

**Analisis Pengaruh GDP Per Kapita, *Financial Development*, *Energy Use*, dan Populasi Usia Produktif Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia**

Sherin Alifah<sup>1</sup>, Amin Pujiati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Negeri Semarang  
sherinalifah1@students.unnes.ac.id, amin.pujiati@mail.unnes.ac.id

**ABSTRACT**

*Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions are a form of negative externality from economic activity and development, with serious implications for climate stability. Indonesia ranks 9th as the country with the highest carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions according to the International Energy Agency (IEA) in 2021. Indonesia's total CO<sub>2</sub> emissions in that year will be around 619 Mt CO<sub>2</sub>e. The increase in CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia is inevitable, as it is influenced by various structural and economic factors. This study aims to identify factors that influence the increase in CO<sub>2</sub> emissions and analyze the long-term influence of the variables GDP per capita, Financial Development Index, Energy Use, and Productive Age Population (15-64 years) on CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia. The analysis method used is Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS). The results showed that all independent variables have a positive and significant effect on CO<sub>2</sub> emissions in the long run. This means that every 1% increase in the independent variables can increase total CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia. GDP per capita variable can increase by 0.04% CO<sub>2</sub> emissions, Energy use contributes 0.68% to CO<sub>2</sub> emissions. Productive age population (15-64 years) can affect 0.12%. Meanwhile, Financial Development in scale can have an effect of 0.31% on CO<sub>2</sub> emissions. This finding indicates that CO<sub>2</sub> emission reduction policies need to focus on energy use efficiency and sustainable economic growth.*

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Emission; GDP per capita; Financial Development; Energy Use; Productive age population

**ABSTRAK**

Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu bentuk eksternalitas negatif dari aktivitas ekonomi dan pembangunan, yang berimplikasi serius terhadap stabilitas iklim. Indonesia menempati peringkat ke-9 sebagai negara dengan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) tertinggi menurut *International Energy Agency* (IEA) di tahun 2021. Total emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia pada tahun tersebut mencapai sekitar 619 Mt CO<sub>2</sub>e. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tidak dapat dihindarkan, karena dipengaruhi oleh berbagai faktor struktural dan ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi peningkatan emisi CO<sub>2</sub> serta menganalisis pengaruh jangka panjang dari variabel GDP per kapita, *Financial Development Index*, *Energy Use*, dan Populasi Usia Produktif (15–64 tahun) terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Metode analisis yang digunakan adalah *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variabel independen tersebut berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka panjang. Artinya, di setiap kenaikan 1% variabel Independen dapat meningkatkan total emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Variabel GDP per kapita dapat meningkatkan sebesar 0,04% emisi CO<sub>2</sub>, *Energy use* berkontribusi sebesar 0,68% terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Populasi usia produktif (15–64 tahun) dapat berpengaruh sebesar 0,12%. Sementara *Financial Development Index* dalam

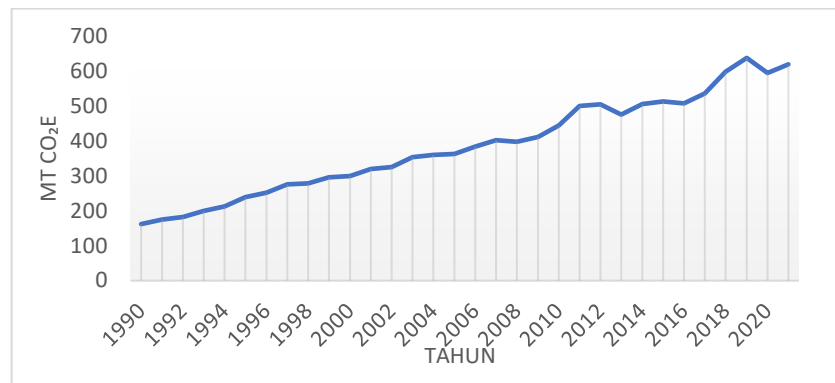
besaran skala dapat memberikan pengaruh sebesar 0,30% terhadap Emisi CO<sub>2</sub>. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebijakan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> perlu difokuskan pada efisiensi penggunaan energi dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

**Kata kunci:** Emisi CO<sub>2</sub>; GDP per kapita; Financial Development; Energy Use; Populasi usia produktif

## PENDAHULUAN

Isu perubahan iklim telah menjadi agenda utama dalam kebijakan pembangunan global, mengingat dampaknya yang luas terhadap lingkungan, perekonomian, dan kesejahteraan masyarakat dunia. Dampak dari fenomena ini semakin nyata dengan meningkatnya suhu rata-rata global yang memicu perubahan cuaca ekstrem, kenaikan permukaan laut, dan frekuensi bencana alam yang kian meningkat. Emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), merupakan penyebab utama pemanasan global, yang sebagian besar berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil untuk energi, deforestasi, serta perubahan penggunaan lahan secara masif (Filonchuk et al., 2024). Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai penyumbang utama efek rumah kaca terus mengalami peningkatan secara global, terutama akibat aktivitas manusia yang tidak terkontrol. Sektor energi menjadi kontributor terbesar, di mana pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam untuk memenuhi kebutuhan listrik, transportasi, dan industri menghasilkan jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang sangat besar. Kondisi ini menimbulkan tantangan besar dalam upaya pengendalian perubahan iklim.

Negara berkembang seperti Indonesia menghadapi tantangan dalam menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Pertumbuhan ekonomi penting untuk kesejahteraan, namun aktivitas ekonomi yang intensif sering menimbulkan kerusakan lingkungan seperti deforestasi dan polusi (Hunjra et al., 2024). Konflik antara pembangunan dan pelestarian lingkungan diperburuk oleh rendahnya kesadaran masyarakat serta lemahnya implementasi kebijakan. Pemerintah berperan penting dalam menetapkan regulasi, mendorong energi terbarukan, dan memfasilitasi transisi menuju ekonomi hijau. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan komunitas internasional menjadi kunci untuk memastikan pembangunan tidak mengorbankan kelestarian lingkungan bagi generasi ke generasi.



**Gambar 1. Emisi CO<sub>2</sub> (total) di Indonesia 1990-2021**

Sumber: *World Development Indicators*, 2025

Berdasarkan Gambar 1 yang menunjukkan besaran Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dari tahun 1990 hingga 2021, terlihat adanya tren peningkatan yang cukup signifikan selama periode tersebut. Emisi karbon meningkat secara konsisten dari sekitar 150 Mt CO<sub>2</sub>e pada tahun 1990 menjadi lebih dari 600 Mt CO<sub>2</sub>e pada tahun 2021. Peningkatan yang tajam terlihat terutama setelah tahun 2002, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, dan peningkatan konsumsi energi fosil. Kenaikan ini mencerminkan tantangan besar yang dihadapi Indonesia dalam menyeimbangkan pembangunan ekonomi dengan upaya pengurangan emisi CO<sub>2</sub> untuk mendukung keberlanjutan lingkungan.

Kondisi ini mengindikasikan perlunya kajian mendalam mengenai faktor-faktor yang mendorong peningkatan emisi karbon di Indonesia. Dalam konteks pembangunan ekonomi, pertumbuhan GDP per kapita sering kali diasosiasikan dengan meningkatnya aktivitas industri, transportasi, dan konsumsi energi, yang semuanya berkontribusi terhadap Emisi CO<sub>2</sub> (Sikder et al., 2022). Selain itu, konsumsi energi nasional yang masih didominasi oleh sumber energi fosil menambah beban terhadap lingkungan. Di sisi lain, perkembangan sektor keuangan yang tercermin dalam indeks perkembangan keuangan dapat mempercepat ekspansi sektor-sektor produktif, termasuk sektor energi dan manufaktur, yang berpotensi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> jika tidak diarahkan pada investasi hijau. Pertumbuhan jumlah penduduk turut menambah permintaan terhadap energi, infrastruktur, dan transportasi, sehingga memperbesar tekanan terhadap lingkungan.

Perekonomian Indonesia menunjukkan tren pertumbuhan yang signifikan selama lebih dari tiga dekade terakhir, sebagaimana terdapat pada data di *World Development Indicators* yang menunjukkan peningkatan GDP per kapita (*current US\$*) dari tahun 1990 hingga 2021. Meskipun sempat mengalami penurunan akibat krisis moneter pada akhir 1990-an, tren secara keseluruhan menunjukkan pertumbuhan yang konsisten, terutama setelah tahun 2005. Lonjakan GDP per kapita yang signifikan pasca-2010 mengindikasikan percepatan aktivitas ekonomi di berbagai sektor. Dalam konteks inilah menjadi relevan untuk menelaah lebih lanjut

bagaimana lonjakan GDP per kapita berkontribusi terhadap tekanan Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia.

Pertumbuhan GDP per kapita yang mencerminkan peningkatan aktivitas ekonomi, di satu sisi, menunjukkan keberhasilan pembangunan. Namun, di sisi lain, peningkatan tersebut cenderung diiringi dengan konsumsi energi yang lebih besar, sebagian besar masih berbasis pada sumber energi fosil yang tidak ramah lingkungan. Menurut Alaganthiran & Anaba (2022), analisisnya menunjukkan bahwa peningkatan 1% dalam pertumbuhan ekonomi berpengaruh dengan peningkatan sekitar 0,02% dalam emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya permintaan energi, transportasi, dan produksi industri sebagai konsekuensi dari pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, penting untuk menelusuri hubungan antara pertumbuhan ekonomi dengan emisi karbon guna mengidentifikasi dampak lingkungan dari pembangunan ekonomi di Indonesia. Gambar ini menjadi salah satu bukti empiris yang mendukung relevansi penelitian mengenai faktor-faktor yang memengaruhi emisi karbon, termasuk pertumbuhan ekonomi sebagai salah satu elemen penting dalam analisis.

Konsumsi energi (*Energy use*) di Indonesia dalam World Development Indicators menunjukkan tren meningkat selama periode 1990 hingga 2021. Secara umum, terlihat adanya peningkatan yang konsisten dari tahun ke tahun, dengan peningkatan signifikan terjadi terutama setelah tahun 2010. Pada awal 1990-an, konsumsi energi masih berada di bawah angka 500 yang artinya setiap penduduk Indonesia, secara rata-rata, berkontribusi terhadap 500 kilogram gas rumah kaca yang dihitung dalam satuan ekuivalen karbon dioksida, namun pada tahun 2021 telah menembus angka lebih dari 900 kilogram gas rumah kaca yang dihitung dalam satuan ekuivalen karbon dioksida. Kenaikan ini mencerminkan meningkatnya kebutuhan energi seiring pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, urbanisasi, serta peningkatan populasi dan aktivitas domestik di Indonesia. Konsumsi energi, terutama dari sumber fosil, secara signifikan berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di negara-negara berkembang, karena pertumbuhan ekonomi dan industrialisasi yang pesat meningkatkan permintaan energi dan, pada gilirannya, emisi CO<sub>2</sub> (Durmaz et al., 2025).

Perkembangan sektor keuangan di Indonesia memiliki pengaruh yang kompleks terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Perkembangan sektor keuangan yang diukur melalui Financial Development Index, memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan di berbagai negara termasuk di kawasan negara OECD (Tao et al., 2023) juga di beberapa penelitian terdahulu diketahui mempunyai dampak positif terhadap Emisi CO<sub>2</sub> (Ahmad et al., 2023). *Financial Development Index* merefleksikan sektor keuangan dari akses serta efisiensi lembaga pasar keuangan sehingga memudahkan penganalisisan mobilisasi keuangan negara. Namun demikian, Penelitian terdahulu menurut Bilgili et al., (2025) dalam penelitiannya terhadap negara-negara maju bahwasanya faktor *Financial Development* memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap CO<sub>2</sub>. Menurut Dutta & Saha (2023) perlu diingat bahwa perkembangan keuangan yang tidak terarah atau tidak diawasi dengan baik juga

berpotensi menimbulkan dampak negatif, seperti terjadinya krisis ekonomi, ketimpangan sosial, dan kerusakan lingkungan akibat eksploitasi sumber daya secara berlebihan.

Indonesia merupakan negara dengan tingkat populasi terbesar keempat di dunia, setelah Tiongkok, India, dan Amerika Serikat. Pertumbuhan populasi Indonesia yang terus meningkat menjadi salah satu faktor utama yang mendorong kenaikan emisi karbon di negara ini. Berdasarkan data di World Development Indicators, terlihat bahwa proporsi penduduk usia produktif (15–64 tahun) di Indonesia mengalami peningkatan yang konsisten dari sekitar 60% dari total populasi pada tahun 1990 menjadi hampir 68% pada tahun 2021. Kenaikan ini menunjukkan adanya bonus demografi, yaitu kondisi di mana jumlah penduduk usia produktif lebih unggul daripada penduduk usia non-produktif. Fenomena ini berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi melalui peningkatan produktivitas tenaga kerja dan konsumsi domestik. Namun, peningkatan jumlah penduduk usia produktif juga dapat berdampak pada peningkatan kebutuhan energi, transportasi, dan konsumsi barang, yang secara tidak langsung berkontribusi terhadap meningkatnya emisi karbon.

Pertambahan jumlah penduduk menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan energi dan kendaraan bermotor, perubahan gaya hidup yang lebih konsumtif, serta berkurangnya ruang terbuka hijau akibat ekspansi wilayah pemukiman. Kondisi ini mempercepat degradasi lingkungan dan meningkatkan polusi udara yang berdampak pada kenaikan emisi CO<sub>2</sub> (Mondal, 2019). Salah satu aspek demografi yang penting untuk diperhatikan adalah jumlah dan struktur populasi, terutama kelompok usia produktif yang menjadi motor penggerak aktivitas ekonomi dan konsumsi energi. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji lebih dalam bagaimana dinamika demografi ini memengaruhi tekanan lingkungan, khususnya dalam konteks emisi karbon di Indonesia.

Secara teoritis, hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO<sub>2</sub> sering dijelaskan melalui pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yang menyatakan bahwa emisi CO<sub>2</sub> atau Degradasi lingkungan cenderung meningkat seiring naiknya GDP per kapita hingga titik tertentu, setelah itu akan menurun seiring meningkatnya efisiensi teknologi dan kesadaran lingkungan. Energy use juga dapat dimaknai sebagai dari proses tersebut. Pada fase awal, ketergantungan pada energi berbasis fosil cenderung meningkat seiring percepatan ekonomi, sementara pada fase lanjutan, transisi energi menuju sumber yang lebih bersih dan efisien menjadi faktor penurunan emisi CO<sub>2</sub>. Financial Development dalam teori *Finance-Led Growth* menunjukkan dua sisi pengaruh: satu sisi menekankan bahwa akses pembiayaan yang lebih luas dapat mendorong aktivitas perekonomian dan konsumsi energi (yang berpotensi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>), namun sisi lain menyoroti bahwa sistem keuangan yang maju juga dapat mendukung investasi pada teknologi ramah lingkungan. Populasi usia produktif dalam *Demographic Transition Theory*, pada tahap transisi awal hingga akhir, ketika proporsi penduduk usia produktif meningkat

tajam, terjadi lonjakan aktivitas ekonomi dan konsumsi energi, yang menjadi penyumbang utama emisi CO<sub>2</sub>.

Meskipun telah banyak studi yang membahas determinan Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung memfokuskan pada satu atau dua variabel secara parsial. Selain itu sebagian besar studi sebelumnya seperti penelitian oleh Nur Sahara et al.,(2024) dan Madyan et al.,(2022) masih menggunakan indikator konvensional seperti rasio kredit atau jumlah uang beredar sebagai proksi dari *financial development*. Pendekatan tersebut cenderung belum mampu menangkap kompleksitas sektor keuangan secara menyeluruh. Padahal, *Financial Development* tidak hanya mencakup akses terhadap kredit, tetapi juga kedalaman dan efisiensi sistem keuangan secara keseluruhan. Sehingga, terdapat kepentingan untuk menggunakan indikator yang lebih komprehensif, salah satunya adalah *Financial Development Index* yang dikembangkan oleh IMF, yang mencakup dimensi *depth*, *access*, dan *efficiency* dari sektor keuangan. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut (*Research Gap*) dengan menggunakan indikator *Financial Development Index* sebagai pendekatan yang lebih menyeluruh dalam menganalisis hubungan antara perkembangan keuangan dan emisi CO<sub>2</sub> terkhususnya di Indonesia.

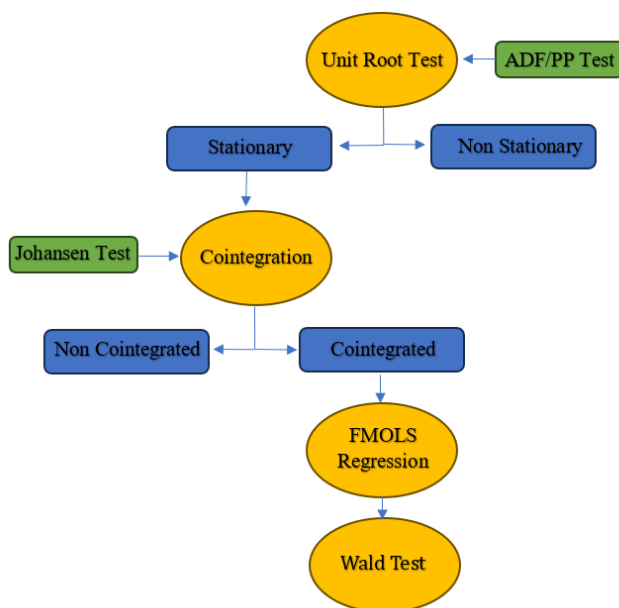
Melalui pendekatan indikator ini pada konteks negara Indonesia, penelitian ini tidak hanya mengisi kekosongan dalam literatur, tetapi juga memberikan kontribusi empiris (*Novelty*) baru dalam memahami peran kompleks sektor keuangan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia sebagai negara berkembang dengan karakteristiknya. Penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui pemanfaatan data variabel *Financial Development* dengan cakupan tahun yang diperluas, menggunakan data yg *up-to-date* dari IMF yaitu periode 1990-2021 dalam lingkup Indonesia. Selanjutnya, penggunaan metode *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) untuk menganalisis penelitian dengan topik Emisi CO<sub>2</sub>, dimana dalam peneltian ini dengan indikator *Financial Development Index* terhadap Emisi CO<sub>2</sub> dalam lingkup di Indonesia.

Penelitian ini secara keseluruhan bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif bagaimana GDP per kapita, konsumsi energi (*Energy Use*), indeks perkembangan keuangan (*Financial Development Index*), dan populasi usia produktif (15-64 tahun) memengaruhi emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dalam rentang waktu 1990 hingga 2021. Selain itu, penelitian ini juga bermaksud untuk menilai pengaruh keempat variabel tersebut secara simultan dalam satu model ekonomi guna memperoleh pemahaman yang menyeluruh mengenai variabel Independen dan Variabel dependen dalam memengaruhi perubahan emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka panjang. Dengan memahami hubungan-hubungan ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan landasan empiris yang kuat bagi perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia yang mampu menyeimbangkan antara pertumbuhan ekonomi dan lingkungan.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu GDP per kapita, *Financial Development*, *Energy use*, Populasi usia produktif (15-64 tahun) terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Data yang digunakan yaitu data sekunder yang diperoleh dari World Development Indicators (WDI) dan International Monetary Fund (IMF), meliputi data Emisi CO<sub>2</sub>, GDP per kapita, *Financial Development Index*, *Energy use*, Populasi usia Produktif(15-64 tahun). Data yang digunakan yaitu data *time series*. Data *time series* yang digunakan yaitu menggunakan tahun 1990-2021. Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Eviews 12. Metode atau Model regresi yang digunakan dalam analisis ini yaitu *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) model.

*Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) merupakan metode estimasi yang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan autokorelasi dan heteroskedastisitas dalam model regresi yang berbasis data runtun waktu (*time series*), khususnya ketika variabel-variabel dalam model bersifat stasioner dan memiliki hubungan kointegrasi. FMOLS dapat memberikan estimasi parameter yang konsisten dan efisien pada model kointegrasi, sehingga sangat sesuai untuk analisis hubungan jangka panjang antar variabel dalam penelitian ini. Menurut Phillips dan Hansen (1990), FMOLS merupakan teknik yang tepat untuk memperkirakan hubungan jangka panjang dalam data *time series* karena mampu mengoreksi bias yang ditimbulkan oleh korelasi sekuensial dan endogenitas dalam regresi kointegrasi. Oleh karena itu, FMOLS dipilih dalam penelitian ini untuk menguji keterkaitan jangka panjang antar variabel yang dianalisis.



**Gambar 2. Kerangka Metode Penelitian**

Berikut persamaan regresi dalam penelitian ini:

$$EMISI_t = \beta_0 + \beta_1 GDP_t + \beta_2 FINDEV_t + \beta_3 EU_t + \beta_4 PROD_t + e_t \quad (1)$$

Keterangan:

EMISI	: Emisi CO <sub>2</sub> ( <i>total</i> ) (Mt CO <sub>2</sub> e)
GDP	: GDP per kapita (US\$)
FINDEV	: Financial Development Index (skala 0-1)
EU	: Energy Use (kg of equivalent per capita)
PROD	: Populasi usia produktif 15-64 tahun (persen)
B <sub>0</sub>	: Konstanta
β <sub>1</sub> β <sub>2</sub> β <sub>3</sub> β <sub>4</sub>	: Koefisien Regresi
e	: <i>error term</i>
t	: <i>time series</i>

Dalam penelitian ini digunakan model semi-logaritmik dengan alasan salah satu variabel memiliki skala sangat kecil (berada pada rentang antara 0 sampai 1) yaitu variabel FINDEV, sehingga tidak mendukung untuk dilakukan transformasi logaritma. Oleh karena itu, transformasi logaritma hanya diterapkan pada variabel lainnya untuk menjaga validitas model dan interpretasi hasil tetap sesuai. Setelah persamaan 1 diubah dalam bentuk log maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\text{LogEMISI}_t = \beta_0 + \beta_1 \text{LogGDP}_t + \beta_2 \text{FINDEV}_t + \beta_3 \text{LogEU}_t + \beta_4 \text{PROD}_t + e_t$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

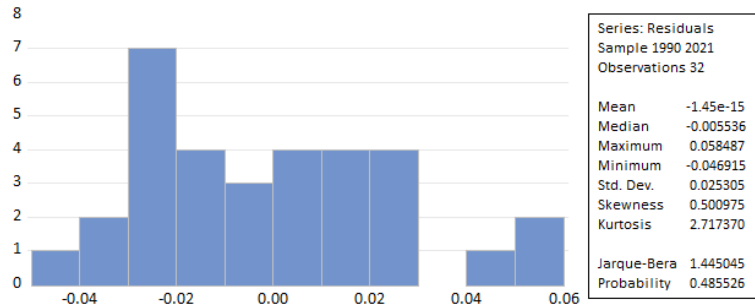
Analisis data *time series* ini menggunakan beberapa tahapan, yang pertama melakukan uji asumsi klasik, dilanjutkan dengan uji Stationeritas yang dimana disini menggunakan *ADF/PP test*. Jika data terbukti stasioner dalam satu ordo maka dilanjutkan dengan uji Koinegrasi yang dimana disini menggunakan *Johansen test*. Jika data sudah Stationer dan Terkointegrasi maka langkah selanjutnya yaitu dapat melakukan regresi *Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS)*. Dalam model FMOLS, dapat memilih mengestimasi dengan memasukkan *lag and lead* berdasarkan kriteria seperti Akaike Information Criterion (AIC) atau Bayesian Information Criterion (BIC). Setelah melakukan regresi menggunakan FMOLS, dapat melakukan uji Wald atau Wald Test. Uji Wald adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji signifikansi parameter dalam suatu model regresi (Spierdijk, 2023).

### Uji Asumsi Klasik

Dalam penelitian ini, dilakukan uji asumsi klasik untuk memastikan bahwa model regresi yang digunakan memenuhi syarat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Tahapan pertama adalah uji normalitas. Kedua, dilakukan uji. Selanjutnya, uji heteroskedastisitas. Terakhir, uji autokorelasi. Hasil dari keempat uji ini menunjukkan bahwa model telah memenuhi asumsi klasik, sehingga estimasi yang dihasilkan dapat dikatakan sah dan reliabel untuk analisis lebih lanjut.

**1. Uji Normalitas**

Uji normalitas merupakan salah satu tahapan dalam uji asumsi klasik yang memiliki fungsi untuk melihat atau mengkaji data berdistribusi normal atau tidak normal dan hal ini penting untuk validitas uji statistik. Data dikatakan normal ketika probabilitas Jarque-Bera lebih besar dari tingkat signifikan, signifikan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar  $\alpha=5\%$ .



**Gambar 3. Hasil Uji Normalitas**  
 Sumber: Data diolah, 2025

Pada gambar 3 terdapat nilai probabilitas Jarque-bera sebesar 0,485526. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai probabilitas lebih dari 0,05 yang artinya data yang digunakan dalam penelitian ini berdistribusi normal. Setelah dilakukan uji normalitas selanjutnya dilakukan uji multikolinearitas.

**2. Uji Multikolinearitas**

Uji multikolinearitas digunakan untuk mengetahui adanya hubungan linear yang tinggi antar variabel independen dalam model regresi, yang dapat mengganggu kestabilan estimasi koefisien. Dalam penelitian ini digunakan metode *Centered Variance Inflation Factor* (VIF), di mana nilai VIF menunjukkan seberapa besar varians koefisien membesar akibat korelasi antar variabel. Nilai VIF yang aman adalah kurang dari 10, sehingga jika semua variabel memiliki nilai di bawah batas tersebut, dapat disimpulkan tidak terjadi multikolinearitas.

**Tabel 1. Hasil Uji Multikolinearitas**

Variabel	Centered VIF
LogGDP	5.442003
FINDEV	1.761921
EU	9.271105
PROD	7.455846

Sumber: Data diolah, 2025

Berdasarkan Tabel 1 dapat dikatakan bahwa tidak terdapat hubungan linier antara variabel bebas dalam penelitian ini, dikarenakan nilai Centered VIF tidak ada yang melebihi 10 sehingga dapat disimpulkan data terbebas dari asumsi multikolonieritas.

### 3. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas merupakan uji yang digunakan untuk melihat apakah model mempunyai perbedaan varian antara residual setiap masing-masing pengamatan. Pada penelitian ini menggunakan uji *Breush-Pagan-Godfrey* untuk mendeteksi masalah heteroskedastisitas pada model penelitian ini. Syarat agar uji heteroskedastisitas terpenuhi apabila nilai probabilitas lebih dari 0,05.

**Tabel 2. Hasil Uji Heteroskedastisitas**

F-statistic	0.483517	Prob. F	0.3384
Obs*R-squared	2.139008	Prob. Chi-square(4)	0.3095
Scaled explained	0.915848	Prob. Chi-square(4)	0.5699

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil uji heteroskedastisitas pada tabel 2 menunjukkan bahwa probabilitas lebih dari 0,05 yang artinya uji heteroskedastisitas terpenuhi dan dapat dilakukan uji selanjutnya karena tidak ada masalah heteroskedastisitas.

### 4. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Breusch-Godfrey (*LM Test*) untuk mendeteksi adanya korelasi antar residual dalam model regresi, khususnya pada data *time series*. Autokorelasi dapat menyebabkan estimasi menjadi bias dan tidak efisien. Jika nilai probabilitas (p-value) dari uji LM lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05, maka tidak terdapat autokorelasi dalam model.

**Tabel 3. Hasil uji Autokorelasi**

F-statistic	2.369372	Prob F	0.1191
Obs*R-squared	5.099066	Prob. Chi-square(2)	0.0817

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil uji autokorelasi pada tabel 3 menunjukkan nilai probabilitas diatas 0,05 yang dimana artinya data dalam penelitian ini terbebas dari autokorelasi. Dengan demikian, model regresi yang digunakan telah memenuhi salah satu asumsi klasik yang penting dalam analisis data *time series*.

### Uji Stationeritas

Uji stasioneritas menggunakan metode Augmented Dickey-Fuller (ADF) dan Phillips-Perron (PP) dilakukan untuk memastikan bahwa data *time series* tidak mengandung tren atau akar unit, yang dapat menyebabkan hasil regresi menjadi tidak valid. Dalam konteks regresi FMOLS (*Fully Modified Ordinary Least Squares*), keberadaan stasioneritas pada tingkat pertama (*first difference*) sangat penting karena FMOLS mensyaratkan variabel-variabel yang digunakan memiliki integrasi orde satu.

**Tabel 4. Hasil Uji Stationeritas**

Method	Statistik	Prob.
ADF-Fisher Chi-square	73.4930	0.0000
PP-Fisher Chi-square	94.5941	0.0000

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil uji stasioneritas dengan metode ADF dan PP menunjukkan bahwa seluruh variabel dalam penelitian ini menjadi stasioner setelah dilakukan diferensiasi pertama, yang berarti data memiliki integrasi orde satu. Dengan demikian, data memenuhi syarat dasar untuk digunakan dalam analisis regresi jangka panjang seperti FMOLS. Karena seluruh variabel telah stasioner pada tingkat yang sama, maka analisis dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya, yaitu uji kointegrasi untuk menguji adanya hubungan jangka panjang antar variabel dalam model.

### Uji Kointegrasi

Uji kointegrasi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan Johansen Cointegration Test untuk mengetahui apakah terdapat hubungan jangka panjang antar variabel yang bersifat stasioner memiliki integrasi orde satu. Uji ini mempertimbangkan dua statistik, yaitu *trace statistic* dan *max-eigen statistic*, di mana hasil yang menunjukkan nilai probabilitas di bawah 0,05 menandakan adanya kointegrasi yang signifikan antar variabel dalam model.

**Tabel 5. Hasil Uji Kointegrasi**

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace statistic	0.05 Critical Value	Prob. **
None *	0.693267	104.7137	69.81889	0.0000
At most 1 *	0.631440	69.26038	47.85613	0.0002
At most 2 *	0.477808	39.31581	29.79707	0.0030
At most 3 *	0.371606	19.82424	15.49471	0.0104
At most 4 *	0.178168	5.886583	3.841465	0.0153

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil uji kointegrasi menggunakan *Johansen Cointegration Test* pada Tabel 5 menunjukkan bahwa terdapat lima persamaan kointegrasi pada tingkat signifikansi 5%. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *trace statistic* pada setiap tingkat hipotesis (None hingga At most 4) yang lebih besar dari nilai *critical value* 5%, serta probabilitas (*p-value*) yang semuanya kurang dari 0,05, seperti pada hipotesis None dengan *trace statistic* sebesar  $104.7137 > 69.81889$  dan *p-value* 0.0000. Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan jangka panjang yang signifikan antar variabel dalam model, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap analisis regresi menggunakan metode FMOLS.

### Model Regresi *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS)

Analisis regresi pada penelitian ini digunakan untuk melihat pengaruh dari GDP per kapita, *Financial Development*, *Energy use*, dan Populasi Usia Produktif terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dalam kurun waktu 1990-2021 dengan menggunakan analisis regresi *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS). Hasil estimasi penggunaan metode *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) pada penelitian ini sebagai berikut:

**Tabel 6. Hasil Regresi *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS)**

Variabel	Coefficient	Std. error	t-statistic	Prob.
C	-6.698499	0.286025	-23.41930	0.0000
LogGDP	0.038090	0.010401	3.662030	0.0011
FINDEV	0.306587	0.105780	2.898353	0.0075
LogEU	0.683087	0.075348	9.065702	0.0000
PROD	0.120061	0.004643	25.85888	0.0000
R-squared	0.993942			
Adjusted R-square	0.993010			

Sumber: Data diolah, 2025

Berdasarkan tabel 6. menunjukkan hasil estimasi dari hasil regresi *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS), selain itu diperoleh juga nilai koefisien regresi setiap variabel penelitian yaitu sebagai berikut:

$$EMISI = -6.698499 + 0.038090GDP + 0.306587FINDEV + 0.683087EU + 0.120061PROD + e_t$$

Penjelasan hasil estimasi persamaan pada tabel 6 sebagai berikut:

1. GDP mewakili GDP per kapita memiliki nilai koefisien sebesar 0.038090 dengan nilai probabilitas 0.0011. Nilai probabilitas yang dihasilkan lebih kecil dari taraf nyata atau  $\alpha=5\%$ . Berdasarkan nilai koefisien tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa ketika terjadi kenaikan GDP per kapita 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.038% dengan asumsi *ceteris paribus*.

2. FINDEV mewakili *Financial Development Index* memiliki nilai koefisien sebesar 0.306587 dengan nilai probabilitas 0.0075. Nilai probabilitas yang dihasilkan lebih kecil dari taraf nyata atau  $\alpha=5\%$ . Berdasarkan nilai koefisien tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa ketika terjadi kenaikan *Financial development Index* sebesar 0,01 poin dalam satuan skala 0-1 maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.306% dengan asumsi *ceteris paribus*.
3. EU mewakili *Energy use* memiliki nilai koefisien sebesar 0.683087 dengan nilai probabilitas 0.0011. Nilai probabilitas yang dihasilkan lebih kecil dari taraf nyata atau  $\alpha=5\%$ . Berdasarkan nilai koefisien tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa ketika terjadi kenaikan *Energy Use* 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.683% dengan asumsi *ceteris paribus*.
4. PROD mewakili Populasi Usia Produktif(15-64 tahun) memiliki nilai koefisien sebesar 0.120061 dengan nilai probabilitas 0.0011. Nilai probabilitas yang dihasilkan lebih kecil dari taraf nyata atau  $\alpha=5\%$ . Berdasarkan nilai koefisien tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa ketika terjadi kenaikan Populasi usia produktif (15-64tahun) 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.120% dengan asumsi *ceteris paribus*.

### Uji Wald

Uji Wald adalah alat uji statistik yang digunakan untuk menguji bahwa satu atau beberapa koefisien dalam model regresi sama dengan nol. *Null Hypothesis*:  $C(1)=0, C(2)=0, C(3)=0, C(4)=0$  adalah bentuk pernyataan yang digunakan dalam uji Wald untuk menguji apakah keempat koefisien parameter dalam model regresi tidak berbeda secara signifikan. Persamaan ini wajib dituliskan saat melakukan uji Wald karena menjadi dasar pengujian simultan terhadap signifikansi seluruh parameter jangka panjang dalam model.

**Tabel 7. Hasil Uji Wald**

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	3329.165	(4, 26)	0.0000
Chi-square	13316.66	4	0.0000

Sumber: Data diolah, 2025

Berdasarkan hasil uji Wald, diperoleh bahwa probabilitas F-statistic dan Chi-square bernilai 0.0000, dimana nilai ini lebih kecil dari tingkat signifikansi 5%. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh signifikan secara simultan dari variabel independen terhadap variabel dependen.

### Uji T

Uji t-statistik digunakan untuk mengevaluasi seberapa pengaruh secara individual suatu variabel independen terhadap variabel dependen dalam analisis statistik. Uji t-statistik dilakukan dengan membandingkan nilai t-statistik dengan t-tabel. Jika nilai t-statistik lebih besar dari nilai t-tabel maka variabel independen

berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Variabel independen dapat dikatakan signifikan ketika nilai probabilitas lebih kecil dari taraf nyata yaitu  $0.05(\alpha=5\%)$ .

**Tabel 8. Hasil Uji T**

Variabel	T-Statistik	< atau >	T-Tabel	Nilai Signifikan
GDP(X1)	3.662030	>	2.052	0.0011
FINDEV(X2)	2.898353	>	2.052	0.0075
EU(X3)	9.065702	>	2.052	0.0000
PROD(X4)	25.85888	>	2.052	0.0000

Sumber: Data diolah, 2025

Berdasarkan tabel 8, hasil dari Uji T mengindikasikan seluruh variabel independen dalam penelitian ini memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel dependennya, dengan nilai t-statistiknya yang lebih besar dari nilai t-tabelnya. Besaran nilai signifikansinya yang lebih kecil dari  $0.05(\alpha=5\%)$  itu artinya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen dalam penelitian ini yaitu Emisi CO<sub>2</sub>.

#### Uji Koefisien Determinan(R<sup>2</sup>)

Uji koefisien determinasi atau juga dikenal dengan R-Squared adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh atau seberapa jauh variabel independen dapat menjelaskan variabel dependen. Ketika hasil uji mendekati angka satu maka dapat dikatakan variabel independen yang digunakan memiliki pengaruh terhadap variabel dependen, namun ketika hasil uji mendekati angka nol dapat dikatakan banyak variabel di luar model yang berpengaruh.

**Tabel 9. Uji Koefisien Determinan**

<b>R-Squared</b>	0.993942
<b>Adjusted R-Squared</b>	0.993010

Koefisien determinan (R<sup>2</sup>) pada penelitian ini sebesar 0,993010 yang artinya nilai koefisien determinan tersebut menunjukkan bahwa variabel independen dalam penelitian ini mampu menjelaskan variabel dependen dengan besaran 99,30%. sisanya dijelaskan oleh variabel lain di luar penelitian.

#### Pengaruh GDP per Kapita terhadap Emisi CO<sub>2</sub>

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa variabel GDP per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia pada kurun waktu 1990-2021. Nilai koefisien variabel GDP per kapita pada penelitian ini sebesar 0.038090. Nilai probabilitas ini lebih kecil dari tingkat signifikansi atau  $\alpha=5\%$  yaitu  $0.0011 < 0.05$ . Hasil koefisien ini dapat menjelaskan bahwa ketika terjadi

kenaikan GDP per kapita 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.038% dengan asumsi *ceteris paribus*. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan ekonomi yang ditunjukkan melalui peningkatan GDP per kapita cenderung diikuti oleh peningkatan aktivitas yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang dicetuskan oleh Gene M. Grossman dan Alan B. Krueger (1995) yang menyatakan bahwa pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, peningkatan GDP per kapita cenderung diikuti oleh peningkatan emisi lingkungan, termasuk Emisi CO<sub>2</sub>. Dalam konteks Indonesia pada periode 1990–2021, temuan menunjukkan bahwa GDP per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub>, yang berarti bahwa pertumbuhan ekonomi pada tahap ini masih bergantung pada aktivitas yang menghasilkan polusi, seperti penggunaan energi fosil dan ekspansi sektor industri. Hal ini mencerminkan fase awal dari kurva EKC, di mana peningkatan kesejahteraan ekonomi belum diimbangi dengan kesadaran dan investasi yang cukup dalam teknologi ramah lingkungan maupun kebijakan pengendalian emisi CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Mu Tashim&Rudatin(2024) GDP per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka panjang, sejalan juga dengan penelitian Espoir et al.,(2023) di wilayah Afrika dimana jika GDP per kapita naik 1% maka Emisi CO<sub>2</sub> naik sebesar 0,61% dalam jangka panjang. Penelitian menurut Pujiati et al.,(2023) dalam model ARDL menjelaskan bahwa dalam jangka pendek dan jangka panjang, variabel GDP per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>.

### **Pengaruh *Financial Development* terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa variabel *Financial Development Index* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia pada kurun waktu 1990-2021. Nilai koefisien variabel *Financial Development Index* pada penelitian ini sebesar 0.306587. Nilai probabilitas ini lebih kecil dari tingkat signifikansi atau  $\alpha=5\%$  yaitu  $0.0075 < 0.05$ . Hasil koefisien ini dapat menjelaskan bahwa ketika terjadi kenaikan *Financial Development Index* 0,01 poin dalam satuan skala 0-1 maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.306% dengan asumsi *ceteris paribus*. Hal ini mengindikasikan bahwa sektor perkembangan uang yang ditunjukkan melalui peningkatan *Financial Development Index* cenderung diikuti oleh peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan sektor keuangan di Indonesia selama periode tersebut cenderung mendorong aktivitas ekonomi yang intensif terhadap penggunaan energi, sehingga berkontribusi pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori *Finance-Led Growth* yang dicetuskan oleh Joseph Schumpeter (1934) dalam karyanya yang terkenal "*The Theory of Economic Development*". Teori ini menyatakan bahwa perkembangan sektor keuangan mendorong peningkatan Emisi CO<sub>2</sub> melalui pertumbuhan ekonomi. Seiringnya dengan meningkatnya aktivitas ekonomi akibat kemudahan akses

pembiayaan, terjadilah peningkatan produksi dan penggunaan energi yang pada akhirnya dapat menyebabkan peningkatan Emisi CO<sub>2</sub>, terutama dinegara berkembang yang masih bergantung pada energi fosil. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Thangaiyarkarasi&Vanitha(2021) yang meneliti 10 negara berkembang dan menghasilkan bahwa *Financial Development* memiliki pengaruh positif terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di negara-negara tersebut. Penelitian lain juga sejalan dengan hasil ini yaitu penelitian oleh Rajpurohit&Sharma(2021) yang menganalisis hubungan antara *Financial Development*, konsumsi energi, dan emisi CO<sub>2</sub> di lima negara Asia (India, Pakistan, Bangladesh, Sri Lanka, dan Malaysia). Penelitian tersebut menemukan bahwa *Financial Development* dapat meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>.

### **Pengaruh *Energy Use* terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa variabel *Energy Use* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia pada kurun waktu 1990-2021. Nilai koefisien variabel *Energy Use* pada penelitian ini sebesar 0.683087. Nilai probabilitas ini lebih kecil dari tingkat signifikansi atau  $\alpha=5\%$  yaitu  $0.0000 < 0.05$ . Hasil koefisien ini dapat menjelaskan bahwa ketika terjadi kenaikan *Energy Use* 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.683% dengan asumsi *ceteris paribus*. Hal ini mengindikasikan bahwa konsumsi energi yang ditunjukkan melalui peningkatan *Energy Use* cenderung meningkatkan aktivitas yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan energi secara langsung berpengaruh dengan peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, yang menandakan perlunya upaya efisiensi energi dan penggunaan sumber energi yang lebih bersih untuk mengendalikan dampak lingkungan.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang dicetuskan oleh Gene M. Grossman dan Alan B. Krueger (1995) yang pada tahap awal pembangunan ekonomi, konsumsi energi yang meningkat terutama berasal dari sumber energi fosil yang tidak ramah lingkungan, sehingga secara langsung menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini terjadi karena fokus utama pada pertumbuhan ekonomi mengabaikan dampak lingkungan, sehingga emisi CO<sub>2</sub> naik seiring dengan kenaikan konsumsi energi. Oleh karena itu, pada fase ini, hubungan antara konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> bersifat positif, yang menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi energi masih berkontribusi pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian ini di dukung oleh beberapa penelitian terdahulu, menurut Sharif et al.,(2023) hasil penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi energi sebesar 1% cenderung meningkatkan emisi karbon sebesar 0,94% dalam jangka panjang. Lebih lanjut, konsumsi energi dari batu bara berkontribusi terhadap peningkatan emisi sebesar 2,34%, sementara konsumsi energi dari gas alam justru berhubungan negatif dengan emisi CO<sub>2</sub>, dengan penurunan sebesar 1,78%. Lalu menurut Penelitian selanjutnya yang sejalan dengan hasil penelitian yaitu Liu et al.,(2022) Penelitian ini menemukan bahwa konsumsi energi (*Energy Use*), terutama dari sumber energi fosil, merupakan faktor utama yang membentuk perubahan

intensitas karbon, yang pada gilirannya berkontribusi pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub> global. Menurut penelitian oleh Pujiati et al.,(2019) konsumsi energi (*Energy use*) memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap Environmental Quality Index, dimana setiap kenaikan 1% konsumsi energi dapat menurunkan kualitas lingkungan sebesar 0,16%.

### **Pengaruh Populasi Usia Produktif (15-64tahun) terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa variabel Populasi usia produktif berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia pada kurun waktu 1990-2021. Nilai koefisien variabel Populasi usia produktif pada penelitian ini sebesar 0.120061. Nilai probabilitas ini lebih kecil dari tingkat signifikansi atau  $\alpha=5\%$  yaitu  $0.0000 < 0.05$ . Hasil koefisien ini dapat menjelaskan bahwa ketika terjadi kenaikan Populasi usia produktif(15-64tahun) 1% maka akan menaikkan Emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.120% dengan asumsi *ceteris paribus*. Hal ini mengindikasikan bahwa Populasi usia produktif yang ditunjukkan melalui persentase jumlah penduduk dengan usia produktif yaitu usia 15-64 tahun cenderung meningkatkan aktivitas yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Populasi usia produktif (15-64 tahun) umumnya terlibat dalam berbagai aktivitas ekonomi dan sosial yang intensif energi, seperti bekerja di sektor industri, transportasi, dan jasa. Kegiatan tersebut biasanya melibatkan penggunaan bahan bakar fosil untuk operasional mesin, kendaraan, serta proses produksi, yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori *Demographic Transition Theory* (Teori Transisi Demografi) pertama kali dicetuskan oleh Warren Thompson (1929). Teori ini menjelaskan bagaimana masyarakat mengalami transisi dari tingkat kelahiran dan kematian yang tinggi ke tingkat yang lebih rendah seiring perkembangan ekonomi, sosial, dan kesehatan. Teori Transisi Demografi menjelaskan bahwa pada tahap transisi awal hingga akhir, ketika proporsi penduduk usia produktif meningkat tajam, terjadi lonjakan aktivitas ekonomi dan konsumsi energi, yang menjadi penyumbang utama emisi CO<sub>2</sub>. Dengan kata lain, fase pertumbuhan usia produktif merupakan periode kritis di mana kebijakan energi dan lingkungan perlu diarahkan untuk mencegah lonjakan emisi CO<sub>2</sub>. Penelitian terdahulu yang sejalan dengan hasil penelitian ini yaitu oleh Lim et al.,(2020) Penelitian ini mengevaluasi dampak struktur umur penduduk terhadap emisi di Amerika Serikat. Hasilnya menunjukkan bahwa individu usia produktif memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan oleh gaya hidup dan pola konsumsi energi yang lebih tinggi pada kelompok usia tersebut, termasuk penggunaan kendaraan pribadi dan konsumsi barang elektronik. Penelitian lain juga selaras dengan ini yaitu Yaqoob et al.,(2024), hasil penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan proporsi penduduk usia produktif (15–64 tahun) berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon, terutama melalui peningkatan konsumsi energi dan aktivitas ekonomi. Sebaliknya, populasi yang menua cenderung mengurangi emisi karena pola konsumsi yang lebih hemat energi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah diuraikan mengenai pengaruh GDP per kapita, Financial Development Index, *Energy use*, dan Populasi usia produktif (15-64 tahun) terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia secara simultan selama tahun 1990-2021 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. GDP per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tahun 1990-2021. GDP per kapita yang semakin meningkat menunjukkan seberapa jauh aktivitas perekonomian di negara tersebut turut mendorong peningkatan Emisi CO<sub>2</sub>, sehingga menunjukkan bahwa pembangunan ekonomi selama periode 1990-2021 masih bergantung pada aktivitas perekonomian yang menghasilkan Emisi CO<sub>2</sub> tinggi.
2. *Financial Development* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tahun 1990-2021. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan sektor keuangan mendorong peningkatan investasi dan aktivitas industri yang berkontribusi terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Dengan kata lain, kemajuan finansial belum sepenuhnya diarahkan pada kegiatan ekonomi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
3. *Energy use* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tahun 1990-2021. Konsumsi energi yang terus meningkat mencerminkan tingginya ketergantungan Indonesia pada sumber energi berbasis fosil. Ketergantungan ini berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia.
4. Populasi usia produktif (15-64 tahun) berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia tahun 1990-2021. Pertumbuhan populasi usia produktif mendorong peningkatan aktivitas ekonomi dan konsumsi energi, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap naiknya emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini mengindikasikan bahwa dinamika demografi memainkan peran penting dalam tekanan terhadap lingkungan selama periode tersebut.

## SARAN

Berdasarkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan terdapat saran yang diajukan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatnya GDP per kapita di Indonesia dari 1990-2021 mengindikasikan aktivitas perekonomian yang baik, diharapkan peningkatan GDP per kapita sebaiknya diiringi dengan kebijakan lingkungan yang ketat, seperti pajak karbon, insentif untuk teknologi ramah lingkungan, serta regulasi yang mendorong efisiensi energi, agar pertumbuhan ekonomi tidak terus-menerus diikuti oleh peningkatan emisi CO<sub>2</sub>.
2. *Financial development* berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia, diperlukan regulasi dan insentif yang mendorong lembaga

keuangan untuk menyalurkan dana ke sektor-sektor yang rendah karbon dan berkontribusi pada transisi energi, sehingga pertumbuhan sektor keuangan justru tidak memperburuk dampak lingkungan melalui pembiayaan kegiatan yang tinggi emisi CO<sub>2</sub>.

3. Pemerintah perlu mempercepat transisi energi dengan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan memperluas penggunaan energi terbarukan. Selain itu, diperlukan kebijakan yang mendorong efisiensi energi di sektor industri, transportasi, dan rumah tangga melalui penerapan teknologi hemat energi.
4. Pemerintah sebaiknya memfokuskan upaya pada pemanfaatan potensi populasi usia produktif dengan mengarahkan mereka ke sektor-sektor ekonomi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, seperti sektor energi terbarukan. Selain itu, perlu dilakukan peningkatan kapasitas melalui pelatihan dan edukasi yang menanamkan kesadaran lingkungan serta mendorong inovasi dalam berkegiatan ekonomi rendah jejak karbon.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N., Ghouse, G., Bhatti, M. I., & Aslam, A. (2023). The Impact of Social Inclusion and Financial Development on CO2 Emissions: Panel Analysis from Developing Countries. *Sustainability*, 15(20), 14752. <https://doi.org/10.3390/su152014752>
- Alaganthiran, J., & Anaba, M. (2022). The Effects of Economic Growth on Carbon Dioxide Emissions in Selected Sub African (SSA) Countries. *SSRN*, 18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4039665>
- Bilgili, F., Muğaloğlu, E., Kuşkaya, S., Cifuentes-Faura, J., Khan, K., & Alnour, M. (2025). The nexus between the financial development and CO2 emissions: fresh evidence through time-frequency analyses. *Financial Innovation*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00713-4>
- Durmaz, N., Liu, Q., & Zhechen, L. (2025). CO2 Emission, Energy Consumption, and Economic Growth in Latin America. *Energy RESEARCH LETTERS*, 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.46557/001c.125655>
- Dutta, K., & Saha, M. (2023). Does financial development cause sustainable development? A PVAR approach. *Economic Change and Restructuring*, 56(2), 879–917. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10644-022-09451-y>
- Espoir, D. K., Sunge, R., & Bannor, F. (2023). Exploring the dynamic effect of economic growth on carbon dioxide emissions in Africa: evidence from panel PMG estimator. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(52), 112959–112976. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30108-4>
- Filonchik, M., Peterson, M., Zhang, L., Volha, H., & He, Y. (2024). Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O. *Science of The Total Environment*, 935. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>

- Gene M. Grossman, A. B. K. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2118443>
- Hunjra, A., Bouri, E., Azam, M., Rauf, A., & Dai, J. (2024). Economic growth and environmental sustainability in developing economies. *Research in International Business and Finance*, 70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102341>
- Lim, H., Kim, J., & Jo, H. H. (2020). Population age structure and greenhouse gas emissions from road transportation: A panel cointegration analysis of 21 OECD countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217734>
- Liu, Xiao. Hang, Ye. Wang, Q. (2022). The role of energy consumption in global carbon intensity change: A meta-frontier-based production-theoretical decomposition analysis. *Energy Economics*, 109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105968>
- Madyan, M., Kusumawardani, D., & Hasbi Ash Shidiq. (2022). Pengaruh Perkembangan Keuangan Terhadap Emisi Co2 Di Indonesia. *Ekspansi: Jurnal Ekonomi, Keuangan, Perbankan, Dan Akuntansi*, 14(2), 167–180. <https://doi.org/10.35313/ekspansi.v14i2.4536>
- Mondal, S. (2019). The implications of population growth and climate change on sustainable development in Bangladesh. *Journal of Disaster Risk Studies*, 11(1), 535. <https://doi.org/10.4102/jamba.v11i1.535>
- Mu Tashim, T., & Rudatin, A. (2024). Analisis ekonomi negara BRICS terhadap emisi karbon dioksida (CO2). *Jurnal Kebijakan Ekonomi Dan Keuangan*, 2(2), 205–214. <https://doi.org/10.20885/jkek.vol2.iss2.art12>
- Nur Sahara, S. J., & Rahadian, H. (2024). The Effects of Economic Growth, Financial Development, Trade Openness, and Energy Consumption on CO2 Emission in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 21(2), 157–165. <https://doi.org/10.29259/jep.v21i2.22163>
- Phillips, peter;Hansen, B. (1990). *Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes*.
- Pujiati, A., Oktavilia, S., Sugiyanto, F. X., Firmansyah, & Setyadharna, A. (2019). Effect of Energy Consumption and Economic Growth towards the environmental quality of Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125(201 9), 7–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912510007>
- Pujiati, A., Yanto, H., Dwi Handayani, B., Ridzuan, A. R., Borhan, H., & Shaari, M. S. (2023). The detrimental effects of dirty energy, foreign investment, and corruption on environmental quality: New evidence from Indonesia. *Frontiers in Environmental Science*, 10(January), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1074172>
- Rajpurohit, S. S. R. S. (2021). Impact of economic and financial development on carbon emissions: evidence from emerging Asian economies. *Management of Environmental Quality*, 32(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/MEQ->

03-2020-0043

- Schumpeter, J. (1934). The theory of economic development. In *The Theory of Economic Development*. <https://doi.org/10.4324/9781003146766>
- Sharif, F., Hussain, I., & Qubtia, M. (2023). Energy Consumption, Carbon Emission and Economic Growth at Aggregate and Disaggregate Level: A Panel Analysis of the Top Polluted Countries. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15042935>
- Sikder, M., Wang, C., Yao, X., & Huai, X. (2022). The integrated impact of GDP growth, industrialization, energy use, and urbanization on CO2 emissions in developing countries: Evidence from the panel ARDL approach. *Science of the Total Environment*, 837. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155795>
- Spierdijk, L. (2023). Assessing the consistency of the fixed-effects estimator: a regression-based Wald test. *Empirical Economics*, 64(4), 1599–1630. <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02298-2>
- Tao, M., Sheng, M. S., & Wen, L. (2023). How does financial development influence carbon emission intensity in the OECD countries: Some insights from the information and communication technology perspective. *Journal of Environmental Management*, 335(December 2022), 117553. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117553>
- Thangaiyarkarasi, N., & Vanitha, S. (2021). The impact of financial development on decarbonization factors of carbon emissions: A global perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 353–364. <https://doi.org/10.32479/ijeep.11872>
- Warren, T. (1929). POPULATON. *American Journal of Sociology*, 34, 959–975. <https://doi.org/https://doi.org/10.1086/214874>
- Yaqoob, Mohammad. Yasmin, N., Ishaq, S., & Anitha. (2024). Estimating the effect of population age distribution on CO2 emissions in developing countries. *Journal of Environmental Economics and Policy*, 13(4), 489–502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/21606544.2024.2309944>