

*ARDL Modeling on Energy Consumption, Economic Growth on CO<sub>2</sub> Emissions in Indonesia*

**Pemodelan ARDL pada Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia**

Lusianah Dhewi Findartika ✉, Nanda Alfreda Putri,

Ubait Syauqi, Achmad Budi Susetyo

Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

✉ 220721100180@student.trunojoyo.ac.id

Submitted: 2025-12-19

Revised: 2025-12-22

Accepted: 2025-12-23

**ABSTRACT**

*This study analyzes the effect of energy consumption and economic growth on CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia in the short and long-term using the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) method. The data used are secondary time series data for the period 1991-2021. The results of the stationarity test indicate that the variables of energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions are stationary at the first differentiation level I(1), while economic growth is stationary at level I(0). The Bounds Test cointegration test produces an F-statistic value of 5.216879 which is greater than the upper limit at the 5% significance level, indicating a stable long-term relationship between the variables. The results of the long-term estimation show that energy consumption and economic growth do not have a significant effect on CO<sub>2</sub> emissions. Meanwhile, in the short term, energy consumption shows a negative and significant effect at lag 1 and lag 3, while economic growth shows a dynamic effect with changing direction depending on the time period.*

**Keywords:** ARDL, CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, economic growth

**ABSTRAK**

Penelitian ini menganalisis pengaruh konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dalam jangka pendek dan panjang menggunakan metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Data yang digunakan adalah data deret waktu sekunder periode 1991-2021. Hasil uji stasioneritas menunjukkan bahwa variabel konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> stasioner pada tingkat diferensiasi pertama I(1), sedangkan pertumbuhan ekonomi stasioner pada tingkat I(0). Hasil estimasi jangka panjang menunjukkan bahwa konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Sementara itu, dalam jangka pendek, konsumsi energi menunjukkan pengaruh negatif dan signifikan pada lag 1 dan lag 3, sedangkan pertumbuhan ekonomi menunjukkan pengaruh dinamis dengan arah yang berubah-ubah tergantung pada periode waktu.



**Kata kunci:** ARDL, emisi CO<sub>2</sub>, konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi

## PENDAHULUAN

Degradasi lingkungan merupakan jenis kerusakan yang muncul akibat meningkatnya aktivitas ekonomi yang tidak ramah lingkungan, terutama penggunaan bahan bakar fosil, sehingga kualitas lingkungan menurun dan emisi CO<sub>2</sub> meningkat. Fenomena ini menjadi sorotan karena berdampak besar pada perubahan iklim. Menurut Stolyarova mengatakan konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi sebagai alasan utama penyebab naiknya emisi CO<sub>2</sub>.<sup>1</sup> Kualitas lingkungan dapat dinilai melalui tingkat emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) karena gas ini berkaitan langsung terhadap tingkat polusi udara. Emisi CO<sub>2</sub> global terus meningkat sejak 1960 akibat pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, dan tingginya konsumsi energi fosil. Pembakaran sumberdaya alam tak terbarukan menjadi sumber utamanya, yang kemudian memicu kenaikan suhu bumi dan melemahkan kemampuan ekosistem menyerap CO<sub>2</sub>.<sup>2</sup> Emisi CO<sub>2</sub> juga merupakan gas dengan jumlah terbesar dan masa tinggal sangat lama di atmosfer, sehingga meski pengurangan dilakukan, konsentrasinya tidak dapat turun cepat dalam waktu kurang dari seratus tahun.<sup>3</sup>

Dalam perputaran perekonomian disuatu bangsa energi memegang peranan penting dalam aktivitas ekonomi suatu negara, terutama energi dari bahan bakar fosil yang masih mendominasi dunia. Kondisi ini mengkhawatirkan karena cadangan minyak bumi semakin berkurang, sementara ekspansi kegiatan ekonomi global mendorong tingginya konsumsi energi dan meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) seperti CO<sub>2</sub>.<sup>4</sup> Negara dalam tahap pengembangan seperti Indonesia menghadapi persoalan perubahan iklim juga penurunan dari segi kualitas lingkungan. Pada 2021, emisi sektor energi Indonesia mencapai 600 juta ton CO<sub>2</sub>, penyumbang emisi terbesar ke-8 di dunia akibat tingginya ketergantungan pada energi fosil yang menyumbang 9% pertumbuhan energi global.<sup>5</sup>

Penggunaan bahan bakar fosil meningkatkan emisi karbon, polusi udara dan pemanasan global, sementara aktivitas ekonomi yang terus berkembang menambah tekanan lingkungan. Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dapat

---

<sup>1</sup> Ikramina Salsabila et al., "Pengaruh GDP Per Kapita , Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia," *Journal on Education* 06, no. 01 (2023): 6508–17.

<sup>2</sup> Anggi Rosalia Putri et al., "Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi , Pertumbuhan Penduduk , Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia," *Bulet: Jurnal Multidisiplin Ilmu* 1, no. 6 (2022): 1070–80.

<sup>3</sup> Serdo Nurdi Putra and Alpon Satrianto, "Analisis Hubungan Kausalitas Penggunaan Energi, Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Lingkungan Di Indonesia," *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan* 1, no. 1 (2019): 49–68.

<sup>4</sup> Nani Dwi IS et al., "Kausalitas Konsumsi Energi Hydroelectricity, Emisi Karbon Dioksida Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia," *Indicators: Journal of Economic and Business* 1, no. 2 (2019): 154–67.

<sup>5</sup> Kusuma Prasetyanto and Farmila Sari, "Environmental Kuznets Curve: Economic Growth with Environmental Degradation in Indonesia," *International Journal of Energy Economics and Policy* 11, no. 5 (2021): 622–28.

mempengaruhi kualitas lingkungan sehingga diperlukan regulasi untuk mencapai pembangunan rendah karbon.<sup>6</sup> Secara umum hubungan antara emisi CO<sub>2</sub> dan pertumbuhan ekonomi dapat dilihat dari tiga pandangan: (1) Pertumbuhan ekonomi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> karena kebutuhan energi ikut naik, (2) Keduanya saling memengaruhi antara emisi CO<sub>2</sub> dan pertumbuhan ekonomi, (3) Tidak ada hubungan sebab-akibat, dikenal sebagai hipotesis netralitas. Halicioglu (2009) menegaskan bahwa pertumbuhan ekonomi berkaitan erat dengan penggunaan energi, dan penelitian lain menunjukkan konsumsi energi memiliki hubungan kuat dengan peningkatan aktivitas ekonomi.<sup>7</sup>

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dalam jangka pendek variabel konsumsi energi tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbondioksida. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa konsumsi energi tidak ada pengaruhnya di Indonesia. Ada beberapa hal yang berkaitan antara emisi karbon dan konsumsi energi pada penelitian Sonia (2024)<sup>8</sup> dan Fitri (2020)<sup>9</sup>. Ada penyebab lain diantaranya pada efisiensi energi, perkembangan energi terbarukan hasil adopsi, kebijakan petinggi pada pengendalian emisi, dan perkembangan IPTEK dalam mengelola produksi juga konsumsi energi. Oleh karena itu, di beberapa *case*, adanya peningkatan konsumsi energi yang tidak langsung berdampak atas meningkatnya emisi karbon, terutama jika upaya mitigasi dan penggunaan energi. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Salsabila (2023)<sup>10</sup> dan Sarwono (2023)<sup>11</sup> yang menyimpulkan dalam jangka panjang konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbondioksida. Hal ini disebabkan karena sebagian besar energi yang digunakan saat ini masih berasal dari penggunaan bahan bakar fosil. Proses pembakaran bahan bakar fosil ini dapat menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Penggunaan konsumsi energi yang masih menggunakan energi fosil akan terus meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> dan berdampak buruk bagi lingkungan.

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas lingkungan adalah pertumbuhan ekonomi. Peningkatan aktivitas ekonomi sering diikuti kenaikan emisi karbon dioksida CO<sub>2</sub>, yang pada akhirnya memberikan tekanan terhadap kondisi lingkungan. Oleh karena itu, dalam upaya mewujudkan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, diperlukan pemahaman yang komprehensif mengenai faktor-faktor penentu pertumbuhan serta upaya untuk mengatasi berbagai

---

<sup>6</sup> Salsabila et al., "Pengaruh GDP Per Kapita, Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia."

<sup>7</sup> Muh Syaiful Bakhri, "Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi, Globalisasi Dan Emisi CO<sub>2</sub>: Studi Kasus ASEAN-5," *Economics Bulletin* October, 2018, 67–95.

<sup>8</sup> Sonia Ista Iswari Landapa, "Pertumbuhan Ekonomi Dan Konsumsi Energi: Pengaruhnya Terhadap 3 Negara Mayoritas Muslim Dengan Emisi Karbon Tertinggi," *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam* 10, no. 3 (2024): 3181–85.

<sup>9</sup> Fitri Kartiasih and Adi Setiawan, "Aplikasi Error Correction Mechanism Dalam Analisis Dampak Pertumbuhan Ekonomi, Konsumsi Energi Dan Perdagangan Internasional Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia," *Media Statistika* 13, no. 1 (2020): 104–15.

<sup>10</sup> Salsabila et al., "Pengaruh GDP Per Kapita, Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia."

<sup>11</sup> Sarwono Alfian H Nadeak and Nasrudin Nasrudin, "Pengaruh PDB per Kapita Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi GRK Di Indonesia," *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia* 23, no. 2 (2023): 2.

kendala yang menghambatnya.<sup>12</sup> Produk Domestik Bruto (PDB) dan permintaan energi memiliki keterkaitan yang bersifat timbal balik, di mana PDB sebagai salah satu faktor pendorong utama meningkatnya kebutuhan energi. Peningkatan aktivitas ekonomi mendorong konsumsi energi yang lebih besar dalam berbagai sektor.<sup>13</sup> dan dapat meningkatkan penghasilan pada investasi dalam Pendidikan.<sup>14</sup>

Emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu penyebab inti yang dapat menimbulkan pemanasan global. Kegiatan manusia seperti dalam bidang ekonomi, industri dan juga deforestasi erat kaitannya dengan peningkatan produksi emisi karbondioksida.<sup>15</sup> Menurut *Carbon Dioxide Information Analysis Center*, pada tahun 1960 hingga 2020 emisi karbondioksida di dunia selalu terdapat peningkatan. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dapat disebabkan dari kegiatan manusia yang terus bertambah, dikarenakan adanya perkembangan kegiatan ekonomi terjadi adanya peningkatan kegiatan industri dan tingginya tingkat konsumsi di suatu negara. Manusia sebagai penghasil karbondioksida juga pemberi sumbangan pembakaran bahan bakar fosil yaitu seperti minyak bumi, batu bara, dan gas bumi. Akibatnya menimbulkan peningkatan suhu dipermukaan bumi sehingga hutan dan ekosistem lainnya terganggu, dan menyebabkan kemampuannya dalam menyerap emisi CO<sub>2</sub> berkurang.<sup>16</sup>

Secara teori, hubungan emisi CO<sub>2</sub> dan pertumbuhan ekonomi dapat bersifat: (1) pertumbuhan meningkatkan emisi, (2) keduanya saling memengaruhi, atau (3) tidak saling terkait (hipotesis netralitas). Pertumbuhan ekonomi umumnya meningkatkan penggunaan energi sehingga berpotensi menaikkan emisi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka pendek dan panjang menggunakan ARDL.

## METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian Menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deskriptif dan verifikatif untuk menganalisis hubungan kausalitas antara variabel emisi CO<sub>2</sub>, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia menggunakan data numerik yang dapat diukur dan dianalisis

---

<sup>12</sup> Dini Yuniarti, "Analisis Determinan Perdagangan Bilateral Indonesia Pendekatan Gravity Model," *Economic Journal of Emerging Markets*, 2007.

<sup>13</sup> Prastowo Prastowo and Laillil Putri Damayanti, "The Relationship between Electricity Consumption, Oil Prices, and Economic Growth in Indonesia," *JAMPE (Journal of Asset Management and Public Economy)* 1, no. 1 (2022): 28–39.

<sup>14</sup> Damar Jati and Rifki Khoirudin, "Analisis Pendapatan Tenaga Kerja Sektor Pertanian Pada IFLS 5," *Equity: Jurnal Ekonomi* 8, no. 1 (2020): 14–23.

<sup>15</sup> A U Zulaicha, H Sasana, and Y Septian, "Analyze Of CO<sub>2</sub> Emission Determination in Indonesia 1990-2018," *Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta* 2, no. 2 (2020): 487–500.

<sup>16</sup> Putri et al., "Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Pertumbuhan Penduduk, Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO<sub>2</sub> Di Indonesia."

secara statistik<sup>17</sup>. Sumber Data berasal dari data sekunder berbentuk *time series* (runtun waktu) tahunan periode 1991-2021 (30 tahun). Pemilihan periode ini didasarkan pada ketersediaan data yang lengkap dan konsisten, serta cukup panjang untuk menangkap dinamika struktural perekonomian Indonesia<sup>18</sup>. Sumber data diperoleh dari (1) Data Emisi CO<sub>2</sub>: *World Bank Development Indicators* dan *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)*; (2) Data Konsumsi Energi: Kementerian ESDM dan BP *Statistical Review of World Energy*; (3) Data Pertumbuhan Ekonomi: Badan Pusat Statistik (BPS) dan World Bank

Teknik sampling dan pengumpulan data menggunakan teknik sampling jenuh, yaitu menggunakan seluruh data tahunan yang tersedia dalam periode pengamatan 1991-2021 tanpa melakukan pemilihan atau pengurangan data<sup>19</sup>. Teknik pengumpulan data menggunakan metode dokumentasi dengan mengumpulkan data dari website resmi atau database online, kemudian dikompilasi dalam format *Microsoft Excel*. Analisis data menggunakan metode *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)*. Model ARDL dipilih karena dapat diaplikasikan terlepas dari apakah variabel stasioner pada level  $I(0)$ , *first difference*  $I(1)$ , atau kombinasi keduanya, serta dapat secara simultan mengestimasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang<sup>20</sup>.

#### Tahapan Analisis ARDL

1. Uji Stasioneritas Data

Uji stasioneritas menggunakan *Augmented Dickey-Fuller (ADF)* dan *Phillips-Perron (PP)* untuk mengetahui tingkat kestasioneran setiap variabel<sup>21</sup>.

2. Penentuan Lag Optimum

Lag optimum ditentukan berdasarkan kriteria *Akaike Information Criterion (AIC)* atau *Schwarz Information Criterion (SIC)* dengan memilih lag yang memiliki nilai terkecil<sup>22</sup>.

3. Uji Kointegrasi dengan Bounds Test

Uji kointegrasi menggunakan pendekatan *Bounds Test*<sup>23</sup> untuk mengetahui hubungan jangka panjang antar variabel dengan membandingkan nilai F-statistik dengan nilai kritis *upper bound*  $I(1)$  dan *lower bound*  $I(0)$ .

4. Estimasi Model ARDL

Model ARDL diformulasikan sebagai berikut:

---

<sup>17</sup> Sugiyono Sugiyono, "Metodologi Penelitian Kualitatif Kuantitatif Dan R&D," *Bandung: Cv. Alfabeta*, 2019.

<sup>18</sup> Monica Ruth Karunia, Ahmad Komarulzaman, and Ari Tjahjawardita, "Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan Dan Emisi Karbon Di Indonesia," *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia* 23, no. 1 (2023): 6.

<sup>19</sup> Sugiyono, "Metodologi Penelitian Kualitatif Kuantitatif Dan R&D."

<sup>20</sup> M Hashem Pesaran, Yongcheol Shin, and Richard J Smith, "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships," *Journal of Applied Econometrics* 16, no. 3 (2001): 289–326.

<sup>21</sup> Titi Reneri Arista and Syamsul Amar, "Analisis Kausalitas Emisi CO<sub>2</sub>, Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi Dan Modal Manusia Di ASEAN," *Jurnal Kajian Ekonomi Dan Pembangunan* 1, no. 2 (2019): 519.

<sup>22</sup> Bakhri, "Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi, Globalisasi Dan Emisi CO<sub>2</sub>: Studi Kasus ASEAN-5."

<sup>23</sup> Pesaran, Shin, and Smith, "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships."

$$\Delta CO_{2t} = \alpha_0 + \sum \beta_i \Delta CO_{2t-i} + \sum \gamma_i \Delta EN_{t-i} + \sum \delta_i \Delta GDP_{t-i} + \lambda_1 CO_{2t-1} + \lambda_2 EN_{t-1} + \lambda_3 GDP_{t-1} + \varepsilon_t$$

Keterangan:

- $CO_{2t}$  = Emisi karbon dioksida,
- $EN_t$  = Konsumsi energi,
- $GDP_t$  = Pertumbuhan ekonomi,
- $\Delta$  = Operator first difference,
- $\beta, \gamma, \delta$  = Koefisien jangka pendek,
- $\lambda$  = Koefisien jangka panjang,
- $\varepsilon_t$  = Error term.

*Error Correction Model (ECM):*

$$\Delta CO_{2t} = \alpha_0 + \sum \beta_i \Delta CO_{2t-i} + \sum \gamma_i \Delta EN_{t-i} + \sum \delta_i \Delta GDP_{t-i} + \varphi ECT_{t-1} + \varepsilon_t$$

Koefisien ECT menunjukkan kecepatan penyesuaian ketidakseimbangan jangka pendek menuju ekuilibrium jangka panjang<sup>24</sup>.

#### 5. Uji Diagnostik

Uji diagnostik meliputi uji normalitas (*Jarque-Bera*), uji heteroskedastisitas (*Breusch-Pagan-Godfrey*), uji autokorelasi (*Breusch-Godfrey LM Test*), dan uji stabilitas model (*CUSUM* dan *CUSUM of Squares*)<sup>25</sup>.

#### 6. Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis menggunakan uji t-statistik untuk pengaruh parsial, uji F-statistik untuk pengaruh simultan, dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk mengukur kemampuan model menjelaskan variasi variabel dependen. Kriteria keputusan menggunakan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$ <sup>26</sup>.

Analisis data menggunakan software ekonometrika EViews versi 13 untuk estimasi model ARDL dan pengujian statistik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menerapkan model panel *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* untuk menganalisis pengaruh variabel makroekonomi, seperti konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi, terhadap tingkat emisi karbon. Tahap awal analisis menyajikan hasil pengujian

<sup>24</sup> Karunia, Komarulzaman, and Tjahjawardita, "Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan Dan Emisi Karbon Di Indonesia."

<sup>25</sup> Prasetyanto and Sari, "Environmental Kuznets Curve: Economic Growth with Environmental Degradation in Indonesia."

<sup>26</sup> Bakhri, "Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi, Globalisasi Dan Emisi CO2: Studi Kasus ASEAN-5."

stasioneritas dan kointegrasi data. Selanjutnya, bagian berikutnya menguraikan hasil estimasi hubungan jangka panjang yang diperoleh dari model panel ARDL. Pada bagian terakhir, dipaparkan hasil estimasi hubungan jangka pendek beserta nilai koefisien error correction term sebagai indikator penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang.

### Uji *Unit Root Test*

**Tabel 1. Uji Stasioneritas**

	Level	<i>First difference</i>	Kesimpulan
LN_KE	0.3171	0.0009	I <sub>(1)</sub>
LN_PE	0.0040	0.0078	I <sub>(0)</sub>
LN_EK	0.8585	0.0000	I <sub>(1)</sub>

Berdasarkan Tabel 1, hasil uji stasioneritas menunjukkan bahwa masing-masing variabel memiliki tingkat integrasi yang berbeda. Pada tingkat level, variabel LN\_KE dan LN\_EK memiliki nilai p-value yang lebih besar dari 0,05 (masing-masing 0,3171 dan 0,8585), sehingga keduanya tidak stasioner pada level. Namun, setelah dilakukan *first difference*, p-value kedua variabel tersebut turun menjadi lebih kecil dari 0,05, sehingga menjadi stasioner pada diferensiasi pertama atau I(1).

Sementara itu, variabel LN\_PE memiliki p-value pada level sebesar 0,0040, yang berada di bawah ambang signifikansi 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa LN\_PE sudah stasioner pada tingkat level (I(0)), sehingga tidak memerlukan proses diferensiasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dua variabel, yaitu LN\_KE dan LN\_EK, bersifat stasioner pada tingkat diferensiasi pertama (I(1)), sedangkan LN\_PE sudah stasioner sejak level (I(0)).

### Uji Asumsi Klasik

**Tabel 2. Uji Asumsi Klasik**

	$\chi^2$	Prob
LM-test	0.900	0.6373
JB-test	0.279	0.8695
Breusch Pagan-test	6.141	0.9088

Berdasarkan hasil uji asumsi klasik pada Tabel 2, model regresi menunjukkan bahwa keseluruhan asumsi dasar telah terpenuhi. Nilai probabilitas pada uji LM-test sebesar 0,6373 yang lebih besar dari 0,05 mengindikasikan bahwa model bebas dari masalah autokorelasi. Selanjutnya, uji normalitas Jarque-Bera (JB-test) menghasilkan probabilitas 0,8695, yang menunjukkan bahwa residual dalam model berdistribusi normal. Pada uji Breusch–Pagan, probabilitas sebesar 0,9088 juga berada jauh di atas tingkat signifikansi 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa model tidak mengalami heteroskedastisitas. Dengan demikian, model ARDL valid dan reliabel untuk

menganalisis hubungan short run dan long run antara konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO<sub>2</sub>.

### Uji Kointegrasi

Uji kointegrasi memiliki keunggulan untuk memperkirakan jika variabel dalam penelitian ini memiliki hubungan jangka panjang yang stabil. Uji kointegrasi kali ini menggunakan bound test

**Tabel 3. Uji Kointegrasi**

Signifikansi	<i>Bound critical values</i>	
	I <sub>(0)</sub>	I <sub>(1)</sub>
1%	2.915	3.695
5%	3.538	4.428
10%	5.155	6.265
F = 5.216879		

Perbandingan:

- Pada 5%:

$$I(1) = 4.428$$

$$F (5.216879) > I(1)$$

- Pada 1%:

$$I(0) = 5.155$$

$$I(1) = 6.265$$

F berada di antara I(0) dan I(1)

Berdasarkan hasil uji kointegrasi ARDL Bounds Test menggunakan EViews, diperoleh nilai F-statistic sebesar 5,216879. Nilai tersebut lebih besar dari batas atas I(1) pada tingkat signifikansi 5% (4,428), sehingga hipotesis nol yang menyatakan tidak adanya hubungan jangka panjang ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan kointegrasi jangka panjang antar variabel dalam model

### ESTIMASI ARDL

**Tabel 4. Hasil Estimasi Jangka Panjang**

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Statistik	Prob.
LN_PE	-3313.227	44909.53	-0.073776	0.9422
LN_EK	-45503.62	641049.3	-0.070983	0.9444
C	86482.78	1142723.	0.075681	0.9407

Maka berdasarkan output persamaan jangka Panjang yang diperoleh dpt disimpulkan sebagai berikut:

1. Apabila LN\_PE meningkat satu unit dan LN\_EK diasumsikan konstan, maka dalam jangka panjang variabel dependen akan menurun sebesar 3.313,227. Namun, pengaruh jangka

panjang ini tidak signifikan, sehingga  $H_0$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,9422 > 0,05$ .

2. Apabila LN\_EK meningkat satu unit dan LN\_PE diasumsikan konstan, maka dalam jangka panjang variabel dependen akan menurun sebesar 45.503,62. Pengaruh jangka panjang ini juga tidak signifikan, sehingga  $H_0$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,9444 > 0,05$ .
3. Apabila LN\_PE dan LN\_EK diasumsikan konstan, maka dalam jangka panjang variabel dependen akan menurun dengan sendirinya. Namun, pengaruh konstanta ini tidak signifikan, sehingga  $H_0$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,9407 > 0,05$ .

**Tabel 5. Hasil Estimasi Jangka Pendek**

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Statistik	Prob.
D(LN_KE(-1))	-0.582349	0.224345	-2.595774	0.0212
D(LN_KE(-2))	-0.037570	0.227977	-0.164799	0.8715
D(LN_KE(-3))	-0.576785	0.252888	-2.280788	0.0387
D(LN_PE)	-23.19285	11.82109	-1.961989	0.0700
D(LN_PE(-1))	29.59576	10.28363	2.877949	0.0122
D(LN_EK)	2212.214	459.8478	4.810752	0.0003
D(LN_EK(-1))	918.6636	501.9332	1.830251	0.0886
D(LN_EK(-2))	1354.810	473.0648	2.863899	0.0125
D(LN_EK(-3))	2162.781	517.0142	4.183213	0.0009

Maka berdasarkan output persamaan jangka pendek yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Apabila LN\_EK satu periode sebelumnya (D(LN\_EK(-1))) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan menurun sebesar 0,582349. Pengaruh jangka pendek ini bersifat signifikan, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,0212 \leq 0,05$ .
2. Apabila LN\_EK dua periode sebelumnya (D(LN\_EK(-2))) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan menurun sebesar 0,037570. Namun, pengaruh jangka pendek ini tidak signifikan, sehingga  $H_0$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,8715 > 0,05$ .
3. Apabila LN\_EK tiga periode sebelumnya (D(LN\_EK(-3))) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan menurun sebesar 0,576785. Pengaruh ini signifikan secara statistik, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, dengan nilai probabilitas sebesar  $0,0387 \leq 0,05$ .

4. Apabila LN\_PE pada periode berjalan ( $D(LN\_PE)$ ) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan menurun sebesar 23,19285. Pengaruh ini signifikan pada tingkat kepercayaan 10 persen, sehingga  $H_0$  ditolak pada  $\alpha = 10\%$ , karena nilai probabilitas sebesar  $0,0700 \leq 0,10$ .
5. Apabila LN\_PE satu periode sebelumnya ( $D(LN\_PE(-1))$ ) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan meningkat sebesar 29,59576. Pengaruh jangka pendek ini signifikan, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,0122 \leq 0,05$ .
6. Apabila LN\_EK pada periode berjalan ( $D(LN\_EK)$ ) meningkat satu unit, dengan asumsi variabel lain konstan, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan meningkat sebesar 2212,214. Pengaruh ini sangat signifikan, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, dengan nilai probabilitas sebesar  $0,0003 \leq 0,01$ .
7. Apabila LN\_EK satu periode sebelumnya ( $D(LN\_EK(-1))$ ) meningkat satu unit, maka variabel dependen akan meningkat sebesar 918,6636 dalam jangka pendek. Namun, pengaruh ini signifikan secara lemah, sehingga  $H_0$  ditolak pada tingkat signifikansi 10 persen, karena nilai probabilitas sebesar  $0,0886 \leq 0,10$ .
8. Apabila LN\_EK dua periode sebelumnya ( $D(LN\_EK(-2))$ ) meningkat satu unit, maka variabel dependen akan meningkat sebesar 1354,810 dalam jangka pendek. Pengaruh ini signifikan, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, dengan nilai probabilitas sebesar  $0,0125 \leq 0,05$ .
9. Apabila LN\_EK tiga periode sebelumnya ( $D(LN\_EK(-3))$ ) meningkat satu unit, maka dalam jangka pendek variabel dependen akan meningkat sebesar 2162,781. Pengaruh ini sangat signifikan, sehingga  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, karena nilai probabilitas sebesar  $0,0009 \leq 0,01$ .

## Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL), penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan antara konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia bersifat dinamis baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Hasil uji stasioneritas mengindikasikan bahwa variabel konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> bersifat stasioner pada tingkat diferensiasi pertama ( $I(1)$ ), sedangkan pertumbuhan ekonomi sudah stasioner pada level ( $I(0)$ ). Perbedaan tingkat integrasi ini menegaskan bahwa pendekatan ARDL merupakan metode yang tepat karena mampu menangani kombinasi orde integrasi variabel.

Uji kointegrasi Bounds Test menghasilkan nilai F-statistic yang lebih besar dari batas atas pada tingkat signifikansi 5%, yang menunjukkan adanya hubungan jangka panjang yang stabil antara

konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO<sub>2</sub>. Namun, hasil estimasi jangka panjang menunjukkan bahwa baik konsumsi energi maupun pertumbuhan ekonomi tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Temuan ini mengindikasikan bahwa dalam jangka panjang, perubahan emisi karbon di Indonesia tidak semata-mata ditentukan oleh peningkatan konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi, melainkan dipengaruhi oleh faktor lain seperti kebijakan lingkungan, efisiensi energi, dan perubahan struktur ekonomi.

### Hubungan Antara Konsumsi Energi Dengan Emisi Co<sub>2</sub>

Hubungan konsumsi energi pada emisi CO<sub>2</sub> menurut<sup>27</sup> bahwa dalam jangka panjang dan pendek menyebabkan emisi CO<sub>2</sub> di negara vietnam sebagai penentu utama, penggunaan energi dengan emisi karbon di negara ASEAN memiliki hasil sempurna menunjukkan hubungan positif yang signifikan secara statistik antara konsumsi energi dan emisi karbon dalam jangka panjang. Pernyataan sebab akibat adanya konsumsi energi pada emisi karbon sangat mempengaruhi apabila menggunakan manfaat dari konsumsi energi akan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. penggunaan ini yang didominasi oleh energi yang tidak dapat diperbarui sangat berkaitan terhadap timbulnya emisi karbon di Indonesia yang tiap tahun kian meningkat dengan akibatnya pada kualitas lingkungan yang buruk di Indonesia<sup>28</sup>.

hubungan sebab-akibat yang searah antara konsumsi energi dengan emisi CO<sub>2</sub>, yang sudah diteliti pada uji Grangeryang ini, mengemukakan sebuah energi yang mempengaruhi adanya emisi. Penelitian sejenis juga oleh<sup>29</sup> yang menunjukkan bahwa penggunaan energi secara mendasar ada hubungannya pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Dampak positif yang lain pada temuan<sup>30</sup> dan<sup>31</sup> adanya dominasi pada bahan bakar fosil dalam campuran energi. Penelitian<sup>32</sup> juga memperlihatkan adanya suatu manfaat (kegiatan konsumsi) dalam energi ini mempengaruhi meningkatnya emisi karbon. Keterkaitan antara keduanya juga positif<sup>33</sup>. Penelitian tersebut memperlihatkan adanya kegiatan

---

<sup>27</sup> Huiming Zhu et al., "The Effects of FDI, Economic Growth and Energy Consumption on Carbon Emissions in ASEAN-5: Evidence from Panel Quantile Regression," *Economic Modelling* 58 (2016): 237–48.

<sup>28</sup> Regina Citra Kurnia Pangestu and Anak Agung Ketut Ayuningsasi, "Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, Dan Transportasi Terhadap Emisi Karbon Di Indonesia," *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi Dan Manajemen* 3, no. 4 (2024): 297–311.

<sup>29</sup> Karunia, Komarulzaman, and Tjahjawardita, "Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan Dan Emisi Karbon Di Indonesia."

<sup>30</sup> Md Mahmudul Alam et al., "Relationships among Carbon Emissions, Economic Growth, Energy Consumption and Population Growth: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia," *Ecological Indicators* 70 (2016): 466–79.

<sup>31</sup> Yogi Sugiawan and Shunsuke Managi, "The Environmental Kuznets Curve in Indonesia: Exploring the Potential of Renewable Energy," *Energy Policy* 98 (2016): 187–98.

<sup>32</sup> Andra Wisnu Pratama and Marsono Marsono, "Faktor Faktor Rasio Fundamental Perusahaan Dalam Memengaruhi Harga Saham (Studi Pada Perusahaan Multisektor Yang Terdaftar Pada Indeks IDX-30 Tahun 2016-2020)," *Diponegoro Journal of Accounting* 10, no. 4 (2021).

<sup>33</sup> Arista and Amar, "Analisis Kausalitas Emisi CO<sub>2</sub>, Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi Dan Modal Manusia Di ASEAN."

dengan menggunakan energi yang tidak dapat diperbarui sangat berpengaruh (berkaitan) atas timbulnya emisi karbon di Indonesia, yang pada tiap tahunnya semakin meningkat dan berdampak buruk pada kualitas lingkungannya.

Hubungan antara konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> dalam penelitian ini menunjukkan dinamika yang kompleks, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Dalam jangka pendek, konsumsi energi memperlihatkan pola pengaruh yang tidak konsisten terhadap emisi CO<sub>2</sub>, dengan arah dan signifikansi yang sangat bergantung pada periode waktu (*lag*) yang diamati. Pada lag pertama, konsumsi energi periode sebelumnya berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada periode berjalan, yang mengindikasikan bahwa peningkatan konsumsi energi tidak selalu diikuti oleh peningkatan emisi karbon, bahkan dalam kondisi tertentu justru dapat menurunkannya. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh adanya respons adaptif dalam sistem energi dan ekonomi, seperti peningkatan efisiensi penggunaan energi, adopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan, serta pergeseran bertahap menuju sumber energi yang lebih bersih sebagai respons atas meningkatnya kebutuhan dan biaya energi. Sementara itu, pada lag kedua, konsumsi energi tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>, yang mengindikasikan bahwa dampak konsumsi energi pada periode tersebut telah teredam oleh berbagai mekanisme penyesuaian, termasuk perubahan kebijakan, inovasi teknologi, maupun kompensasi aktivitas dari sektor ekonomi lainnya. Pada lag ketiga, konsumsi energi kembali menunjukkan pengaruh negatif yang signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>, yang mencerminkan adanya efek kumulatif dari peningkatan efisiensi dan transformasi teknologi yang mulai memberikan dampak nyata dalam menurunkan intensitas emisi. Secara keseluruhan, pola hubungan jangka pendek ini menunjukkan bahwa keterkaitan antara konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> bersifat non-linear dan dipengaruhi oleh berbagai faktor mediasi, sehingga peningkatan konsumsi energi di Indonesia tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan emisi karbon.

Dalam jangka panjang, hasil estimasi penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi energi tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Ketidaksignifikanan ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi keseimbangan jangka panjang, konsumsi energi bukan lagi satu-satunya faktor dominan yang menentukan tingkat emisi karbon. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan adanya fenomena *decoupling* antara konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub>, di mana peningkatan konsumsi energi tidak lagi secara proporsional mendorong kenaikan emisi karbon. Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki peluang untuk meningkatkan konsumsi energi guna mendukung pembangunan ekonomi tanpa harus meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> secara sebanding, asalkan disertai dengan kebijakan transisi energi yang konsisten dan investasi berkelanjutan dalam teknologi rendah karbon.

**H<sub>1</sub>: Konsumsi Energi Berpengaruh Positif Terhadap Emisi Karbon****Hubungan Antara Pertumbuhan Ekonomi Dengan Emisi CO<sub>2</sub>**

Penelitian sebelumnya membahas pada investasi asing yang memiliki pengaruh pada emisi karbon, adanya secara menyeluruh ada kaitannya dengan pertumbuhan ekonomi jika berkaitan dengan investasi asing yang dapat berdampak pada lingkungan. Adanya indikasi pada jangka pendek investasi asing dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> disebabkan oleh ketepatan dalam produksi dan adanya pendayagunaan teknologi, sejalan dengan investasi asing yang membawa teknologi di negara yang standar lingkungan ketat, meskipun bersifat sementara<sup>34</sup>. Pengaruh yang positif dan signifikan pada pertumbuhan terhadap emisi CO<sub>2</sub> saat pertumbuhan ekonomi meningkat yang juga menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> secara tinggi, karena adanya emisi CO<sub>2</sub> dihasilkan oleh masyarakat Indonesia saat melakukan aktivitas perekonomian untuk meningkatkan produktifitas seperti mobilitas transportasi, yang dapat menggerakkan kegiatan ekonomi<sup>35</sup>.

Pertumbuhan ekonomi yang tinggi juga disebabkan atas kegiatan industri yang meningkat, berbagai sektor industri terpacu pada penggunaan energi yang tinggi akibatnya dari hal ini akan menghasilkan CO<sub>2</sub><sup>36</sup>. Banyak penelitian menangkap bahwa pertumbuhan ekonomi berhubungan pada lingkungan dengan emisi karbon dioksida. Pada dasarnya pertumbuhan ekonomi memiliki hubungan dengan konsumsi energi pada suatu negara. Meningkatnya sektor industrial yang menggunakan berbagai energi memiliki dampak dalam menghasilkan emisi CO<sub>2</sub><sup>37</sup>.

Dalam jangka pendek, pertumbuhan ekonomi menunjukkan hubungan yang dinamis dan berubah arah terhadap emisi CO<sub>2</sub>, mencerminkan kompleksitas interaksi antara aktivitas ekonomi dan dampak lingkungan. Pada periode berjalan, pertumbuhan ekonomi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada tingkat signifikansi 10 persen. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi pada periode yang sama justru mampu menurunkan emisi karbon. Kondisi tersebut dapat dijelaskan melalui meningkatnya efisiensi produksi akibat adopsi teknologi yang lebih modern dan hemat energi, pergeseran struktur pertumbuhan ekonomi menuju sektor-sektor dengan intensitas emisi yang lebih rendah seperti sektor jasa dan teknologi informasi, serta munculnya *economies of scale* yang memungkinkan peningkatan output dengan emisi

---

<sup>34</sup> Andrian Whilla Saputra and Maulidiyah Indira Hasmarini, "Apakah Foreign Direct Investment Dan Pertumbuhan Ekonomi Menyebabkan Emisi Karbon Di Indonesia?," *Jurnal Economic Resource* 8, no. 2 (2025): 859–66.

<sup>35</sup> Ivenda Septania Nuru Biatmoko, "Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Karbondioksida Di Indonesia," *Jurnal Ilmu Ekonomi JIE* 7, no. 01 (2023): 41–52.

<sup>36</sup> Alam et al., "Relationships among Carbon Emissions, Economic Growth, Energy Consumption and Population Growth: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia."

<sup>37</sup> Atif Yaseen, Priyonggo Suseno, and Syed Ghulam Hussain Shah, "IMPACT OF MACROECONOMIC VARIABLES AND MORTALITY RATES UNDER 5 ON CO<sub>2</sub>," *Journal of Developing Economies Vol 9*, no. 2 (2024): 243–58.

per unit yang lebih kecil. Selain itu, perusahaan yang mengalami pertumbuhan ekonomi cenderung mulai berinvestasi pada teknologi bersih guna memenuhi regulasi lingkungan dan menjaga reputasi korporasi, sehingga berkontribusi pada penurunan emisi dalam jangka pendek.

Namun demikian, pada lag pertama, pertumbuhan ekonomi periode sebelumnya justru menunjukkan pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Hasil ini mengindikasikan adanya efek tertunda (*time lag effect*), di mana ekspansi ekonomi pada periode sebelumnya baru sepenuhnya tercermin dalam peningkatan aktivitas produksi, konsumsi, dan mobilitas pada periode berikutnya. Pertumbuhan ekonomi meningkatkan daya beli masyarakat, mendorong konsumsi energi, serta mempercepat ekspansi sektor industri dan pembangunan infrastruktur seperti jalan, pabrik, dan kawasan industri, yang secara keseluruhan berkontribusi pada peningkatan emisi karbon. Peningkatan kepemilikan kendaraan pribadi dan aktivitas transportasi sebagai dampak lanjutan dari pertumbuhan ekonomi juga memperkuat tekanan terhadap lingkungan. Pola perubahan arah pengaruh ini menunjukkan adanya efek ganda dalam jangka pendek, yaitu efek langsung berupa peningkatan efisiensi dan modernisasi yang menekan emisi, serta efek tertunda berupa ekspansi aktivitas ekonomi yang justru meningkatkan emisi karbon. Oleh karena itu, hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka pendek bersifat tidak linear dan sangat dipengaruhi oleh faktor waktu.

Selain itu, pertumbuhan ekonomi jangka panjang mendorong akumulasi modal manusia melalui peningkatan investasi di bidang pendidikan dan kesehatan, yang menghasilkan tenaga kerja lebih terampil dan memiliki kesadaran lingkungan yang lebih tinggi. Meningkatnya kapasitas fiskal dan institusional pemerintah memungkinkan penerapan serta penegakan regulasi lingkungan yang lebih efektif, sementara pendapatan yang lebih tinggi membuka ruang bagi investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi bersih. Perubahan preferensi konsumen ke arah produk dan layanan yang lebih ramah lingkungan juga memperkuat proses ini. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan optimisme bahwa pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dapat dicapai di Indonesia tanpa harus meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> secara proporsional, selama didukung oleh kebijakan transformasi struktural, investasi berkelanjutan dalam energi terbarukan dan teknologi bersih, serta penguatan regulasi lingkungan. Hal ini sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu<sup>38</sup>, menggunakan data time series Indonesia periode 1990–2019, menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) mencerminkan naiknya aktivitas produksi, konsumsi, dan mobilitas ekonomi yang masih sangat bergantung pada energi berbasis fosil. Aktivitas industri, transportasi,

---

<sup>38</sup> Biatmoko, "Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Karbondioksida Di Indonesia."

dan ekspansi sektor manufaktur mendorong peningkatan pembakaran bahan bakar fosil, sehingga emisi karbon meningkat.

**H<sub>2</sub>**: Pertumbuhan Ekonomi Berpengaruh Positif Terhadap Emisi Karbon

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan model Autoregressive Distributed Lag (ARDL) terhadap data Indonesia periode 1991-2021, penelitian ini menyimpulkan bahwa hubungan antara konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia bersifat dinamis dan kompleks dengan pola yang berbeda antara jangka pendek dan jangka panjang. Uji kointegrasi Bounds Test membuktikan adanya hubungan jangka panjang yang stabil antar variabel, namun dalam jangka panjang baik konsumsi energi maupun pertumbuhan ekonomi tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>, mengindikasikan terjadinya fenomena *decoupling* dan transisi menuju fase *Environmental Kuznets Curve* (EKC) akibat transformasi bauran energi, peningkatan efisiensi teknologi, pergeseran struktur ekonomi menuju sektor tersier, dan implementasi kebijakan lingkungan yang berkelanjutan. Sementara itu, dalam jangka pendek, konsumsi energi menunjukkan pola pengaruh non-linear dengan efek negatif signifikan pada lag pertama dan ketiga yang mencerminkan respons adaptif seperti peningkatan efisiensi dan adopsi teknologi ramah lingkungan, sedangkan pertumbuhan ekonomi menunjukkan hubungan yang berubah arah, yaitu berpengaruh negatif pada periode berjalan akibat peningkatan efisiensi produksi dan modernisasi, namun berpengaruh positif pada lag pertama karena adanya efek tertunda (*time lag effect*) dari ekspansi aktivitas ekonomi, konsumsi energi, dan pembangunan infrastruktur. Temuan ini memberikan optimisme bahwa Indonesia memiliki peluang untuk mencapai pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dan meningkatkan konsumsi energi tanpa harus meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> secara proporsional, asalkan didukung oleh kebijakan transformasi struktural yang konsisten, investasi berkelanjutan dalam energi terbarukan dan teknologi rendah karbon, serta penguatan regulasi lingkungan yang efektif untuk mendukung target Net Zero Emission 2060.

## REFERENSI

- Alam, Md Mahmudul, Md Wahid Murad, Abu Hanifa Md Noman, and Ilhan Ozturk. "Relationships among Carbon Emissions, Economic Growth, Energy Consumption and Population Growth: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia." *Ecological Indicators* 70 (2016): 466–79.
- Arista, T. R., & Amar, S. (2019). Analisis Kausalitas Emisi CO<sub>2</sub>, Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi dan Modal Manusia di ASEAN. *Jurnal Kajian Ekonomi Dan Pembangunan*, 1(2), 519.
- Arista, Titi Reneri, and Syamsul Amar. "Analisis Kausalitas Emisi CO<sub>2</sub>, Konsumsi Energi,

- Pertumbuhan Ekonomi Dan Modal Manusia Di ASEAN.” *Jurnal Kajian Ekonomi Dan Pembangunan* 1, no. 2 (2019): 519.
- Bakhri, Muh Syaiful. “Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi, Globalisasi Dan Emisi CO2: Studi Kasus ASEAN-5.” *Economics Bulletin: October*, 2018, 67–95.
- Biatmoko, Ivenda Septania Nuru. “Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Karbondioksida Di Indonesia.” *Jurnal Ilmu Ekonomi JIE* 7, no. 01 (2023): 41–52.
- IS, Nani Dwi, Fika Rahmadani, Dewi Pardian IP, and Devana Shofi Yudatama. “Kausalitas Konsumsi Energi Hydroelectricity, Emisi Karbon Dioksida Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia.” *Indicators: Journal of Economic and Business* 1, no. 2 (2019): 154–67.
- Jati, Damar, and Rifki Khoirudin. “Analisis Pendapatan Tenaga Kerja Sektor Pertanian Pada IFLS 5.” *Equity: Jurnal Ekonomi* 8, no. 1 (2020): 14–23.
- Kartiasih, Fitri, and Adi Setiawan. “Aplikasi Error Correction Mechanism Dalam Analisis Dampak Pertumbuhan Ekonomi, Konsumsi Energi Dan Perdagangan Internasional Terhadap Emisi CO2 Di Indonesia.” *Media Statistika* 13, no. 1 (2020): 104–15.
- Karunia, Monica Ruth, Ahmad Komarulzaman, and Ari Tjahjawardita. “Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan Dan Emisi Karbon Di Indonesia.” *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia* 23, no. 1 (2023): 6.
- Landapa, Sonia Ista Iswari. “Pertumbuhan Ekonomi Dan Konsumsi Energi: Pengaruhnya Terhadap 3 Negara Mayoritas Muslim Dengan Emisi Karbon Tertinggi.” *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam* 10, no. 3 (2024): 3181–85.
- Nadeak, Sarwono Alfian H, and Nasrudin Nasrudin. “Pengaruh PDB per Kapita Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi GRK Di Indonesia.” *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia* 23, no. 2 (2023): 2.
- Pangestu, Regina Citra Kurnia, and Anak Agung Ketut Ayuningsasi. “Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, Dan Transportasi Terhadap Emisi Karbon Di Indonesia.” *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi Dan Manajemen* 3, no. 4 (2024): 297–311.
- Pesaran, M Hashem, Yongcheol Shin, and Richard J Smith. “Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships.” *Journal of Applied Econometrics* 16, no. 3 (2001): 289–326.
- Prasetyanto, Kusuma, and Farmila Sari. “Environmental Kuznets Curve: Economic Growth with Environmental Degradation in Indonesia.” *International Journal of Energy Economics and Policy* 11, no. 5 (2021): 622–28.
- Prastowo, Prastowo, and Laillil Putri Damayanti. “The Relationship between Electricity Consumption, Oil Prices, and Economic Growth in Indonesia.” *JAMPE (Journal of Asset Management and Public Economy)* 1, no. 1 (2022): 28–39.
- Pratama, Andra Wisnu, and Marsono Marsono. “Faktor Faktor Rasio Fundamental Perusahaan Dalam Memengaruhi Harga Saham (Studi Pada Perusahaan Multisektor Yang Terdaftar Pada Indeks IDX-30 Tahun 2016-2020).” *Diponegoro Journal of Accounting* 10, no. 4 (2021).
- Putra, Serdo Nurdi, and Alpon Satrianto. “Analisis Hubungan Kausalitas Penggunaan Energi, Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Lingkungan Di Indonesia.” *Jurnal Ekonomi Dan*

*Pembangunan* 1, no. 1 (2019): 49–68.

- Putri, Anggi Rosalia, Toto Gunarto, Zulfa Emalia, and Asih Murwiati. “Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi , Pertumbuhan Penduduk , Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO2 Di Indonesia.” *Bullet: Jurnal Multidisiplin Ilmu* 1, no. 6 (2022): 1070–80.
- Salsabila, Ikramina, Nur Amalina, Heru Wahyudi, and Ukhti Ciptawaty. “Pengaruh GDP Per Kapita , Dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO2 Di Indonesia.” *Journal on Education* 06, no. 01 (2023): 6508–17.
- Saputra, Andrian Whilla, and Maulidiyah Indira Hasmarini. “Apakah Foreign Direct Investment Dan Pertumbuhan Ekonomi Menyebabkan Emisi Karbon Di Indonesia?” *Jurnal Economic Resource* 8, no. 2 (2025): 859–66.
- Sugiawan, Yogi, and Shunsuke Managi. “The Environmental Kuznets Curve in Indonesia: Exploring the Potential of Renewable Energy.” *Energy Policy* 98 (2016): 187–98.
- Sugiyono, S. (2019). Metodologi Penelitian Kualitatif Kuantitatif Dan R&D. *Bandung: Cv. Alfabeta*.
- Sugiyono, Sugiyono. “Metodologi Penelitian Kualitatif Kuantitatif Dan R&D.” *Bandung: Cv. Alfabeta*, 2019.
- Yaseen, Atif, Priyonggo Suseno, and Syed Ghulam Hussain Shah. “Impact Of Macroeconomic Variables And Mortality Rates Under 5 ON CO.” *Journal of Developing Economies Vol* 9, no. 2 (2024): 243–58.
- Yuniarti, Dini. “Analisis Determinan Perdagangan Bilateral Indonesia Pendekatan Gravity Model.” *Economic Journal of Emerging Markets*, 2007.
- Zhu, Huiming, Lijun Duan, Yawei Guo, and Keming Yu. “The Effects of FDI, Economic Growth and Energy Consumption on Carbon Emissions in ASEAN-5: Evidence from Panel Quantile Regression.” *Economic Modelling* 58 (2016): 237–48.
- Zulaicha, A U, H Sasana, and Y Septian. “Analyze Of CO2 Emission Determination in Indonesia 1990-2018.” *Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta* 2, no. 2 (2020): 487–500.
- Zulaicha, A. U., Sasana, H., & Septian, Y. (2020). Analyze Of CO2 Emission Determination in Indonesia 1990-2018. *Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*, 2(2), 487–500.