

**APLIKASI *ERROR CORRECTION MECHANISM* DALAM ANALISIS DAMPAK
PERTUMBUHAN EKONOMI, KONSUMSI ENERGI DAN PERDAGANGAN
INTERNASIONAL TERHADAP EMISI CO₂ DI INDONESIA**

Fitri Kartiasih¹, Adi Setiawan²

¹ Politeknik Statistika STIS

² BPS Provinsi DKI Jakarta

e-mail: fkartiasih@stis.ac.id

DOI: 10.14710/medstat.13.1.104-115

Article Info:

Received: 31 March 2019

Accepted: 25 June 2020

Available Online: 26 June 2020

Keywords:

CO₂ Emissions, ECM,
Energy Consumption,
Environment Kuznets Curve,
Trade

Abstract: Economic development is an effort to improve people's lives. However, economic development has negative externalities. Emissions generated from economic activities can pollute the environment. This study purpose to determine the relationship between economic growth and CO₂ emissions based on the Environment Kuznets Curve (EKC) hypothesis and analyze the influence of energy use, economic growth and international trade on CO₂ emissions in Indonesia in the period 1977-2014 using Error Correction Mechanism (ECM) analysis. The results showed that the EKC hypothesis does not apply in Indonesia, meaning that economic development carried out during the research period still pursues increased income without regard to environmental quality so that increased per capita income is accompanied by increase in CO₂ emissions. Based on econometric analysis of ECM, it shows that the variables of energy use, economic growth and international trade have a statistically significant effect on CO₂ emissions in Indonesia in the long run. In the short term, economic growth, and error correction terms have a statistically significant effect while the variables of energy consumption and international trade do not have a statistical effect on CO₂ emissions in Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan ekonomi diekpektasikan dapat memperbaiki kualitas hidup masyarakat. Namun proses pembangunan memiliki dampak sampingan atau eksternalitas. Eksternalitas yang ditimbulkan ada dua macam, yaitu eksternalitas positif dan negatif. Eksternalitas positif berupa meningkatnya kesejahteraan hidup, membaiknya tingkat kesehatan, pendidikan dan lain-lain. Eksternalitas negatif berupa menurunnya kualitas atau degradasi lingkungan.

Permasalahan mengenai lingkungan terutama terkait pemanasan global dan perubahan iklim telah menjadi perhatian seluruh dunia dalam dua dekade terakhir. Dampak pemanasan global terhadap ekonomi dunia telah dinilai secara intensif oleh para peneliti sejak tahun 1990-an (Antonakakis *et al.*, 2017 dan Halicioglu, 2009). Menurut World Bank (2010) pemanasan global dan perubahan iklim sebesar 58,8 persen disebabkan oleh emisi CO₂. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) pada tahun 1995 untuk pertama kalinya mengemukakan adanya bukti keterlibatan pengaruh manusia pada iklim global (IPCC, 1995) Pemanasan global disebabkan oleh semakin meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK), serta aktivitas antropogenik lainnya. Faktor krusial yang menjadi sebab naiknya emisi GRK ialah aktivitas ekonomi dan penggunaan energi (IPCC, 2014). Jika dilihat secara historis, negara-negara maju bertanggung jawab atas sebagian besar emisi di dunia, tetapi dalam beberapa tahun terakhir emisi di negara-negara berkembang justru jauh lebih tinggi (IEA, 2014).

Pertumbuhan ekonomi yang dikaitkan dengan polusi lingkungan maupun pengaruh pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi telah dilakukan secara empiris dan intensif lebih dari dua dekade. Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan polusi lingkungan dikenal dengan hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC). Salah satu elemen yang penting dalam pertumbuhan ekonomi adalah konsumsi energi. Kartiasih, Syaikat, & Anggraeni (2012) menyatakan bahwa intensitas energi di Indonesia makin meningkat dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Intensitas energi Indonesia pada tahun 2010 sebesar 0,36 ribu BOE/miliar rupiah, artinya untuk menciptakan output atau Produk Domestik Bruto (PDB) 1 miliar rupiah dibutuhkan energi sebesar 0,36 ribu BOE (*barrel of oil equivalent*) atau diperlukan *cost of energy* sebesar 53 juta rupiah.

Studi mengenai hubungan dinamis antara emisi CO₂, pertumbuhan ekonomi, perdagangan internasional serta penggunaan energi di Indonesia masih sangat sedikit. Shahbaz *et al.* (2013) meneliti relasi dinamis antara pertumbuhan ekonomi, pemakaian energi, pengembangan keuangan, keterbukaan perdagangan dan emisi CO₂ di Indonesia selama periode 1975Q1-2011Q4. Studi ini mengaplikasikan uji *autoregressive-distributed lag* (ARDL) *bounds* untuk menguji integrasi antar variabel dan *vector error correction model* (VECM) untuk menguji arah hubungan kausal antar variabel.

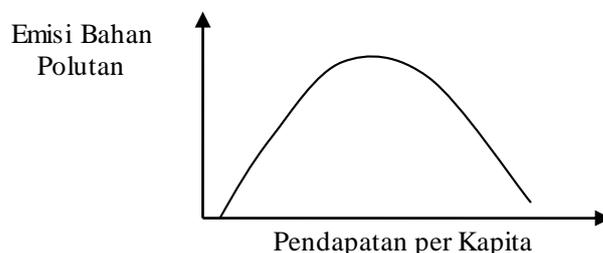
Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi relasi antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ berdasarkan hipotesis *Environment Kuznets Curve* (EKC) serta menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, penggunaan energi, dan perdagangan internasional terhadap emisi CO₂ di Indonesia periode 1977-2014. Berbeda dengan studi-studi sebelumnya, penelitian ini juga menguji apakah hipotesis EKC berlaku di Indonesia atau tidak, serta menerapkan analisis ekonometrik *Error Correction Mechanism* (ECM) untuk menyelidiki hubungan kausal antara emisi CO₂, pertumbuhan ekonomi, perdagangan internasional dan konsumsi energi di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Relasi pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan telah menjadi sumber kontroversi dalam waktu yang cukup lama. Pada awal 1990-an Grossman & Krueger (1995) mengungkapkan adanya hubungan nonlinear antara pertumbuhan ekonomi dan degenerasi/degradasi lingkungan. Mereka juga berpendapat bahwa hubungan berbentuk U terbalik antara pendapatan per kapita dan ketimpangan pendapatan yang ditunjukkan dalam Kuznets (1955) juga berlaku di pendapatan per kapita dan degenerasi lingkungan. Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degenerasi lingkungan dapat disajikan melalui

kurva berbentuk lonceng, yang dikenal sebagai Environmental Kuznets Curve (EKC). Hipotesis EKC menjelaskan bahwa degenerasi lingkungan naik pada tahap pertama dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan kemudian berubah menjadi menurun pada tahap terakhir setelah mencapai pada tingkat ambang batas (*threshold*) tertentu. Artinya, hipotesis EKC menunjukkan pertumbuhan ekonomi membawa kesejahteraan bagi lingkungan dalam jangka panjang (Alam *et al.*, 2016 dan Mason & Swanson, 2003).

Hipotesis EKC ini telah diuji di beberapa negara dan studi lintas negara baru-baru ini mempertimbangkan penerapan kebijakan untuk memecahkan masalah degenerasi lingkungan, menjaga pertumbuhan ekonomi berkelanjutan (Dinda, 2004). Tetapi bukti empiris dari hubungan degenerasi lingkungan dan pertumbuhan tidak mencapai konsensus konklusif. Satu kelompok studi (Narayan & Narayan, 2010; Saboori *et al.*, 2012; Sephton & Mann, 2013) menemukan hubungan nonlinear berbentuk U terbalik di jangka panjang dan jangka pendek antara emisi CO₂ dan pertumbuhan ekonomi dan mendukung hipotesis EKC. Tetapi studi lain (Nasir & Rehman, 2011; Shahbaz, Lean, & Shabbir, 2012) menemukan hipotesis EKC terbukti dalam jangka panjang, dan bukan dalam jangka pendek. Di sisi lain, beberapa studi (Arouri *et al.*, 2012; Esteve & Tamarit, 2012) menemukan bahwa hubungan antara emisi CO₂ dan pertumbuhan ekonomi adalah linier.



Sumber: Andreoni dan Levinson, 2001

Gambar 1 *Environment Kuznets Curve*

Lapinskienė *et al.* (2013) menyatakan bahwa hipotesis EKC menunjukkan hubungan berbagai macam indikator kerusakan lingkungan (polutan udara seperti CO₂, SO₂, polutan air, limbah, dan sebagainya) dan pembangunan ekonomi yang bisa dijelaskan oleh pendapatan per kapita atau PDB. Stern (2004) menjelaskan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, kerusakan lingkungan dan polusi akan meningkat. Kemudian setelah mencapai tingkat pendapatan per kapita tertentu tren kerusakan lingkungan dan polusi akan menurun, sehingga pembangunan ekonomi justru akan diikuti oleh perbaikan lingkungan. Hubungan antara kerusakan lingkungan hidup dengan pertumbuhan ekonomi sering disebut dengan hipotesis *Environment Kuznets Curve* yang berbentuk seperti huruf U yang terbalik.

Penelitian yang dilakukan oleh Tiwari (2011) serta Ozturk & Uddin (2012) menggunakan pendekatan VAR/VECM untuk mengetahui relasi antara emisi CO₂, penggunaan energi, pertumbuhan ekonomi serta menguji validitas dari hipotesis EKC. Beberapa penelitian mengenai relasi antara emisi karbondioksida, penggunaan energi dan pertumbuhan ekonomi juga diteliti oleh Dogan & Turkecul (2016); Jayanthakumaran *et al.* (2012); Kasman & Selman (2015); Kohler (2013); Kwakwa & Adu (2015).

Halicioğlu (2009) meneliti hubungan antara emisi CO₂, pemakaian energi, PDB, dan perdagangan internasional di Turki periode 1960-2005 dan menerapkan metode autoregressive distributed lag (ARDL). Hasil penelitiannya mengkonfirmasi bahwa variabel yang paling signifikan menjelaskan emisi karbon di Turki adalah pendapatan (PDB) kemudian diikuti oleh konsumsi energi. Jalil & Mahmud (2009) menemukan

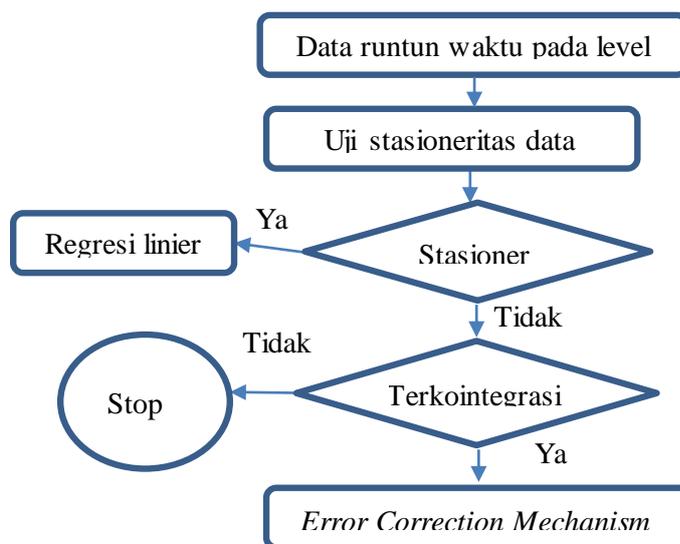
adanya relasi satu arah pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ di China. Hasil penelitiannya juga mengindikasikan bahwa emisi karbon terutama dipengaruhi oleh PDB dan konsumsi energi dalam jangka panjang. Iwata, Okada, & Samreth (2010) membuktikan bahwa hipotesis EKC berlaku di Perancis. Pemakaian energi memiliki efek positif dan signifikan terhadap emisi CO₂.

Studi Halicioğlu (2009) diperkuat oleh Jayanthakumaran *et al.* (2012) untuk kasus di Cina dan India dengan menggunakan metode ARDL dengan data untuk tahun 1971–2007. Selain itu Farhani, Chaibi, & Rault (2014) menyelidiki relasi antara emisi CO₂, penggunaan energi, perdagangan dan PDB untuk Tunisia dengan pendekatan ARDL dan kausalitas Granger dengan panel vector error correction model (VECM) tahun 1971-2008. Penggunaan energi, pertumbuhan ekonomi dan perdagangan internasional berhubungan positif dengan emisi CO₂ di jangka panjang. Hipotesis EKC juga valid dalam jangka panjang.

Yang *et al.* (2012) meneliti hubungan antara emisi karbon, PDB riil dan konsumsi energi di Shanghai tahun 1978-2010. Data yang dipakai stasioner di *first difference* dan terkointegrasi sehingga metode yang sesuai untuk diterapkan adalah VECM. Pada jangka panjang emisi karbon berhubungan positif dengan konsumsi energi, sebaliknya memiliki hubungan negatif dengan PDB riil. Artinya pertumbuhan ekonomi yang terjadi diiringi oleh penurunan emisi karbon. Hal ini mengkonfirmasi keberadaan hipotesis EKC.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan analisis ekonometrika untuk mengetahui efek dari penggunaan energi, perdagangan internasional serta pertumbuhan ekonomi, terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum estimasi model ekonometrik dengan data runtun waktu (*time series*) diterapkan (Gambar 2).



Gambar 2 Tahapan Analisis Data Runtun Waktu yang Diterapkan dalam Penelitian

Model ekonometrik yang dipakai berdasarkan hasil uji stasioneritas setiap variabel. Model ECM (*Error Correction Mechanism*) diaplikasikan karena mampu mengoreksi disequilibrium jangka pendek menuju ke ekuilibrium jangka panjang. ECM juga dimanfaatkan/dipakai jika minimal salah satu variabel dalam suatu persamaan tidak

stasioner di level. Kelebihan lain dari ECM yaitu mampu mengakomodasi relasi jangka pendek dan jangka panjang dari setiap variabel yang dianalisis. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa model regresi linear dapat diterapkan jika setiap variabel stasioner di level. Model ECM dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta X_t + \alpha_2 ECT_t + e_t \quad (1)$$

dengan Δ : delta, $ECT_t = \hat{e}_{t-1} = (Y_{t-1} - \hat{Y}_{t-1}) = \text{lag } 1$ periode dari nilai residual yang merupakan kesalahan keseimbangan (*error correction component*) dari periode waktu sebelumnya (t-1). e_t : adalah *error* yang memenuhi asumsi klasik.

Penelitian ini mengacu pada Halicioglu (2009) serta Kwakwa & Adu (2015) dimana pengaruh penggunaan energi, perdagangan internasional, serta pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂ di Indonesia dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\ln CO_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_t + \alpha_2 \ln EC_t + \alpha_3 \ln FT_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

dengan t adalah waktu, α_0 adalah konstanta, CO adalah emisi CO₂ per kapita (dalam metrik ton), Y adalah PDB per kapita (PDB konstan 2005 dalam US dollar), EC adalah penggunaan energi per kapita (dalam *kg of oil equivalent*), FT adalah perdagangan internasional yang diproksi dengan rasio keterbukaan perdagangan yaitu nilai impor riil ditambah nilai ekspor riil dibagi dengan PDB riil dan ε_t adalah *error term*. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data tahunan dari tahun 1977-2014 didapatkan dari *World Development Indicators* (WDI) Bank Dunia.

Paramater α_1 , α_2 dan α_3 berturut-turut adalah elastisitas jangka panjang emisi CO₂ terhadap PDB riil per kapita, konsumsi energi dan perdagangan internasional. Berdasarkan hipotesis EKC, α_1 dihipotesiskan bertanda positif dan α_2 dihipotesiskan bertanda positif, dikarenakan penggunaan energi yang meningkat menyebabkan kegiatan perekonomian makin tumbuh sehingga semakin besar pula emisi CO₂ yang terjadi. Sedangkan α_3 tergantung dari tingkat pembangunan ekonomi suatu negara. Jika suatu negara termasuk negara maju, maka α_3 dihipotesiskan bertanda negatif, karena mereka berhenti memproduksi barang-barang yang padat polusi dan mulai memasukkan barang-barang tersebut dari negara-negara lain (impor) dengan undang-undang perlindungan lingkungannya kurang ketat. Sebaliknya α_3 dihipotesiskan bertanda positif untuk kasus negara berkembang karena negara berkembang cenderung memiliki industri yang “kotor” dengan polutan yang berat (Grossman & Krueger, 1995).

Sering dijumpai variabel yang terdapat pada analisis deret waktu tidak stasioner dimana antar variabel bergerak pada arah yang sama atau mungkin juga berlawanan yang tidak dilandasi oleh suatu teori. Hubungan yang seperti ini menimbulkan hubungan semu (*spurious regression*). Hubungan yang semu pada akhirnya bisa mengarah ke hubungan jangka panjang yang stabil dengan catatan variabel-variabel tersebut terkointegrasi. Untuk mengecek apakah X dan Y terkointegrasi atau memiliki hubungan jangka panjang yang stabil, maka perlu dilakukan uji kointegrasi dengan cara menguji residual dari persamaan (1). Hipotesis dari uji residual tersebut dapat ditulis:

H_0 : ε_t mengandung *unit root* (tidak stasioner)

H_1 : ε_t tidak mengandung *unit root* (stasioner)

atau dengan kata lain:

H_0 : X dan Y tidak terkointegrasi

H_1 : X dan Y terkointegrasi

Misalkan variabel X dan Y masing-masing tidak stasioner pada suatu level, namun terdapat terkointegrasi diantara keduanya, maka *Error Correction Mechanism* (ECM)

merupakan model yang paling sesuai untuk diterapkan. Dengan mengaplikasikan ECM, relasi antar variabel dapat diakomodasi baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Di jangka pendek biasanya variabel memiliki deviasi dari ekuilibriumnya, akan tetapi kemudian akan kembali ke ekuilibrium pada jangka panjang.

Berdasarkan persamaan (2), dengan memasukkan ketiga variabel yang diaplikasikan pada studi ini maka persamaan jangka pendek ECM dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta \ln CO_t = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta \ln Y_t + \alpha_2 \Delta \ln EC_t + \alpha_3 \Delta \ln FT_t + \alpha_4 ECT_{t-1} + u_t \quad (3)$$

dengan Δ merupakan *first difference*; *ECT* merupakan *error correction terms* ($-1 < ECT < 0$). *Error correction term* menunjukkan seberapa cepat penyesuaian pada jangka pendek (karena adanya deviasi) menuju ke ekuilibrium jangka panjang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal ketika melakukan analisis data runtun waktu yaitu dengan melakukan uji pra-estimasi. Uji ini terdiri dari uji akar unit serta uji kointegrasi. Uji ini sangat diperlukan dan penting sebab sebagian besar data yang dimanfaatkan dalam model runtun waktu seringkali memiliki atau mengandung akar unit yang pada akhirnya menyebabkan hasil estimasi bersifat *spurious* (semu) dan hasilnya invalid (Gujarati, 2006).

3.1. Uji Stasioneritas

Uji stasioneritas dalam penelitian ini menggunakan dua jenis uji yaitu uji Augmented-Dickey-Fuller (ADF) dan uji Phillips-Perron (PP) dimana derajat kepercayaan yang dipakai adalah 95% atau dengan kata lain memiliki taraf nyata (α 5 %). Jika t-ADF kurang dari nilai kritis MacKinnon, dapat dikatakan bahwa data yang diterapkan di model ini sudah memenuhi stasioneritas (tidak mengandung akar unit). Akar unit ini diujikan baik di *level* maupun *first difference*.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa seluruh variabel tidak stasioner di *level* namun stasioner di *first difference* atau bisa dikatakan seluruh variabel terintegrasi di ordo 1 atau I(1) baik menggunakan uji unit root ADF maupun PP. Kedua uji ADF maupun PP memiliki hipotesis nul variabel mempunyai *unit root* (tidak stasioner) dengan hipotesis alternatifnya variabel tidak mempunyai *unit root* (stasioner). Dengan demikian dapat dikatakan *necessary condition* untuk terjadinya hubungan regresi yang terkointegrasi terpenuhi.

3.2. Uji Kointegrasi

Untuk memastikan apakah syarat cukup (*necessary condition*) bagi regresi terkointegrasi terpenuhi, maka langkah berikutnya menguji residual dari persamaan (2) atau ε_t harus stasioner dengan menggunakan uji ADF dan PP.

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa residual persamaan regresi (2) stasioner pada α 1 %. Hal ini menyiratkan jika keempat variabel yang terdapat dalam model terkointegrasi, artinya terdapat relasi jangka panjang antara emisi CO₂, penggunaan energi, perdagangan internasional, serta pertumbuhan ekonomi.

Tabel 1 Ringkasan Hasil Uji Stasioneritas

Variabel	Augmented Dickey-Fuller (ADF)		Phillips-Perron (PP)	
	Intersep	Intersep dan Tren	Intersep	Intersep dan

	Tren			
<i>Level</i>				
ln CO ₂	-0.57048	-2.94323	-0.30216	-2.93967
ln Y	-1.24095	-1.98194	-1.18317	-1.86083
ln EC	-0.81392	-1.46953	-0.82049	-1.49371
ln FT	-2.77695	-2.68482	-2.71850	-2.52280
<i>First Difference</i>				
ln CO ₂	-6.19848**	-6.12569**	-6.74010**	-6.83897**
ln Y	-4.23455**	-4.19062**	-4.23455**	-4.20594**
ln EC	-5.75669**	-5.68671**	-5.75674**	-5.68851**
ln FT	-7.72850**	-7.88498**	-7.86816**	-7.88498**

Sumber: WDI (diolah)

Keterangan: ** signifikan secara statistik dengan taraf nyata ($\alpha = 5\%$)

Tabel 2 Hasil Uji Residual

	Augmented Dickey-Fuller	Phillips-Perron
t-Statistic	-4.278126	-4.275251
Probability*	0.0020***	0.0020***
Nilai kritis 1 %	-3.646342***	-3.646340***
Nilai kritis 5 %	-2.954021**	-2.954027**
Nilai kritis 10 %	-2.615817	-2.615826

Sumber: diolah

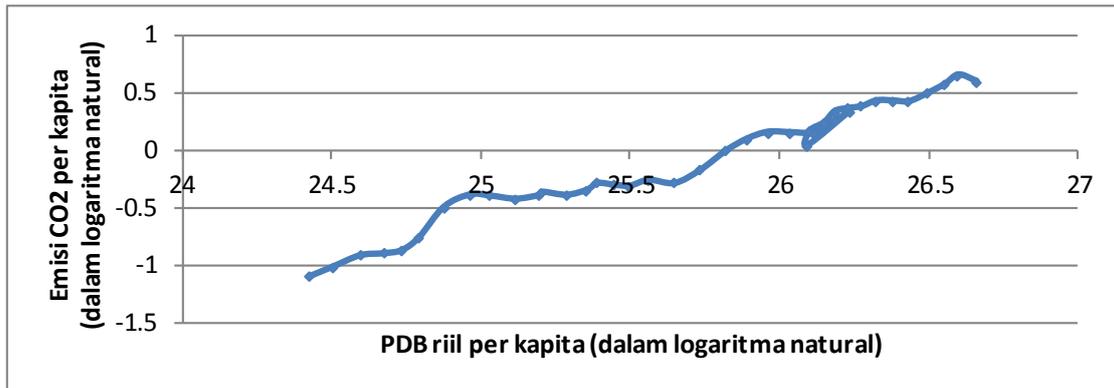
Keterangan: *MacKinnon (1996) one-sided p-values, **signifikan pada $\alpha = 5\%$,

*** signifikan pada $\alpha = 1\%$

3.3. Hubungan Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi CO₂ di Indonesia

Untuk melihat apakah relasi antara pertumbuhan ekonomi dengan emisi CO₂ di Indonesia sesuai dengan Hipotesis Kurva U-Terbalik Kuznets (EKC), maka dilakukan plot terhadap data-data tersebut. Sumbu vertikal (sumbu Y) adalah emisi CO₂ per kapita (dalam logaritma natural) dan PDB riil per kapita (dalam logaritma natural) sebagai sumbu horizontal (sumbu X).

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa kurva hubungan antara PDB riil per kapita dengan emisi CO₂ per kapita di Indonesia pada tahun 1977-2014 menunjukkan tren naik. Kurva yang terbentuk hampir menyerupai huruf U terbalik, namun bentuknya masih setengah (belum sempurna). Hal ini berarti jika PDB per kapita makin besar akan diiringi emisi CO₂ yang besar pula, kemudian dapat disimpulkan bahwa hipotesis EKC tidak berlaku di Indonesia selama periode tersebut. Tidak berlakunya hipotesis EKC juga menyiratkan bahwa peningkatan PDB per kapita yang terjadi tidak dibarengi dengan penurunan emisi CO₂. Hal ini mencerminkan pembangunan ekonomi yang dilaksanakan di Indonesia selama periode penelitian bukan merupakan pembangunan yang ramah lingkungan. Pembangunan ekonomi yang terjadi belum memperhatikan atau peduli terhadap kualitas lingkungan.



Sumber: WDI (diolah)

Gambar 3 Kurva Hubungan antara PDB Riil per Kapita dengan Emisi CO₂ per Kapita di Indonesia Tahun 1977-2014

3.4. Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Konsumsi Energi dan Perdagangan Internasional terhadap Emisi CO₂ di Indonesia

Hasil estimasi yang diperoleh, hubungan antara pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi dan perdagangan internasional terhadap emisi CO₂ pada persamaan regresi terkointegrasi ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Estimasi Regresi Kointegrasi (Jangka Panjang)

Variabel	Koefisien	Standar Error	t-Statistic	Prob
Konstanta	-7.054117***	0.262606	-26.86202	0.0000
Pertumbuhan ekonomi	0.440670**	0.181324	2.430288	0.0213
Konsumsi energi	0.662486***	0.210083	3.153443	0.0037
Perdagangan	0.218099**	0.084376	2.584838	0.0149
R-squared	0.967856			
Adjusted R-squared	0.964642			
F-statistic	301.1036			
Prob (F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah

Keterangan: **signifikan pada $\alpha = 5\%$, *** signifikan pada $\alpha = 1\%$

Berdasarkan Tabel 3 didapat persamaan regresi terkointegrasi seperti berikut:

$$\ln \widehat{CO}_t = -7,0541 + 0,4407 \ln Y_t + 0,6625 \ln EC_t + 0,2181 \ln FT_t \quad (4)$$

Persamaan regresi di atas merupakan persamaan regresi kointegrasi. Persamaan regresi kointegrasi merupakan persamaan dengan variabel *independent* dan *dependent* mempunyai hubungan dalam jangka panjang. Syarat dari persamaan kointegrasi adalah residual model jangka panjang harus stasioner atau dengan kata lain residualnya bersifat *white noise*. Pada persamaan ini syarat tersebut telah terpenuhi. Nilai peluang F-Stat dari uji *overall F-test* yang berada pada angka 0,000 mempunyai arti bahwa dengan tingkat signifikansi $\alpha=5\%$, variabel pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi dan perdagangan internasional secara bersama-sama memengaruhi emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang. Berdasarkan persamaan 4, variabel pertumbuhan ekonomi (t=2,43), konsumsi energi (t=3,15), dan perdagangan internasional (t=2,58) secara parsial memiliki dampak

positif terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang. Sedangkan hasil estimasi ECM atau persamaan regresi jangka pendek yang didapat adalah:

Tabel 4. Hasil Estimasi ECM (Jangka Pendek)

Variabel	Koefisien	Standar Error	t-Statistic	Prob
Konstanta	-0.017774	0.012357	-1.438319	0.1614
Pertumbuhan ekonomi	1.214432***	0.243558	4.986209	0.0000
Konsumsi energi	0.210365	0.251797	0.835454	0.4105
Perdagangan	-0.073451	0.087561	-0.838854	0.4087
ECT (-1)	-0.551509***	0.151106	-3.649825	0.0011
R-squared	0.659979			
Adjusted R-squared	0.611404			
F-statistic	13.58695			
Prob (F-statistic)	0.000003			

Sumber: diolah

Keterangan: *** signifikan pada $\alpha = 1\%$

Berdasarkan Tabel 4 didapat persamaan regresi jangka pendek sebagai berikut:

$$\Delta \ln \widehat{CO}_t = -0,0178 + 1,2144 \Delta \ln Y_t + 0,2104 \Delta \ln EC_t - 0,0734 \Delta \ln FT_t - 0,5515 ECT_{t-1} \quad (5)$$

Berdasarkan Tabel 4 juga terlihat bahwa koefisien *Error Correction Term (ECT)* bertanda negatif dan signifikan secara statistik. Dapat diartikan bahwa spesifikasi model ECM yang diterapkan dalam studi ini sudah valid. Nilai ECT yang negatif berfungsi untuk mengoreksi penyimpangan yang ada sehingga terjadi ekulibrium dalam jangka panjang. Pada saat nilai ECT positif, maka arah pergerakan semakin menjauh dari ekulibrium jangka panjang sehingga model yang digunakan akan *spurious*. Koefisien nilai ECT merupakan *speed of adjustment* yang berarti kecepatan disequilibrium yang terjadi di periode sebelumnya dapat dikoreksi pada periode saat ini. Pada model jangka pendek di atas, nilai *speed of adjustment* sebesar 0,5515. Nilai ini menunjukkan bahwa dengan tingkat signifikansi $\alpha=1\%$, fluktuasi ekulibrium jangka pendek akan dikoreksi mengarah ke ekulibrium jangka panjang, yaitu sebesar 55,11% proses penyesuaiannya berlangsung pada tahun pertama dan 44,89% proses penyesuaiannya berlangsung pada tahun-tahun berikutnya.

Berdasarkan persamaan yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa variabel-variabel pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, perdagangan internasional, dan *error correction term* mampu menjelaskan 61,14% variasi emisi CO₂ di Indonesia sementara sisanya dijelaskan oleh variabel lain. Hal ini berdasarkan nilai *adjusted R-squared* sebesar 0,6114. Berdasarkan *overall F-test*, pada tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$, variabel-variabel penggunaan energi, pertumbuhan ekonomi, perdagangan internasional, dan *error correction term* secara bersama-sama mempengaruhi emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka pendek. Hal tersebut diperkuat dengan bukti nilai peluang pada uji *overall F-test* dengan nilai 0,000 yang lebih kecil (kurang) dari tingkat signifikansi $\alpha=5\%$. Pengujian koefisien regresi persamaan ECM secara parsial menunjukkan, dengan tingkat signifikansi $\alpha=1\%$ pertumbuhan ekonomi, serta *error correction term* berpengaruh signifikan secara statistik terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka pendek. Sebaliknya, dengan tingkat

signifikansi $\alpha=5\%$ variabel konsumsi energi serta perdagangan internasional tidak berpengaruh secara statistik terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

4. KESIMPULAN

Studi ini menyelidiki relasi antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ melalui hipotesis *Environment Kuznets Curve* (EKC), serta menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, penggunaan energi dan perdagangan internasional terhadap emisi CO₂ di Indonesia selama periode 1977-2014 menggunakan analisis *Error correction Mechanism* (ECM). Studi ini memperlihatkan hipotesis EKC yang mengasumsikan ada hubungan terbalik antara pertumbuhan ekonomi dengan degradasi lingkungan (emisi CO₂) tidak berlaku di Indonesia. Artinya, pembangunan ekonomi yang dilaksanakan selama periode penelitian masih mengejar peningkatan pendapatan tanpa memperhatikan kualitas lingkungan sehingga peningkatan pendapatan per kapita diiringi oleh peningkatan emisi CO₂ pula. Berdasarkan analisis ekonometrik ECM, dengan tingkat signifikansi $\alpha=5\%$ terlihat bahwa variabel pertumbuhan ekonomi, penggunaan energi dan perdagangan internasional memiliki dampak yang signifikan secara statistik terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang. Dalam jangka pendek pada taraf nyata $\alpha=5\%$, pertumbuhan ekonomi, dan *error correction term* berpengaruh signifikan secara statistik terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Sebaliknya, variabel konsumsi energi dan perdagangan internasional tidak berpengaruh secara statistik terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., dan Ozturk, I. 2016. Relationships among Carbon Emissions, Economic Growth, Energy Consumption, and Population Growth: Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, Vol. 70, hal 466-479. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.043>
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., dan Filis, G. 2017. Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: an Ethical Dilemma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68, hal 808-824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>
- Arouri, M. E. H., Youssef, A. Ben, M'henni, H., dan Rault, C. 2012. Energy Consumption, Economic Growth, and CO₂ Emissions in Middle East and North African Countries. *Energy Policy*, Vol. 45, hal 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.042>
- Beckerman, W. 1992. Economic Growth and the Environment: Whose growth? Whose Environment?, *World Development*, Vol. 20, hal 481-496.
- Dinda, S. 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, Vol. 49, hal 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Dogan, E. dan Turkekul, B. 2016. CO₂ Emissions, Real Output, Energy Consumption, Trade, Urbanization, and Financial Development: Testing the EKC Hypothesis for the USA. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23, hal 1203-1213. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5323-8>
- Esteve, V. dan Tamarit, C. 2012. Is there an Environmental Kuznets Curve for Spain? Fresh Evidence from Old Data. *Economic Modelling*, Vol. 29, No. 6, hal 2696-2703. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.08.016>

- Farhani, S., Chaibi, A., dan Rault, C. 2014. CO2 Emissions, Output, Energy Consumption, and Trade in Tunisia. *Economic Modelling*, Vol. 38, hal 426-434. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.01.025>
- Gani, A. 2012. The Relationship between Good Governance and Carbon Dioxide Emissions: Evidence from Developing Economies. *Journal of Economic Development*, Vol. 37, No. 1, 77-93.
- Grossman, G. M. dan Krueger, A. B. 1995. Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, hal 353-377.
- Gujarati, D. 2006. *Basic Econometrics Fourth Edition*. New York: The McGraw-Hills.
- Halicioğlu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156–1164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.012>
- Heil, M. T. dan Selden, T. M. 2001. International Trade Intensity and Carbon Emissions : A Cross-Country. *Journal of Environmental Development*, Vol. 10, hal 35-49.
- IEA. 2014. *International Energy Agency. CO2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights*. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2014_co2_fuel-2014-en
- IPCC. 1995. *IPCC Second Assessment Climate Change 1995*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/06/2nd-assessment-en.pdf>
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf
- Iwata, H., Okada, K., dan Samreth, S. 2010. Empirical Study on the Environmental Kuznets Curve for CO2 in France: The Role of Nuclear Energy. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 8, hal 4057-4063. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.031>
- Jalil, A. dan Mahmud, S. F. 2009. Environment Kuznets Curve for CO2 Emissions: A Cointegration Analysis for China. *Energy Policy*, Vol. 37, No. 12, hal 5167-5172. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.044>
- Jayanthakumaran, K., Verma, R., dan Liu, Y. 2012. CO2 Emissions, Energy Consumption, Trade and Income: A Comparative Analysis of China and India. *Energy Policy*, Vol. 42, hal 450-460. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.010>
- Kartiasih, F., Syaukat, Y., dan Anggraeni, L. 2012. Determinan Intensitas Energi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, Vol. 12, No. 2, hal 192-214.
- Kasman, A. dan Duman, Y. S. 2015. CO2 Emissions, Economic Growth, Energy Consumption, Trade, and Urbanization in New EU Member and Candidate Countries: A Panel Data Analysis. *Economic Modelling*, Vol. 44, hal 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.022>
- Kohler, M. 2013. CO2 Emissions, Energy Consumption, Income, and Foreign Trade: A South African Perspective. *Energy Policy*, Vol. 63, hal 1042-1050. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.022>
- Kuznets, S. 1955. Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, Vol 45, No. 1, hal 1-28.
- Kwakwa, P. A. dan Adu, G. 2015. Effects of Income, Energy Consumption, and Trade Openness on Carbon Emissions in Sub-Saharan Africa. *The Journal of Energy and Development*, Vol. 41, No. 1.

- Lapinskienė, G., Tvaronavičienė, M., dan Vaitkus, P. 2013. Analysis of the Validity of Environmental Kuznets Curve for the Baltic States. *Environmental and Climate Technologies*, Vol. 12, hal 41-46. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2013-0015>
- Mason, R. dan Swanson, T. 2003. A Kuznets Curve Analysis of Ozone-Depleting Substances and The Impact of the Montreal Protocol. *Oxford Economic Papers*, Vol. 55, hal 1–24.
- Narayan, P. K. dan Narayan, S. 2010. Carbon Dioxide Emissions And Economic Growth : Panel Data Evidence From Developing Countries. *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, hal 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- Nasir, M. dan Rehman, F. U. 2011. Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions In Pakistan: an Empirical Investigation. *Energy Policy*, Vol. 39, No. 3, hal 1857-1864. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.025>
- Ozturk, I. dan Uddin, G. S. 2012. Causality among Carbon Emissions, Energy Consumption and Growth In India. *Economic Research*, Vol. 25, No. 3, hal. 752-775. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2012.11517532>
- Saboori, B., Sulaiman, J., dan Mohd, S. 2012. Economic Growth and CO2 Emissions in Malaysia: A Cointegration Analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*, Vol. 51, hal 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.065>
- Sephton, P. dan Mann, J. 2013. Further Evidence of an Environmental Kuznets Curve in Spain. *Energy Economics*, Vol. 36, hal 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.01.001>
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., Tiwari, A. K., dan Leitão, N. C. 2013. Economic Growth, Energy Consumption, Financial Development, International Trade and CO2 Emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25, hal 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.009>
- Shahbaz, M., Lean, H. H., dan Shabbir, M. S. 2012. Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 5, hal 2947-2953. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.015>
- Stern, D. I. 2004. The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, Vol. 32, No. 8, hal 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- Stern, D. I. dan Common, M. S. 1996. Economic Growth and Environmental Degradation: The Environmental Kuznets Curve and Sustainable Development. *World Development*, Vol. 24, 7, hal 1151-1160.
- Suri, V. dan Chapman, D. 1998. Economic Growth, Trade, and Energy: Implications for the Environmental Kuznets Curve. *Ecological Economics*, Vol. 25, hal 195-208.
- Tiwari, A. K. 2011. Energy Consumption, CO2 Emissions and Economic Growth: A Revisit of the Evidence from India. *Applied Econometrics and International Development*, 11, 165–189.
- World Bank. 2010. *Development and Climate Change: World Development Report 2010*. Washington, DC.
- Yang, G., Wang, H., Zhou, J., dan Liu, X. 2012. Analyzing and Predicting the Economic Growth, Energy Consumption, and CO2 Emissions in Shanghai. *Energy and Environment Research*, Vol. 2, No. 2, hal 83-91. <https://doi.org/10.5539/eer.v2n2p83>