Turning\ Point = \exp(-\beta_1 / 2\beta_2)$$

Di mana:

β_1 = Koefisien PDB per kapita

β_2 = Koefisien Kuadrat PDB per kapita

Penelitian Nikensari et al. (2019) yang menganalisis negara-negara Asia menggunakan pendekatan ini menemukan bahwa negara-negara berkembang di Asia, termasuk Indonesia pada periode analisis awal masih berada pada sisi kiri kurva EKC dan belum mencapai titik balik tersebut. Penelitian Ardiana & Naylah (2024) terhadap negara-negara ASEAN berpendapatan menengah ke bawah juga menegaskan bahwa *turning point* EKC belum tercapai di negara-negara tersebut selama periode yang diteliti, yang secara implisit mencakup kondisi Indonesia. Dengan demikian, temuan penelitian ini yang menunjukkan pengaruh positif PDB per kapita terhadap emisi CO_2 memiliki landasan empiris yang kuat dari literatur yang ada, dan mengindikasikan bahwa Indonesia masih memerlukan transformasi struktural yang fundamental dalam sistem energi dan pola produksinya sebelum dapat mencapai fase penurunan emisi sejalan dengan pertumbuhan ekonomi.

2.2. Penelitian Terdahulu

Tabel 1. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu

No	Penulis & Judul	Variabel	Metode	Hasil
1.	(Muço et al., 2021) <i>The Relationships Between GDP Growth, Energy Consumption,</i>	<i>GDP, Energy Use, Renewable Energy, CO₂ Emission</i>	GMM	GDP positif signifikan terhadap emisi CO_2 , Konsumsi energi positif signifikan terhadap emisi CO_2 .

No	Penulis & Judul	Variabel	Metode	Hasil
	<i>Renewable Energy Production and CO₂ Emissions in European Transition Economies</i>			Energi terbarukan negatif signifikan terhadap emisi CO ₂ .
2.	(Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023) <i>Renewable Energy, GDP and CO₂ Emissions in High-Globalized Countries</i>	CO ₂ Emissions, GDP per capita, Share Renewable Energy, Urban Population, Representation of Woman, Tourism	GMM	Menunjukkan bahwa energi terbarukan menurunkan emisi CO ₂ . PDB per kapita memiliki hubungan berbentuk U terbalik dengan emisi CO ₂ .
3.	(Osobajo et al., 2020) <i>The Impact of Energy Consumption and Economic Growth on Carbon</i>	CO ₂ Emissions, Energy Consumption, GDP Growth, Population, Capital Stock	Pooled OLS dan Fixed Effects Model	Konsumsi energi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ . GDP berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ , meski lebih lemah dibanding energi.
4.	(Ahmat et al., 2025) <i>The Impact of Energy Consumption, Economic Growth, and Non-Renewable Energy on Carbon Dioxide Emission in Malaysia</i>	CO Emissions, Energy Consumption, GDP, Non-Renewable Energy	OLS, DOLS, ARDL	Konsumsi energi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ . GDP berpengaruh positif signifikan terhadap emisi karbon. Energi non-terbarukan juga berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ .
5.	(Khan et al., 2019) <i>Impact of Globalization,</i>	CO ₂ Emissions, Energy Consumption,	ARDL, ECM	Konsumsi energi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ .

No	Penulis & Judul	Variabel	Metode	Hasil
	<i>Economic Factors and Energy Consumption on CO₂ Emissions in Pakistan</i>	<i>GDP, GDP², Trade Openness, Urban Population</i>		GDP berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ .
6.	(Rahman et al., 2021) <i>Impacts of Human Capital, Exports, Economic Growth and Energy Consumption on CO₂ Emissions of a Cross-Sectionally Dependent Panel: Evidence from The Newly industrialized countries (NICs)</i>	<i>CO₂ Emission, Energy Consumption, GDP per capita, GDP per capita squared, Human Capital, Exports</i>	DOLS, FMOLS, PMG	Konsumsi energi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO ₂ . GDP per capita berpengaruh negatif terhadap emisi CO ₂ sedangkan GDP ² per capita berpengaruh positif terhadap emisi CO ₂ .
7.	(Sufyanullah et al., 2022) <i>Does Emission of Carbon Dioxide is Impacted by Urbanization? An Empirical Study of Urbanization, Energy Consumption, Economic Growth and Carbon Emissions</i>	<i>CO₂ Emission, GDP, Energy Consumption, Urbanization</i>	ARDL Bound Testing, ECM, VECM	Dalam jangka Panjang dan jangka pendek, peningkatan konsumsi energi dapat meningkatkan emisi karbon. Dalam jangka panjang, pertumbuhan ekonomi tidak terbukti signifikan memengaruhi emisi karbon. Namun dalam jangka pendek, GDP berpengaruh negatif terhadap emisi, artinya pertumbuhan ekonomi dalam periode tertentu dapat menurunkan emisi karbon.

No	Penulis & Judul	Variabel	Metode	Hasil
8.	(He et al., 2021) <i>Nexus between Environmental Tax, Economic Growth, Energy Consumption, and Carbon Dioxide Emissions: Evidence from China, Finland, and Malaysia Based on a Panel-ARDL Approach</i>	CO_2 Emissions, GDP, Energy Consumption, Environmental Tax	Panel ARDL	Konsumsi energi meningkatkan emisi CO_2 secara signifikan, baik jangka pendek maupun panjang. Seiring pertumbuhan ekonomi, emisi naik, lalu turun pada tahap tertentu, tetapi meningkat kembali setelah ekonomi mencapai level yang lebih tinggi.
9.	(Susilowati et al., 2023) <i>Nexus Between Economic Growth, Renewable Energy, Industry Value Added and CO_2 Emissions in ASEAN</i>	GDP, Industry Value Added, Renewable Energy Consumption, CO_2 Emissions	(VECM) Vector Error Correction Model	Pertumbuhan ekonomi dan energi terbarukan berkontribusi signifikan dalam mengurangi emisi CO_2 di ASEAN dalam jangka panjang. EKC valid untuk ASEAN.
10	(Sukmawati & Hariyani, 2025) <i>Dampak Investasi Energi Terbarukan Terhadap Emisi Karbon Di Negara OECD</i>	Emisi CO_2 , Investasi Energi Terbarukan, GDP per Kapita, Pembangkit Listrik	(REM) Random Effect Model	Menunjukkan bahwa investasi dalam energi terbarukan (RE) dan Gross Domestic Product (GDP) memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap emisi karbon dioksida.

Sumber: Diolah Penulis (2026)

Berdasarkan penelitian terdahulu, Sebagian besar studi menekankan peran konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO_2 , sementara kajian yang secara simultan memasukkan pangsa energi terbarukan sebagai representasi

transisi energi masih relatif terbatas, khususnya dalam konteks negara berkembang. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah penelitian dengan menganalisis pengaruh pangsa energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

2.3. Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis simultan antara pangsa energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) dengan fokus pada Indonesia. Berbeda dengan sebagian penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menekankan peran konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi, penelitian ini memasukkan pangsa energi terbarukan sebagai indikator transisi energi sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perubahan struktur energi terhadap emisi karbon. Selain itu, penelitian ini menggunakan data time series terbaru periode 1995–2024 sehingga mampu menangkap dinamika jangka panjang perubahan struktur energi dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan *Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent* (HAC) untuk menghasilkan estimasi yang lebih *robust* terhadap permasalahan heteroskedastisitas dan autokorelasi yang sering muncul dalam data runtut waktu.

2.4. Kerangka Pemikiran

Emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu indikator penting dalam menilai dampak aktivitas ekonomi terhadap lingkungan. Emisi CO₂ sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan dalam kegiatan produksi, transportasi, serta pembangkitan energi. Peningkatan emisi karbon yang terus terjadi menjadi salah satu penyebab utama perubahan iklim global dan pemanasan global. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi emisi karbon guna mendukung pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ adalah energi terbarukan. Berdasarkan teori transisi energi, sistem energi suatu negara akan mengalami perubahan secara bertahap dari penggunaan energi berbasis fosil menuju energi

yang lebih bersih dan berkelanjutan seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa (Smil, 2010; Sovacool, 2016). Peningkatan pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi karbon tinggi. Dengan demikian, semakin besar proporsi energi terbarukan dalam sistem energi suatu negara, maka semakin rendah intensitas karbon yang dihasilkan dari kegiatan ekonomi (Karlilar Pata & Balcilar, 2024; Mirziyoyeva & Salahodjaev, 2023). Oleh karena itu, energi terbarukan diperkirakan memiliki hubungan negatif terhadap emisi CO₂.

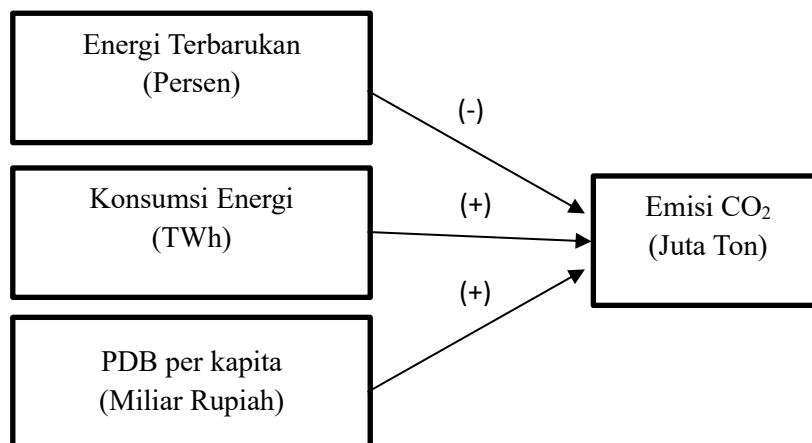
Faktor kedua yang mempengaruhi emisi CO₂ adalah konsumsi energi. Menurut teori permintaan energi, konsumsi energi merupakan fungsi dari tingkat aktivitas ekonomi, perkembangan teknologi, serta kebutuhan masyarakat terhadap energi (Dahl, 2012; Pindyck & Rubinfeld, 2018). Dalam banyak negara berkembang, termasuk Indonesia, konsumsi energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Ketika energi fosil digunakan dalam pembangkitan listrik, transportasi, maupun kegiatan industri, proses pembakaran tersebut menghasilkan karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer. Oleh karena itu, peningkatan konsumsi energi cenderung berhubungan positif dengan peningkatan emisi CO₂ (Ahmat et al., 2025; Osobajo et al., 2020).

Selain faktor energi, pertumbuhan ekonomi juga berperan dalam mempengaruhi tingkat emisi karbon. Dalam penelitian ini, pertumbuhan ekonomi diukur melalui Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita. Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon dapat dijelaskan melalui teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan pendapatan per kapita akan diikuti oleh peningkatan emisi karena meningkatnya aktivitas industri, urbanisasi, dan konsumsi energi (Dasgupta et al., 2002; Panayotou, 1993). Namun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, emisi cenderung menurun karena adanya perubahan struktur ekonomi, peningkatan kesadaran lingkungan, serta penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan (Grossman, 1991; Nikensari et al., 2019).

Dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia, peningkatan PDB per kapita sering kali masih berkaitan dengan ekspansi sektor industri, peningkatan produksi,

serta meningkatnya kebutuhan energi yang sebagian besar masih berasal dari energi fosil. Oleh karena itu, pada tahap pembangunan saat ini, pertumbuhan ekonomi di Indonesia diperkirakan masih berkorelasi positif dengan peningkatan emisi CO₂.

Berdasarkan penjelasan teoritis tersebut, dapat disimpulkan bahwa energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita merupakan faktor yang berpotensi mempengaruhi tingkat emisi CO₂. Energi terbarukan diperkirakan memiliki pengaruh negatif terhadap emisi karbon karena dapat menggantikan penggunaan energi fosil, sementara konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi diperkirakan memiliki pengaruh positif terhadap emisi karbon karena keduanya meningkatkan permintaan energi dalam kegiatan ekonomi. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis pengaruh energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia.



Sumber: Diolah Sendiri (2026)

Gambar 2. Kerangka Pemikiran

2.5. Hipotesis

1. Penelitian oleh Mirziyoyeva & Salahodjaev (2023) dan Muço et al., (2021) menunjukkan bahwa energi terbarukan berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂ di negara-negara transisi Eropa. Maka:
H₁: Terdapat pengaruh negatif energi terbarukan terhadap Emisi CO₂ di Indonesia.

2. Penelitian oleh Osobajo et al., (2020) dan Ahmat et al., (2025) menemukan bahwa konsumsi energi berpengaruh positif signifikan terhadap CO₂. Maka:
H₂: Terdapat pengaruh positif konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia.
3. Penelitian oleh Ahmat et al., (2025) dan Khan et al., (2019) menemukan bahwa PDB per kapita berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂, meskipun pengaruhnya lebih rendah dibandingkan konsumsi energi. Maka:
H₃: Terdapat pengaruh positif produk domestik bruto per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif (*quantitative research*). Creswell (2017) menyatakan bahwa “pendekatan kuantitatif memfokuskan pada pengumpulan data numerik untuk menguji hipotesis secara objektif. Menurut Sugiyono (2010) menyatakan bahwa metode kuantitatif adalah metode penelitian yang berdasarkan filsafat positivisme dan menggunakan teknik pengumpulan data yang menghasilkan data numerik yang dapat dianalisis secara statistik. Penelitian ini menggunakan data *time series* untuk menganalisis pengaruh energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berbentuk *time series* tahunan periode 1995-2024 yang terlampir pada lampiran 1, diperoleh dari lembaga resmi dan publikasi terakreditasi. Data *time series* adalah sebuah kumpulan observasi terhadap nilai-nilai sebuah variable dari beberapa periode waktu yang berbeda. Data ini bisa dikumpulkan pada sebuah interval periode yang regular seperti harian, mingguan, bulanan, kuartalan, tahunan, dan lain sebagainya (Gujarati & Porter, 2012).

Periode 1995-2024 dipilih karena mencerminkan perubahan struktur ekonomi dan energy Indonesia secara jangka panjang, termasuk peningkatan konsumsi energi, komitmen transisi energi pasca *Paris Agreement* (2015) serta dampak *Covid-19* terhadap aktivitas ekonomi dan emisi. Rentang waktu ini memungkinkan analisis yang lebih representative terhadap hubungan pertumbuhan ekonomi, bauran energi, dan emisi CO₂ di Indonesia. Data Energi Terbarukan diukur dalam bentuk proporsi/persentase energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan terhadap

total konsumsi energi nasional. Data Energi Terbarukan diambil dari publikasi data *Energy Institute*. Data konsumsi energi meliputi total penggunaan energi fosil (batu bara, minyak, dan gas), nuklir serta energi terbarukan (biofuel, tenaga surya, angin, tenaga air). Data konsumsi energi bersumber dari *Energy Institute*. Data Produk Domestik Bruto bersumber dari *World Bank*. Dan data emisi CO₂ bersumber dari publikasi *Global Carbon Budget*.

Tabel 2. Variabel, Notasi, Satuan Pengukur, dan Sumber Data

No.	Nama Variabel	Notasi	Satuan Pengukuran	Sumber Data
1.	Energi Terbarukan	ET	Persen	<i>Energy Institute</i>
2.	Konsumsi Energi	KE	TWh	<i>Energy Institute</i>
3.	Produk Domestik Bruto per kapita	PDB	Miliar Rupiah	<i>World Bank</i>
4.	Emisi CO ₂	CO	Juta Ton	<i>Global Carbon Budget</i>

Sumber: Diolah Penulis (2026)

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada kondisi Indonesia selama periode 1995-2024, dengan unit analisis pada tingkat nasional. Variabel yang dianalisis meliputi energi terbarukan, konsumsi energi, produk domestik bruto per kapita, dan emisi CO₂.

3.3. Definisi Operasional Variabel

Variabel penelitian merupakan nilai suatu objek, subjek, atau aktivitas yang menunjukkan variasi tertentu yang ditentukan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulan. Dalam penelitian ini variabel dependen yang digunakan adalah emisi CO₂ (CO₂). Sedangkan variabel independennya adalah energi terbarukan (ET), konsumsi energi (KE), dan produk domestik bruto per kapita (PDB) yang tertera pada lampiran 1.

Tabel 3. Definisi Operasional Variabel

No	Variabel	Definisi
1.	Energi Terbarukan (Persen)	<p>Variabel energi terbarukan disini merujuk pada pangsa energi terbarukan yang berarti proporsi atau persentase energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan (seperti tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi) terhadap total konsumsi energi nasional (Hannah Ritchie, 2020). Pangsa energi terbarukan digunakan untuk mencerminkan struktur bauran energi nasional. Peningkatan pangsa energi terbarukan menunjukkan adanya upaya transisi menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan yang diharapkan mampu menekan emisi CO₂ meskipun konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terus meningkat.</p>
2.	Konsumsi Energi (TWh)	<p>Konsumsi energi merujuk pada jumlah total energi yang digunakan yang dihitung dari bentuk energi primer sebelum mengalami proses konversi menjadi energi lain. Energi primer mencakup seluruh sumber energi yang diperoleh langsung dari alam, seperti batubara, minyak bumi, gas alam, energi air (<i>hydro</i>), panas bumi, biomassa, angin, dan surya (Hannah et al., 2020). Konsumsi energi merepresentasikan tingkat intensitas penggunaan energi dalam aktivitas ekonomi. Semakin tinggi konsumsi energi, semakin besar pula potensi emisi CO₂ yang dihasilkan terutama jika struktur energi masih didominasi oleh sumber energi fosil.</p>

No	Variabel	Definisi
3.	Produk Domestik Bruto per Kapita (Miliar Rupiah)	<p>PDB per kapita adalah pendapatan rata-rata penduduk di suatu negara yang dihitung dengan membagi total Produk Domestik Bruto (PDB) negara dengan jumlah penduduknya (<i>World Bank</i>, 2015).</p> <p>Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita digunakan sebagai indikator tingkat aktivitas ekonomi dan kesejahteraan rata-rata masyarakat. Peningkatan PDB per kapita mencerminkan meningkatnya skala aktivitas produksi dan konsumsi yang berpotensi meningkatkan kebutuhan energi sehingga berimplikasi terhadap peningkatan emisi CO₂.</p>
4.	Emisi CO ₂ (Juta Ton)	<p>Emisi karbon dioksida mengacu pada jumlah total gas CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil dari pembakaran bahan bakar fosil yang terkait dengan produksi, transportasi, dan distribusi bahan bakar fosil, serta emisi karbon dioksida dari proses industri. Pengukuran emisi CO₂ dinyatakan dalam satuan juta ton (Ritchie et al., 2023).</p>

Sumber: Diolah Penulis (2026)

3.4. Metode Analisis Data

3.4.1. Model Regresi

Analisis data menggunakan regresi linear berganda model OLS (*Ordinary Least Square*). Alat analisis yang digunakan model regresi linear berganda memiliki variabel penduga lebih dari satu yaitu X_1 sampai X_3 , yang dinyatakan dalam model persamaan:

$$CO_2 = \alpha - \beta_1 ET + \beta_2 KE + \beta_3 PDB + \varepsilon t$$

Dimana:

CO_2	= Emisi CO_2 (Juta Ton)
α	= Konstanta
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	= Koefisien Regresi
ET	= Energi Terbarukan (Persen)
KE	= Konsumsi Energi (TWh)
PDB	= Produk Domestik Bruto per Kapita (Miliar Rupiah)
ε	= <i>Error Term</i>
t	= <i>Time Series</i>

Penelitian ini variabel ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma natural (LN). Menurut Sugiyono (2012) penggunaan logaritma natural (LN) dalam penelitian dimaksud untuk mengurangi fluktuasi data yang berlebihan. Karena pada variabel independen terhadap satuan dan besaran yang berbeda, sehingga diperlukannya logaritma natural (LN) pada model persamaan regresi untuk memperoleh hasil estimasi yang memenuhi. Berikut model persamaan regresi transformasi logaritma natural:

$$\ln CO_2 = \alpha - \beta_1 \ln ET + \beta_2 \ln KE + \beta_3 \ln PDB + \varepsilon t$$

Dimana:

CO_2	= Emisi CO_2 (Persen)
α	= Konstanta
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	= Koefisien Regresi
ET	= Energi Terbarukan (Persen)
KE	= Konsumsi Energi (Persen)
PDB	= Produk Domestik Bruto per Kapita (Persen)
ε	= <i>Error Term</i>
t	= <i>Time Series</i>

3.4.2. Tahapan Analisis

3.4.2.1. Uji Stasioneritas Data

Uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) adalah salah satu metode yang digunakan untuk menguji stasioneritas dari deret waktu. Stasioneritas adalah sifat penting dalam analisis deret waktu, di mana statistik seperti mean dan varians dari data tidak berubah seiring waktu. Jika data tidak stasioner, hasil analisis regresi bisa menjadi tidak valid. Uji ADF membantu untuk menentukan apakah suatu deret waktu memiliki *unit root*, yang berarti data tersebut tidak stasioner (Widarjono, 2018). Hipotesis yang digunakan sebagai berikut:

1. H_0 : Deret waktu memiliki *unit root* (tidak stasioner).
2. H_a : Deret waktu tidak memiliki *unit root* (stasioner).

Kriteria pengambilan keputusan dalam uji ADF adalah:

1. Jika $p\text{-value} < 5\%$, maka H_0 ditolak, sehingga data bersifat stasioner.
2. Jika $p\text{-value} > 5\%$, maka H_0 diterima, sehingga data tidak stasioner.

Apabila data tidak stasioner pada tingkat level, maka dilakukan transformasi dalam bentuk diferensiasi (*first difference*). Jika setelah diferensiasi pertama data menjadi stasioner, maka data tersebut dikatakan terintegrasi pada orde satu atau $I(1)$.

3.4.2.2. Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk memeriksa apakah residual dalam suatu model regresi mengikuti distribusi normal. Pengujian ini penting dilakukan karena jumlah data yang besar tidak selalu menjamin distribusi yang normal, begitu pula sebaliknya, data dengan jumlah kecil tidak serta-merta dianggap tidak normal (Nurchahya et al., 2024). Dengan kata lain, uji normalitas diperlukan untuk memastikan apakah sebaran residual dalam model bersifat normal atau tidak, dan pengujiannya dilakukan menggunakan metode Jarque-Bera (JB) (Widarjono, 2018).

Hipotesis yang digunakan:

1. H_0 : JB statistik $> \chi^2 - \text{table}$, p-value $> 5\%$, residual terdistribusi dengan normal.
2. H_2 : JB statistik $< \chi^2 - \text{table}$, p-value $< 5\%$, residual terdistribusi tidak normal.

Uji Multikolinearitas

Multikolinearitas merujuk pada kondisi di mana dua atau lebih variabel independen dalam model regresi memiliki korelasi yang cukup kuat satu sama lain. Karena melibatkan beberapa variabel bebas sekaligus, permasalahan ini hanya dapat muncul dalam regresi berganda. Tujuan dari deteksi multikolinearitas adalah untuk mengidentifikasi apakah terdapat hubungan yang erat antar variabel independen dalam model yang digunakan. Salah satu cara untuk mendeteksinya adalah dengan melihat nilai koefisien korelasi antar variabel bebas tersebut. Sebagai patokan umum, apabila koefisien korelasi terbilang tinggi, misalnya melampaui angka 0,85, maka model tersebut patut diduga mengandung gejala multikolinearitas. Sebaliknya, jika koefisien korelasinya relatif rendah, maka model dianggap bebas dari persoalan tersebut (Widarjono, 2018).

Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas bertujuan untuk menguji apakah model regresi terjadi ketidaksamaan varian dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Model regresi yang baik adalah yang homokedastisitas atau yang tidak terjadi heteroskedastisitas. Untuk menguji ada atau tidaknya heteroskedastisitas dapat digunakan Uji Park, uji Glejser, Uji Korelasi Speraman, Uji Goldfeld-Quandt, Uji Bruesch Pangan Godfrey dan Uji *White* (Widarjono, 2018).

1. H_0 : jika $\text{Obs} \cdot R (x^2 \text{ hitung}) > \text{Chi-square } (x^2 \text{ tabel})$, maka H_0 ditolak, artinya terjadi heterokedastisitas.
2. H_a : jika $\text{Obs} \cdot R (x^2 \text{ hitung}) < \text{Chi-square } (x^2 \text{ tabel})$, maka H_0 diterima, artinya tidak terjadi heterokedastisitas.

Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan korelasi antar variabel dalam suatu model. Secara definitif, autokorelasi dapat dipahami sebagai keterkaitan antara satu observasi dengan observasi lainnya yang tersusun berdasarkan urutan waktu seperti pada data *time series*, maupun berdasarkan ruang seperti pada data *cross section*. Permasalahan autokorelasi umumnya lebih sering dijumpai pada data *time series*, meskipun tidak menutup kemungkinan juga terjadi pada data *cross section*. Dalam konteks data *time series*, autokorelasi lebih rentan muncul ketika jarak antar waktu pengamatan sangat singkat.

Dalam penelitian ini, deteksi autokorelasi dilakukan menggunakan pendekatan *Lagrange Multiplier* atau yang dikenal sebagai LM-test, yang pertama kali diperkenalkan oleh Breusch dan Godfrey (Widarjono, 2018). Kriteria uji autokorelasi menggunakan metode LM (Breusch dan Godfrey) yaitu:

1. Jika *probability value obs*R-Squared* $> 0,05$ maka tidak ada gejala autokorelasi
2. Jika *probability value obs*R-Squared* $< 0,05$, maka ada gejala autokorelasi.

3.4.2.3. Regresi Linear Berganda *Ordinary Least Square (OLS)* dengan *Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent (HAC)*

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear berganda, yaitu suatu teknik statistik yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dua atau lebih variabel independen terhadap satu variabel dependen secara bersamaan (Gujarati & Porter, 2012). Dalam penelitian yang menggunakan data *time series*, metode *Ordinary Least Squares (OLS)* standar seringkali menghadapi dua masalah yang cukup umum, yaitu heteroskedastisitas dan autokorelasi. Heteroskedastisitas terjadi ketika varians dari *error term* tidak seragam atau berubah-ubah antar observasi, sedangkan autokorelasi terjadi ketika *error term* pada satu periode waktu saling berkorelasi dengan *error term* pada periode waktu sebelumnya (Wooldridge, 2016). Apabila kedua masalah ini dibiarkan tanpa penanganan, maka hasil estimasi

OLS menjadi tidak efisien dan standar error yang dihasilkan menjadi bias, sehingga uji signifikansi seperti uji-t dan uji-F tidak dapat dipercaya kebenarannya.

Mengingat penelitian ini menggunakan data time series tahunan selama 30 tahun (1995–2024), potensi munculnya heteroskedastisitas dan autokorelasi dalam residual cukup besar. Hal ini disebabkan karena variabel-variabel yang digunakan seperti emisi CO₂, konsumsi energi, dan PDB per kapita semuanya memiliki tren yang terus bergerak sepanjang periode pengamatan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kedua masalah tersebut secara bersamaan, penelitian ini menggunakan metode *Heteroscedasticity and Autocorrelation Consistent* (HAC) yang pertama kali diperkenalkan oleh Newey dan West (1987).

Dengan menggunakan metode HAC, diharapkan hasil estimasi dalam penelitian ini menghasilkan koefisien yang konsisten serta standar error yang andal, sehingga kesimpulan mengenai pengaruh pangsa energi terbarukan, konsumsi energi, dan PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia dapat dipertanggungjawabkan secara statistik (Stock & Watson, 2015).

3.4.2.4. Uji Hipotesis

Uji Signifikansi Simultan (Uji F)

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah variabel bebas memiliki pengaruh secara bersama-sama terhadap variabel terikat (Widarjono, 2018). Terbentuk Hipotesis sebagai berikut:

1. $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, Variabel bebas tidak memiliki pengaruh signifikan secara bersama-sama terhadap variabel terikat.
2. $H_1 \neq \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$, Variabel bebas memiliki pengaruh signifikan secara bersama-sama terhadap variabel terikat.

Jika nilai probabilitas F-Statistik $> \alpha$ 5%, maka terima H_0 , yaitu variabel bebas tidak berpengaruh signifikan secara bersama-sama terhadap variabel terikat. Apabila nilai probabilitas F-Statistik $< \alpha$ 5%, maka terima H_1 , yaitu variabel bebas berpengaruh signifikan secara bersama-sama terhadap variabel terikat.

Uji Koefisien Determinasi (R^2)

Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengukur persentase total ragam dari variabel bebas yang dapat dijelaskan oleh model regresi (Widarjono, 2018). Model regresi dapat dikatakan baik apabila nilai R^2 mendekati 1 atau 100%. Rentang koefisien determinasinya yaitu $0 \leq R^2 \leq 1$. Dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Apabila R^2 kecil atau mendekati 0, maka variabel bebas memiliki banyak keterbatasan dalam menjelaskan variabel terikatnya.
2. Apabila R^2 mendekati 1, maka hampir keseluruhan informasi yang dapat diberikan variabel bebas dalam memprediksi variasi variabel terikat.

Uji Signifikansi Parsial (Uji t)

Menurut (Widarjono, 2018) Uji-t dilakukan untuk melihat besaran pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Studi ini menggunakan uji satu arah dengan taraf signifikansi sebesar $\alpha = 5\%$, dengan hipotesis:

Hipotesis 1:

1. $H_0: \beta_1 = 0$, Variabel bebas emisi CO₂ tidak berpengaruh terhadap variabel terikat, energi terbarukan.
2. $H_1: \beta_1 > 0$, Variabel bebas emisi CO₂ berpengaruh positif dan signifikan terhadap variabel terikat, energi terbarukan.

Hipotesis 2:

1. $H_0: \beta_2 = 0$, Variabel bebas emisi CO₂ tidak berpengaruh terhadap variabel terikat, konsumsi energi.
2. $H_1: \beta_2 < 0$, Variabel bebas emisi CO₂ berpengaruh negatif dan signifikan terhadap variabel terikat, konsumsi energi.

Hipotesis 3:

1. $H_0: \beta_3 = 0$, Variabel bebas emisi CO₂ tidak berpengaruh terhadap variabel terikat, PDB.
2. $H_1: \beta_3 > 0$, Variabel bebas emisi CO₂ berpengaruh positif dan signifikan terhadap variabel terikat, PDB.

Jika $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$, maka tolak H_0 . Dalam kata lain, variabel bebas memiliki pengaruh positif atau negatif dan signifikan terhadap variabel terikat.

Jika $t_{\text{hitung}} < t_{\text{tabel}}$, maka terima H_0 , yang berarti variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh energi terbarukan, konsumsi energi, dan Produk Domestik Bruto per kapita terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia pada periode 1995–2024. Berdasarkan hasil estimasi regresi linear berganda dengan metode *Ordinary Least Squares* (OLS) yang dikoreksi menggunakan pendekatan *Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent* (HAC) *Newey-West*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh perubahan energi terbarukan terhadap perubahan emisi CO₂, perubahan energi terbarukan tidak terbukti memiliki pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap penurunan perubahan emisi CO₂ di Indonesia untuk periode 1995-2024. Temuan ini menjawab tujuan penelitian pertama dan disebabkan oleh pangsa energi terbarukan dalam bauran energi nasional yang masih sangat rendah (10,95% pada tahun 2024), sehingga kontribusinya dalam menggantikan energi fosil belum cukup besar untuk memberikan dampak yang terukur terhadap penurunan emisi CO₂.
2. Pengaruh perubahan konsumsi energi terhadap perubahan emisi CO₂, perubahan konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan perubahan emisi CO₂. Setiap kenaikan perubahan konsumsi energi sebesar 1% akan meningkatkan perubahan emisi CO₂ sebesar 84,23%. Temuan ini secara jelas menjawab tujuan penelitian kedua dan mengonfirmasi bahwa struktur energi Indonesia yang masih didominasi bahan bakar fosil (89,05%) menyebabkan setiap pertumbuhan permintaan energi berbanding lurus dengan peningkatan emisi CO₂.

3. Pengaruh perubahan Produk Domestik Bruto per Kapita terhadap perubahan emisi CO₂, PDB per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap perubahan emisi CO₂. Setiap kenaikan perubahan Produk Domestik Bruto per kapita sebesar 1% meningkatkan perubahan emisi CO₂ sebesar 35,03%. Hasil ini menjawab tujuan penelitian ketiga dan mengindikasikan bahwa Indonesia masih berada pada fase awal (sisi kiri) kurva *Environmental Kuznets Curve* (EKC), dimana pertumbuhan ekonomi masih sangat bergantung pada aktivitas yang intensif energi dan berbasis karbon.
4. Pengaruh simultan terhadap perubahan emisi CO₂, ketiga variabel independen yaitu perubahan energi terbarukan, perubahan konsumsi energi, dan perubahan Produk Domestik Bruto per kapita secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variasi perubahan emisi CO₂ di Indonesia. Nilai *Adjusted R-squared* sebesar 53,63% menunjukkan bahwa lebih dari setengah variasi perubahan emisi CO₂ dapat dijelaskan oleh ketiga faktor ini, sementara sisanya sebesar 46,37% dipengaruhi oleh variabel lain di luar model. Temuan ini menjawab tujuan penelitian keempat.

5.2. Saran

1. Bagi Pemerintah Indonesia, mengingat konsumsi energi merupakan determinan utama yang paling kuat pengaruhnya terhadap emisi CO₂, diperlukan kebijakan efisiensi energi yang lebih komprehensif dan terintegrasi di seluruh sektor, khususnya sektor industri dan transportasi yang menjadi konsumen energi terbesar. Selain itu, percepatan transformasi sistem pembangkit listrik dari PLTU batubara menuju sumber energi yang lebih bersih perlu mendapat perhatian serius.
2. Upaya peningkatan pangsa energi terbarukan agar dampaknya terhadap penurunan emisi CO₂ dapat lebih terukur, pemerintah perlu memperkuat insentif fiskal dan non-fiskal bagi investor energi terbarukan, mempercepat pembangunan infrastruktur transmisi untuk energi terbarukan dari lokasi terpencil, serta mereformasi regulasi yang masih menghambat percepatan investasi energi baru terbarukan. Upaya ini penting untuk menjembatani kesenjangan antara realisasi bauran energi terbarukan yang baru mencapai

14% pada tahun 2024 dengan target 23% yang seharusnya tercapai pada tahun 2025.

3. Menarik investasi asing yang memadai untuk percepatan pengembangan energi terbarukan, pemerintah Indonesia perlu secara simultan membenahi empat kondisi prasyarat utama. Pertama, menjaga stabilitas kondisi makroekonomi, sehingga memberikan kepastian bagi investor jangka panjang. Kedua, menyempurnakan kerangka regulasi sektor energi terbarukan, termasuk penetapan tarif pembelian listrik yang kompetitif, penyederhanaan mekanisme power purchase agreement, dan pemberian jaminan kepastian hukum bagi investor. Ketiga, mereformasi birokrasi perizinan investasi energi terbarukan agar lebih transparan, efisien, dan berbasis layanan digital, sejalan dengan agenda reformasi birokrasi nasional. Keempat, mempercepat pembangunan infrastruktur transmisi jaringan listrik yang menghubungkan lokasi sumber energi terbarukan dengan pusat beban, termasuk melalui skema pembiayaan inovatif seperti *green bonds* dan kemitraan pemerintah-swasta. Keempat kondisi prasyarat ini saling berkaitan dan hanya dapat memberikan dampak optimal apabila dibenahi secara bersamaan dalam kerangka kebijakan investasi energi terbarukan yang terintegrasi dan berorientasi jangka panjang.
4. PDB per kapita yang masih berkorelasi positif dengan emisi CO₂, diperlukan strategi *decoupling* yang mampu memisahkan pertumbuhan ekonomi dari ketergantungan pada energi fosil. Hal ini dapat dilakukan melalui dorongan pengembangan sektor ekonomi berbasis teknologi bersih dan rendah karbon, peningkatan efisiensi energi di sektor produksi, serta penguatan kerangka regulasi lingkungan yang mendorong industri untuk beralih ke praktik produksi yang lebih ramah lingkungan. Strategi ini sejalan dengan komitmen *Enhanced NDC 2022* yang menargetkan penurunan emisi sebesar 31,89% secara mandiri pada tahun 2030 dan visi *net zero emission* pada tahun 2060.

5. Bagi penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperluas cakupan variabel independen mengingat masih terdapat sekitar 41,53% variasi emisi CO₂ yang belum dapat dijelaskan oleh model dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency, I. E. (2022). An Energy Sector Roadmap To Net Zero Emissions In Indonesia. *International Energy Agency*.
<https://Iea.Blob.Core.Windows.Net/Assets/B496b141-8c3b-47fc-Adb2-90740eb0b3b8/Anenergysectorroadmaptonetzeroemissionsinindonesia.Pdf>
- Agency, I. E. (2025). *Energy Efficiency 2025*.
- Ahmad, A., Wahyudi, H., & Lestari, W. R. (2024). *The Effect Of Gdp Per Capita , Population , And Income Inequality On Co 2 Emissions In Indonesia*. *14(1)*, 365–370.
- Ahmat, N., Christopher, S., Saputra, J., Sukemi, M. N., & Nawawi, M. N. (2025). The Impact Of Energy Consumption, Economic Growth, And Non-Renewable Energy On Carbon Dioxide Emission In Malaysia. *International Journal Of Energy Economics And Policy*, *15(1)*, 143–152.
<https://Doi.Org/10.32479/Ijeep.17350>
- Ardiana, M. D., & Naylah, M. (2024). Analisis Environmental Kuznets Curve Di Negara Middle-Lower Income Asean Tahun 2000-2020. *Business And Economic Analysis Journal*, *4(2)*, 86–95.
- Aryoputro, F. N. (2025). *Implementasi Uji Emisi Kendaraan Bermotor Di Daerah Khusus Jakarta Dalam Pemenuhan Hak Masyarakat Untuk Hidup Sehat*. *8*, 210–222.
- Ashraf, F., Sanira Asif, B., Ali, T., & Arshad, A. (2019). *Carbon Emission, Energy Consumption And Economic Growth Nexus-A Literature Survey*. Www.Globalscientificjournal.Com
- Aslam, B., Hu, J., Shahab, S., Ahmad, A., Saleem, M., Shah, S. S. A., Javed, M. S., Aslam, M. K., Hussain, S., & Hassan, M. (2021). The Nexus Of Industrialization, Gdp Per Capita And Co2 Emission In China. *Environmental Technology And Innovation*, *23*. <https://Doi.Org/10.1016/J.Eti.2021.101674>
- Bank, W. (2023). *Laporan Iklim Dan Pembangunan Negara: Indonesia*.

- Birokasi, K. P. A. N. Dan R. (2019, August 16). Inilah Perpres No. 55/2019 Tentang Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai. *Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara Dan Reformasi Birokrasi*, 008553. <https://www.menpan.go.id/site/berita-terkini/berita-daerah/inilah-perpres-no-55-2019-tentang-program-kendaraan-bermotor-listrik-berbasis-baterai>
- Bohi, D. R. (2013). *Analyzing Demand Behavior: A Study Of Energy Elasticities*. Rff Press.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research Design: Qualitative, Quantitative, And Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
- Dahl, C. A. (2012). Measuring Global Gasoline And Diesel Price And Income Elasticities. *Energy Policy*, 41, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.055>
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). Confronting The Environmental Kuznets Curve. *Journal Of Economic Perspectives*, 16(1), 147–168.
- Destiarsono, M. E. (2025). *Do Economic Growth And Urbanization Drive Co 2 Emissions ? Role Of Renewable Energy And Energy Efficiency In Indonesia*. 15(2), 647–656.
- Dharmawan, I. W. S., & Pratiwi. (2023). Implementation Of Forest-Land Rehabilitation To Support The Enhancement Of Carbon Stock On Indonesia's Folu Net Sink 2030 Strategy. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 1180(1), 12010.
- Dinda, S. (2004). *Environmental Kuznets Curve Hypothesis : A Survey*. 49, 431–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Dunn, R. J. H., Blannin, J., Willett, K. M., Gobron, N., Morris, G. A., Ades, M., Adler, R., Alexe, M., Allan, R. P., Anderson, J., Anneville, O., Aono, Y., Arguez, A., Armenteras-Pascual, D., Arosio, C., Asher, E., Augustine, J. A., Azorin-Molina, C., Baez-Villanueva, O. M., ... Zou, C.-Z. (2025). Global Climate. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 106(8), S11–S172. <https://doi.org/10.1175/Bams-D-25-0102.1>
- Elder, M., Hopkinson, S., Zhou, X., Arino, Y., & Matsushita, K. (2025). *Implications Of The Eu's Carbon Border Adjustment Mechanism (Cbam) For Asean: An Argument For More Ambitious Carbon Pricing*.
- Energi, K., & Mineral, S. D. (2020). Pemerintah Mendorong Transisi Energi Melalui Energi Baru Terbarukan Dan Efisiensi Energi. *Online News*, November, 26.
- Energy Institute. (2025). *Statistical Review Of World Energy* . <https://www.energyinst.org/statistical-review/>.

- European Environment Agency. (2024). *Renewables, Electrification And Flexibility For A Competitive Eu Energy System Transformation By 2030*. <https://doi.org/10.2800/4558900>
- Geels, F. W. (2002). Technological Transitions As Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-Level Perspective And A Case-Study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Grossman, G. M. (1991). *Environmental Impacts Of A North American Free Trade Agreement*.
- Group, W. B. (2026). *State And Trends Of Carbon Pricing*.
- Group, W. B. I. E. D. (2026). *World Development Indicators*. World Bank. <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2012). *Dasar-Dasar Ekonometrika*, Edisi 5. Jakarta: Salemba Empat.
- Hannah, R., Rosado, P., & Roser, M. (2020). Energy Production And Consumption. *Our World In Data*.
- Hannah Ritchie, P. R. And M. R. (2020). *Energy Production And Consumption*. <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>.
- He, P., Ya, Q., Chengfeng, L., Yuan, Y., & Xiao, C. (2021). Nexus Between Environmental Tax, Economic Growth, Energy Consumption, And Carbon Dioxide Emissions: Evidence From China, Finland, And Malaysia Based On A Panel-Ardl Approach. *Emerging Markets Finance And Trade*, 57(3), 698–712. <https://doi.org/10.1080/1540496x.2019.1658068>
- Husain, M. F., & Nurfadhilah, N. L. (2024). *Kebijakan Dan Program/Kegiatan Sektor Energi Di Daerah Dalam Rangka Mendukung Pencapaian Net Zero Emission* (H. Rizkiana (Ed.)). Ui Publishing.
- Indonesia, R. (2006). *Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 5 Tahun 2006*.
- Indonesia, R. (2017). *Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 22 Tahun 2017*.
- Institute For Essential Services Reform (Iesr). (2024). Indonesia Energy Transition Outlook 2025: Navigating Indonesia's Energy Transition At The Crossroads: A Pivotal Moment For Redefining The Future. *Institute For Essential Services Reform (Iesr)*, 5, 114.
- International Energy Agency, I. (2023). *World Energy Outlook 2023*. www.iea.org/terms
- International, I. E. A., & Agency, E. (2024). *Southeast Asia Energy Outlook 2024*.
- Kaparang, A. C., Mangangka, I. R., & Riogilang, H. (2023). Penanganan Emisi Co2 Dari Berbagai Jenis Kendaraan Bermotor Di Desa Tumpaan. *Tekno*, 21(85), 1535–1544.

- Karlilar Pata, S., & Balcilar, M. (2024). Decarbonizing Energy: Evaluating Fossil Fuel Displacement By Renewables In Oecd Countries. *Environmental Science And Pollution Research*, 31(21), 31304–31313. <https://doi.org/10.1007/S11356-024-33324-8>
- Kehutanan, K. L. H. Dan. (2022). *Enchanted Nationally Determined Contribution Republic Of Indonesia*. https://unfccc.int/sites/default/files/ndc/2022-09/23.09.2022_enhanced_ndc_indonesia.pdf
- Khan, M. K., Teng, J. Z., Khan, M. I., & Khan, M. O. (2019). Impact Of Globalization, Economic Factors And Energy Consumption On Co2 Emissions In Pakistan. *Science Of The Total Environment*, 688, 424–436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.065>
- Kongkuah, M., & Alessa, N. (2025). Renewable Energy And Carbon Intensity: Global Evidence From 184 Countries (2000–2020). *Energies*, 18(13). <https://doi.org/10.3390/en18133236>
- Kutan, A. M., Paramati, S. R., Ummalla, M., & Zakari, A. (2017). Financing Renewable Energy Projects In Major Emerging Market Economies: Evidence In The Perspective Of Sustainable Economic Development. *Emerging Markets Finance And Trade*, 0938(August). <https://doi.org/10.1080/1540496x.2017.1363036>
- Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., & Barrett, K. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution Of Working Groups I, II And III To The Sixth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change*.
- Mankiw, N. G. (2013). *Macroeconomics Fifth Edition*.
- Mineral, K. E. & S. D. (2025). *Handbook Of Energy And Economic Statistics Of Indonesia 2024*.
- Mirziyoyeva, Z., & Salahodjaev, R. (2023). Renewable Energy, Gdp And Co2 Emissions In High-Globalized Countries. *Frontiers In Energy Research*, 11, 1123269.
- Mrabet, A., Achairi, R., & Ellouze, A. (2014). The Two-Way Relationship Between Economic Growth And Co2 Emissions. *International Conference On Business, Economics, Marketing & Management Research*, 2, 32–35.
- Muço, K., Valentini, E., & Lucarelli, S. (2021). The Relationships Between Gdp Growth, Energy Consumption, Renewable Energy Production And Co2 Emissions In European Transition Economies. *International Journal Of Energy Economics And Policy*, 11(4), 362–373. <https://doi.org/10.32479/ijep.11275>
- Nations, F. And A. O. Of The U. (2021). *The State Of Food And Agriculture 2021: Making Agrifood Systems More Resilient To Shocks And Stresses*. Fao Rome, Italy.

- Nations, U. (2025). *The Sustainable Development Goals Report*.
- Newey, W. K., & West, K. D. (1986). *A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity And Autocorrelationconsistent Covariance Matrix*.
- Nikensari, S. I., Destilawati, S., & Nurjanah, S. (2019). Studi Environmental Kuznets Curve Di Asia: Sebelum Dan Setelah Millennium Development Goals. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, 27(2), 11–25.
- Noor, M. A., & Saputra, P. M. A. (2020). Emisi Karbon Dan Produk Domestik Bruto: Investigasi Hipotesis Environmental Kuznets Curve (Ekc) Pada Negara Berpendapatan Menengah Di Kawasan Asean. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 8(3), 230–246. <https://doi.org/10.14710/Jwl.8.3.230-246>
- Novika, I., & Budiarty, I. (2025). *Analysis Of Unemployment In Indonesia : The Impact Of Minimum Wage , Exports , Foreign Direct Investment , And Human Development Index From 1990-2023*.
- Nugraha, A. T., & Osman, N. H. (2019). *Co 2 Emissions , Economic Growth , Energy Consumption , And Household Expenditure For Indonesia : Evidence From Cointegration And Vector Error Correction Model*. 9(1), 291–298.
- Oecd. (2020). *Oecd Investment Policy Reviews: Indonesia 2020*.
- Oecd. (2025). *Effective Carbon Rates 2025*.
- Osobajo, O. A., Otitoju, A., Otitoju, M. A., & Oke, A. (2020). The Impact Of Energy Consumption And Economic Growth On Carbon Dioxide Emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/Su12197965>
- Panayotou, T. (1993). *Empirical Tests And Policy Analysis Of Environmental Degradation At Different Stages Of Economic Development*.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2018). Microeconomics. In *Microeconomics*.
- Puspita Rahayu, R., Yoencha Thine, E., & Amalia Nur Aini, F. (2024). Transisi Ekonomi Hijau: Analisis Faktor Penyebab Meningkatnya Emisi Co2 Guna Menyongsong Ekonomi Berkelanjutan Di Indonesia. *Journal Economics And Development Analysis*, 4, 1–18. <https://ejournal.uksw.edu/inspire>
- Rahman, M. M., Nepal, R., & Alam, K. (2021). Impacts Of Human Capital, Exports, Economic Growth And Energy Consumption On Co2 Emissions Of A Cross-Sectionally Dependent Panel: Evidence From The Newly Industrialized Countries (Nics). *Environmental Science And Policy*, 121, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.017>
- Rahmatullah, D. (2025). *Analisis Pengaruh Kebijakan Moneter Terhadap Likuiditas Perbankan Di Indonesia Dedy Rahmatullah*. 2(2), 3302–3310.
- Re, S. (2021). World Economy Set To Lose Up To 18% Gdp From Climate Change If No Action Taken, Reveals Swiss Re Institute’s Stress-Test Analysis. In *News Release, Zurich 22 April 2021*. Swiss Re Ltd Zurich.

- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). Co₂ And Greenhouse Gas Emissions. *Our World In Data*.
- Sandalow, D., Meidan, M., Andrews-Speed, P., Hove, A., Yue, S., & Downie, E. (2022). *Guide To Chinese Climate Policy 2022*. <https://Chineseclimatepolicy.Oxfordenergy.Org/Wp-Content/Uploads/2022/11/Guide-To-Chinese-Climate-Policy-2022.Pdf>
- Smil, V. (2010). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects* Praeger. Santa Barbara, 18.
- Solow, R. M. (1956). A Contribution To The Theory Of Economic Growth. *The Quarterly Journal Of Economics*, 70(1), 65–94.
- Sovacool, B. K. (2016). How Long Will It Take? Conceptualizing The Temporal Dynamics Of Energy Transitions. *Energy Research And Social Science*, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>
- Statistik, B. P. (2021). Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk (Sp) Dan Survei Penduduk Antar Sensus (Supas). In *Badan Pusat Statistik*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/mti2nymx/jumlah-penduduk--hasil-sensus-penduduk--sp--dan-survei-penduduk-antar-sensus--supas--menurut-provinsi--1971---2015.html>
- Statistik, B. P. (2024). *Rata-Rata Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Provinsi, 1971- 2024*. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/mti2ocmx/rata-rata-laju-pertumbuhan-penduduk-menurut-provinsi--1971---2024.html>
- Statistik, B. P. (2025a). *Laju Pertumbuhan Pdb Seri 2010 (Persen)*. Retrieved February. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/mta0izi=/produk-domestik-bruto-indonesia-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-lapangan-usaha.html>
- Statistik, B. P. (2025b). *Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2024*. Bps. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/v1zsbfruy3ltbfpeytswngcdzjek53ykhsnffumdkjmymwmdaw/jumlah-penduduk--laju-pertumbuhan-penduduk--distribusi-persentase-penduduk--kepadatan-penduduk--rasio-jenis-kelamin-penduduk-menurut-provinsi.html?Year=2024>
- Stern, D. I. (2004). *The Rise And Fall Of The Environmental Kuznets Curve*. 32(8), 1419–1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stock, J. H., & Watson, M. W. (2015). *Introduction To Econometrics* (Vol. 3). Pearson London.
- Sufyanullah, K., Ahmad, K. A., & Sufyan Ali, M. A. (2022). Does Emission Of Carbon Dioxide Is Impacted By Urbanization? An Empirical Study Of Urbanization, Energy Consumption, Economic Growth And Carbon Emissions - Using Ardl Bound Testing Approach. *Energy Policy*, 164.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112908>

- Sugiyono, P. D. (2010). Metode Penelitian. *Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*.
- Sukmawati, M. L., & Hariyani, H. F. (2025). Dampak Investasi Energi Terbarukan Terhadap Emisi Karbon Di Negara Oecd. *Journal Of Financial Economics & Investment*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.22219/jofei.v5i1.34197>
- Susilowati, I., Mu'min, M. S., Qudsyina, H., Wahyuni, H. A., Rismawati, S., Kusumawardhani, H. A., & Miah, M. R. (2023). Nexus Between Economic Growth, Renewable Energy, Industry Value Added And Co2 Emissions In Asean. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 24(2), 265–281.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2020). *Economic Development*. Pearson Education. <https://books.google.co.id/books?id=Vu0wyqeacaaj>
- Tong, L., Qi, Q., Wang, C., & Mu, Q. (2025). Does Renewable Energy Technology Innovation Enhance Carbon Productivity? Evidence From China. *Energies*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/en18071681>
- Transparency, C. (2022). *Climate Transparency Report: Comparing G20 Climate Action*. <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2022/10/Ct2022-Indonesia-Web.pdf>
- Turnip, C. H., Lumbansiantar, K. S., Sinaga, P., Nasution, A. R., Harahap, E. S., & Dalimunthe, M. B. (2025). Dampak Perubahan Iklim Dalam Perekonomian Indonesia. *Journal Of Sains Cooperative Learning And Law*, 2(1), 893–901.
- Widarjono, A. (2018). *Ekonometrika (Kelima)*. Yogyakarta: Upp Stim Ykpn.
- Wooldridge, J. M. (2016). *Introductory Econometrics A Modern Approach*. South-Western Cengage Learning.
- World Bank. (2015). *Metadata Glossary*. <https://databank.worldbank.org/>.
- World Bank. (2023). Indonesia - Country Climate And Development Report: Overview. *World Bank Group*. <http://documents.worldbank.org/curated/en/099042823064019635>
- World Health Organization. (2023). *World Health Statistics, 2022: Monitoring Health For The Sdgs*.
- Yunus, R., & Anwar, A. I. (2021). *Ekonomi Publik*. Penerbit Nem.
- Zhao, M., Cai, W., Huang, X., Zhang, X., Zhang, D., Zhao, M., Huang, X., Kjellstrom, T., Kai Wei Lee, J., Otto, M., Zhang, X., Romanello, M., Zhang, D., & Cai, W. (2022). Labour Productivity And Economic Impacts Of Carbon Mitigation: A Modelling Study And Benefit-Cost Analysis. In *Articles Lancet Planet Health* (Vol. 6). www.thelancet.com/