

KOMPLEKSITAS EKONOMI PERDAGANGAN SEBAGAI UPAYA MENURUNKAN EMISI NITROGEN DIOKSIDA: EKC NEGARA G20

Muhammad Iqbal Al Qodri^{1*}, Widyastutik², Eisha Maghfiruha Rachbini²

¹⁾ Program Studi Pascasarjana Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB
University, Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

²⁾ Departemen Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Dramaga,
Bogor, 16680, Indonesia

E-mail: iqbalqodri1312@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi yang berkualitas tidak hanya meningkatkan ukuran ekonomi suatu negara. Namun juga meningkatkan kapabilitas dari sumber daya manusia dan pengembangan variasi teknologi yang digunakan dalam proses produksinya, di mana faktor tersebut dapat dijelaskan oleh *Economic Complexity Index* (ECI). Banyak negara mengakselerasi pertumbuhan ekonominya melalui optimalisasi sektor industri, akan tetapi sektor ini masih didominasi oleh energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara sehingga menyebabkan peningkatan emisi termasuk emisi nitrogen dioksida (N₂O) dikontribusikan melalui pembakaran bahan bakar fosil dan limbah padat. Metode analisis menggunakan panel *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS) and *Dynamic Ordinary Least Squares* (DOLS) pada 18 negara anggota G20 sejak 1995-2020, serta menggunakan konsep pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC) untuk melihat pengaruh jangka panjang ECI terhadap emisi N₂O. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel ECI dan energi terbarukan berpengaruh signifikan dalam menurunkan emisi, sedangkan *Foreign Direct Investment* (FDI) tidak signifikan. Implikasi kebijakan yaitu negara mendorong peningkatan produk ekspor kompleks menggunakan bahan ramah lingkungan dan terbarukan (*eco-friendly and renewable*).

Kata kunci: EKC, energi terbarukan, FMOLS DOLS, kompleksitas ekonomi perdagangan, nitrogen dioksida

ECONOMIC COMPLEXITY OF TRADE AND NITROGEN DIOXIDE EMISSIONS: EKC G20 COUNTRIES

ABSTRACT

The quality of economic growth not only increases the size of a country's economy. It also increases the capabilities of human resources and the development of a variety of technologies used in the production process, which can be explained by the Economic Complexity Index (ECI). Many countries accelerate their economic growth through the optimization of the industrial sector, but this sector is still dominated by non-renewable energy such as petroleum and coal, causing an increase in emissions including nitrogen dioxide (N₂O) emissions contributed through the combustion of fossil fuels and solid waste. The analysis method Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS) and Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) panels on 18 G20 member countries from 1995-2020, and uses the concept of the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach to see the long-term effect of ECI on N₂O emissions. The results show that ECI and renewable energy variables have a significant effect in reducing emissions, while Foreign Direct Investment (FDI) is not significant. The policy implication that country can encourage the increase of complex export products using eco-friendly and renewable materials.

Keywords: ECI, renewable energy, FMOLS DOLS, economic complexity of trade, nitrogen dioxide

PERNYATAAN KUNCI

- Pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menunjukkan *trade-off* antara perekonomian dan lingkungan. Penelitian EKC amembantu dalam merumuskan strategi dalam meningkatkan ekonomi dengan tetap memperhatikan aspek lingkungan.
- Indeks Kompleksitas Ekonomi (ECI) adalah indeks yang mengukur tingkat pengetahuan/teknologi suatu negara dalam menghasilkan produk ekspor.
- Optimalisasi kompleksitas ekonomi menjadi strategi dalam menurunkan emisi dengan tetap mendorong peningkatan perekonomian. Hal ini dikarenakan ketika ECI suatu negara meningkat, maka tingkat adopsi teknologi dalam proses produksi juga semakin tinggi dan membantu menurunkan emisi nitrogen dioksida (N₂O).
- Strategi lain dalam membantu menurunkan emisi N₂O melalui penggunaan energi terbarukan dan *Foreign Direct Investment* (FDI) yang diarahkan pada investasi teknologi hijau yang ramah lingkungan.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Strategi untuk meningkatkan perekonomian sekaligus tetap menjaga lingkungan perlu segera diimplementasikan, salah satu caranya melalui peningkatan kompleksitas ekonomi yang berbasis energi berkelanjutan dan teknologi ramah lingkungan. Kompleksitas ekonomi dapat sekaligus meningkatkan kemampuan SDM, kemampuan lembaga/badan, adopsi teknologi, serta membantu menurunkan tingkat emisi. Harapannya melalui forum G20 dapat mendorong produksi produk kompleks yang ramah lingkungan, mempromosikan pola hidup berkelanjutan, mendorong investasi dan adopsi energi terbarukan, serta *research and development* (RnD) dalam inovasi teknologi yang berguna bagi industri energi dan pertanian seperti *green hydrogen* dan *green ammonia*.

PENDAHULUAN

Optimalisasi pemanfaatan sumber daya di masing-masing negara bertujuan untuk menciptakan pertumbuhan ekonomi yang biasanya diukur melalui Produk Domestik Bruto (PDB). PDB menjadi indikator yang hanya menangkap faktor ekonomi, tetapi belum menangkap faktor peningkatan sumber daya manusia (SDM), teknologi produksi, dan kelembagaan yang justru ditangkap oleh pendekatan *Economic Complexity Index* (ECI) (Hoeriyah *et al.* 2022). ECI merupakan indeks pembangunan ekonomi berbasis produk dengan mengukur tingkat pengetahuan/teknologi yang digunakan dalam menghasilkan produk ekspor tertentu (Nababan 2013). Artinya, semakin kompleks produk yang dihasilkan maka semakin tinggi teknologi yang digunakan.

Kompleksitas ekonomi berkembang seiring dengan pertumbuhan ekonomi, karena tingkat pendapatan suatu negara merepresentasikan pengetahuan dan struktur ekspor, dan kemampuan produktifnya (Hausmann *et al.* 2013). Di samping itu, proses peningkatan ekonomi diakselerasi melalui sektor industri dan pertanian yang mana sektor tersebut masih didominasi energi tak terbarukan lainnya.

Perubahan iklim memberikan dampak bagi pembangunan ekonomi (Hidayat *et al.* 2017; Nakano *et al.* 2018; Yufuai *et al.* 2021; Aulia *et al.* 2023). Pada Perjanjian Paris 2015, Indonesia menetapkan komitmen dalam Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDC) untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% pada 2030. Secara global GRK dunia tahun 2022 sebesar 53786,04 Mt atau mengalami peningkatan 1,37 % dibandingkan tahun 2021. Sektor dengan kontribusi emisi terbesar untuk CO₂ adalah industri energi sebesar 14669,3 Mt serta untuk CH₄ dan N₂O yaitu sektor pertanian dengan masing-masing sebesar 4586,5 Mt dan 1753,6 Mt (EDGAR 2023). Hal ini menyebabkan eksternalitas negatif berupa emisi gas rumah kaca, salah satunya nitrogen dioksida (N₂O).

Emisi N₂O merupakan salah satu jenis GRK yang berasal dari kegiatan pertanian, penggunaan pupuk, pembakaran bahan bakar fosil, limbah padat, dan pengolahan air limbah. Ditinjau dari kontributornya, negara anggota G20 menjadi penyumbang terbesar dengan 9 dari 10 negara di antaranya: China (422,5 juta ton); India (287,2 juta ton), USA (251,8 juta ton); Brazil (193,9 juta ton); Mexico (117,5 juta ton); Russia (82,4 juta ton); Indonesia (75,5 juta ton); Australia (61,8 juta ton); dan Turkey (59,4 juta ton) (OurWorldInData 2024). Selain itu, negara-negara tersebut juga memiliki pertumbuhan ekonomi yang besar dan melakukan kegiatan industri dan pertanian serta ekspor-impor perdagangan.

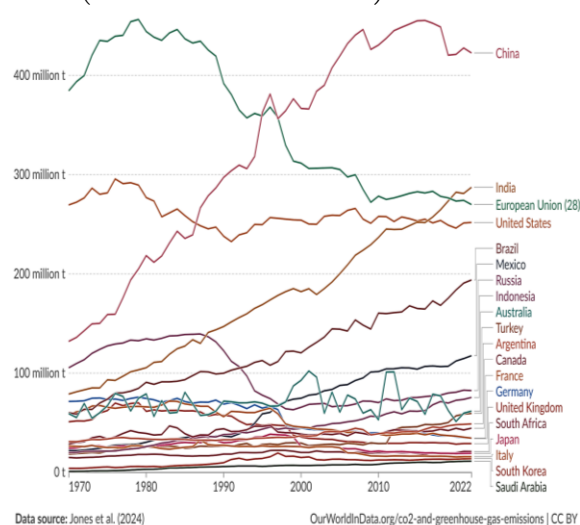
Menurut Neagu (2019) dan Balsalobre-Lorente *et al.* (2023), kompleksitas ekonomi dapat menjadi strategi dalam menurunkan emisi dengan terus meningkatkan pertumbuhan ekonomi di EU dan BRICS menggunakan pendekatan *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Teori EKC dikemukakan oleh Kuznets pada tahun 1955 bahwa kualitas lingkungan akan memburuk pada awal perkembangan ekonomi, tetapi akan membaik setelah melampaui titik balik (*turning point*) tertentu (Huang *et al.* 2021;). Studi terkait komparasi emisi dan transportasi juga dilakukan di Indonesia (Nugroho *et al.* 2017; Qodri dan Widyastutik 2023).

Maka dari itu, peneliti memiliki tujuan untuk membuktikan bagaimana pengaruh kompleksitas ekonomi terhadap emisi N₂O menggunakan pendekatan EKC sekaligus menemukan nilai titik balik yang dapat menurunkan emisi di negara G20.

SITUASI TERKINI

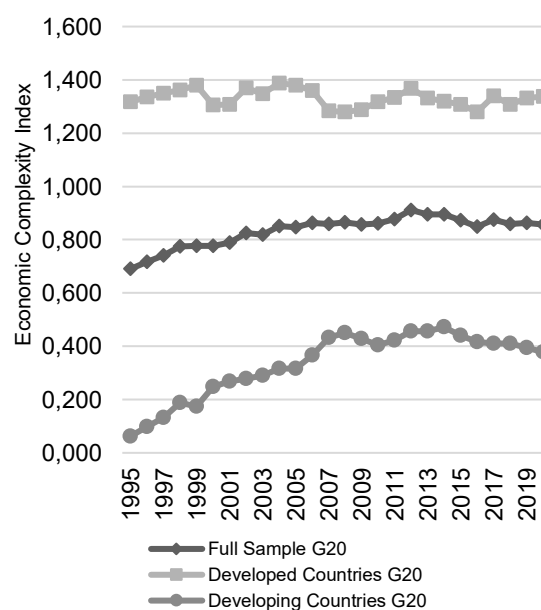
Fenomena pertumbuhan ekonomi yang biasanya diukur melalui Produk Domestik Bruto (PDB) di dunia memiliki tren yang sejalan dengan kenaikan total GRK yang tersusun atas emisi CO₂, CH₄, N₂O, bahkan sejak tahun 1976, suhu dunia mengalami anomali dengan nilai melebihi 0-1 derajat celcius (EDGAR dan UNEP 2023). Berdasarkan Gambar 1, kenaikan GRK salah satunya dikontribusikan oleh gas N₂O dan berasal dari negara-negara G20 dengan tren

yang terus mengalami meningkat sejak 1970-2022 (OurWorldInData 2024).



Gambar 1. Perkembangan Emisi N₂O Tahun 1970-2022

Salah satu indikasi meningkatnya emisi N₂O dikarenakan negara anggota G20 meningkatkan produk kompleks yang berdaya saing namun masih menggunakan energi tak terbarukan. Berdasarkan Gambar 2 dengan pengelompokkan kategori menjadi *full sample* (18 negara), negara maju G20 (Australia, Kanada, Prancis, Jerman, Italia, Jepang, Korea Selatan, Inggris, dan Amerika Serikat), dan negara berkembang G20 (Argentina, Brazil, China, India, Indonesia, Meksiko, Rusia, Afrika Selatan, dan Turki).



Gambar 2. Perkembangan Rata-Rata ECI G20 Tahun 1995-2020 (OEC 2023)

Terlihat bahwa rata-rata kompleksitas untuk negara maju memiliki nilai rata-rata ECI yang lebih tinggi, hal ini juga mengindikasikan semakin tinggi ECI negara maka PDB yang dimiliki juga tinggi. Hal ini karena semakin kompleks produk ekspor akan semakin sulit ditiru/diimitasi oleh negara lain sehingga PDB negara maju akan lebih tinggi dengan berbagai teknologi yang digunakannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dianalisis menggunakan data sekunder yang diperoleh beberapa sumber dengan data yang dikumpulkan berupa data tahunan (*annually time series*) dari 1995-2020. Negara observasi adalah 18 negara anggota G20 serta kemudian dikelompokkan menjadi dua kategori negara yaitu negara berkembang (*developing countries*) dan negara maju (*developed countries*), kemudian data diolah menggunakan *software* Microsoft Excel dan Eviews 12. Rangkuman variabel dan sumber data terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Simbol	Satuan	Sumber	Referensi
Emisi nitrogen dioksida (N ₂ O)	NITRO	Ribu metrik ton (mt)	WDI	Madaleno & Moutinho (2021)
Indeks kompleksitas ekonomi pendekatan perdagangan	ECI	Indeks	OEC	Balsalobre-Lorente <i>et al.</i> (2023a)
Indeks kompleksitas ekonomi pendekatan perdagangan kuadrat	ECI_SQ	Indeks	OEC	Balsalobre-Lorente <i>et al.</i> (2023a)
Total konsumsi energi terbarukan	REW	Quad Btu	EIA	Ye <i>et al.</i> (2023)
<i>Foreign Direct Investment</i>	FDI	Persen	WDI	Saqib dan Dinca (2023)

ANALISIS DAN ALTERNATIF SOLUSI

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ECI terhadap emisi N₂O menggunakan metode FMOLS dan DOLS. Namun, terdapat Uji Pre-Estimasi yang harus dilakukan sebelum menggunakan analisis

Peneliti menggunakan konsep *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dengan model logaritma kuadrat yang digunakan untuk menguji hipotesis EKC antara indeks kompleksitas ekonomi terhadap emisi gas rumah kaca (Grossman dan Krueger 1991; Pata *et al.* 2023) dengan persamaan awal sebagai berikut:

$$E = f(Y, Y^2, Z) \dots\dots\dots (1)$$

Selanjutnya model persamaan (1) dianalisis menggunakan panel *Fully Modified OLS* (FMOLS) and *Dynamic OLS* (DOLS) untuk memperkirakan hubungan antar variabel dalam jangka panjang. Model (1) mereplikasi model penelitian Balsalobre-Lorente *et al.* (2023).

$$LN_NITRO_{it} = \beta_0 + \beta_1 ECI_{it} + \beta_2 ECI_{it}^2 + \beta_3 LN_REW_{it} + \beta_4 FDI_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots (2)$$

Model (2) menggunakan transformasi logaritma natural variabel dilakukan untuk menghindari masalah multikolinearitas serta mendapatkan hasil estimasi yang lebih efisien.

FMOLS dan DOLS, uji tersebut terdiri atas: (i) Uji Matriks Koreasi, (ii) Uji *Cross-Sectional Dependence*, (iii) Uji Stasioneritas, dan (iv) Uji Kointegrasi.

Uji Matriks Korelasi

Pengujian matriks korelasi bertujuan untuk mengidentifikasi multikolinearitas

antar variabel independen dalam penelitian sehingga menghasilkan estimator yang bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*) (Gujarati 2004) (Tabel 2). Hasilnya pada kategori *full sample*, *developed*, dan *developing countries* memiliki nilai <0,8 artinya masalah

multikolinearitas tidak ditemukan. Meskipun demikian, nilai koefisien matriks yang melebihi 0,8 pada variabel ECI dan ECI_SQ tetapi tidak mempengaruhi *goodness of fit* (Balsalobre-Lorente *et al.* 2023).

Tabel 2. Hasil uji matriks korelasi

	LN_NITRO	ECI	ECI_SQ	LN_REW	FDI
LN_NITRO	1				
ECI	-0,199	1			
ECI_SQ	-0,254	0,930	1		
LN_REW	0,479	0,544	0,400	1	
FDI	0,226	-0,064	-0,128	0,069	1

Sumber: EViews 12 (diolah)

Uji *Cross-Sectional Dependence* (CSD)

Pengujian CSD untuk mengidentifikasi gangguan dalam regresi data panel berkorelasi atau bergantung secara *cross-sectional* (Addis dan Cheng 2023) (Tabel 3). Hasilnya bahwa seluruh data penelitian memiliki nilai probabilitas (*p-value*) sebesar

0,000 artinya hipotesis nol ditolak dan mengindikasikan bahwa setiap perubahan yang tidak terduga dalam fenomena sosial, lingkungan, dan ekonomi di salah satu negara G20 akan menyebar ke negara anggota lainnya.

Tabel 3. Hasil uji CSD

LN_NITRO	<i>Full Sample</i>	<i>Developed Countries</i>	<i>Developing Countries</i>
Breusch-Pagan LM	1092,167***	259,609***	153,635***
Pesaran scaled LM	53,689***	26,353***	13,863***
Pesaran CD	2,955***	11,974***	3,642***

Keterangan: ***) signifikan pada taraf nyata 1%

Sumber: Eviews 12 (diolah)

Uji Stasioneritas

Pengujian stasioneritas atau *panel unit root* menjadi syarat wajib yang harus dipenuhi untuk melakukan estimasi FMOLS dan DOLS seperti yang disajikan pada Tabel 4). Menunjukkan hasil bahwa semua variabel dalam penelitian telah stasioner dalam derajat yang sama yaitu *first difference* dengan nilai probabilitas (*p-value*) sebesar 0,000.

Uji Kointegrasi

Pengujian dilakukan setelah semua variabel stasioner atau berintegrasi pada

derajat yang sama. Uji kointegrasi bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan jangka panjang variabel pada model dan menjadi syarat yang wajib dipenuhi agar dapat melakukan analisis FMOLS dan DOLS (Tabel 5). Hasilnya bahwa pada kategori *full sample*, *developed*, dan *developing countries* terbukti melalui uji Pedroni dan uji Kao sehingga dapat disimpulkan terdapat kointegrasi dengan minimal satu variabel penjelas dalam model.

Tabel 4. Hasil uji stasioneritas

<i>Method</i>	<i>Level</i>		<i>First Difference</i>	
	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>	<i>Statistic</i>	<i>p-value</i>
	LN_NITRO		D(LN_NITRO)	
Levin, Lin & Chu	-0,114	0,455	-15,018***	0,000
Im, Pesaran and Shin	1,935	0,974	-15,331***	0,000
ADF – Fisher	30,243	0,739	257,512***	0,000
PP – Fisher	32,209	0,650	318,501***	0,000
	ECI		D(ECI)	
Levin, Lin & Chu	-2,201**	0,014	-16,004***	0,000
Im, Pesaran and Shin	0,500	0,692	-14,997***	0,000
ADF – Fisher	31,087	0,701	252,395***	0,000
PP – Fisher	31,511	0,682	261,306***	0,000
	ECI_SQ		D(ECI_SQ)	
Levin, Lin & Chu	-0,117	0,453	-15,189***	0,000
Im, Pesaran and Shin	-0,149	0,441	-15,307***	0,000
ADF – Fisher	45,180	0,140	259,747***	0,000
PP – Fisher	31,477	0,684	274,299***	0,000
	LN_REW		D(LN_REW)	
Levin, Lin & Chu	0,112	0,545	-19,856***	0,000
Im, Pesaran and Shin	1,668	0,952	-18,614***	0,000
ADF – Fisher	36,039	0,467	311,067***	0,000
PP – Fisher	41,852	0,232	329,714***	0,000
	FDI		D(FDI)	
Levin, Lin & Chu	-5,392***	0,000	-15,226***	0,000
Im, Pesaran and Shin	-8,083***	0,000	-18,921***	0,000
ADF – Fisher	142,161***	0,000	324,678***	0,000
PP – Fisher	132,872***	0,000	336,298***	0,000

Keterangan: *), **), ***) signifikan pada taraf nyata 10%, 5%, 1%
Sumber: Eviews 12 (diolah)

Tabel 5. Hasil Uji Kointegrasi

LN_NITRO	Full Sample	Developed Countries	Developing Countries
Pedroni			
Panel v-Statistic	-1,956 (0,975)	-2,239 (0,987)	-0,117 (0,547)
Panel rho-Statistic	2,430 (0,992)	2,693 (0,996)	0,312 (0,623)

LN_NITRO	<i>Full Sample</i>	<i>Developed Countries</i>	<i>Developing Countries</i>
Pedroni			
Panel PP-Statistic	0,185 (0,573)	0,935 (0,825)	-2,188** (0,014)
Panel ADF-Statistic	-0,388 (0,349)	0,558 (0,712)	-3,330*** (0,000)
Group rho-Statistic	2,085 (0,982)	3,128 (0,999)	0,110 (0,544)
Group PP-Statistic	-2,110** (0,017)	0,926 (0,823)	-3,990*** (0,000)
Group ADF-Statistic	-3,417*** (0,000)	1,040 (0,851)	-5,494*** (0,000)
Kao			
ADF	-1,284* (0,099)	-1,840** (0,033)	-1,516* (0,065)

Keterangan: *), **), ***) signifikan pada taraf nyata 10%, 5%, 1%

Sumber: Eviews 12 (diolah)

Pembahasan Hasil Estimasi FMOLS dan DOLS

Setelah hasil pre-estimasi terpenuhi yaitu semua variabel telah stasioner pada derajat yang sama dan memiliki kointegrasi jangka panjang, maka dapat dilakukan estimasi FMOLS dan DOLS sebagaimana pada Tabel 6. Interpretasi masing-masing variabel dan pengaruhnya disajikan sebagai berikut. Pengaruh ECI dan ECI kuadrat terhadap emisi N₂O (NITRO) kategori *full sample* secara FMOLS dan DOLS untuk koefisien ECI bernilai positif signifikan (0,2610; 0,3422) dengan taraf nyata 1%. Sedangkan, koefisien ECI kuadrat negatif signifikan (-0,0934; -0,1624) dengan taraf nyata 1% dan 5%.

Sejalan dengan temuan pada kategori negara maju (*developed countries*) yang terbukti secara FMOLS dan DOLS. Koefisien ECI bernilai positif signifikan (0,1268; 0,3434) pada taraf nyata 1% dan 5%. Sedangkan, koefisien ECI kuadrat bernilai negatif signifikan (-0,0908; -0,1638) pada taraf nyata 10% dan 5%. Kategori negara berkembang (*developing countries*) terbukti secara FMOLS dengan koefisien ECI bernilai positif (0,0412) dan signifikan pada taraf nyata 10% dengan

koefisien ECI kuadrat bernilai negatif (-0,1275) dan signifikan pada taraf nyata 1%.

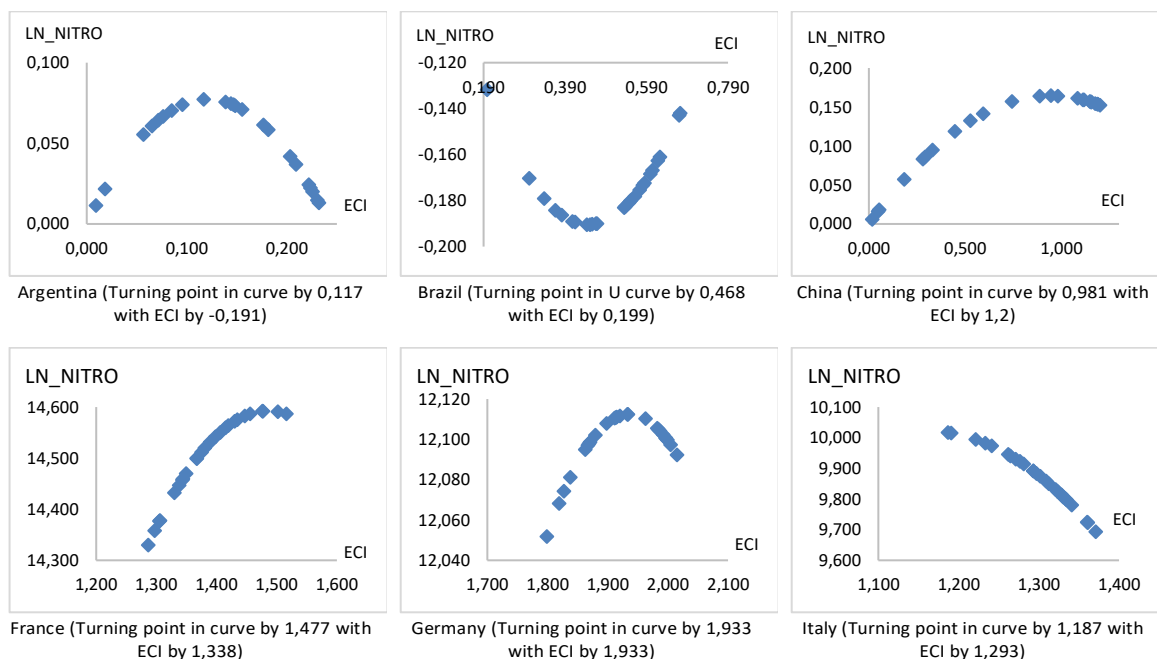
Ketiga hasil pada kategori *full sample*, *developed*, dan *developing countries* secara konsisten menunjukkan bahwa ECI dalam model kuadrat EKC memiliki pengaruh jangka panjang dalam menurunkan emisi N₂O serta terindikasi memiliki kurva U terbalik. Artinya, pengaruh ECI pada tahap awal pembangunan/ekspansi ekonomi akan meningkatkan jumlah emisi, namun setelah melewati titik balik tertentu, ECI akan bergeser pada pola produksi yang menggunakan teknologi tinggi. Temuan ini sesuai dengan Neagu (2019) dan Balsalobre-Lorente *et al.* (2023) ECI berpengaruh menurunkan emisi di EU dan BRICS. Selain itu, sebagaimana Gambar 3 terdapat negara Argentina, China, Jerman, Italia, Jepang, Korea Selatan dengan nilai ECI 2020 telah mencapai nilai titik balik yang ditandai dengan kurva EKC/U terbalik.

Selanjutnya negara Prancis, Amerika Serikat memiliki kurva EKC/U terbalik dengan nilai ECI yang belum mencapai titik balik. Sementara itu, negara Australia, Kanada, India, Indonesia, Rusia, Afrika Selatan tidak ditemukan kurva karena tidak signifikannya ECI terhadap emisi N₂O.

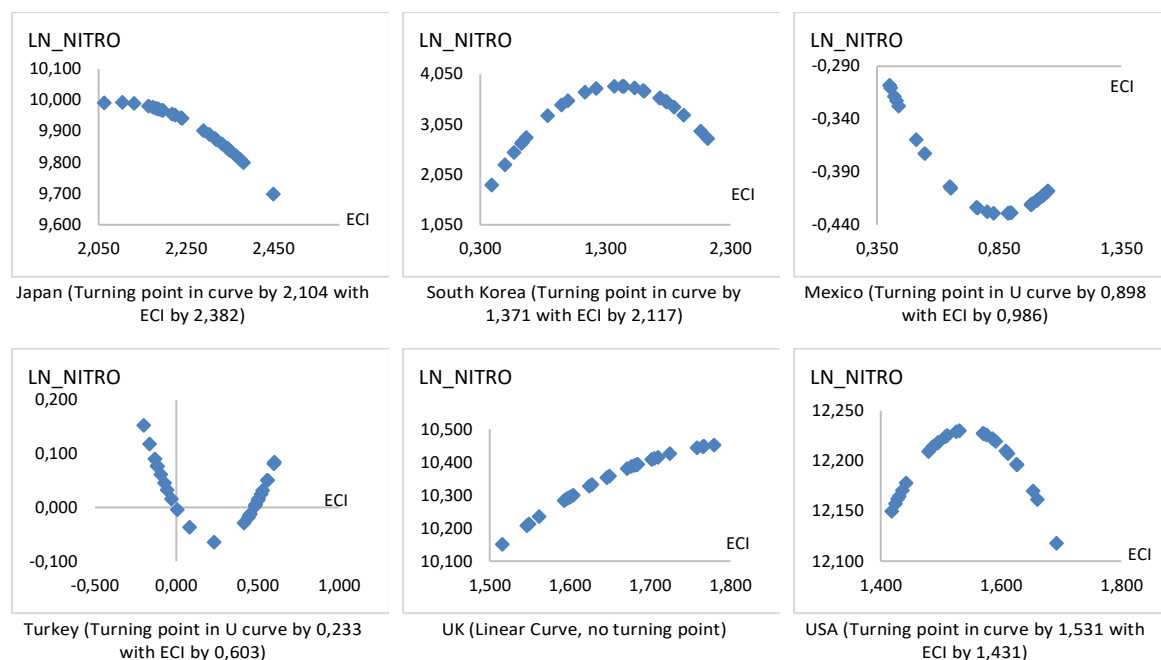
Tabel 6. Hasil estimasi FMOLS dan DOLS

LN_NITRO	Full Sample	Negara Maju	Negara Berkembang
Panel FMOLS			
ECI	0,2610*** (0,0000)	0,1268*** (0,0000)	0,0412* (0,0959)
ECI_SQ	-0,0934*** (0,0006)	-0,0908* (0,0947)	-0,1275*** (0,0000)
LN_REW	-0,1521*** (0,0000)	-0,0892*** (0,0001)	0,2843*** (0,0000)
FDI	-0,0429 (0,1909)	-0,0393 (0,5394)	0,0049 (0,1122)
R-squared	0,9725	0,9529	0,9953
Adjusted R-squared	0,9711	0,9502	0,9951
Panel DOLS			
ECI	0,3422*** (0,0034)	0,3434** (0,0353)	0,0522 (0,3234)
ECI_SQ	-0,1624** (0,0511)	-0,1638** (0,0506)	-0,1358*** (0,0005)
LN_REW	0,0673 (0,1624)	0,0129 (0,8691)	0,2871*** (0,0000)
FDI	0,0056 (0,7483)	0,0028 (0,8588)	0,0213*** (0,0185)
R-squared	0,9918	0,9835	0,9977
Adjusted R-squared	0,9807	0,9604	0,9962

Keterangan: *), **), ***) signifikan pada taraf nyata 10%, 5%, 1%
Sumber: Eviews 12 (diolah)



Gambar 3. Nilai titik balik dan Kurva EKC Negara G20



Gambar 3. Nilai titik balik dan Kurva EKC Negara G20 (lanjutan)

Pengaruh konsumsi energi terbarukan terhadap emisi N₂O (NITRO) kategori *full sample* terbukti secara FMOLS dengan koefisien -0,1521 dan signifikan pada taraf nyata 1%. Kategori negara maju (*developed countries*) terbukti secara FMOLS dengan koefisien -0,0892 dan signifikan pada taraf nyata 1%. Selanjutnya, kategori negara berkembang (*developing countries*) terbukti secara FMOLS dan DOLS dengan koefisien positif yaitu (0,2843; 0,2871) dan signifikan pada taraf nyata 1%.

Ketika pertumbuhan ekonomi suatu negara semakin tinggi maka kesadaran akan pentingnya merestorasi kerusakan lingkungan meningkat. Hal ini membuat pembuat kebijakan mulai memprioritaskan penggunaan sumber energi terbarukan yang menghasilkan lebih sedikit emisi dan menurunkan tingkat degradasi lingkungan (Destek dan Sinha 2020).

Pengaruh FDI terhadap emisi N₂O (NITRO) pada kategori *full sample* dan negara maju (*developed countries*) tidak signifikan. Sedangkan, hasil temuan di negara berkembang (*developing countries*) terbukti secara DOLS dengan koefisien positif signifikan sebesar 0,0213 pada taraf nyata 1%. Hasil ini sejalan dengan temuan Ahmed *et al.* (2022) bahwa FDI di 200 negara dan Asia-Pasifik justru meningkatkan emisi karena

investor asing cenderung menanamkan modal kepada sektor produksi dengan teknologi rendah.

Berdasarkan hasil analisis, maka implikasi kebijakan antara lain:

1. mengupayakan peningkatan ekspor produk kompleks sehingga emisi dapat mengalami penurunan dengan syarat produksi berbasis energi ramah lingkungan;
2. mengimplementasikan program *Green Development Pact G20* mengenai *Lifestyles for Sustainable Development (LiFE)* dalam rangka menciptakan pola produksi dan konsumsi berkelanjutan, serta meningkatkan permintaan terhadap produk kompleks ramah lingkungan;
3. mendorong perluasan implementasi energi terbarukan melalui kerja sama *Research and Development 20 (RD20)* dalam upaya percepatan produksi, pemanfaatan, serta pengembangan inovasi teknologi rendah emisi seperti teknologi hidrogen dan amonia hijau.

DAFTAR PUSTAKA

Addis AK, Cheng S. 2023. The nexus between renewable energy, environmental pollution, and economic growth across BRICS and OECD countries: A comparative

- empirical study. *Energy Reports*. 10: 3800-3813. doi: 10.1016/j.egyr.2023.10.038.
- Ahmed F, Ali I, Kousar S, Ahmed S. 2022. The environmental impact of industrialization and foreign direct investment: Empirical evidence from Asia-Pacific region. *Environmental Science and Pollution Research International*. 29(20): 29778–29792. doi: 10.1007/s11356-021-17560-w.
- Al Qodri MI, Widyastutik. 2023. Emisi Energi dan Kebijakan Kendaraan listrik: Studi komparasi antara China dan Indonesia. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*. 10(3): 133-144. doi: 10.29244/jkebijakan.v10i3.48350.
- Aulia R, Kaswanto RL, Arifin HS, Mosyafitiani A, Syasita N, Wahyu A, Wiyoga H. 2023. Assessing the benefits and management of urban forest in supporting low carbon city in Jakarta, Indonesia. *Biodiversitas*. 24: 6151-6159. doi: 10.13057/biodiv/d241136.
- Balsalobre-Lorente D, Parente CCS, Leitao NC, Cantos-Cantos JM. 2023. The influence of economic complexity processes and renewable energy on CO2 emissions of BRICS. What about industry 4.0?. *Resources Policy*. 82. doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103547.
- Destek MA, Sinha A. 2020. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint. *Journal of Cleaner Production*. 242. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118537.
- [EDGAR] Emissions Database for Global Atmospheric Research. 2023. GHG emissions of all world countries. [internet]. [diakses Desember 2023]. Tersedia pada: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2023.
- Grossman GM, Krueger AB. 1991. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. In NBER Working Papers (No. 3914; NBER Working Papers). National Bureau of Economic Research, Inc. <https://www.nber.org/papers/w3914>.
- Gujarati DN. 2004. *Basic Econometrics*. (4th ed). New York (US): The McGraw-Hill Inc.
- Hausmann R, Hidalgo CA, Bustos S, Coscia M, Simoes A, Yildirim MA. 2013. *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. USA: MIT Press.
- Hidayat A, Nuva N, Syafitri SD. 2017. Estimasi nilai pajak emisi dan kebijakan kendaraan umum berbahan bakar bensin di Kota Bogor. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan*, 3(1), 1-10.
- Hoeriyah L, Nuryartono N, Pasaribu S. 2022. Economic complexity and sustainable growth in developing countries. *Economics Development Analysis Journal*. 11(1): 23-33. doi: 10.15294/edaj.v11i1.47294.
- Huang J, Li X, Wang Y, Lei H. 2021. The effect of energy patents on China's carbon emissions: Evidence from the STIRPAT model. *Technological Forecasting and Social Change*. 173. doi: 10.1016/j.techfore.2021.121110.
- Nababan R. 2013. Memahami Economic Complexity Index (ECI) Bagian I ECI sebagai indeks pembangunan ekonomi berbasis produk. *Jurnal Administrasi Bisnis*. 9(2): 159–169. doi: 10.26593/jab.v9i2.1212.%25p.
- Nakano R, Zusman E, Nugroho SB, Kaswanto RL, Arifin HS, Arifin N, Munandar A, Muchtar M. 2018. Governing a low carbon transition in Bogor's transport and residential sectors: Tests and applications of a theory of planned behavior.
- Neagu O. 2019. The link between economic complexity and carbon emissions in the European Union countries: a model based on the Environmental Kuznets Curve (EKC) approach. *Sustainability*. 11(17). doi: 10.3390/su11174753.

- Nugroho SB, Zusman E., Nakano R, Takahashi K, Kaswanto RL, Arifin HS, Fujita T. 2017. Exploring Influential Factors on Transition Process of Vehicle Ownership in Developing Asian City, A Case Study in Bogor City Indonesia. In 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) (pp. 674-679).
- [OEC] Observatory of Economic Complexity. 2023. Economic Complexity Index Country Rankings. [internet]. [diakses Desember 2023]. Tersedia pada: <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96?tab=ranking>.
- OurWorldInData. 2024. Annual nitrous oxide emissions. [internet]. [diakses Desember 2023].
- Pata UK, Kartal MT, Erdogan S, Sarkodie SA. 2023. The role of renewable and nuclear energy R&D expenditures and income on environmental quality in Germany: Scrutinizing the EKC and LCC hypotheses with smooth structural changes. *Applied Energy*. 342. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121138.
- Yufuai MC, Nurrochmat DR, Suyanto S. 2021. Evaluasi rencana aksi mitigasi dengan pendekatan ekonomi hijau di Kabupaten Jayapura. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan Rumusan Kajian Strategis Bidang Pertanian dan Lingkungan* 8(1): 23-37. doi: 10.29244/jkebijakan.v8i1.31963.
- [UNEP] UN Environment Programme. 2023. Global Temperature Change. [internet]. [diakses Desember 2023]. Tersedia pada: <https://data.unep.org/climate/essential-climate-variables-ecv/global-temperature-change>.