

DAMPAK GUNCANGAN DAN KONTRIBUSI ANTARA ENERGI, EMISI KARBON TERHADAP PERTUMBUHAN PDB DI INDONESIA

Khubbi Abdillah*

Email: khubbia@ulm.ac.id

Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lambung
Mangkurat
Jl. Brigjen H. Hasan Basry Kotak Pos 219 Banjarmasin

Syahrituah Siregar

Email: syahrituahsiregar.iesp@ulm.ac.id

Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lambung
Mangkurat
Jl. Brigjen H. Hasan Basry Kotak Pos 219 Banjarmasin

Yunita Sopiana

Email: yunitasopiana@ulm.ac.id

Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Lambung
Mangkurat
Jl. Brigjen H. Hasan Basry Kotak Pos 219 Banjarmasin

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Received: 2025-09-04

Revised: 2025-10-14

Accepted: 2025-10-19

Kata Kunci:

Energi; Emisi_Karbon;

Pertumbuhan_PDB;

Structural_Vector_Autoregression

Keywords:

Energy; Carbon_Emissions;

GDP_Growth;

Structural_Vector_Autoregression

ABSTRAK

Tingginya pertumbuhan ekonomi yang tidak diikuti dengan keseimbangan pelestarian lingkungan akan menyebabkan sebuah dilema pembangunan. PDB dapat mendorong adanya peningkatan standar hidup masyarakat, namun jika PDB yang disumbang dari sektor energi tidak dikelola secara baik akan menimbulkan kerusakan lingkungan akibat adanya peningkatan volume yang dihasilkan dari emisi karbon. Hal ini bertentangan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan yang salah satu fokus utamanya mengangkat isu lingkungan dan konservasi sumber daya alam dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis dampak guncangan dan kontribusi antara energi, emisi karbon terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia tahun 1970-2024 menggunakan metode Structural Vector Autoregression (SVAR) dengan variabel kontrol pembentukan modal tetap bruto dan utang luar negeri sebagai sumber pembiayaan negara. Hasil temuan menunjukkan guncangan PDB direspon positif oleh energi dan emisi karbon menuju titik keseimbangan secara melambat. Kontribusi terbesar PDB adalah emisi karbon, sedangkan energi dan emisi karbon memiliki kontribusi dengan pergerakan fluktuatif menurun. Untuk itu, diperlukan strategi kebijakan pembangunan energi terbarukan ramah lingkungan.

ABSTRACT

High economic growth that is not accompanied by a balance between environmental conservation will create a development dilemma. GDP can drive improvements in people's living standards, but if GDP contributed by the energy sector is not managed properly, it will cause environmental damage due to the increased volume of carbon emissions. This contradicts the goals of sustainable development, one of the main focuses of which is addressing environmental issues and natural resource conservation by utilizing renewable energy sources. The purpose of this study is to analyze the impact of shocks and the

contribution of energy and carbon emissions to economic growth in Indonesia from 1970 to 2024 using the Structural Vector Autoregression (SVAR) method with control variables of gross fixed capital formation and foreign debt as sources of state financing. The findings show that energy and carbon emissions respond positively to GDP shocks, slowing towards equilibrium. The largest contribution to GDP is carbon emissions, while energy and carbon emissions contribute with fluctuating downward movements. Therefore, an environmentally friendly renewable energy development policy strategy is needed.

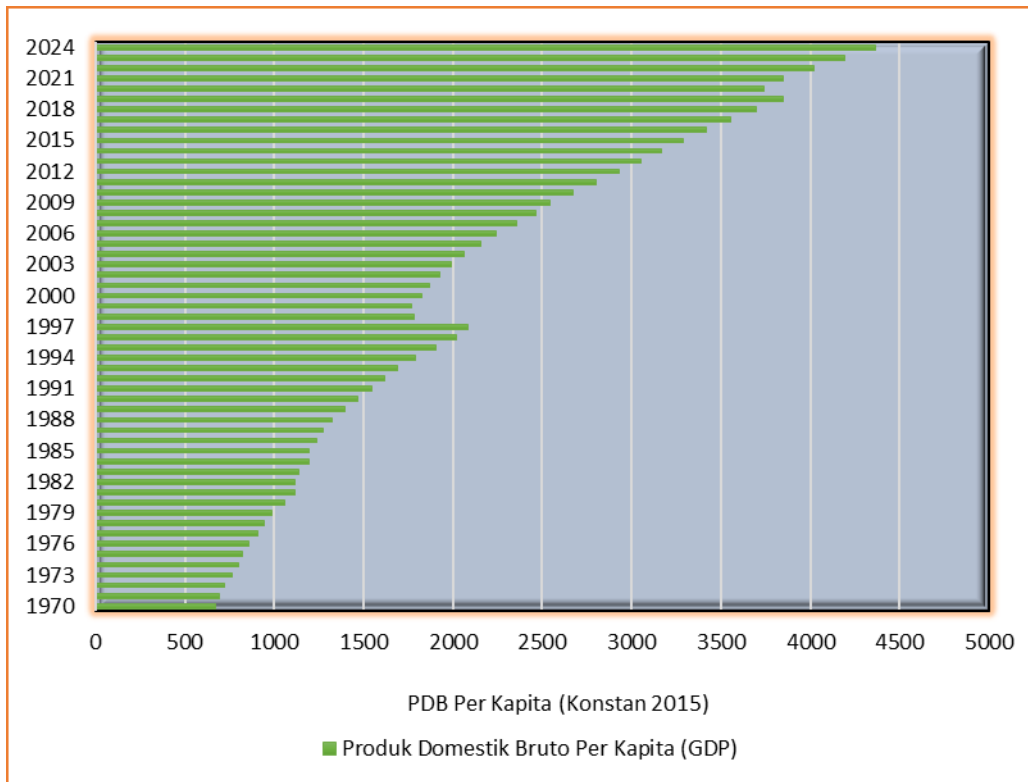
PENDAHULUAN

Energi merupakan sektor potensial yang sangat dibutuhkan dalam peningkatan pembangunan ekonomi yang berkelanjutan, kemajuan masyarakat, dan elemen penting dalam menjaga pertumbuhan ekonomi tetap stabil (Haider & Adil, 2019). Selain itu, energi juga merupakan faktor input yang penting dalam kegiatan proses produksi yang tujuannya untuk meningkatkan output dan selanjutnya akan mendorong pertumbuhan ekonomi (Xu dkk., 2018). Di negara berkembang, energi memiliki hubungan terhadap pembentukan Produk Domestik Bruto (PDB) karena penggunaan energi dimanfaatkan sektor industri manufaktur di wilayah perkotaan (Darrian dkk., 2023).

Keterkaitan antara energi dan Produk Domestik Bruto (PDB) menjadi topik yang menarik di mata dunia internasional, terutama kebijakan pengeluaran emisi karbon yang rendah (Zhao dkk., 2023). Namun, kebijakan tersebut berdampak negatif terhadap pertumbuhan ekonomi di negara berkembang yang masih mengandalkan sumber energi fosil (Wang & Cao, 2021). Untuk menanggapi isu tersebut diperlukan rancangan kebijakan energi dengan mempercepat transisi dekarbonisasi sesuai Persetujuan Paris UNFCCC tahun 2015 dalam rangka mengurangi penggunaan emisi karbon dan respon terhadap perubahan iklim (UNFCCC, 2015).

Gambar 1 menunjukkan perkembangan PDB per kapita berdasarkan harga konstan di Indonesia Tahun 1970-2024. Pada tahun 1970 ketika terjadi kenaikan harga minyak, PDB per kapita Indonesia berada pada US\$ 667,649 Miliar. Peningkatan tersebut berlanjut hingga rentang waktu 1981 dengan PDB per kapita sebesar US\$ 1.119,399 Miliar. Namun pada tahun 1982 mengalami penurunan sebesar US\$ 1.118 Miliar akibat menurunnya harga minyak dunia. Dalam kurun waktu 1980-1990, perekonomian Indonesia bertransformasi dari ketergantungan sektor migas berubah menjadi ekonomi yang berbasis sektor industri manufaktur. PDB per kapita mengalami penurunan pada tahun 1998 sebesar US\$ 1.780,200 Miliar akibat krisis moneter dan menurun lagi di tahun 1999 sebesar US\$ 1.767,514 karena

kondisi ekonomi yang belum stabil. Perekonomian Indonesia berlangsung membaik dari tahun ke tahun meskipun di tahun 2020 mengalami penurunan PDB per kapita sebesar US\$ 3.739,449 Milyar dan 4 tahun berikutnya lagi di tahun 2024 meningkat sebesar US\$ 4.367,862 Milyar.

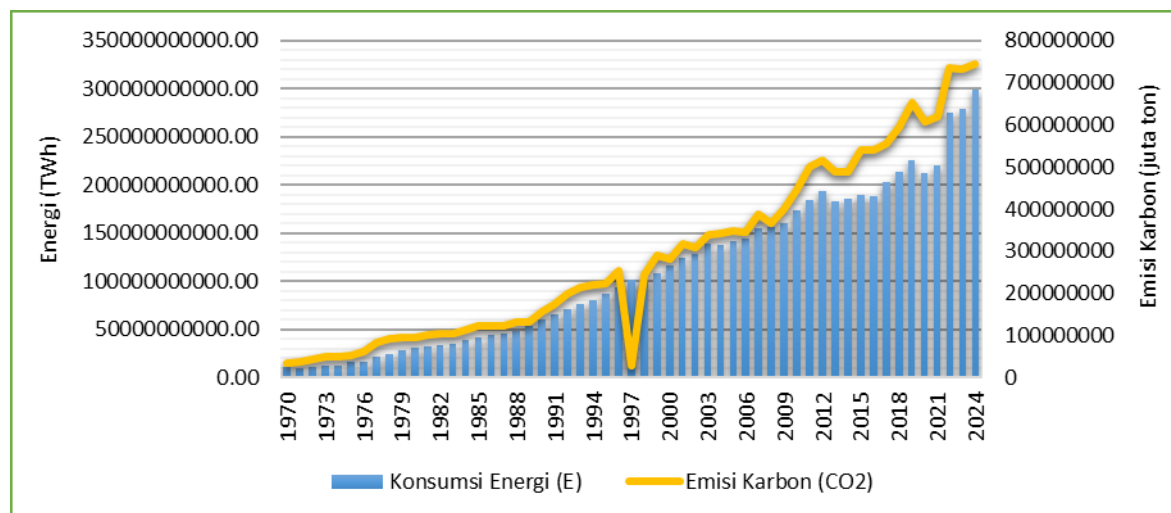


**Gambar 1. Perkembangan PDB Per Kapita (GDP)
Berdasarkan Harga Konstan (2015) di Indonesia Tahun 1970-2024**

Sumber: World Bank (2025)

Berdasarkan informasi yang terlihat pada Gambar 2 menunjukkan perkembangan konsumsi energi dan emisi karbon di Indonesia dalam kurun waktu 1970 sampai 2024. Konsumsi energi tahun 1970 sebanyak 106,21 TWh, sedangkan di tahun 2024 konsumsi energi berjumlah 2.990,65 TWh. Berdasarkan kontribusi sumber energi tahun 2024 berasal dari batu bara (43,85%), minyak bumi (29,39%), gas (15,81%), sumber daya terbarukan lainnya termasuk panas bumi, biomassa, dan energi limbah (4,65%), Biofuel (4,03%), tenaga air (2,15%), tenaga surya (0,08%), angin (0,04%). Jika dilihat dari trend emisi karbon yang dihasilkan dari batu bara, minyak bumi, gas, semen, dan pembakaran gas suar menunjukkan peningkatan dari tahun 1970 sebesar 35,79 juta ton menjadi 733,22 juta ton pada tahun 2023, persentase emisi karbon disumbang dari batu bara (54,42%), minyak bumi (29,45%), gas (12,09%), semen (3,55%), dan gas suar (0,49%). Dari data yang ditabulasi menunjukkan

Indonesia memiliki ketergantungan terhadap batu bara, minyak bumi, dan gas, belum memanfaatkan sumber energi terbarukan secara optimal.



Gambar 2. Perkembangan Konsumsi Energi dan Emisi Karbon di Indonesia Tahun 1970-2024

Sumber: Energy Institute (2025) & Global Carbon Budget (2024)

Indonesia memiliki sumber energi terbarukan yang cukup melimpah. Dari letak geografis, Indonesia memiliki suhu yang ideal (20-30° Celcius) dalam mengelola tata surya dan energi angin karena berdekatan dengan Asia Tenggara dan benua Australia. Bahkan, Indonesia menguasai cadangan panas bumi dan SDA lainnya sekitar 40% dari sumber energi total. Di tingkat Provinsi, potensi energi terbarukan tertinggi dihasilkan oleh Jawa Barat, diikuti Kalimantan Selatan, Jawa Timur, dan Kalimantan Timur (Darrian dkk., 2023). Namun, pemanfaatannya di tahun 2020 baru mencapai 2,1% dari potensi yang ada dengan mengandalkan tenaga air dan tenaga panas bumi. Pembangkit Listrik Tenaga Surya baru terealisasi sebesar 7%, padahal potensi sumber energi terbarukan di Indonesia hampir mendekati 50% dari potensi sumber total energi yang ada (IEA, 2023).

Temuan Zhao dkk. (2023) menganalisa energi terhadap pertumbuhan ekonomi 30 Provinsi di China yang hasilnya menyimpulkan pertumbuhan ekonomi akan mendorong peningkatan konsumsi energi dalam jangka panjang selama pasokan energi tercukupi dan menjaga pertumbuhan ekonomi yang berkualitas. Lebih lanjut, kebijakan konsumsi energi dapat meningkatkan PDB sehingga tenaga kerja dapat terserap dengan baik dalam studi kasus negara Pakistan (Aqeel & Butt, 2001). Studi Li & Leung (2021) menunjukkan temuan yang berbeda yaitu energi tidak memiliki hubungan kausalitas terhadap pertumbuhan PDB di Eropa. Selanjutnya, penggunaan konsumsi energi (batu bara) dalam jangka pendek akan mendorong

pertumbuhan ekonomi, namun dalam jangka panjang menurunkan output PDB di negara-negara OECD dan non-OECD (Jin & Kim, 2018). Pertumbuhan ekonomi di Malaysia tidak terlalu bergantung terhadap konsumsi energi karena dari hasil analisis kausalitas granger tidak menunjukkan hubungan dua arah (Wiranata & Muqorrobin, 2013).

Berdasarkan kajian empiris dan fenomena yang sudah dijelaskan, maka penelitian ini perlu dilakukan terkait konsekuensi peningkatan pertumbuhan PDB dan dampaknya terhadap keselestarian lingkungan agar terjadi pembangunan yang berkelanjutan. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya lebih berfokus pada guncangan dan kontribusi varians antara energi, emisi karbon terhadap pertumbuhan PDB di Indonesia pada periode 1970-2024 menggunakan metode *structural VAR*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder tahunan yang bersumber dari *World Development Indicators* yang diterbitkan oleh Bank Dunia dan *Statistical Review of World Energy* dari *Energy Institute*, *Global Carbon Budget*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pertumbuhan PDB (GDP), konsumsi energi (CO₂), konsumsi energi (E), pembentukan modal tetap bruto (CF), dan utang luar negeri (DEBT). Untuk menganalisis shock antar variabel dengan kontribusi varians dengan IRF dan FEVD menggunakan metode *structural VAR* tanpa adanya restriksi. Metode SVAR dapat dibentuk dengan persamaan sebagai berikut (Breitung dkk., 2004):

$$\begin{aligned} GDP_t &= \beta_1 CF_{t-p} + \beta_2 DEBT_{t-p} + \beta_3 E_{t-p} + \beta_4 CO2_{t-p} + e_{t1} \\ CF_t &= \beta_5 GDP_{t-p} + \beta_6 DEBT_{t-p} + \beta_7 E_{t-p} + \beta_8 CO2_{t-p} + e_{t2} \\ DEBT_t &= \beta_9 GDP_{t-p} + \beta_{10} CF_{t-p} + \beta_{11} E_{t-p} + \beta_{12} CO2_{t-p} + e_{t3} \\ E_t &= \beta_{13} GDP_{t-p} + \beta_{14} CF_{t-p} + \beta_{15} DEBT_{t-p} + \beta_{16} CO2_{t-p} + e_{t4} \\ CO2_t &= \beta_{17} GDP_{t-p} + \beta_{18} CF_{t-p} + \beta_{19} DEBT_{t-p} + \beta_{20} E_{t-p} + e_{t5} \end{aligned}$$

Keterangan:

GDP = Produk Domestik Bruto Per Kapita (Harga Konstan Miliar US\$ 2015)

CF = Pembentukan Modal Tetap Bruto (Harga Berlaku Miliar US\$)

DEBT = Stok Utang Luar Negeri (DOD Harga Berlaku Miliar US\$)

E = Konsumsi Energi Total (TWh)

CO₂ = Emisi Karbondioksida (Juta Ton)

Spesifikasi model SVAR yang digunakan dalam model ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} \\ b_{21} & 1 & b_{23} & b_{24} & b_{25} \\ b_{31} & b_{32} & 1 & b_{34} & b_{35} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & 1 & b_{45} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GDP \\ CF \\ DEBT \\ E \\ CO2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{15} \\ Y_{25} \\ Y_{35} \\ Y_{45} \\ Y_{55} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GDP_{t-1} \\ CF_{t-1} \\ DEBT_{t-1} \\ E_{t-1} \\ CO2_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \\ e_{4t} \\ e_{5t} \end{bmatrix}$$

Persamaan model SVAR di atas dapat diringkas menjadi persamaan sebagai berikut:

$$By_t = \gamma_0 + \Gamma_1 + y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Dimana:

B = Matriks $n \times n$ yang mengandung parameter struktural dari variabel endogen

y_t = Vektor variabel endogen GDP, CF, DEBT, E, dan CO_2

γ_0 = Intersep

Γ_1 = Matriks *polynomial* atau *finite order matriks* dengan lag operator 1

y_{t-1} = Vektor *autoregressive* dengan lag operator 1

ε_t = Vektor *white-noise*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dalam penyajian model *Structural Vector Autoregression* dengan melakukan uji akar unit (ADF) untuk mendeteksi keberadaan variabel yang stasioner pada data deret waktu (Hatanaka, 1996). Hipotesis H_0 menunjukkan variabel memiliki akar unit (menerima H_0), sedangkan hipotesis H_1 variabel tidak memiliki akar unit (H_0 ditolak) (Herranz, 2017). Berdasarkan hasil uji ADF menunjukkan bahwa semua variabel tidak stasioner pada tingkat level kecuali variabel DEBT dan E masing-masing 5% dan 10%. Akan tetapi, semua variabel (GDP, CF, DEBT, E, CO_2) stasioner pada tingkat level (H_0 ditolak pada tingkat $\alpha=1\%$).

Tabel 1. Hasil Analisis Uji Akar Unit

No.	Variabel	Uji Augmented Dickey Fuller (ADF)		
		Level	1 st intercept	1 st trend & Intercept
1	GDP	-0,844351	-5,537338	-5,506852
		(0,791)	(0,0000) *	(0,0002) *
2	CF	-2,552451	-5,071398	-5,275111
		(0,1092)	(0,0001) *	(0,0004) *
3	DEBT	-3,006990	-4,001498	-4,753958
		(0,0407) **	(0,0029) *	(0,0017) *
4	E	-2,810102	-6,748644	-7,954818
		(0,0635) ***	(0,0000) *	(0,0000) *
5	CO_2	-1,345680	-8,428767	-8,382666
		(0,6015)	(0,0000) *	(0,0000) *

Sumber: evIEWS13, diolah

Berikutnya, dilakukan uji stabilitas yang bertujuan untuk menghitung akar-akar polynomial yang berada pada nilai absolut. Berdasarkan hasil uji stabilitas pada Tabel 2 mengindikasikan bahwa metode *structural* VAR stabil karena nilai absolut (*modulus*) berada di bawah 1, sehingga IRF dan FEVD yang dihasilkan dianggap valid.

Tabel 2. Hasil Uji Stabilitas

Root	Modulus
0,991902	0,991902
0,911293	0,911293
0,835862 – 0,190360i	0,857265
0,835862 + 0,190360i	0,857265
0,549474	0,549474
0,189492 – 0,466815i	0,503809
0,189492 + 0,466815i	0,503809
-0,413089	0,413089
0,228207	0,228207
-0,222022	0,222022

Sumber: evIEWS13, diolah

Berdasarkan hasil uji heteroskedastisitas pada Tabel 3 mengindikasikan bahwa dalam metode ini tidak mengandung heteroskedastisitas. Hal ini disebabkan nilai p-value prob sebesar $0,3219 > 10\%$. Artinya, H_0 diterima atau tidak terdapat residual heteroskedastisitas dalam metode ini sehingga variabel gangguan metode *structural* VAR memiliki varian yang konstan dari seluruh observasi.

Tabel 3. Hasil Uji Heteroskedastisitas

Chi-sq	Df	Prob
752,1972	735	0,3219

Sumber: evIEWS13, diolah

Hasil penyajian output metode *Structural* VAR dengan bantuan perangkat lunak evIEWS13 dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Estimasi Metode *Structural* VAR

	Koefisien	SE	z-stat	Prob
C (1)	-2,755756	0,670001	-4,113065	0,0000 *
C (2)	-0,105431	0,469372	-0,224621	0,8223
C (3)	-1,242086	0,395378	-3,141519	0,0017 *
C (4)	2,098350	3,166566	0,662658	0,5075
C (5)	-0,067160	0,083782	-0,801611	0,4228
C (6)	0,025948	0,070967	0,365630	0,7146
C (7)	-1,153957	0,522513	-2,208473	0,0272 **
C (8)	0,201173	0,115651	1,739483	0,0819 ***
C (9)	-0,073068	0,874384	-0,083565	0,9334
C (10)	-1,584319	1,010085	-1,568501	0,1168
C (11)	0,007358	0,000715	10,29563	0,0000 *

	Koefisien	SE	z-stat	Prob
C (12)	0,035891	0,003486	10,29563	0,0000 *
C (13)	0,021891	0,002126	10,29563	0,0000 *
C (14)	0,018431	0,001790	10,29563	0,0000 *
C (15)	0,135535	0,013164	10,29563	0,0000 *
Log likelihood	580,7974			

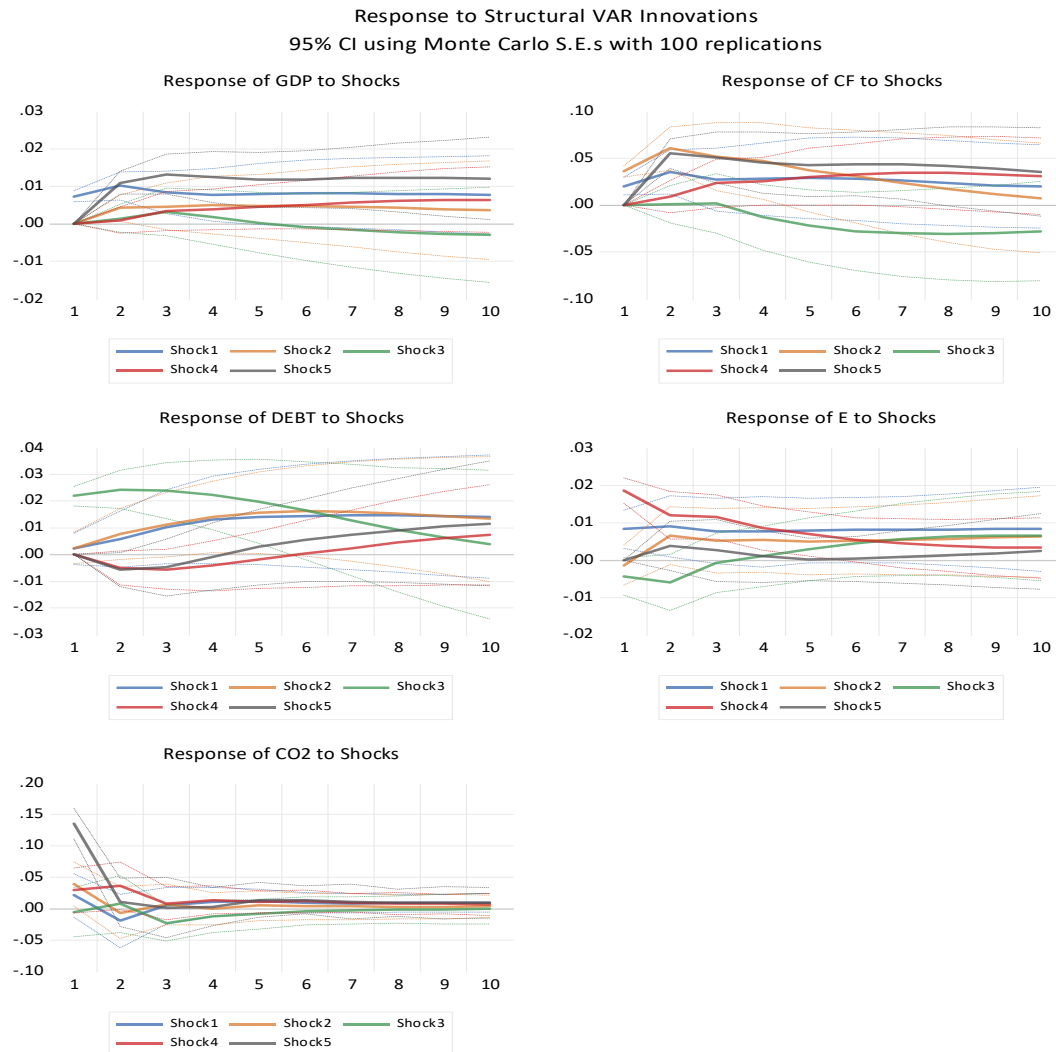
sumber: evIEWS13

Dari hasil pengolahan data pada Tabel 3 diperoleh estimasi model *Structural VAR* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 e_{y1} &= 0,007358e_{y1} \\
 e_{y2} &= -2,755756e_{y1} + 0,035891e_{y2} \\
 e_{y3} &= -0,105431e_{y1} - 0,067160e_{y2} + 0,021891e_{y3} \\
 e_{y4} &= -1,242086e_{y1} + 0,025948e_{y2} + 0,201173e_{y3} + 0,018431e_{y4} \\
 e_{y5} &= 2,098350e_{y1} - 1,153957e_{y2} - 0,073068e_{y3} - 1,584319e_{y4} - 0,135535e_{y5}
 \end{aligned}$$

dimana: e_{y1} = Residual GDP; e_{y2} = Residual CF; e_{y3} = Residual DEBT; e_{y4} = Residual E; e_{y5} = Residual CO₂.

Berdasarkan model *Structural VAR* yang telah dikalkulasi mengindikasikan e_{y2} adalah residual adalah residual pembentukan modal tetap bruto (CF), e_{y1} adalah residual Produk Domestik Bruto (GDP), e_{y3} adalah residual utang luar negeri (DEBT), e_{y4} adalah residual energi €, dan e_{y5} adalah residual emisi karbon (CO₂). Ordering ini dilakukan berdasarkan teori kurva U terbalik yaitu GDP mempengaruhi CO₂, menyangkut hubungan degradasi lingkungan dengan pertumbuhan ekonomi. Pembentukan modal tetap bruto dan utang luar negeri merupakan sumber pembiayaan untuk membiayai kebutuhan dalam negeri. Sedangkan, energi merupakan sektor yang sangat dibutuhkan dalam pembentukan Produk Domestik Bruto (GDP).



Gambar 3. Guncangan (Impulse Response) Energi, Emisi Karbon terhadap Pertumbuhan PDB di Indonesia

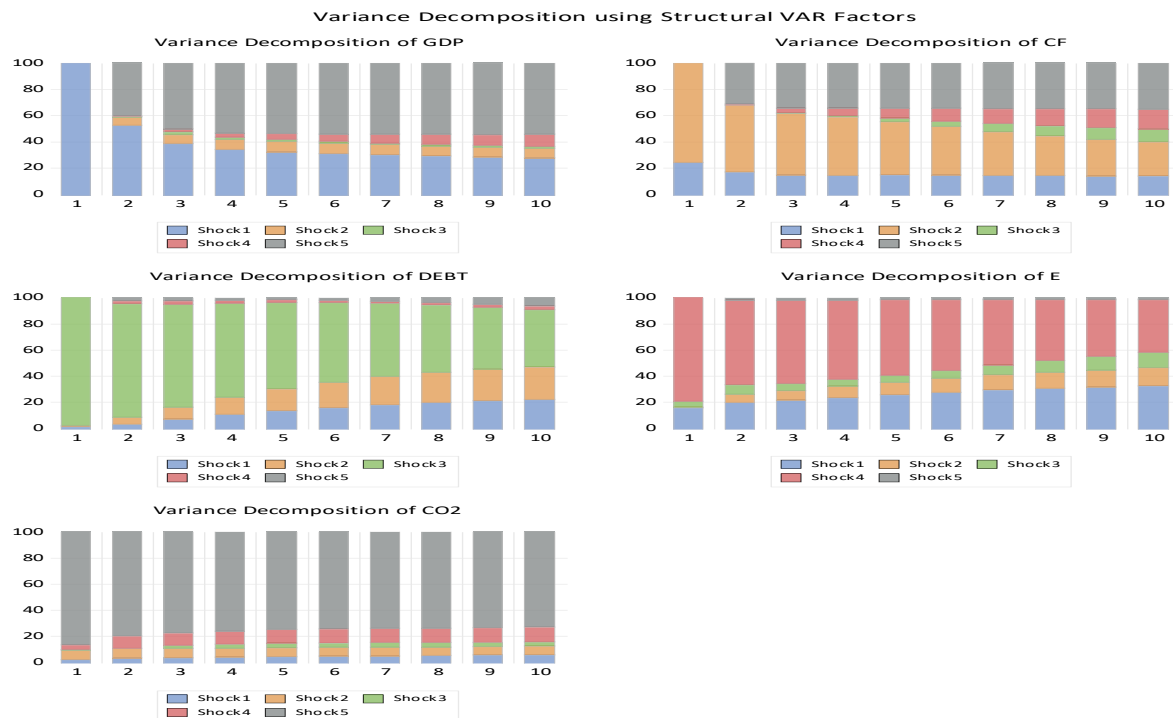
Menurut hasil analisis guncangan/impulse response (IRF) metode *Structural VAR* pada Gambar 3 mengindikasikan bahwa dalam jangka pendek (tahun ke-1) satu standar deviasi Produk Domestik Bruto (GDP) (shock 1 sebesar 0,007358) tidak direspon oleh semua variabel lain dalam penelitian. Dalam jangka menengah (tahun ke-5) satu standar deviasi GDP (shock 1 sebesar 0,007895), direspon positif oleh pembentukan modal tetap bruto (CF) (shock 2 sebesar 0,004748), direspon positif oleh utang luar negeri (DEBT) (shock 3 sebesar 0,000291), direspon positif oleh Energi (E) (shock 4 sebesar 0,004527), dan direspon positif oleh emisi karbon (CO₂) (shock 5 sebesar 0,011679). Dalam jangka menengah (tahun ke-10) satu standar deviasi GDP (shock 1 sebesar 0,007685), direspon positif oleh pembentukan modal tetap bruto (CF) (shock 2 sebesar 0,003564), direspon negatif oleh utang luar negeri

(DEBT) (shock 3 sebesar -0,002903), direspon positif oleh energi (E) (shock 4 sebesar 0,006448), dan direspon positif oleh emisi karbon (CO_2) (shock 5 sebesar 0,012020).

Nilai IRF karena adanya guncangan suatu variabel terhadap variabel lain pada metode *Structural VAR* ditampilkan pada Gambar 3. Dapat kita lihat respon energi (E) karena adanya shock Produk Domestik Bruto (GDP) dan emisi karbon (CO_2). Jika terjadi guncangan Produk Domestik Bruto (GDP) dan emisi karbon (CO_2) pada periode pertama masing-masing sebesar 0,008183 dan 0,000000. Pada periode kelima menunjukkan respon GDP dan CO_2 masing-masing sebesar 0,012040 dan 0,002821. Selanjutnya, pada periode kesepuluh menunjukkan shock yang kedua nilainya sebesar 0,009009 dan 0,009444.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa respon emisi karbon (CO_2) karena adanya shock Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), dan energi (E). jika terjadi guncangan Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), energi (E) pada periode pertama masing-masing sebesar 0,021080; 0,039349; -0,005378; 0,029201; 0,135535. Pada periode kelima menunjukkan respon Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), energi (E) masing-masing sebesar 0,012040; 0,004922; -0,009016; 0,010611; 0,013895. Pada periode kesepuluh menunjukkan respon emisi karbon (CO_2) terhadap guncangan Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), energi (E) cenderung mengalami penurunan dan kembali ke titik origin.

Berdasarkan hasil variance decomposition (FEVD) Gambar 4 menunjukkan bahwa Produk Domestik Bruto (GDP) dalam jangka pendek (periode 1) perkiraan error variance sebesar 100% dijelaskan oleh variabel Produk Domestik Bruto (GDP) itu sendiri, sedangkan variabel lainnya yaitu pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), energi (E), dan emisi karbon (CO_2) tidak merespon sama sekali dan tidak mempengaruhi Produk Domestik Bruto (GDP) dalam jangka pendek. Dalam jangka menengah (periode 5) perkiraan error variance sebesar 32,08% dijelaskan oleh variabel GDP itu sendiri, dan variabel lain yang mempengaruhi GDP sebagai variabel kebijakan selain GDP itu sendiri adalah CF (8,01%), DEBT (1,41%), E (4,47%), CO_2 (54%). Dalam jangka Panjang (periode 10) perkiraan error variance sebesar 27,52% dijelaskan oleh variabel GDP itu sendiri, dan variabel lain yang mempengaruhi GDP sebagai variabel kebijakan selain GDP itu sendiri adalah CF (7,21%), DEBT (1,59%), E (9,18%), CO_2 (54,47%).



Gambar 4. Kontribusi (Variance Decomposition) Energi, Emisi Karbon terhadap Pertumbuhan PDB di Indonesia

Dalam Gambar 4, pada periode ke-1 varians energi (E) yang dijelaskan oleh variabel itu sendiri sebesar 79,35%, sedangkan sisanya sebesar 15,64%; 0,46%; 4,53%; 0,00% dijelaskan oleh Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), dan emisi karbon (CO₂). Pada periode ke-5 varians energi (E) yang dijelaskan oleh variabel itu sendiri sebesar 57,93%, sedangkan sisanya sebesar 25,53%; 9,74%; 5,08%; 1,70% dijelaskan oleh Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), dan emisi karbon (CO₂). Pada periode ke-10 varians energi (E) yang dijelaskan oleh variabel itu sendiri sebesar 40,45%, sedangkan sisanya sebesar 32,35%; 14,04%; 11,54%; 1,59% dijelaskan oleh Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), dan emisi karbon (CO₂).

Dari Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa emisi karbon (CO₂) dalam jangka pendek (periode 1) perkiraan error variance sebesar 86,47% dijelaskan oleh variabel emisi karbon (CO₂) itu sendiri, sedangkan variabel lainnya yaitu Produk Domestik Bruto (GDP), pembentukan modal tetap bruto (CF), utang luar negeri (DEBT), dan energi (E) merespon Produk Domestik Bruto (GDP) dalam jangka pendek masing-masing sebesar 2,09%; 7,28%;

0,13%; dan 4,01%. Dalam jangka menengah (periode 5) perkiraan error variance sebesar 75,11% dijelaskan oleh variabel emisi karbon (CO_2) itu sendiri, dan variabel lain yang mempengaruhi CO_2 sebagai variabel kebijakan selain CO_2 itu sendiri adalah GDP (4,43%), CF (6,70%), DEBT (3,42%), E (10,66%). Dalam jangka Panjang (periode 10) perkiraan error variance sebesar 73,19% dijelaskan oleh variabel CO_2 itu sendiri, dan variabel lain yang mempengaruhi CO_2 adalah GDP (5,69%), CF (6,53%), DEBT (3,34%), E (11,23%).

Hasil penelitian ini mendukung teori pertumbuhan neoklasik yang memasukkan variabel energi dalam faktor produksi selain modal dan tenaga kerja, dimana seluruh faktor input produksi dapat mendorong peningkatan output PDB (Cheng dkk., 2021). Dalam model *Green Solow* merupakan teori pertumbuhan berkelanjutan yang menunjukkan kombinasi kemajuan teknologi dan peraturan tentang lingkungan yang menekankan pada pentingnya kemajuan teknologi dalam mendorong lingkungan yang berkelanjutan dengan mengurangi volume emisi karbon, mendorong efisiensi sumber daya alam, dan mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang ramah lingkungan (Hossain dkk., 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil temuan ini menyimpulkan bahwa guncangan Produk Domestik Bruto (GDP) direspon positif oleh energi (E) dan emisi karbon (CO_2) menuju titik keseimbangan secara melambat. Begitupun juga guncangan energi juga direspon positif oleh GDP dan CO_2 . Selanjutnya, respon emisi karbon (CO_2) karena adanya shock Produk Domestik Bruto (GDP) dan energi (E) menyebabkan kenaikan pada jangka pendek (periode ke-1), kemudian mengalami penurunan pada jangka menengah (periode ke-5) dan perlahan meningkat pada jangka Panjang (periode ke-10).

Kontribusi terbesar Produk Domestik Bruto (GDP) dapat dijelaskan varians energi (E) dan emisi karbon (CO_2) sebesar 0% pada periode pertama, kontribusinya justru mengalami peningkatan pada periode ke-10 masing-masing sebesar 9,18% dan 45,47%. Artinya, pada awalnya, peningkatan PDB belum direspon oleh penggunaan emisi karbon, akan tetapi dalam jangka Panjang, PDB berkontribusi dalam peningkatan volume emisi karbon dalam jumlah yang besar. Kontribusi energi (E) dapat dijelaskan varians Produk Domestik Bruto (GDP) meningkat dalam jangka panjang sebesar 32,35%. Sedangkan, emisi karbon (CO_2) menyumbang varians energi (E) sebesar 11,23% pada periode ke-10.

Saran yang bisa disumbangkan dalam penelitian ini adalah diperlukan strategi kebijakan pembangunan konservasi energi terbarukan ramah lingkungan dengan mengurangi

ketergantungan pada energi fosil, gas alam, dan batubara dengan membangun Pembangkit Listrik Energi terbarukan dengan bantuan tenaga angin, tenaga surya, maupun tenaga air. Selain itu, pemangku kebijakan mempertimbangkan kebijakan pembangunan berkelanjutan dalam bidang energi dan pengurangan emisi karbon dalam kehidupan masyarakat agar tercipta lingkungan yang asri dan nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aqeel, A., & Butt, M. S. (2001). The relationship between energy consumption and economic growth in Pakistan. *Asia-Pacific Development Journal*, 8(2), 101–110.
- Breitung, J., Brüggemann, R., & Lütkepohl, H. (2004). Structural vector autoregressive modeling and impulse responses. *Applied Time Series Econometrics*, 8, 159–196.
- Cheng, Y.-S., Li, R., & Woo, C.-K. (2021). Regional energy-growth nexus and energy conservation policy in China. *Energy*, 217, 119414.
- Darrian, K., Scholastica, P., Kadarusman, Y. B., & Rafitrandi, D. (2023). Energy and Economic Growth Nexus: A Long-run Relationship in Indonesia. *Economics and Finance in Indonesia*, 69(1), 1.
- Energy Institute. (2025). *Energy Consumption by Source, Indonesia*. <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-substitution>
- Global Carbon Budget. (2024). *CO2 Emissions by Fuel or Industry Type, Indonesia*. <https://ourworldindata.org/grapher/energy-consumption-by-source-and-country>
- Haider, S., & Adil, M. H. (2019). Does financial development and trade openness enhance industrial energy consumption? A sustainable developmental perspective. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 30(6), 1297–1313.
- Hatanaka, M. (1996). *Time-series-based econometrics: unit roots and co-integrations*. OUP Oxford.
- Herranz, E. (2017). Unit root tests. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 9(3), e1396.
- Hossain, M. E., Ullah, E., Rehman, M. Z., Haseeb, M., & Esquivias, M. A. (2024). Going sustainable or going extinct: the consequences of clean technologies, green finance, and natural resources on the environment. *Sustainability*, 16(14), 5836.
- IEA. (2023). *Energy intensity*, International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity>
- Jin, T., & Kim, J. (2018). Coal consumption and economic growth: panel cointegration and causality evidence from OECD and non-OECD countries. *Sustainability*, 10(3), 660.
- Li, R., & Leung, G. C. K. (2021). The relationship between energy prices, economic growth and renewable energy consumption: Evidence from Europe. *Energy Reports*, 7, 1712–1719.

- UNFCCC. (2015). The paris agreement. *United Nations*.
- Wang, C., & Cao, Y. (2021). Forecasting Chinese economic growth, energy consumption, and urbanization using two novel grey multivariable forecasting models. *Journal of Cleaner Production*, 299, 126863.
- Wiranata, D. B., & Muqorrobin, M. (2013). The relationship between energy consumption and economic growth. *TRIKONOMIKA: Jurnal Ekonomi*, 12(2), 103–112.
- World Bank. (2025). *GDP per capita (constant 2015 US\$)*.
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD>
- Xu, J., Zhou, M., & Li, H. (2018). The drag effect of coal consumption on economic growth in China during 1953–2013. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 326–332.
- Zhao, D., Yuan, J., Fu, S., Song, Y., Wang, Y., Liu, Y., & Zhang, J. (2023). Does economic growth stimulate energy consumption? New evidence from national and regional levels in China. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 21(2), 60–70.