

Pengaruh Konsumsi Energi dan Aktivitas Ekonomi Terhadap Emisi CO₂ di Negara G20

(The Effect of Energy Consumption and Economic Activity on CO₂ Emissions in G20 Countries)

Naufaliztya Aulia Tsandra, Ridwan Pandu Sunaryo, Syafri*, Dian Octaviani
 Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Trisakti
 Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia
 Email: syafri@trisakti.ac.id

Abstrak

Sebagai forum kerja sama multilateral, *Group of Twenty* (G20) memiliki peran sentral dalam upaya mengurangi laju perubahan iklim global dengan fokus pada penurunan emisi CO₂ sebagai tujuan utama. Penelitian ini menguji pengaruh peran konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO₂ di kelompok negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* yang tergabung dalam G20, serta mengetahui negara-negara yang memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari *Our World In Data database* dengan data tahunan dari tahun 2000-2021. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan metode analisis regresi data panel dengan *Fixed Effect Model (FEM)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada negara *Advanced Economies*, emisi CO₂ per kapita dipengaruhi oleh konsumsi energi bahan bakar fosil, konsumsi energi terbarukan, PDB per kapita, dan keterbukaan perdagangan. Sedangkan, emisi CO₂ di negara *Emerging Markets* dipengaruhi oleh konsumsi energi bahan bakar fosil, konsumsi energi terbarukan, PDB per kapita, FDI, dan industrialisasi. Negara dengan emisi CO₂ per kapita terbesar adalah Australia, sedangkan negara dengan emisi CO₂ per kapita terkecil adalah India.

Kata Kunci: Emisi CO₂, Energi Bahan Bakar Fosil, Energi Terbarukan, Produk Domestik Bruto, Penanaman Modal Asing, Keterbukaan Perdagangan

Abstract

As a multilateral cooperation forum, the G20 plays a central role in contributing to the reduction of the global climate change rate, with a primary goal of lowering CO₂ emissions. This study examines the effect of energy consumption and economic activity on CO₂ emissions in Advanced Economies and Emerging Markets countries that are members of the G20, and to identify countries that have an impact on CO₂ emissions. The data used in this study is secondary data from Our World In Data database with yearly data for 2000-2021. The analysis method used in this research is a quantitative approach with panel data regression analysis method with the Fixed Effect Model (FEM). The findings indicate that in Advanced Economies countries, CO₂ emissions are affected by fossil fuel energy consumption, renewable energy consumption, GDP per capita, and trade openness. Meanwhile, CO₂ emissions in Emerging Markets countries are affected by fossil fuel energy consumption, renewable energy consumption, GDP per capita, FDI, and industrialization. The country with the highest CO₂ emissions per capita is Australia, while the country with the lowest CO₂ emissions per capita is India.

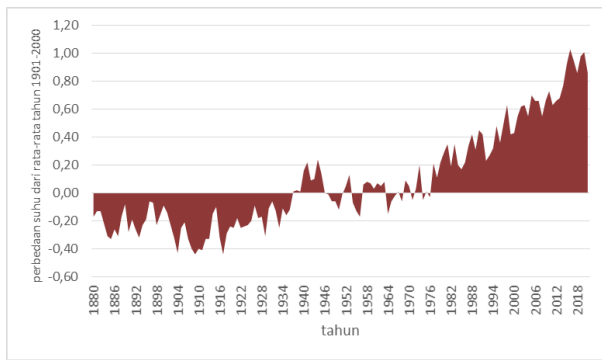
Keywords: CO₂ Emissions, Fossil Fuel Energy, Renewable Energy, Gross Domestic Product, Foreign Direct Investment, Trade Openness

Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang semakin serius memberikan ancaman pada kelangsungan hidup manusia. Perubahan iklim adalah istilah umum dari efek iklim yang timbul akibat akumulasi Gas Rumah Kaca/GRK di atmosfer bumi (Metcalf, 2019). GRK yang paling dominan adalah karbon dioksida (CO₂), yaitu menyumbang lebih dari tiga perempat emisi global. Selain itu, CO₂ ini merupakan penyebab utama terhadap pemanasan global yang terjadi saat ini (WMO, 2018).

Berdasarkan data dari National Centers for Environmental Information pada Gambar 1, suhu bumi mengalami peningkatan sebesar 0,08°C per dekade sejak 1880 dan laju pemanasan sejak 1981 menjadi lebih dari dua kali lipat atau sebesar 0,18° C per dekade. Kenaikan suhu permukaan rata-rata global yang telah terjadi sekitar 1°C sejak era pra- industri (1880-1900). Hal ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akumulasi panas. Perubahan iklim akan berdampak luas pada lingkungan dan sektor sosial ekonomi, termasuk sumber daya air, pertanian dan ketahanan pangan, serta kesehatan manusia (UNFCCC, 2007).

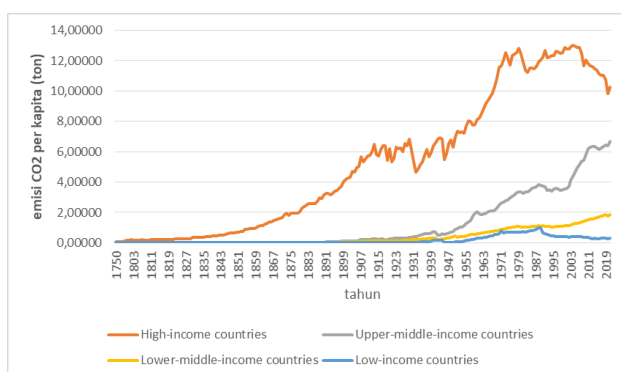
* Corresponding Author



Gambar 1. Perbandingan Suhu Permukaan Periode 1880-2021 dan 1901-2000

Sumber: *National Centers for Environmental Information*, 2021

Group of Twenty atau G20 sebagai forum kerja sama multilateral yang terdiri dari 19 negara dan 1 kawasan (Uni Eropa) memiliki peran sentral untuk berkontribusi terhadap pengurangan laju perubahan iklim global. Forum ini merepresentasikan kekuatan ekonomi dan politik dunia, dengan komposisi anggotanya mencakup 80% PDB dunia, 75% ekspor global, dan 60% populasi global (Kemlu, 2022). Menurut OECD (2019), besarnya ekonomi G20 menyumbang sekitar 80% dari emisi gas rumah kaca global dengan emisi CO₂ terkait energi mencapai sekitar 80% dari total emisi GRK G20. Dalam satu sisi, pertumbuhan ekonomi telah menghasilkan banyak manfaat, seperti meningkatkan standar hidup dan perbaikan kualitas hidup di seluruh dunia, namun disisi lain, hal ini juga mengakibatkan menipisnya sumber daya alam dan degradasi ekosistem (Everett et al., 2010). Ada perdebatan yang muncul tentang apakah mungkin atau tidak untuk mencapai pertumbuhan ekonomi tanpa merusak lingkungan akibat tidak mempertimbangkan ekonomi yang berkelanjutan.

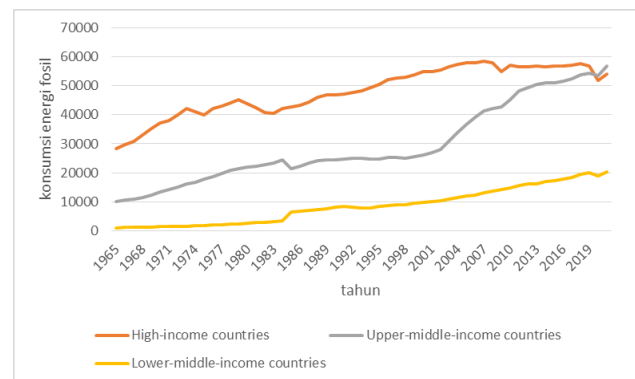


Gambar 2. Emisi CO₂ Per Kapita
Sumber: *Our World in Data*, 2021

Berdasarkan Gambar 2 yang menampilkan data emisi CO₂ per kapita untuk kurun waktu tahun 1821-2021, pada negara-negara *high-income* dan negara *upper-middle-income* menghasilkan emisi CO₂ per kapita yang lebih tinggi dibandingkan negara *low-income* dan *lower-middle-income*. Secara historis, terdapat hubungan yang kuat antara emisi dan pendapatan, seiring dengan meningkatnya kekayaan dan industrialisasi maka konsumsi dan *energy-intensive lifestyles* juga meningkat, sehingga semakin tinggi emisi CO₂ per capita (Vigna,

Ge, & Friedrich, 2021). Namun, pada negara *high-income* sejak tahun 2008 sampai 2021, tren emisi CO₂ mulai terjadi penurunan yang berkelanjutan.

Hipotesis antara pertumbuhan ekonomi dengan degradasi lingkungan dijelaskan oleh Environmental Kuznets Curve (EKC) oleh (Grossman & Krueger, 1995) teori ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan degradasi lingkungan di antara negara maju dan berkembang. G20 terdiri dari kelompok negara maju dan kelompok negara berkembang. Sehingga, hal ini memunculkan kemungkinan terdapat perbedaan kondisi degradasi lingkungan diantara anggota G20.



Gambar 3. Konsumsi Energi Fosil
Sumber: *Our World in Data*, 2021

Tingginya PDB per kapita di suatu negara dan pertumbuhan ekonomi yang laju, diasumsikan pola konsumsi energi juga tinggi. Konsumsi energi fosil yang tinggi maka akan memicu kenaikan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh energi fosil ini. Data pada Gambar 3 menunjukkan pola konsumsi energi fosil pada kelompok negara *high-income*, *upper-middle-income*, dan *lower-middle-income*. Data empiris ini menunjukkan bahwa negara *high-income* mengkonsumsi energi fosil yang jauh lebih tinggi dari negara berpendapatan menengah. Hal ini juga menunjukkan bahwa pola konsumsi energi fosil per kapita yang tinggi di negara *high-income* sejalan dengan tingginya emisi CO₂ pada kelompok negara ini. Dengan adanya perbedaan tren emisi CO₂ antara negara *high-income*, *upper-middle-income*, dan *lower-middle-income*, kami ingin meneliti pada dua kelompok negara yang tergabung dalam G20, yaitu negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets*, mengingat G20 merupakan anggota-anggota negara yang menyumbang ekonomi dan emisi CO₂ terbesar bagi dunia namun masih sedikit dibahas oleh penelitian sebelumnya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa PDB berpengaruh positif terhadap emisi CO₂. Dalam penelitian Nguyen (2019) menunjukkan adanya pengaruh positif dari PDB per kapita terhadap emisi CO₂ di Asia Tenggara. Penelitian lainnya seperti Chen et al. (2019), (Bekun et al. (2019), Yang & Zhao (2014), dan Shahbaz et al. (2013) menunjukkan pertumbuhan ekonomi menaikkan emisi CO₂ dengan studi kasus wilayah yang berbeda-beda. Sedangkan penelitian oleh Nikensari et al. (2019) menunjukkan bahwa sebelum periode *Millennium*

Development Goals (MDGs) tahun 2000 menunjukkan bahwa PDB per kapita meningkatkan emisi CO₂, namun pasca periode MDGs menunjukkan PDB per kapita menurunkan emisi CO₂ di negara maju.

Dari penelitian sebelumnya, kami melihat terdapat keterbatasan data yaitu data terbaru yang tersedia di pangkalan data *World Bank* hanya sampai tahun 2019 saat penelitian ini dibuat. Dalam penelitian kami, dengan menggunakan keterbaruan data dari *Our World in Data database* mampu menunjukkan teori EKC pada negara maju. Kami juga menemukan negara-negara yang berpengaruh terhadap naik-turunnya emisi CO₂ selama 20 tahun terakhir, periode 2000-2021. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk menguji pengaruh konsumsi energi dan aktivitas ekonomi, serta mengidentifikasi negara yang berpengaruh terhadap emisi CO₂ di dua kelompok negara, *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* yang tergabung dalam *Group of Twenty*.

Kajian Teori

Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Dalam laporan IPCC *Third Assessment* 2001, emisi karbon dioksida (CO₂) adalah emisi yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan pembuatan semen, termasuk karbon dioksida yang dihasilkan selama konsumsi bahan bakar cair, padat, gas, dan pembakaran gas (Eurostat, 2022). *Equivalent CO₂* adalah ukuran metrik yang digunakan untuk membandingkan emisi dari berbagai gas rumah kaca berdasarkan *global-warming potential* (GWP) atau potensi pemanasan global.

Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC)

Hubungan aktivitas ekonomi seperti produk domestik bruto dengan degradasi lingkungan dijelaskan dalam teori hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Berdasarkan hipotesis ini, negara-negara yang memiliki ekonomi pra-industri yang serupa dengan negara berkembang biasanya memiliki tingkat polusi yang lebih rendah. Ketika negara-negara tersebut bertransisi ke ekonomi industri, yang mengacu pada negara-negara yang beralih dari ekonomi pertanian ke industri, cenderung memiliki tingkat polusi yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa pada tahap ini, negara-negara cenderung lebih mengutamakan pembangunan ekonomi daripada kualitas lingkungan. Namun, ketika negara-negara tersebut mencapai tingkat kekayaan yang lebih tinggi, mereka lebih bersedia untuk mengalokasikan sumber daya yang lebih besar untuk peningkatan kualitas lingkungan (Panayotou, 1993). Kemudian ketika suatu negara melanjutkan pembangunan ekonomi dan mencapai ekonomi pasca-industri, yang mirip dengan negara maju, tingkat polusi akan turun.

Teori Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil

Konsumsi energi bahan bakar fosil mengacu pada penggunaan bahan bakar, seperti batu bara, minyak, dan

gas alam sebagai sumber energi. Menurut World Bank (2022), pertumbuhan penggunaan energi di negara berkembang terkait erat dengan pertumbuhan di sektor modern - industri, transportasi bermotor, dan daerah perkotaan, tetapi penggunaan energi juga mencerminkan faktor iklim, geografis, dan ekonomi. Bahan bakar fosil mencakup 80% dari permintaan energi primer global saat ini, termasuk mendukungnya aktivitas ekonomi. Bahan bakar fosil terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang terkubur dan membatu selama jutaan tahun yang lalu. Karena asalnya tersebut, bahan bakar fosil memiliki kandungan karbon yang tinggi (Melissa Denchak, 2022). Batu bara, minyak, dan gas merupakan bahan bakar fosil yang sejauh ini merupakan kontributor terbesar terhadap perubahan iklim global, menyumbang lebih dari 75% emisi gas rumah kaca global dan hampir 90% dari semua emisi karbon dioksida (United Nations, 2022a). Ketika bahan bakar fosil dibakar, pelepasan karbon dioksida dan gas rumah kaca lain ke udara terjadi dalam jumlah yang cukup besar. Gas rumah kaca yang memerangkap panas di atmosfer menyebabkan pemanasan global ClientEarth, 2022). Oleh karena itu, konsumsi energi bahan bakar fosil menjadi komponen utama sebagai pendorong emisi CO₂.

Teori Konsumsi Energi Terbarukan

Perjanjian Paris menetapkan tujuan kebijakan iklim internasional untuk menahan peningkatan suhu rata-rata global hingga jauh di bawah 2°C di atas tingkat pra-industri dan untuk mengejar upaya pembatasan kenaikan suhu hingga 1,5°C di atas tingkat pra-industri (UNFCCC, 2015). Transisi menuju energi terbarukan merupakan bagian penting dalam memenuhi tujuan Perjanjian Paris ini. Energi terbarukan yang tersedia berlimpah di alam, disediakan oleh berbagai sumber seperti matahari, angin, air, limbah, dan panas bumi. Energi ini diisi kembali oleh alam dan hanya sedikit atau bahkan tidak menghasilkan gas rumah kaca atau polutan ke udara (United Nations, 2022). Oleh karena itu, konsumsi energi terbarukan merupakan komponen konsumsi energi lainnya dalam menurunkan emisi CO₂.

Teori Keterbukaan Perdagangan

Teori perdagangan Heckscher–Ohlin, menyiratkan keterbukaan adalah salah satu faktor penentu penting dari tingginya tingkat emisi dan pertumbuhan ekonomi, dan polusi dirangsang dari produksi lebih lanjut, yang dihasilkan dari keterbukaan perdagangan yang lebih besar (Yang & Zhao, 2014). Keterbukaan perdagangan bermanfaat bagi lingkungan jika efek teknologi lebih besar daripada efek komposisi dan efek skala. Temuan ini menunjukkan bahwa perdagangan internasional akan meningkatkan tingkat pendapatan negara-negara berkembang dan mendorong mereka mengimpor teknik yang tidak terlalu tercemar untuk meningkatkan produksi. Para peneliti mendokumentasikan bahwa perdagangan bebas menurunkan emisi CO₂ karena perdagangan internasional akan mengalihkan produksi barang-barang padat polusi dari negara berkembang ke negara maju. Perpindahan faktor produksi juga dapat memindahkan

industri kotor dari negara asal ke negara berkembang di mana undang-undang dan peraturan tentang lingkungan hanya formalitas (Shahbaz et al., 2013). Dengan adanya aktivitas perdagangan antar negara ini menjadi komponen yang akan meningkatkan emisi CO₂.

Teori Foreign Direct Investment (FDI)

Menurut Borga et al. (2022) dalam laporan IMF menjelaskan bahwa terdapat beberapa pandangan mengenai FDI dengan kualitas lingkungan. Pertama, jika permintaan akan kualitas lingkungan meningkat seiring dengan peningkatan pendapatan maka kerusakan lingkungan akan mulai turun, seperti konsep teori EKC. Dikarenakan FDI meningkatkan pendapatan, akhirnya berkontribusi pada peningkatan permintaan lingkungan di negara tujuan atau di negara tuan rumah. Kedua, FDI biasanya berkaitan dengan emisi karbon yang tinggi terutama di negara berpenghasilan rendah. Suatu negara cenderung menetapkan kebijakan atau standar polusi yang rendah, menawarkan tenaga kerja dan sumber daya yang murah untuk dapat menarik aliran masuk FDI lebih besar, atau sering disebut dengan "pollution haven hypothesis". Ketiga, dalam penelitian Blackman & Wu (1999) menjelaskan bahwa FDI dapat dianggap lebih "bersih" daripada investasi dalam negeri karena menerapkan teknologi baru yang lebih ramah lingkungan daripada produsen dalam negeri, sehingga mendukung perbaikan pada lingkungan negara tempat investasi. Pandangan ini disebut sebagai argumen "pollution halos", yang berfokus pada lingkungan sebagai hasil efek positif FDI seperti manajemen yang lebih baik, kepatuhan terhadap standar yang lebih tinggi, dan penggunaan teknologi yang lebih baik. FDI bisa menjadi saluran penting untuk transfer teknologi rendah karbon secara lintas negara (Pigato et al., 2020). Oleh karena itu, FDI merupakan komponen yang mampu menurunkan ataupun meningkatkan emisi CO₂.

Teori Industrialisasi

Secara umum, emisi CO₂ diperkirakan akan meningkat seiring dengan peningkatan pangsa manufaktur. Namun Musah & Yakubu (2023) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa dampak industrialisasi ini masih menjadi perdebatan. Dalam teori EMT atau *Ecological Modernization Theory* menjelaskan bahwa dalam perkembangannya, teknologi dan praktik industri yang tepat, industrialisasi dapat berjalan seiring dengan pelestarian lingkungan. Teori ini menjelaskan bahwa pada tahap awal modernisasi, ketika industri belum sepenuhnya berkembang, kualitas lingkungan cenderung mengalami penurunan. Namun seiring berjalannya waktu dan perkembangan industri yang semakin matang, akses industri terhadap penggunaan teknologi ramah lingkungan menjadi lebih mudah. Sehingga dampaknya terhadap degradasi lingkungan berkurang (Rehman et al., 2023). Sesuai dengan penjelasan Kim (2020), bahwa terdapat restrukturisasi industri di bidang manufaktur. Dengan kata lain, pangsa industri padat energi dalam industri manufaktur menurun dan pangsa industri rendah emisi karbon meningkat. Ini juga menunjukkan bahwa

teknologi penghematan energi dan pengurangan CO₂ sedang dikembangkan lebih lanjut di industri manufaktur. Dalam kondisi lain, ketika sektor industri sedang berkembang, maka permintaan input energi seperti minyak bumi meningkat, yang melepaskan gas karbon ke udara. Selain itu, juga menciptakan pemborosan besar-besaran dan mencemari lingkungan. Pemborosan ini juga menyebabkan mencemari sistem air. Hasil ini juga menunjukkan bahwa negara-negara yang tercemar sebagian besar mengandalkan industri berat. Oleh karena itu, aktivitas industri menjadi komponen penentu yang akan meningkatkan atau menurunkan emisi CO₂.

Metode

Rancangan atau Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan kuantitatif yaitu penelitian dengan metode sistematis pada objek yang diteliti untuk menguji hipotesis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari peran energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO₂. Peran energi meliputi konsumsi energi bahan bakar fosil dan konsumsi energi terbarukan. Sedangkan aktivitas ekonomi meliputi produk domestik bruto, keterbukaan perdagangan, *foreign direct investment*, industrialisasi, dan urbanisasi.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari pangkalan data *World Bank* dan *Our World in Data*. Selain itu untuk mendukung data lainnya diperoleh dari literatur dan laporan lembaga/institusi terkait yang berhubungan dengan peran konsumsi energi dan aktivitas ekonomi. Dalam penelitian ini menggunakan data *time series* dengan periode 2000-2021 dan data *cross section* dari 18 negara yang tergabung dalam G20.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah negara-negara yang tergabung dalam G20. Penelitian ini membagi dua kelompok negara yang tergabung dalam G20. Pertama, kelompok negara *Advanced Economies* meliputi Australia, Kanada, Prancis, Jerman, Italia, Korea, Inggris, dan Amerika Serikat. Kedua, kelompok negara *Emerging Markets* meliputi Argentina, Brazil, Cina, India, Indonesia, Meksiko, Rusia, Saudi Arabia, Afrika Selatan, dan Turki. Anggota G20 yang tidak digunakan dalam penelitian ini yaitu Jepang dan Uni Eropa (kawasan) disebabkan tidak tersedianya data pada variabel penelitian.

Metode Analisis Data

Metode analisis dalam penelitian ini adalah regresi dengan menggunakan data panel. Metode yang digunakan dalam mengestimasi model regresi dengan data panel yaitu *Common Effect* (CEM), *Fixed Effect* (FEM), dan *Random Effect* (REM). Pemilihan model terbaik didasarkan menggunakan tiga metode pengujian, yaitu uji Chow, uji Hausman, dan uji LM test. Model regresi data panel dalam penelitian ini menggunakan logaritma untuk

memenuhi uji asumsi klasik. Model tersebut ditulis sebagai berikut:

$$\text{LOGCO2}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LOGFEC}_{it} + \beta_2 \text{LOGREC}_{it} + \beta_3 \text{LOGGDP}_{it} + \beta_4 \text{TO}_{it} + \beta_5 \text{FDI}_{it} + \beta_6 \text{INDG}_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Keterangan:

CO2 = Emisi CO2 per kapita

FEC = Konsumsi Energi Fosil

REC = Konsumsi Energi Terbarukan

GDP = Produk Domestik Bruto per kapita

TO = Keterbukaan Perdagangan

FDI = *Foreign Direct Investment*

INDG = Pertumbuhan Industri

β_0 = Konstanta

β_{1-6} = Koefisien masing-masing variabel

e = Error

i = data *cross section* negara di *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* G20

t = data *time series* 2000-2021

Hasil dan Pembahasan

Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian pemilihan model yaitu dilihat pada hasil pengujian model uji Chow, uji Hausman, dan uji LM-test, disimpulkan bahwa pendekatan model terbaik yang digunakan untuk menentukan pengaruh konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO2 di negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* G20 adalah *Fixed Effect Model* (FEM). Hasil pemilihan model tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Pemilihan Model

Sampel	Uji Chow	Uji Hausman	Uji LM
<i>Advanced Economies</i>	768.583287 (0.000***)	46.1579798 (0.000***)	1362.8115 (0.000***)
	FEM	FEM	REM
<i>Emerging Markets</i>	753.287232 (0.000***)	14.2147882 (0.0273***)	1924.973 (0.000***)
	FEM	FEM	REM

Catatan: *, **, *** menunjukkan tingkat signifikansi pada tingkat 10%, 5%, dan 1%

Sumber: Eviews 9.0 (data diolah)

Tabel 2. Hasil Persamaan Regresi

Variabel	Coefficient	Prob. (1 tail)
<i>Advanced Economies</i>		
C	-0.959728	0.0588
LOGFEC	1.264141	0.0000***
LOGREC	-0.017277	0.08865*
LOGGDP	-0.639466	0.0000***
TO	0.002848	0.0000***
FDI	-0.000269	0.43615
INDG	0.000332	0.3406
F-statistics	1613.974	0.0000
R-squared	0.992338	
Adj. R-squared	0.991723	

<i>Emerging Markets</i>		
C	-5.053253	0.0000
LOGFEC	0.447334	0.0000***
LOGREC	-0.080693	0.0000***
LOGGDP	0.389851	0.0000***
TO	-0.001455	0.0014***
FDI	0.003744	0.09075*
INDG	0.002084	0.0049***
F-statistics	3009.998	0.0000
R-squared	0.995502	
Adj. R-squared	0.995171	

Catatan: *, **, *** menunjukkan tingkat signifikansi pada tingkat 10%, 5%, dan 1%

Sumber: Eviews 9.0 (data diolah)

Dari pemilihan model tersebut, hasil uji regresi data panel menggunakan FEM pada kedua kelompok negara dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, persamaan regresi dari pengaruh konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO2 di negara G20 untuk negara *Advanced Economies* ditulis sebagai berikut:

$$\text{LOGCO2} = -0.959728 + 1.264141 * \text{LOGFEC} - 0.017277 * \text{LOGREC} - 0.639466 * \text{LOGGDP} + 0.002848 * \text{TO} - 0.000269 * \text{FDI} + 0.000332 * \text{INDG} \quad (2)$$

Sedangkan hasil estimasi model regresi negara *Emerging Markets* sebagai berikut:

$$\text{LOGCO2} = -5.053253 + 0.447334 * \text{LOGFEC} - 0.080693 * \text{LOGREC} + 0.389851 * \text{LOGGDP} - 0.001455 * \text{TO} + 0.003744 * \text{FDI} + 0.002084 * \text{INDG} \quad (3)$$

Konsumsi energi bahan bakar fosil di negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO2 per kapita. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar 1.2641 dan 0.4473 dengan nilai probabilitas sebesar 0.0000 signifikan pada tingkat 0.01. Jika terjadi kenaikan 1% konsumsi energi fosil, maka emisi CO2 per kapita akan mengalami peningkatan sebesar 1.264% pada negara *Advanced Economies* dan sebesar 0.447 pada negara *Emerging Markets*.

Konsumsi energi terbarukan memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO2 per kapita di kedua kelompok negara. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar -0.0172 pada negara *Advanced Economies* dengan nilai probabilitas sebesar 0.08865 signifikan pada tingkat 0.10. Sedangkan negara *Emerging Markets*, nilai koefisien sebesar -0.0806 dengan nilai probabilitas sebesar 0.0000 signifikan pada tingkat 0.01. Jika terjadi kenaikan 1% konsumsi energi terbarukan, maka emisi CO2 per kapita akan mengalami penurunan sebesar 0.0172% pada negara *Advanced Economies* dan sebesar 0.0806% pada negara *Emerging Markets*.

PDB per kapita memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO2 per kapita di negara *Advanced Economies*, sedangkan negara *Emerging Markets*

memiliki pengaruh positif signifikan. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar -0.6394 dan 0.3898 dengan nilai probabilitas sebesar 0.0000 signifikan pada tingkat 0.01. Jika terjadi kenaikan 1% PDB per kapita, maka emisi CO₂ per kapita akan mengalami penurunan sebesar 0.6394% pada negara *Advanced Economies* dan akan mengalami peningkatan sebesar 0.3898% pada negara *Emerging Markets*.

Keterbukaan perdagangan memiliki pengaruh positif signifikan di negara *Advanced Economies*, sedangkan negara *Emerging Markets* memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂ per kapita. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar 0.0028 dan -0.0014 dengan nilai probabilitas sebesar 0.0000 dan 0.0014 signifikan pada tingkat 0.01. Jika terjadi kenaikan 1 rasio keterbukaan perdagangan, maka emisi CO₂ per kapita akan mengalami peningkatan sebesar 0.0028% di negara *Advanced Economies* dan mengalami penurunan sebesar 0.0014% di negara *Emerging Markets*.

Foreign Direct Investment memiliki pengaruh negatif tidak signifikan di negara *Advanced Economies*, sedangkan negara *Emerging Markets* memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂ per kapita. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar -0.0002 pada negara *Advanced Economies* dengan nilai probabilitas sebesar 0.43615 tidak signifikan pada tingkat 0.01, 0.05, maupun 0.1. Sedangkan negara *Emerging Markets* dengan nilai koefisien regresi sebesar 0.0037 dengan nilai probabilitas sebesar 0.09075 signifikan pada tingkat 0.10. Jika terjadi kenaikan 1 rasio FDI, maka tidak berpengaruh pada emisi CO₂ per kapita di negara *Advanced Economies*. Sedangkan di negara *Emerging Markets*, jika terjadi kenaikan 1 rasio FDI, maka emisi CO₂ per kapita akan mengalami peningkatan sebesar 0.0037%.

Pertumbuhan industri memiliki pengaruh positif tidak signifikan di negara *Advanced Economies*, sedangkan negara *Emerging Markets* memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂ per kapita. Hal ini dinyatakan dengan nilai koefisien regresi sebesar 0.0003 dengan nilai probabilitas sebesar 0.3406 tidak signifikan pada tingkat 0.01, 0.05, maupun 0.1. Sedangkan negara *Emerging Markets* dengan nilai koefisien sebesar 0.0020 dengan nilai probabilitas sebesar 0.0098 signifikan pada tingkat 0.01. Jika terjadi kenaikan 1% pertumbuhan industrialisasi, maka tidak berpengaruh pada emisi CO₂ per kapita di negara *Advanced Economies*. Sedangkan di negara *Emerging Markets*, jika terjadi kenaikan 1% pertumbuhan industrialisasi, maka emisi CO₂ per kapita akan mengalami peningkatan sebesar 0.0020%.

Berdasarkan model terpilih yaitu FEM, maka dapat dilakukan uji pengaruh individu untuk mengidentifikasi pengaruh konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO₂ per kapita berdasarkan negara, baik di kelompok negara *Advanced Economies* maupun *Emerging Markets* G20. Hasil dari uji *effect cross-section* (individual) dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Estimasi Uji *Effect Cross-section*

<i>Advanced Economies</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Emerging Markets</i>	<i>Coefficient</i>
Australia	1.832175	Argentina	0.00764
Kanada	0.681351	Brazil	0.00398
Prancis	0.410611	China	0.00385
Jerman	0.284956	India	0.00275
Italia	0.398504	Indonesia	0.00414
Korea Selatan	0.306201	Meksiko	0.005945
Inggris	0.409110	Rusia	0.010248
Amerika Serikat	0.063495	Arab Saudi	0.012652
		Afrika Selatan	0.013944
		Turki	0.007895

Sumber: Eviews 9.0 (data diolah)

Berdasarkan hasil uji *effect cross-section* menunjukkan bahwa kelompok negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* memiliki nilai koefisien dengan intercept positif. Nilai koefisien ini menunjukkan besaran CO₂ per kapita di masing-masing negara. Nilai koefisien paling besar yaitu Australia, dan nilai koefisien paling kecil yaitu India.

Pembahasan

Pengaruh Konsumsi Energi Fosil Terhadap Emisi CO₂

Berdasarkan hasil statistik menunjukkan bahwa konsumsi energi fosil memiliki pengaruh terhadap kenaikan emisi CO₂ per kapita pada kelompok negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets*. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zafar et al. (2020) terhadap negara berkembang yang berada di Asia. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konsumsi energi fosil meningkatkan emisi karbon serta mempengaruhi degradasi lingkungan pada negara-negara ini. Pada kelompok negara ini, bahan bakar fosil masih mendominasi sebagai sumber energi utama, meskipun ketergantungan terhadap bahan bakar fosil ini mulai berkurang. Pada negara berkembang terutama, bahan bakar fosil digunakan mendorong laju pertumbuhan ekonomi dan memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Dalam menghasilkan lebih banyak barang, negara-negara berkembang cenderung menggunakan lebih banyak bahan bakar fosil dan menghasilkan limbah berupa emisi CO₂ dan gas racun lainnya. Selain itu, negara-negara ini kurang efisien dan cenderung menggunakan teknologi berbasis bahan bakar minyak sehingga cenderung memproduksi sedikit namun mengkonsumsi banyak bahan bakar (Hanif, 2018). Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Waqih et al. (2019), Gunarto (2020), Nikensari et al. (2019), Chen et al. (2019), Zafar et al. (2020), Islam et al. (2021), dan Puntoon et al. (2022) mengonfirmasi hasil bahwa semakin tinggi konsumsi energi fosil maka berpengaruh pada semakin tinggi jumlah emisi karbon yang dihasilkan.

Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan Terhadap Emisi CO₂

Berdasarkan hasil statistik, laju konsumsi energi terbarukan memiliki pengaruh terhadap pengurangan

emisi karbon pada kelompok negara *Emerging Markets* dan *Advanced Economies*. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Adinew (2020), Voumik & Sultana (2022), Chen et al. (2019), Ito (2017) bahwa konsumsi energi terbarukan mampu berpengaruh pada penurunan emisi CO₂. Meskipun energi fosil masih mendominasi sumber energi utama pada kelompok *Advanced Economies* dan *Emerging Markets*, namun proporsi energi terbarukan terhadap total energi memiliki tren yang meningkat. Energi terbarukan telah mendapatkan penerimaan luas di dunia saat ini dimana sebagian besar negara telah menetapkan target untuk penggunaan energi terbarukan guna memenuhi kebutuhan listrik dan energi (Voumik & Sultana, 2022). Hal ini salah satunya didorong komitmen global, seperti *Kyoto Protocol* dan *Paris Agreement*, dalam penurunan emisi karbon dengan salah satu strateginya dengan mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan di negaranya.

Pengaruh PDB Terhadap Emisi CO₂

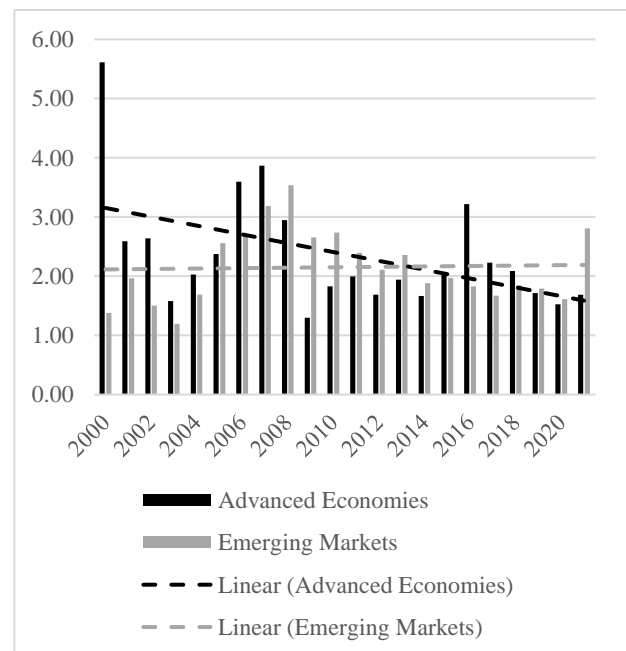
Hasil estimasi statistik menunjukkan bahwa PDB per kapita memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂ per kapita pada negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets*, namun memiliki arah yang berbeda. Apabila mengacu pada hipotesis teori EKC, kelompok negara *Advanced Economies* sudah mencapai kondisi dimana laju pertumbuhan ekonomi disertai dengan penurunan degradasi lingkungan selama periode 2000-2021, sedangkan negara *Emerging Markets* belum mencapai tahap ini yaitu meningkatnya PDB masih menyebabkan meningkatnya emisi CO₂. Hal ini mengartikan bahwa dalam aktivitas produksi barang pada kelompok negara *Emerging Markets* akan menyebabkan kenaikan pada emisi yang dikeluarkan. Hasil ini sejalan dengan temuan studi yang dilakukan oleh Nikensari et al. (2019) bahwa pada negara-negara *lower middle-income*, kenaikan PDB per kapita berkontribusi atas meningkatnya emisi CO₂ atau kurva U-terbalik belum terjadi. Sedangkan pada negara-negara *high income*, hipotesis EKC yang berbentuk U-terbalik telah terjadi yaitu pada akhirnya PDB per kapita berkontribusi menurunkan emisi CO₂ pada periode MDGs.

Pengaruh Keterbukaan Perdagangan Terhadap Emisi CO₂

Aktivitas ekonomi dari keterbukaan perdagangan berdasarkan hasil estimasi menunjukkan hasil yang berlawanan arah antara negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets*. Pada kelompok negara *Advanced Economies*, semakin terbuka perdagangan dengan negara-negara lain akan memiliki pengaruh terhadap peningkatan emisi CO₂ per kapita. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dou et al. (2021) terhadap beberapa negara maju yaitu Jepang dan Korea yang menunjukkan hasil bahwa memperluas keterbukaan perdagangan akan secara signifikan meningkatkan emisi CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas keterbukaan perdagangan masih didominasi pada penggunaan energi kotor sehingga memicu kenaikan emisi CO₂. Sementara itu, pada negara *Emerging Markets*, keterbukaan perdagangan memiliki

pengaruh terhadap pengurangan emisi CO₂ per kapita. Kami berpendapat bahwa keterbukaan perdagangan di negara maju lebih besar dibandingkan negara berkembang, walaupun sudah transisi ke energi ramah lingkungan, namun aktivitas dengan energi kotor lebih besar maka aktivitas dari keterbukaan perdagangan ini mampu menghasilkan emisi CO₂ yang tinggi. Sedangkan keterbukaan perdagangan di negara *Emerging Markets* kurang besar dibandingkan *Advanced Economies*, selain itu juga mulai transisi ke energi ramah lingkungan mengikuti negara maju dalam aktivitas perdagangannya maka dapat menurunkan emisi CO₂ per kapita. Hal ini dijelaskan dalam perspektif mikro oleh Cui et al. (2016), bahwa peningkatan keterbukaan terhadap perdagangan akan mendorong perusahaan untuk mengadopsi energi yang lebih baru, lebih bersih, dan lebih terbarukan, yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Menurut Adom (2015) keterbukaan perdagangan memiliki dua peran dalam peningkatan kualitas lingkungan yaitu *the pull effect* dan *the push effect*. Argumen *the pull effect* berpendapat bahwa tingkat keterbukaan perdagangan yang lebih tinggi akan meningkatkan peluang negara tuan rumah untuk meniru dan belajar dari perusahaan luar yang telah menerapkan prinsip hemat energi dan ramah lingkungan. Sementara itu, *the push effect* menjelaskan bahwa ekonomi yang terintegrasi dengan baik akan menciptakan lingkungan kompetitif yang mendorong perusahaan lokal untuk mengadopsi teknologi hemat energi dan membuat perusahaan ini beradaptasi dengan persaingan pasar internasional yang ketat.

Pengaruh Foreign Direct Investment Terhadap Emisi CO₂



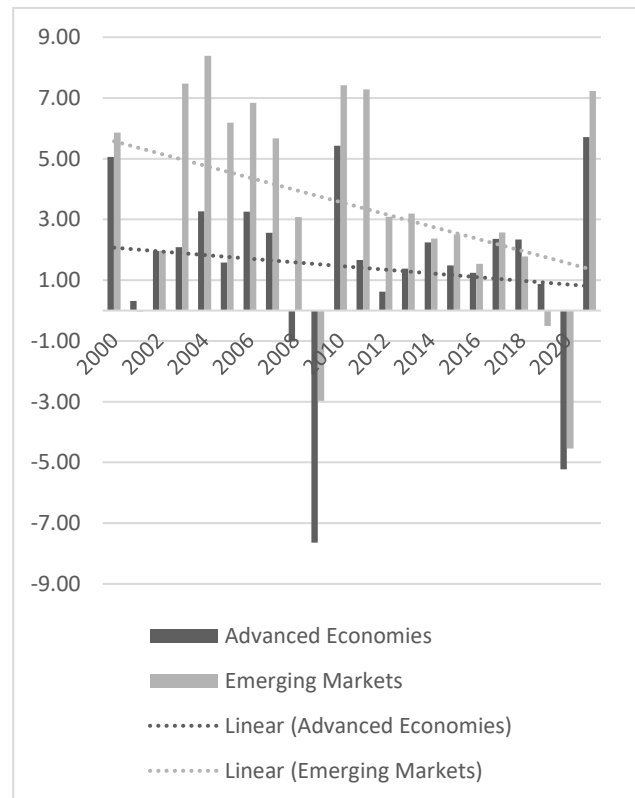
Gambar 4. Perbandingan Rata-Rata FDI Negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* G20
Sumber: World Bank, 2021 (data diolah)

Pengaruh FDI terhadap emisi CO₂ per kapita di negara *Advanced Economies* memiliki pengaruh negatif namun tidak signifikan, sedangkan di negara *Emerging Markets* memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂ per kapita. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 4 bahwa FDI di negara *Emerging Markets* meningkat dan cenderung datar, sedangkan FDI di negara *Advanced Economies* menurun, namun secara besaran masih didominasi oleh negara *Advanced Economies*. Kondisi kedua kelompok negara sesuai dengan *pollution heaven hypothesis* dan *pollution halo hypothesis*. Pada negara *Emerging Markets*, studi kami berhasil mengonfirmasi *pollution heaven hypothesis*, sesuai dengan penelitian Kim (2020) yang menjelaskan bahwa negara investor merelokasi industri atau perusahaan yang tinggi polusi ke negara lain, sehingga meningkatkan emisi CO₂ di negara tuan rumah. Sedangkan *pollution halo hypothesis* menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi melalui FDI lebih efisien yaitu menggunakan sarana peralatan teknis dan teknologi canggih dan yang lebih baik dan kemampuan manajemen yang lebih efektif untuk menghasilkan output yang lebih besar (Pigato et al., 2020). Studi kami mengonfirmasi *pollution halo hypothesis* pada negara *Advanced Economies* dengan memiliki arah pengaruh negatif namun tidak signifikan. Pada kelompok negara ini, FDI yang masuk semakin didominasi oleh sektor jasa yang cenderung berkontribusi rendah terhadap emisi dibanding pada sektor manufaktur dan pertambangan yang berkontribusi tinggi terhadap emisi. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gunarto (2020), Waqih et al. (2019), dan Lee (2013) yang menunjukkan hasil tidak signifikan antara FDI terhadap emisi CO₂.

Pengaruh Industrialisasi Terhadap Emisi CO₂

Pengaruh pertumbuhan industri terhadap emisi CO₂ per kapita dalam penelitian ini ditemukan bahwa negara *Advanced Economies* tidak memiliki pengaruh signifikan, sedangkan di negara *Emerging Markets* memiliki pengaruh positif signifikan. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pertumbuhan industri di kedua negara fluktuatif. Secara besaran, pertumbuhan industri pada negara *Emerging Markets* lebih mendominasi dibandingkan negara *Advanced Economies*, sedangkan negara *Advanced Economies* pertumbuhannya lebih kecil dibandingkan *Emerging Markets*. Selain itu, negara *Advanced Economies* terkena guncangan lebih besar terutama pada tahun 2008-2009 dan tahun 2020 yang berkaitan dengan guncangan akibat GFC (*Global Financial Crisis*) pada 2007-2008 dan krisis pandemi COVID-19 pada 2019-2020. Industrialisasi memiliki pengaruh pada kenaikan emisi CO₂ per kapita pada negara *Emerging Markets* menunjukkan bahwa negara tersebut masih didominasi oleh penggunaan energi dan teknologi kotor dalam aktivitas perindustriannya. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan pada berbagai negara berkembang oleh Bekabil (2020), Wang et al. (2011), Al-Mulali et al. (2015), dan Pata (2018). Sementara itu, pada negara *Advanced Economies*, pertumbuhan industri tidak memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂ per kapita, walaupun menunjukkan arah positif. Kami berpendapat

bahwa aktivitas perindustrian masih didominasi energi kotor dan mulai ada transisi industri dengan energi ramah lingkungan serta menurunnya perindustrian di negara maju. Menurut IMF (2017), dari segi output industri dan produktivitas di negara maju dan beberapa negara berkembang mengalami perlambatan signifikan bahkan sebelum terjadinya krisis keuangan global 2007-2008. Sebagaimana dijelaskan oleh Zafar et al. (2020) bahwa adanya peraturan mengenai lingkungan pada sektor industri dan sektor industri yang berkembang pada negara maju cenderung sudah tidak bersifat *energy-intensive* sehingga tidak menghasilkan banyak emisi.



Gambar 5. Perbandingan Rata-Rata Pertumbuhan Industri Negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* G20
Sumber: World Bank, 2021 (data diolah)

Pengaruh Individu Negara-Negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* G20

Pada kedua kelompok negara, *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* ditemukan berkontribusi dalam meningkatkan emisi CO₂ per kapita. Negara *Advanced Economies* berkontribusi lebih besar meningkatkan emisi CO₂ per kapita dibandingkan negara *Emerging Markets*. Negara-negara maju merupakan negara industri dengan penggunaan energi kotor seperti batu bara. Sebagaimana menurut laporan IPCC (2005), batu bara yang digunakan dalam sektor pembangkit listrik dan industri menjadi sumber terbesar emisi CO₂ dunia yaitu sebesar 60%.

Walaupun negara-negara maju sudah mengalami penurunan emisi CO₂ per kapita, namun besarnya masih mendominasi dibandingkan negara berkembang. Sedangkan emisi CO₂ per kapita negara berkembang

terus meningkat walaupun tergolong kecil, kecuali Arab Saudi, Rusia, dan China dengan emisi CO₂ per kapita yang besar. Kondisi ini sesuai dengan teori EKC bahwa negara berkembang yang masih berupaya fokus pada keberlangsungan perekonomian dan kesejahteraan, belum mampu beralih ke ekonomi ramah lingkungan atau menurunkan aktivitas ekonomi kotor. Ketika negara sudah maju, negara-negara ini mampu beralih ke ekonomi ramah lingkungan karena kebutuhan ekonomi dasar dan kesejahteraan sebagian besar sudah terpenuhi. Kondisi ini disebut sebagai *trade-off*, dimana harus mengorbankan salah satunya, antara ekonomi atau lingkungan bagi negara yang masih kesulitan dalam perekonomiannya.

Pada tahun 2021, negara dengan emisi CO₂ per kapita paling besar yaitu negara Australia dan negara dengan emisi CO₂ per kapita paling kecil yaitu India. Hal ini ditunjukkan pada peringkat emisi CO₂ per kapita pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Peringkat Emisi CO₂ per Kapita Tahun 2000 dan 2021 di Negara G20 dan Perubahannya

Negara	2000		2021		Perubahan Aktual 2021 terhadap 2000 (%)
	Aktual	Rank	Aktual	Rank	
<i>Advanced Economies</i>					
AUS	18,384	3	15,091	1	-17,9119
KAN	18,469	2	14,300	3	-22,5705
PRA	6,935	8	4,741	8	-31,6294
JER	11,028	4	8,090	5	-26,6436
ITA	8,259	7	5,548	6	-32,8250
KORS	9,404	6	11,886	4	26,3985
ING	9,669	5	5,154	7	-46,6968
AS	21,304	1	14,859	2	-30,2541
<i>Emerging Markets</i>					
ARG	3,840	5	4,118	6	7,2346
BRZ	1,934	8	2,281	8	17,9271
CHI	2,883	7	8,046	3	179,0792
IND	0,923	10	1,925	10	108,5458
IDN	1,292	9	2,262	9	75,0891
MEKS	4,047	4	3,214	7	-20,5776
RUS	10,066	2	12,099	2	20,1931
ARS	13,754	1	18,703	1	35,9819
AFS	8,076	3	7,340	4	-9,1114
TURK	3,585	6	5,263	5	46,7990

Catatan: AUS = Australia; KAN = Kanada; PRA = Prancis; JER = Jerman; ITA = Italia; KORS = Korea Selatan; ING = Inggris; AS = Amerika Serikat; ARG = Argentina; BRZ = Brazil; CHI = China; IND = India; IDN = Indonesia; MEKS = Meksiko; RUS = Rusia; ARS = Arab Saudi; AFS = Afrika Selatan; TURK = Turki.

Satuan emisi CO₂ per kapita dalam ton, sedangkan satuan perubahan tahun 2021 terhadap 2000 dalam persen.

Sumber: *Our World in Data*, 2021 (data diolah)

Simpulan dan Implikasi Penelitian

Simpulan

Penelitian ini menguji pengaruh konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO₂ di kelompok negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* yang tergabung dalam G20. Hasil penelitian kami menunjukkan bahwa pada kedua kelompok negara, konsumsi energi bahan bakar fosil berpengaruh positif signifikan atau artinya mampu menaikkan emisi CO₂, sedangkan energi terbarukan berpengaruh negatif signifikan atau artinya mampu menurunkan emisi CO₂. Selanjutnya, terkait pengaruh dari aktivitas ekonomi, terdapat perbedaan hasil antara kedua kelompok negara. Pada kelompok negara *Advanced Economies*, PDB per kapita berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂ dan keterbukaan perdagangan berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂, sedangkan FDI dan industrialisasi tidak memiliki pengaruh signifikan. Sementara itu, pada kelompok negara *Emerging Markets* diperoleh hasil bahwa PDB per kapita, FDI, dan industrialisasi memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi CO₂ serta keterbukaan perdagangan memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO₂. Sesuai dengan teori EKC, pada negara maju, kenaikan PDB dapat menurunkan emisi CO₂, sedangkan pada negara berkembang kenaikan PDB masih meningkatkan emisi CO₂. Berdasarkan pengaruh individu negara-negara G20 menunjukkan seluruh negara berkontribusi meningkatkan emisi CO₂ per kapita, didominasi lebih besar oleh negara *Advanced Economies* dibandingkan *Emerging Markets* yang tergolong kecil pengaruhnya terhadap kenaikan emisi CO₂ per kapita. Negara dengan emisi CO₂ per kapita terbesar adalah Australia, sedangkan negara dengan emisi CO₂ per kapita terkecil adalah India.

Implikasi Penelitian

Dari temuan pada penelitian ini, implikasi penelitian yang dapat diberikan bagi pembuat kebijakan yaitu pertama, perlu komitmen besar bagi negara-negara yang masih berkontribusi pada naiknya emisi CO₂ baik dari negara *Advanced Economies* maupun *Emerging Markets* kelompok G20. Kedua, menurunkan konsumsi energi berbahan bakar fosil dan beralih ke energi terbarukan bagi kedua kelompok negara. Ketiga, negara *Advanced Economies* dapat melakukan transformasi pada aktivitas perdagangan yang lebih ramah lingkungan, dan meningkatkan PDB. Keempat, negara *Emerging Markets* dapat melakukan transformasi pada aktivitas konsumsi dan produksi pada produk/jasa yang ramah lingkungan, menarik para investor asing yang mengedepankan lingkungan, dan transformasi industri pada penggunaan teknologi ramah lingkungan.

Keterbatasan pada penelitian ini yaitu negara maju dan berkembang yang digunakan hanya dalam kelompok G20, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat menambah sampel yang mewakili seluruh negara maju dan berkembang di dunia.

Referensi

- Adinew, M. (2020). The Relationship Between Renewable Energy Consumption, Economic Growth and Carbon Dioxide Emissions in Ethiopia: Empirical Evidence from ARDL Bound Testing Model. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 10(3), 2224–3232. <https://doi.org/10.7176/jetp/10-3-02>
- Adom, P. K. (2015). Asymmetric Impacts of the Determinants of Energy Intensity in Nigeria. *Energy Economics*, 49, 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.03.027>
- Al-Mulali, U., Ozturk, I., & Lean, H. H. (2015). The Influence of Economic Growth, Urbanization, Trade Openness, Financial Development, and Renewable Energy on Pollution in Europe. *Natural Hazards*, 79(1), 621–644. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1865-9>
- Bekabil, U. T. (2020). Industrialization and Environmental Pollution in Africa: An Empirical Review. *Journal of Resources Development and Management*, 69, 18–21. <https://doi.org/10.7176/jrdm/69-03>
- Bekun, F. V., Emir, F., & Sarkodie, S. A. (2019). Another look at the relationship between energy consumption, carbon dioxide emissions, and economic growth in South Africa. *Science of the Total Environment*, 655, 759–765. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.271>
- Blackman, A., & Wu, X. (1999). *Foreign direct investment in China's power sector: trends, benefits and barriers*.
- Borga, M., Pegoue, A., Max, G., Legoff, H., Rodelgo, A. S., Entaltsev, D., & Egesa, K. (2022). *Measuring Carbon Emissions of Foreign Direct Investment in Host Economies*.
- Chen, Y., Zhao, J., Lai, Z., Wang, Z., & Xia, H. (2019). Exploring the effects of economic growth, and renewable and non-renewable energy consumption on China's CO₂ emissions: Evidence from a regional panel analysis. *Renewable Energy*, 140, 341–353.
- ClientEarth. (2022, February 18). *Fossil fuels and climate change: the facts*. Clientearth.Org. <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/#:~:text=When%20fossil%20fuels%20are%20burned,our%20atmosphere%2C%20causing%20global%20warming.>
- Cui, J., Lapan, H., & Moschini, G. C. (2016). Productivity, Export, and Environmental Performance: Air Pollutants in the United States. *American Journal of Agricultural Economics*, 98(2), 447–467. <https://doi.org/10.1093/ajae/aav066>
- Dou, Y., Zhao, J., Malik, M. N., & Dong, K. (2021). Assessing the impact of trade openness on CO₂ emissions: Evidence from China-Japan-ROK FTA countries. *Journal of Environmental Management*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113241>
- Eurostat. (2022). *Glossary: Carbon dioxide equivalent*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent
- Everett, T., Ishwaran, M., Ansaloni, G. P., & Rubin Alex. (2010). Economic growth and the environment. *Munich Personal RePEc Archive*, 23585.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.058>
- Gunarto, T. (2020). Effect of economic growth and foreign direct investment on carbon emission in the asian states. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 563–569. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.10218>
- Hanif, I. (2018). Impact of fossil fuels energy consumption, energy policies, and urban sprawl on carbon emissions in East Asia and the Pacific: A panel investigation. *Energy Strategy Reviews*, 21, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.04.006>
- IMF. (2017). *Chart of the Week: Slowing Productivity: Why it Matters and What To Do*.
- IPCC. (2005). *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*.
- Islam, A., Rahman, M., Hossain, S., Hossain, I., & Sultana, H. (2021). Does Energy Consumption, Economic Growth, and Foreign Direct Investment Contribute to CO₂ Emission? Evidence from Bangladesh. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 12(12), 2222–1700. <https://doi.org/10.7176/jesd/12-12-05>
- Ito, K. (2017). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2017.02.001>
- Kemlu. (2022). *Indonesia Usung Semangat Pulih Bersama dalam Presidensi G20 Tahun 2022*. Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia. <https://kemlu.go.id/portal/id/read/3288/berita/indonesia-usung-semangat-pulih-bersama-dalam-presidensi-g20-tahun-2022>
- Kim, S. (2020). The effects of foreign direct investment, economic growth, industrial structure, renewable and nuclear energy, and urbanization on Korean greenhouse gas emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041625>
- Lee, J. W. (2013). The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth. *Energy Policy*, 55, 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.039>

- Melissa Denchak. (2022, June 1). *Fossil Fuels: The Dirty Facts*. Nrdc.Org. <https://www.nrdc.org/stories/fossil-fuels-dirty-facts#sec-what-is>
- Metcalf, G. E. (2019). On the economics of a carbon tax for the United States. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2019(Spring), 405–484. <https://doi.org/10.1353/ECA.2019.0005>
- Musah, A., & Yakubu, I. N. (2023). Exploring industrialization and environmental sustainability dynamics in Ghana: a fully modified least squares approach. *Technological Sustainability*, 2(2), 142–155. <https://doi.org/10.1108/techs-06-2022-0028>
- Nguyen, A. T. (2019). Examining the Relationships between Energy Use, Fossil Fuel Consumption, Carbon Dioxide Emissions, and Economic Growth in Southeast Asia. *Journal of Asian Energy Studies*, 3(1), 45–59. <https://doi.org/10.24112/jaes.030005>
- Nikensari, I., Destilawati, S., & Nurjanah, S. (2019). Studi Environmental Kuznets Curve di Asia: Sebelum Dan Setelah Millennium Development Goals. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, 27(2), 11–25. <https://doi.org/10.14203/JEP.27.2.2019.11-25>
- OECD. (2019). OECD Investment Policy Reviews: Southeast Asia. *OECD Publishing*.
- Panayotou, T. (1993). *Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development*. International Labour Office.
- Pata, U. K. (2018). The Effect of Urbanization and Industrialization on Carbon Emissions in Turkey: Evidence from ARDL Bounds Testing Procedure. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 7740–7747. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1088-6>
- Pigato, M. A., Black, S. J., Dussaux, D., Mao, Z., McKenna, M., Rafaty, R., & Touboul, S. (2020). *Technology Transfer and Innovation for Low-Carbon Development*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1500-3>
- Puntoon, W., Tarkhamtham, P., & Tansuchat, R. (2022). The impacts of economic growth, industrial production, and energy consumption on CO2 emissions: A case study of leading CO2 emitting countries. *Energy Reports*, 8, 414–419. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.219>
- Rehman, A. U., Malik, A. H., Md Isa, A. H. bin, & Jais, M. bin. (2023). Dynamic impact of financial inclusion and industrialization on environmental sustainability. *Social Responsibility Journal*, 19(5), 906–929.
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., Tiwari, A. K., & Leitão, N. C. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO2 emissions in Indonesia. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 25, pp. 109–121). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.009>
- UNFCCC. (2007). *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*.
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. Unfccc.Int. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United Nations. (2022a). *Causes and Effects of Climate Change*. Un.Org. <https://www.un.org/en/climatechange/science/cause-s-effects-climate-change>
- United Nations. (2022b). *Renewable Energy – Powering a Safer Future*. Un.Org.
- Vigna, L., Ge, M., & Friedrich, J. (2021). Climate Watch the Open Data and Visualization Platform Tracking Countries Emissions and Key Climate Commitments (NDCs, LTS and Net-Zero Targets) to Promote Global Climate Action. *AGU Fall Meeting Abstracts*, Vol. 2021, pp. B24A-03.
- Voumik, L. C., & Sultana, T. (2022). Impact of urbanization, industrialization, electrification and renewable energy on the environment in BRICS: fresh evidence from novel CS-ARDL model. *Heliyon*, 8(11), e11457. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11457>
- Wang, Z., Shi, C., Li, Q., & Wang, G. (2011). Impact of Heavy Industrialization on The Carbon Emissions: An Empirical Study of China. *Energy Procedia*, 5, 2610–2616. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.324>
- Waqih, M. A. U., Bhutto, N. A., Ghumro, N. H., Kumar, S., & Salam, M. A. (2019). Rising environmental degradation and impact of foreign direct investment: An empirical evidence from SAARC region. *Journal of Environmental Management*, 243, 472–480. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.001>
- WMO. (2018). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017*.
- World Bank. (2022). *Fossil fuel energy consumption*. World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COM.M.FO.ZS>
- Yang, Z., & Zhao, Y. (2014). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in India: Evidence from directed acyclic graphs. *Economic Modelling*, 38, 533–540. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.01.030>
- Zafar, A., Ullah, S., Majeed, M. T., & Yasmeen, R. (2020). *Environmental pollution in Asian economies: Does the industrialisation matter?*