

Pengaruh Ekonomi, Demografi, dan Teknologi Terhadap Degradasi Lingkungan di 5 Negara ASEAN

Widya Purbo Rini¹, Nurjannah Rahayu Kistanti²

Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomika dan Bisnis

Universitas Negeri Semarang

widyaprb72@students.unnes.ac.id

ABSTRACT.

This study investigates the effects of economic, demographic, and technological factors on environmental degradation across five ASEAN countries (Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, and Philippines) over the period 1990–2022. Grounded in the STIRPAT framework and the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, this study employs Panel ARDL with the Pooled Mean Group (PMG) estimator. The optimal model PMG (1,0,1,0,2,2) was selected based on AIC with deplags=2 and reglags=2. Long-run estimates show that GDP per capita significantly increases CO2 emissions ($\beta = 3.191$, $p < 0.001$), and the squared GDP term is significantly negative ($\beta = -0.115$, $p < 0.001$), confirming the EKC hypothesis. However, the estimated turning point (GDP per capita $\approx$ US\$ 1,063,000) lies far beyond current income levels, indicating that income-driven emission reductions remain practically unattainable. Energy intensity is the dominant determinant ($\beta = 0.543$, $p < 0.001$), population growth exerts a significant negative effect ($\beta = -0.047$, $p = 0.015$), and renewable energy is marginally significant ($\beta = -0.004$, $p = 0.067$). The ECT (-0.484 , $p = 0.009$) confirms stable convergence toward long-run equilibrium. Cross-sectional error correction results reveal substantial heterogeneity across countries.

Keywords: STIRPAT; Environmental Kuznet Curve ; CO2 emission; ASEAN

ABSTRAK.

Penelitian ini mengkaji pengaruh faktor ekonomi, demografi, dan teknologi terhadap degradasi lingkungan di lima negara ASEAN (Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, Filipina) selama periode 1990–2022. Berlandaskan kerangka STIRPAT dan hipotesis EKC, penelitian ini menggunakan Panel ARDL dengan estimator PMG. Model optimal PMG (1,0,1,0,2,2) dipilih berdasarkan AIC. Estimasi jangka panjang menunjukkan PDB per kapita berpengaruh positif signifikan ($\beta = 3,191$), koefisien PDB kuadrat signifikan negatif ($\beta = -0,115$), mengkonfirmasi EKC. Titik balik EKC ($\approx$ US\$ 1.063.000) berada jauh di atas pendapatan negara saat ini. Intensitas energi merupakan determinan dominan ($\beta = 0,543$), pertumbuhan penduduk berpengaruh negatif signifikan ($\beta = -0,047$), dan energi terbarukan marginal signifikan ($\beta = -0,004$). ECT = $-0,484$ mengkonfirmasi konvergensi stabil. Hasil cross-sectional menunjukkan heterogenitas substansial antar negara.

Kata kunci: STIRPAT; Environmental Kuznet Curve ; Emisi CO2; ASEAN

PENDAHULUAN

Lingkungan adalah tempat di mana manusia beraktivitas, sehingga memegang peran besar dalam menentukan kualitas kesehatan, kualitas nutrisi dan kehidupan sosial manusia di dalamnya. Berada di lingkungan dengan kualitas udara yang bebas polusi mampu meningkatkan kesehatan pernafasan dan kardiovaskular, begitu pula dengan pemanfaatan dan pengelolaan air bersih yang mampu mencegah

munculnya penyakit. Kualitas lingkungan adalah kondisi lingkungan yang mendukung manusia dalam suatu kawasan tertentu (Shahzad, 2020). Kondisi lingkungan yang berkualitas memberikan dampak yang besar sebagai faktor pembangunan ekonomi suatu negara, pembangunan yang hendak dicapai bukan hanya untuk pencapaian saat ini namun dibutuhkan pembangunan yang berkelanjutan guna menjamin ketersediaan energi di masa depan dengan bantuan pengelolaan sumber daya alam (Mujan, et al., 2019). Jika kualitas lingkungan yang memburuk akibat polutan terus diabaikan, maka akan semakin sulit untuk mengamankan kondisi sumber daya alam dan kondisi tubuh manusia di masa depan. Pencemaran lingkungan yang terjadi saat ini merupakan hasil aktivitas manusia yang seiring berjalannya waktu semakin menurunkan kondisi lingkungan (Sarkodie & Strezov, 2018).

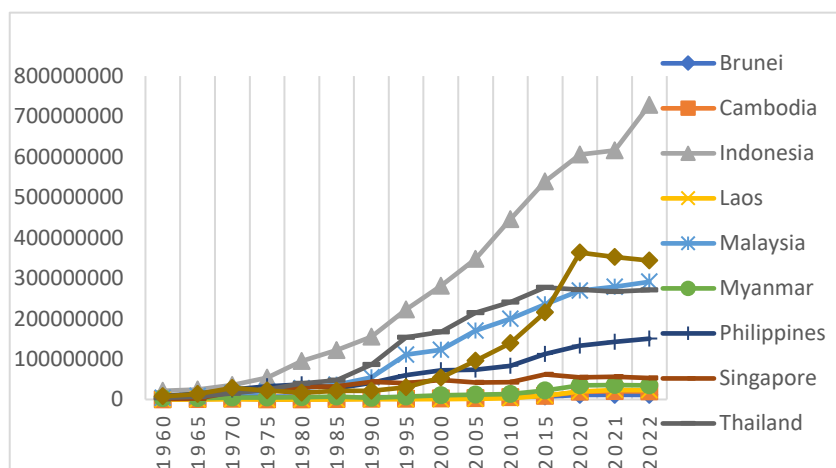
Studi terbaru mengatakan bahwa emisi antropogenik bertanggung jawab terhadap 95% penyebab pemanasan global yang tak hanya berdampak buruk terhadap kehidupan manusia namun juga terhadap keseimbangan ekosistem (Altıntaş & Kassouri, 2020). Apabila isu pemanasan global terus dikesampingkan, pada akhirnya akan memberikan pengaruh buruk seperti rusaknya ekosistem, perubahan iklim yang drastis, menurunnya kualitas sumber daya alam seperti kualitas makanan, air, tanah, mineral dan keseluruhan aktivitas manusia. Dalam usaha mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG's) akan mengalami hambatan besar dikarenakan faktor kualitas tanah mineral, ketersediaan air bersih, dan sumber daya manusia merupakan indikator yang diperlukan dalam pembangunan ekonomi berkelanjutan suatu negara. Sehingga, emisi CO₂ perlu diminimalkan untuk mengurangi tingkat degradasi lingkungan (Chien, 2022).

Perubahan iklim juga menjadi salah satu indikator untuk mengetahui adanya degradasi lingkungan. Perubahan iklim yang diakibatkan oleh adanya emisi CO₂ saat ini tengah menjadi perhatian utama oleh dunia internasional setelah Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) yang dikenal dengan KTT Bumi (*Earth Summit*). KTT Bumi telah diadakan dalam beberapa pertemuan internasional dan hasil yang penting adalah Rapat Tahunan COP (*Conference of the Party*) III di Kyoto, Jepang pada tahun 1992 yang diadakan oleh UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change*). Rapat tersebut mengeluarkan upaya menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) dalam rangka menjaga kestabilan konsentrasi Gas Rumah Kaca di atmosfer bumi. Peningkatan suhu bumi ini sangat dipengaruhi oleh tingginya konsentrasi Gas Rumah Kaca di atmosfer sehingga menyebabkan terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Peningkatan suhu ekstrem merupakan dampak dari peningkatan emisi CO₂. Pada tahun 2022, kawasan Asia Pasifik menjadi kawasan penghasil emisi CO₂ terbesar di dunia dengan kontribusi CO₂ sebanyak 52,30% dan disusul oleh kawasan *North America, Europe, Commonwealth of Independent State* (CIS) dan kawasan dengan tingkat kontribusi emisi CO₂ terendah yakni *South & Central America*. Permasalahan emisi CO₂ di kawasan Asia Pasifik perlu mendapatkan perhatian lebih dibandingkan dengan kawasan lainnya agar terciptanya kualitas lingkungan yang

lebih baik. Kawasan Asia Pasifik ini merupakan daerah yang mencakup beberapa wilayah pesisir pantai Asia Timur, Asia Tenggara, dan Australia di dekat Laut Pasifik dan termasuk negara-negara di Laut Pasifik (*Oceania*).

ASEAN (*Association of Southeast Asian Nation*) merupakan suatu kawasan regional yang berada di kawasan Asia Pasifik. Menurut penelitian (Noor & Saputra, 2020) menyebutkan bahwa mayoritas negara ASEAN diidentifikasi sebagai negara berkembang yang berada dalam tahap awal pembangunan dan sesuai dengan hipotesis *Environmental Kuznet Curve*. Namun, terdapat paradoks ketika dampak dari perubahan iklim ini sebenarnya akan lebih parah ditanggung oleh negara berkembang. Hal ini berkaitan dengan perilaku dan kebutuhan masyarakat untuk meningkatkan taraf ekonomi tanpa memedulikan dampaknya terhadap keberlanjutan jangka panjang. Setelah mencapai titik PDB per kapita tertentu, maka perekonomian akan bertransisi ke sektor jasa yang membutuhkan eksploitasi sumber daya yang lebih sedikit disertai dengan peningkatan kesadaran lingkungan masyarakat. Titik inilah yang akan menjadi titik balik (*turning point*) di mana pertumbuhan ekonomi akan menurunkan degradasi lingkungan (Stern, 2003).



Gambar 1. Emisi CO2 di Negara – Negara Kawasan ASEAN Tahun 1960 – 2022

Sumber : World Bank (data diolah)

Berdasarkan data emisi CO2 negara-negara kawasan ASEAN pada tahun 1960-2022 menunjukkan tren peningkatan signifikan, yakni Indonesia, VietNam, Malaysia, Thailand dan Filipina menempati urutan 5 teratas. Penelitian (Lean & Smyth, 2010) menyebutkan dalam tulisannya bahwa hampir 90% kebutuhan energi komersial regional di ASEAN dipenuhi oleh pembakaran bahan bakar fosil. Tren positif mengenai kenaikan emisi CO2 di kawasan ASEAN ini nyatanya sejalan dengan peningkatan yang signifikan pada GDP per kapita negara-negara di kawasan ASEAN. Adanya tern positif diantara kedua variabel tersebut menunjukkan secara jelas bahwa negara-negara di kawasan ASEAN diidentifikasi sebagai negara berkembang yang sedang berada dalam tahap awal pembangunan.

Studi yang melihat hubungan faktor-faktor ekonomi dengan degradasi lingkungan adalah dengan model STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on*

Population, Affluence, and Technology). Model IPAT ini dikemukakan oleh Ehrlich dan Holdren pada tahun 1971 yang merupakan persamaan matematis untuk menganalisis hubungan antara faktor-faktor antropogenik terhadap lingkungan dengan menggunakan indikator kontribusi penduduk, kemakmuran dan teknologi terhadap dampak lingkungan di suatu negara atau wilayah tertentu yang dapat dianalisis secara kuantitatif (Yu, et al., 2016). (York, Rosa, & Dietz, 2003) mengembangkan model stokastik dengan melakukan formulasi ulang model IPAT ini. Dengan cara ini, model ini diperkenalkan elng dengan memperkirakan dampak populasi, kesejahteraan, dan teknologi yang tidak proporsional pada lingkungan. Menggunakan dasar model STIRPAT determinan emisi CO₂ diuraikan menjadi beberapa faktor yakni jumlah penduduk sebagai proksi pertumbuhan penduduk, PDB per kapita sebagai proksi kesejahteraan dan teknologi yang diukur dengan intensitas energi dan konsumsi energi terbarukan.

Penelitian mengenai eksistensi *Environmetal Kuznet Curve* telah banyak dilakukan, namun setelah teori itu dipopulerkan oleh (Grossman & Krueger, A.B, 1991), para peneliti masih mempertanyakan konsistensi dari teori ini dikarenakan terdapat variasi hasil pada penggunaan model ini. Beberapa peneliti yang dapat membuktikan berlakunya teori ini adalah (Nosheen, Iqbal, & Khan, 2021), yang menyatakan bahwa terdapat hubungan kurva U terbalik antara GDP per kapita dan emisi karbondioksida, Yang menunjukkan validitas hipotesis kurva lingkungan Kuznet di kawasan perekonomian Asia selama periode 1995-2017. Namun, peneliti lain mendapatkan hasil yang tidak sesuai dengan hipotesis *Environmental Kuznet Curve*, diantaranya adalah pada negara anggota BRICS (Zia, Shuming, Akbar, & Ahmed, 2022) lalu EKC juga tidak terbukti pada negara Zambia ch.

Berdasarkan model STIRPAT, teknologi menjadi salah satu faktor utama yang memiliki dampak terhadap lingkungan. Pengembangan teknologi digunakan sebagai upaya alam menurunkan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh populasi dan pendapatan. Istilah teknologi dalam model STIRPAT pada pengaplikasiannya tidak hanya merujuk pada aspek teknologi yang biasanya dimaknai, tetapi juga melibatkan elemen-elemen lain seperti organisasi sosial, institusi, budaya, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi dampak terhadap lingkungan, selain dari dampak populasi dan kemakmuran (*affluence*). Peran penggunaan teknologi yang berbasis sustainable nyatanya mampu memberikan pengaruh positif dalam menurunkan emisi CO₂ dalam jangka panjang (Chau et al, 2023).

Meskipun telah ada banyak penelitian sebelumnya yang mengkaji terkait degradasi lingkungan, namun penelitian ini memiliki keunggulan yakni menggunakan data yang lebih baru sehingga lebih relevan untuk menganalisis tren dan perubahan lingkungan. Kondisi lingkungan dan faktor yang berpengaruh terhadapnya selalu berfluktuasi, sehingga degradasi lingkungan yang mengalami peningkatan memerlukan atensi. Perbedaan lainnya adalah menggunakan pendekatan dan metode analisis yang berbeda dari penelitian sebelumnya, di mana dalam penelitian ini menggunakan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) sebagai metode analisis.

METODE PENELITIAN

Metode, Lokasi dan Waktu Penelitian

Metode penelitian melalui pendekatan kuantitatif untuk melihat dan menghitung hubungan antara ekonomi, demografi, dan teknologi terhadap degradasi lingkungan. Ruang lingkup penelitian mencakup lima negara ASEAN yakni Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam dan Filipina dengan periode pengamatan tahun 1990-2022. Pemilihan pada wilayah lima negara ASEAN bertujuan untuk memberikan gambaran adanya trade off antara pembangunan ekonomi dan upaya pelestarian lingkungan yang terjadi di negara berkembang mengacu pada *Environmental Kuznet Curve*. Fokus penelitian pada analisis pengaruh antar variabel yang mengacu pada teori STIRPAT yang terdiri dari pertumbuhan penduduk, kemakmuran yang diproseskan terhadap PDB per kapita, serta teknologi yang diukur melalui intensitas energi dan konsumsi energi terbarukan.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode Autoregressive Distributed Lag (ARDL) untuk menganalisis pengaruh hubungan jangka pendek dan jangka panjang. ARDL dipilih karena dapat digunakan dalam data yang memiliki stasioneritas di tingkat berbeda, yaitu $I(0)$ atau $I(1)$, dan dapat menganalisis dinamika jangka pendek dan jangka panjang secara simultan (Pesaran, Shin and Smith 2001). Data yang digunakan merupakan data panel tahun 1990–2022 dengan 5 negara ASEAN dan diolah menggunakan aplikasi EViews.

Model ARDL memasukkan variabel masa lalu, baik variabel independen maupun variabel dependen masa lalu dalam analisis regresinya. Model dasar yang digunakan adalah:

$$\text{LnCO2}_{it} = \beta^0 + \beta^1 \text{POP}_{it} + \beta^2 \text{LnGDP}_{it} + \beta^3 \text{LnGDP}^2_{it} + \beta^4 \text{LnEI}_{it} + \beta^5 \text{RE}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Spesifikasi Panel ARDL Error Correction Model (ECM) yang diestimasi adalah:

$$\Delta \text{LnCO2}_{it} = \alpha_i + \varphi_i (\text{LnCO2}_{i,t-1} - \theta' X_{i,t-1}) + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} \Delta \text{LnCO2}_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \delta'_{ij} \Delta X_{i,t-j} + \varepsilon_i$$

dimana X adalah vektor variabel independen (POP, LnGDP, LnGDP², LnEI, RE), φ_i adalah koefisien *error correction term* (ECT) yang diharapkan bernilai negatif dan signifikan, θ adalah vektor koefisien jangka panjang yang bersifat homogen antar negara (restriksi PMG), sementara koefisien jangka pendek (γ , δ) dan intercept (α) bervariasi antar negara.

Definisi Operasional Variabel

Penelitian ini menggunakan satu variabel dependen, yaitu emisi CO₂, dan empat variabel independen yang terdiri dari jumlah populasi, PDB per kapita, intensitas energi dan konsumsi energi terbarukan.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Definisi Operasional	Satuan	Sumber
Emisi karbondioksida	Emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan konstruksi, diantaranya adalah karbondioksida yang dihasilkan selama konsumsi bahan bakar padat, cair dan gas	Metrik ton per kapita (MtCO)	<i>Our World in Data</i>
Pertumbuhan Penduduk	Perubahan jumlah individu dalam suatu populasi dalam kurun waktu tertentu, yang bisa bertambah atau berkurang akibat interaksi faktor alami (kelahiran dan kematian) serta non-alami (migrasi atau perpindahan penduduk)	orang	<i>Our World in Data</i>
Produk Domestik Bruto per Kapita	Jumlah nilai tambah barang dan jasa yang dihasilkan dari seluruh kegiatan ekonomi di suatu negara dibagi dengan rata-rata jumlah penduduk	Current US dollar	<i>Our World in Data</i>
Produk Domestik Bruto per kapita kuadrat	Adalah nilai PDB suatu negara yang dikuadratkan sebagai proksi untuk menguji eksistensi EKC		
Intensitas Energi	Indikator makroekonomi untuk mengukur seberapa efisien penggunaan energi suatu negara untuk melakukan pertumbuhan ekonominya	Poin	<i>Our World in Data</i>
Energi Terbarukan	Penggunaan energi terbarukan yang dikonsumsi suatu negara. Energi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah total konsumsi energi terbarukan masing-masing negara	poin	<i>Our World in Data</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Stasioneritas

Uji stasioneritas menggunakan Augmented Dickey Fuller (ADF) Fisher. Tabel 1 menunjukkan seluruh variabel tidak stasioner pada tingkat level namun stasioner

pada first difference berdasarkan signifikansi 1%, mengkonfirmasi validitas pendekatan ARDL yang mengakomodasi variabel I(1).

Tabel 2. Hasil Uji Stasioneritas (ADF Fisher Panel Unit Root Test)

		Level		First Difference	
		Statistic	Prob.	Statistic	Prob.
LN CO2	ADF	12.722	0.2396	68.831***	0.0000
POP	ADF	3.556	0.9652	59.436***	0.0000
LN GDP	ADF	3.977	0.9484	57.523***	0.0000
LN GDP ²	ADF	2.422	0.9920	62.031***	0.0000
LN EI	ADF	10.111	0.4308	46.078***	0.0000
RE	ADF	7.175	0.7089	62.068***	0.0000

Uji Multikolinearitas (VIF)

Tabel 3 menyajikan hasil Variance Inflation Factor (VIF). Variabel POP, LN_EI, dan RE memiliki VIF rendah (< 5), mengindikasikan tidak ada masalah multikolinearitas. VIF tinggi pada LN_GDP (940,88) dan LN_GDP² (927,39) merupakan konsekuensi struktural dari spesifikasi kuadrat EKC dan tidak mempengaruhi konsistensi estimator (Wooldridge 2019).

Tabel 3. Hasil Uji Variance Inflation Factor (VIF)

Variabel	Centered VIF	Keterangan
POP	1.304	Tidak ada masalah
LN_EI	2.117	Tidak ada masalah
RE	1.834	Tidak ada masalah
LN_GDP	940.879	Structural (EKC)
LN_GDP ²	927.395	Structural (EKC)

Uji Diagnostik

Tabel 4. Ringkasan Uji Diagnostik

Uji	Statistik	Prob.	Keputusan
Normalitas (Jarque-Bera)	3.990	0.136	Normal
Pesaran CD	0.255	0.799	Tidak ada CSD
Heteroskedastisitas (LR)	31.470	0.000	Heteroskedastis

Uji normalitas Jarque-Bera (JB = 3,990) mengkonfirmasi residual berdistribusi normal karena nilai probabilitas $0,136 > \alpha = 0,05$. Uji cross-section dependence Pesaran CD (0,255; p = 0,799) menunjukkan bahwa tidak ada ketergantungan cross-section yang signifikan pada residual, meskipun Breusch-Pagan LM (50,735; p = 0,000) signifikan.

Uji heteroskedastisitas LR sebesar 31,470 dengan probabilitas 0,000 menolak hipotesis nol homoskedastisitas, mengindikasikan adanya heteroskedastisitas cross-section. Kondisi ini diakui sebagai keterbatasan penelitian. Namun, dalam kerangka PMG-ARDL, estimator PMG sudah secara implisit mengakomodasi heterogenitas

variansi antar negara melalui estimasi koefisien jangka pendek yang berbeda per negara (Pesaran, Shin and Smith 2001). Estimasi parameter jangka panjang tetap konsisten dikarenakan berdasar pada hubungan kointegrasi.

Estimasi Jangka Panjang dan Jangka Pendek PMG

Tabel 5 menyajikan estimasi koefisien jangka panjang dan jangka pendek model PMG (1,0,1,0,2,2). Model ini dipilih secara otomatis berdasarkan AIC dari 486 model kandidat (dep lags = 2, reg lags = 2). Sampel efektif mencakup 155 observasi (periode 1992–2022, 5 negara).

Tabel 5. Estimasi Koefisien PMG (1,0,1,0,2,2)

Dependent variable: LN_CO2				
	Coeff.	Std. Error	t-Stat	Prob.
Long-run (Pooled) Coefficients				
POP	-0.047**	0.0192	-2.451	0.0154
LN_GDP	3.191***	0.3241	9.845	0.0000
LN_GDP ²	-0.115***	0.0173	-6.634	0.0000
LN_EI	0.543***	0.0333	16.298	0.0000
RE	-0.004*	0.0022	-1.849	0.0665
Short-run (Mean-Group) Coefficients				
ECT (COINTEQ)	-0.484***	0.1816	-2.667	0.0085
D(LN_GDP)	0.342	0.2595	1.319	0.1893
D(LN_EI)	0.280	0.2819	0.994	0.3220
D(LN_EI(-1))	-0.017	0.1524	-0.110	0.9124
D(RE)	-0.014**	0.0059	-2.346	0.0203
D(RE(-1))	0.003	0.0039	0.721	0.4717

Keterangan: ***, **, * signifikan pada level 1%, 5%, 10%. N = 5. Sample: 1992–2022. Log-likelihood: 325.71.

Perhitungan Titik Balik EKC

Karena koefisien LN_GDP ($\beta_2 = 3,191$) positif signifikan dan koefisien LN_GDP² ($\beta_3 = -0,115$) negatif signifikan, hipotesis EKC secara statistik terkonfirmasi. Titik balik (turning point) dihitung sebagai berikut:

$$\ln(GDP *) = -\beta^2 / (2\beta^3) = -3,191 / (2 \times -0,115) = 13,876$$

$$GDP * = e^{13.876} \approx 1.063.00 \text{ per kapita}$$

Titik balik ini berada jauh di atas tingkat pendapatan per kapita negara manapun dalam sampel maupun di dunia saat ini. Sebagai perbandingan, Singapura yang merupakan negara ASEAN terkaya memiliki PDB per kapita sekitar US\$ 80.000 ($\ln \approx 11,3$), sementara titik balik berada pada $\ln(GDP) = 13,876$. Artinya, meskipun hubungan inverted-U antara pendapatan dan emisi secara statistik terkonfirmasi, seluruh negara ASEAN-5 masih berada jauh pada fase ascending kurva EKC. Pertumbuhan ekonomi masih meningkatkan emisi, dan penurunan emisi yang didorong secara otomatis oleh pendapatan secara praktis belum akan tercapai dalam periode waktu yang relevan.

Temuan ini memiliki implikasi kebijakan yang krusial bahwa negara-negara ASEAN tidak dapat mengandalkan pertumbuhan ekonomi semata sebagai strategi mitigasi emisi. Diperlukan intervensi kebijakan aktif, khususnya dalam efisiensi energi dan transisi energi terbarukan, untuk memisahkan (decoupling) pertumbuhan ekonomi dari degradasi lingkungan.

Estimasi Jangka Pendek untuk Masing-masing Negara

Tabel 6 menyajikan koefisien jangka pendek (cross-sectional error correction) untuk masing-masing negara. Koefisien jangka panjang bersifat homogen (restriksi PMG), sehingga yang bervariasi antar negara hanya koefisien jangka pendek dan ECT.

Tabel 6. Estimasi Jangka Pendek PMG untuk Masing-masing Negara

	Indonesia	Malaysia	Filipina	Thailand	Vietnam
	Coeff. (p-value)	Coeff. (p-value)	Coeff. (p-value)	Coeff. (p-value)	Coeff. (p-value)
ECT	-0.933*** (0.000)	-0.692*** (0.001)	-0.128* (0.093)	0.015 (0.415)	-0.683*** (0.000)
ΔGDP	0.260 (0.288)	0.084 (0.762)	0.778*** (0.004)	1.030*** (0.000)	-0.440 (0.310)
ΔEI	0.232 (0.203)	-0.430 (0.150)	0.745*** (0.002)	1.068*** (0.000)	-0.215 (0.271)
ΔEI(-1)	0.504*** (0.007)	-0.081 (0.747)	0.088 (0.673)	-0.401*** (0.007)	-0.193 (0.328)
ΔRE	-0.004 (0.634)	-0.036** (0.028)	-0.005 (0.358)	-0.013 (0.113)	-0.011*** (0.004)
ΔRE(-1)	0.006 (0.476)	0.012 (0.457)	0.007 (0.159)	-0.000 (0.952)	-0.010*** (0.005)

Pembahasan

Pengaruh PDB per Kapita dan Pengujian Hipotesis EKC

PDB per kapita berpengaruh positif signifikan pada level 1% ($\beta_2 = 3,191$; $t = 9,845$). Koefisien GDP per kapita kuadrat signifikan dengan arah hubungan negatif pada level 1% ($\beta_3 = -0,115$; $t = -6,634$). Kombinasi tanda dan signifikansi ini memenuhi kondisi statistik untuk mengkonfirmasi adanya hipotesis Environmental Kuznet Curve (Grossman and Krueger, A.B 1991). Dalam penelitian ini, eksistensi EKC yang terjadi pada lima negara berkembang di ASEAN sesuai dengan penelitian (Chenghu, et al. 2021) dan (Rahman, et al. 2022).

Titik balik yang telah diestimasi, yakni $GDP^* \approx US\$ 1.063.000$ per kapita, memiliki implikasi penting. Hal ini menjelaskan bahwa angka ini berada jauh di atas pendapatan per kapita negara manapun di dunia pada saat penelitian dilakukan. Untuk kelima negara dalam sampel, Singapura sebagai perbandingan dan bukan bagian dari sampel utama, namun sering digunakan sebagai rujukan negara ASEAN terkaya berada pada $\ln(GDP) \approx 11,3$, sementara titik balik berada pada $\ln(GDP) = 13,876$. Selisih 2,58 dalam skala log memiliki arti pendapatan per kapita perlu

meningkat sekitar 13 kali lipat sebelum turning point dalam teori EKC ini tercapai. Maka, dapat disimpulkan bahwa untuk seluruh rentang data dalam sampel, marginal effect PDB terhadap emisi tetap positif, yang berarti pertumbuhan ekonomi masih meningkatkan emisi.

Elastisitas 1,24 pada titik rata-rata sampel memiliki kesamaan dengan penelitian mengenai STIRPAT yang umumnya menemukan elastisitas GDP dan Emisi CO₂ memiliki nilai di antara 0,5 dan 2,0. Temuan ini juga didukung oleh penelitian Noor dan Saputra (2020) yang menyimpulkan bahwa negara berpendapatan menengah di kawasan ASEAN belum mencapai turning point EKC. Perbandingan dengan penelitian Nosheen, Iqbal, dan Khan (2021) yang menemukan EKC terkonfirmasi di kawasan Asian dengan turning point yang lebih realistis mengindikasikan bahwa cakupan sampel dan periode analisis dapat menghasilkan estimasi turning point yang sangat berbeda.

Meskipun EKC secara statistik terkonfirmasi, mekanisme income-driven emission reduction yang diprediksi oleh teori tidak dapat selalu bisa digunakan sebagai strategi mitigasi bagi negara-negara ASEAN. Dengan kata lain, menunggu pendapatan tumbuh cukup tinggi agar emisi dapat turun secara otomatis bukanlah opsi kebijakan yang cukup baik. Intervensi yang aktif sangat diperlukan melalui jalur-jalur non-pendapatan seperti efisiensi energi dan transisi penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

Pengaruh Intensitas Energi

Intensitas energi merupakan determinan jangka panjang paling dominan dalam penelitian ini ($\beta_4 = 0,543$; $t = 16,298$; $p < 0,001$). Nilai t-statistik sebesar 16,3 yang tinggi ini, menandakan bahwa hubungan intensitas energi dengan emisi CO₂ merupakan hubungan yang paling stabil. Hal ini dapat diinterpretasikan bahwa setiap kenaikan intensitas energi 1% meningkatkan emisi CO₂ sebesar 0,54%.

(York, Rosa and Dietz 2003) memformulasikan model STIRPAT dengan tiga dimensi utama, yakni populasi, kemakmuran dan teknologi. Intensitas energi adalah variabel langsung dari dimensi teknologi dalam kerangka ini, khususnya efisiensi konversi input energi menjadi output ekonomi. Berdasarkan data, variabel intensitas energi yang dominan menandakan bahwa teknologi merupakan variabel kebijakan utama yang dapat memisahkan pertumbuhan ekonomi dari kerusakan lingkungan.

Analisis estimasi short-run untuk setiap negara memberikan data yang penting bagi penelitian ini. Thailand menunjukkan efek yang kuat yang dapat dilihat dari $D(LN_EI) = 1,068$; $t = 7,942$; $p < 0,001$, yang dapat diartikan setiap kenaikan intensitas energi 1% di Thailand dapat meningkatkan emisi 1,07% pada periode yang sama. Filipina juga menunjukkan efek jangka pendek yang kuat, yakni dilihat dari $D(LN_EI) = 0,745$; $t = 3,380$; $p = 0,002$. Kedua negara ini memiliki karakteristik ekonomi berbasis manufaktur yang relatif intensif energi sehingga variabel intensitas energi memiliki pengaruh yang kuat dalam jangka pendek.

Namun, Malaysia dan Vietnam tidak menunjukkan efek jangka pendek intensitas energi yang signifikan pada level konvensional. Bagi Malaysia, hal ini

konsisten dengan struktur ekonominya yang telah bertransisi ke sektor jasa dan manufaktur yang memiliki nilai tambah yang tinggi, di mana intensitas energi relatif stabil. Di Vietnam, hal ini mencerminkan fase laju pertumbuhan yang cepat di mana ekspansi kapasitas industri belum bergeser penuh ke perubahan intensitas energi.

Pengaruh Energi Terbarukan

Energi terbarukan berpengaruh negatif dan signifikan pada level 10% jangka panjang ($\beta_5 = -0,004$; $t = -1,849$; $p = 0,067$). Meskipun signifikansi statistiknya lemah, namun peningkatan proporsi energi terbarukan menurunkan emisi CO₂. Setiap kenaikan 1 poin persentase variabel energi terbarukan maka akan menurunkan emisi CO₂ sekitar 0,4% dalam jangka panjang.

Signifikansi statistik yang hanya sebesar 10% memerlukan interpretasi yang penuh kehati-hatian, terdapat beberapa penjelasan mengapa hal ini bisa terjadi. Yakni, efek energi terbarukan ini lemah secara agregat karena porsinya di sebagian besar negara ASEAN-5 masih relatif kecil dibandingkan penggunaan energi fosil selama periode 1990-2022. Kemudian, energi terbarukan ini mencakup berbagai teknologi (hidro, panas bumi, surya, biomassa) yang memiliki dampak emisi yang berbeda.

Vietnam menunjukkan nilai RE yang kuat dalam penelitian ini, dibuktikan dengan nilai $D(RE) = -0,011$ ($p = 0,004$) dan $D(RE(-1)) = -0,010$ ($p = 0,005$). Vietnam telah mengalami ekspansi kapasitas hidro dan tenaga surya yang signifikan selama periode ini, dan temuan ini memberikan bukti empiris bahwa investasi tersebut efektif menurunkan emisi. Malaysia juga menunjukkan nilai RE jangka pendek yang signifikan ($D(RE) = -0,036$; $t = -2,334$; $p = 0,028$). Hal ini dapat diartikan bahwa setiap poin persentase kenaikan RE di Malaysia menurunkan emisi 3,6% pada periode yang sama.

Indonesia, Filipina, dan Thailand tidak menunjukkan nilai energi terbarukan jangka pendek yang signifikan pada level konvensional. Untuk Indonesia dan Filipina, ini dapat mencerminkan porsi energi terbarukan yang masih relatif kecil sehingga variasinya belum cukup untuk memberikan efek yang signifikan. Berdasarkan penelitian, Vietnam yang menunjukkan nilai RE yang paling terpercaya secara statistik dapat menjadi rujukan bagi negara ASEAN lainnya. Bahwa investasi dalam energi terbarukan yang terarah dan berkelanjutan lebih efektif.

Pengaruh Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk berpengaruh negatif signifikan pada level 5% ($\beta_1 = -0,047$; dengan probabilitas = 0,015). Setiap kenaikan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1 poin persentase menurunkan emisi CO₂ sekitar 4,7% dalam jangka panjang. Tanda negatif ini berbeda dari prediksi standar STIRPAT bahwa populasi merupakan salah satu penggerak utama dampak lingkungan ($I = PAT$).

Arah hubungan yang berbeda ini memerlukan pembahasan mendalam karena secara dangkal dapat disalahartikan sebagai bukti bahwa "penduduk lebih banyak maka akan menghasilkan emisi yang lebih rendah". Interpretasi yang benar harus memperhatikan bahwa variabel yang digunakan adalah pertumbuhan penduduk,

bukanlah populasi. Dengan demikian, koefisien ini menangkap efek dari perubahan struktur demografi, bukan efek langsung dari jumlah penduduk.

Beberapa mekanisme dapat menjelaskan arah hubungan negatif ini. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya transisi demografi. Selama periode 1990–2022, kelima negara ASEAN mengalami penurunan tingkat fertilitas dan pertumbuhan penduduk yang bersamaan dengan urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi. Negara-negara dengan pertumbuhan penduduk yang lebih rendah cenderung berada pada fase demografi yang lebih matang dengan struktur ekonomi yang lebih intensif emisi (industri dan konsumsi kelas menengah), sementara negara dengan pertumbuhan penduduk lebih tinggi masih berada pada fase pra-industrialisasi dengan konsumsi energi per kapita yang lebih rendah.

Faktor yang berpengaruh lainnya adalah urbanisasi dan efisiensi. Pertumbuhan penduduk yang berkaitan dengan urbanisasi dapat meningkatkan efisiensi energi per kapita melalui skala ekonomi transportasi publik, densifikasi infrastruktur, dan berbagi fasilitas. Namun, mekanisme ini bekerja secara tidak langsung dan sulit diisolasi dalam model yang tidak memasukkan variabel urbanisasi secara eksplisit sebagai kontrol.

Dinamika Jangka Pendek dan Heterogenitas Antar Negara

Indonesia memiliki ECT yang kuat, yakni $-0,933$. Angka ini mengindikasikan bahwa 93,3% deviasi dari keseimbangan jangka panjang terkoreksi dalam satu tahun. Nilai ECT yang mendekati -1 menunjukkan konvergensi yang hampir instan menuju keseimbangan. Dari perspektif ekonometrika, ECT yang mendekati -1 sering menjadi perhatian karena dapat mengindikasikan overfitting atau spurious correction. Malaysia (ECT = $-0,692$) dan Vietnam (ECT = $-0,683$) menunjukkan tingkat konvergensi yang moderat dan hampir identik. Kedua negara ini menyesuaikan sekitar 68–69% deviasi per tahun, yang berarti sekitar 1,5 tahun diperlukan untuk kembali ke keseimbangan setelah shock. Angka ini masuk akal untuk ekonomi terbuka dengan struktur institusi yang relatif matang.

Filipina menunjukkan ECT yang lemah ($-0,128$), hanya signifikan pada level 10%. Ini berarti hanya 12,8% deviasi terkoreksi per tahun, atau dibutuhkan sekitar 8 tahun untuk mendekati keseimbangan setelah shock. Penyesuaian yang lambat ini dapat mencerminkan rigiditas struktural dalam ekonomi Filipina, termasuk keterbatasan infrastruktur energi dan lambatnya adopsi teknologi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji determinan degradasi lingkungan di lima negara ASEAN (1990–2022) menggunakan kerangka STIRPAT dan hipotesis EKC melalui estimasi PMG(1,0,1,0,2,2). Berdasarkan penelitian ini, terdapat temuan utama yang menjadi perhatian:

1. PDB per kapita berpengaruh positif signifikan, intensitas energi merupakan determinan dominan, energi terbarukan marginal signifikan negatif, dan pertumbuhan penduduk berpengaruh negatif signifikan
2. Hipotesis EKC terkonfirmasi secara statistik namun titik balik ($\approx$ US\$ 1.063.000) tidak terjangkau secara praktis
3. $ECT = -0,484$ mengkonfirmasi konvergensi, namun Thailand tidak menunjukkan mekanisme error correction yang valid
4. terdapat heterogenitas substansial antar negara dalam dinamika jangka pendek.

Saran

Kebijakan efisiensi energi struktural harus menjadi prioritas utama. Porsi energi terbarukan perlu ditingkatkan, khususnya mengadopsi pendekatan Vietnam yang menunjukkan efek terkuat. Titik balik EKC yang tidak terjangkau menegaskan bahwa regulasi lingkungan aktif tetap esensial.

Keterbatasan: proksi terbatas pada CO₂ dalam penelitian ini. Penelitian selanjutnya dapat memperluas ke ecological footprint, memasukkan governance quality, dan menguji robustness dengan DFE estimator.

DAFTAR PUSTAKA

- Altıntaş, H., & Kassouri, Y. (2020, 6). Is the environmental Kuznets Curve in Europe related to the per-capita ecological footprint or CO₂ emissions? *Ecological Indicators*, 106-187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106187>
- Chau, K. Y., Lin, C.-H., Tufail, B., Tran, T. K., Van, L., & Nguyen, T. T. (2023). Impact of eco-innovation and sustainable tourism growth on the environmental degradation: the case of China. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 36(3). doi:<https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2150258>
- Chenghu, Z., Arif, M., Shehzad, K., Ahmad, M., & Oláh, J. (2021). Modeling the Dynamic Linkage between Tourism Development, Technological Innovation, Urbanization and Environmental Quality: Provincial Data Analysis of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16). doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph18168456>
- Chien, F. (2022, 10). The mediating role of energy efficiency on the relationship between sharing economy benefits and sustainable development goals (Case Of China). *Journal of Innovation & Knowledge*, 7(4), 100-270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100270>
- Cuthbert, M. C., Jackson, K., & Jhonna, M. (2021). Econometrics of the environmental Kuznets curve in the face of climate change and sustainability in Zambia. *Environmental Challenges*, 5, 100289. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100289>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology. *Human Ecology Review*, 1(2), 277-300. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/24706840>

- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (3914).
- Gulistan, A., Tariq, Y. B., & Bashir, M. F. (2020, 4 5). Dynamic relationship among economic growth, energy, trade openness, tourism, and environmental degradation: fresh global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(12), 13477-13487. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07875-5>
- Kwakwa, P. A. (2023). Climate change mitigation role of renewable energy consumption: Does institutional quality matter in the case of reducing Africa's carbon dioxide emissions? *Journal of Environmental Management*, 342, 118-234. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118234>
- Lean, H. H., & Smyth, R. (2010, 6). CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.02.003>
- Mujan, I., Anđelković, A. S., Munćan, V., Kljajić, M., Ružić, D., & Mujan, Igor. (2019, 4). Influence of indoor environmental quality on human health and productivity - A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 646-657. doi:10.1016/j.jclepro.2019.01.307
- Noor, M. A., & Saputra, P. M. (2020, 12 31). Emisi Karbon dan Produk Domestik Bruto: Investigasi Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) pada Negara Berpendapatan Menengah di Kawasan ASEAN. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 230-246. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jwl.8.3.230-246>
- Nosheen, M., Iqbal, J., & Khan, H. U. (2021, 4 4). Analyzing the linkage among CO2 emissions, economic growth, tourism, and energy consumption in the Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 16707-16719. doi:10.1007/s11356-020-11759-z
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2678547>. Accessed 5 July 2026
- Rahman, M. H., Voumik, L. C., Islam, M. J., Esquivias, M. A., & Halim, M. A. (2022, 12 7). Economic Growth, Energy Mix, and Tourism-Induced EKC Hypothesis: Evidence from Top Ten Tourist Destinations. *Sustainability*, 14(24), 16328. doi:<https://doi.org/10.3390/su142416328>
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2018). Assessment of contribution of Australia's energy production to CO2 emissions and environmental degradation using statistical dynamic approach. *Science of The Total Environment*, 639, 888-899. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.204
- Shahzad, U. (2020, 7 5). Environmental taxes, energy consumption, and environmental quality: Theoretical survey with policy implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 24848-24862. doi:10.1007/s11356-020-08349-4

- Stern, D. I. (2003). *The Environmental Kuznet Curve*. International Society For Ecological Economics.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif*. Alfabeta.
- Wei, Z., & Lihua, H. (2022). Effects of tourism and eco-innovation on environmental quality in selected ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42889-42903. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-17541-z>
- Wooldridge, J. M. (2019). *Introductory Econometrics: A Modern Approach*. Cengage Learning.
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003, 10). STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-365. doi:[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
- Yu, X., Geng, Y., Dong, H., Ulgiati, S., Liu, Z., Liu, Z., . . . Sun, L. (2016, 7). Sustainability assessment of one industrial region: A combined method of emergy analysis and IPAT (Human Impact Population Affluence Technology). *Energy*, 107, 818-830. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.092>
- Zia, Z., Shuming, L., Akbar, M. W., & Ahmed, T. (2022, 11 24). Environmental sustainability and green technologies across BRICS countries: the role of institutional quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 30155-30166. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-022-24331-8>