

Dampak Pertumbuhan Ekonomi, Penanaman Modal Asing, Populasi, dan Konsumsi Energi terhadap Emisi Karbon Dioksida di Enam Negara ASEAN Selama Periode 2000-2021

Yohanes Berchman Suhartoko ¹, , dan Monica Gede Dewinta Ekaristi ^{2,*}, 

¹ Program Studi Ekonomi Terapan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, 12930, Indonesia

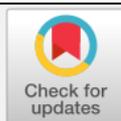
² Program Studi Ekonomi Pembangunan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jakarta, 12930, Indonesia

* Penulis Korespondensi: gede_monica@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Info Publikasi:

Artikel Hasil Penelitian



Sitasi Cantuman:

Suhartoko, Y. B., & Ekaristi, M. G. D. (2023). *The Impact of Economic Growth, Foreign Direct Investment, Population, and Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions in Six ASEAN Countries During the Period 2000–2021*. *Society*, 11(2), 771-786.

DOI: [10.33019/society.v11i2.557](https://doi.org/10.33019/society.v11i2.557)

Hak Cipta © 2023. Dimiliki oleh Penulis, dipublikasi oleh Society

OPEN  ACCESS



Artikel dengan akses terbuka.

Lisensi: Atribusi-NonKomersial-BerbagiSerupa (CC BY-NC-SA)

Dikirim: 17 Mei, 2023;

Diterima: 30 Desember, 2023;

Dipublikasi: 31 Desember, 2023;

ABSTRAK

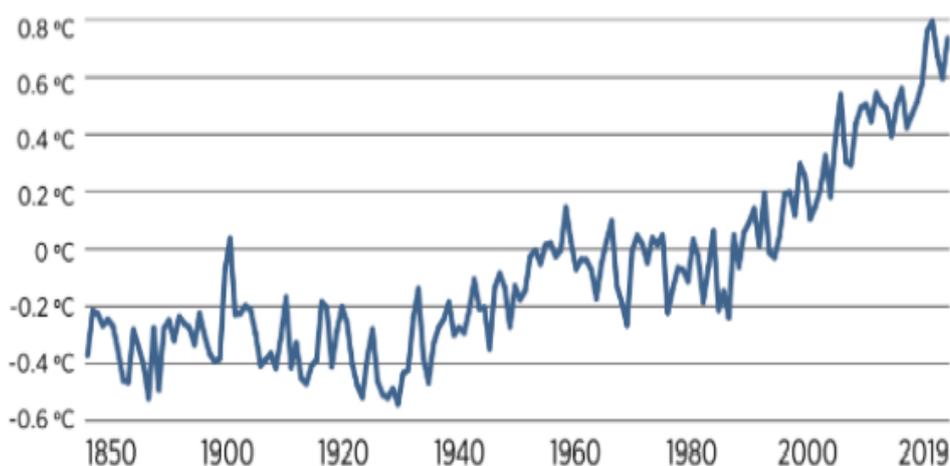
Peningkatan emisi CO₂ telah menyebabkan kenaikan suhu global. Peningkatan emisi CO₂ di ASEAN memerlukan pemeriksaan lebih lanjut terkait variabel-variabel yang mempengaruhi peningkatan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan memperoleh bukti empiris mengenai faktor-faktor penentu emisi CO₂ di enam negara ASEAN (Indonesia, Malaysia, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam) selama periode 2000–2021. Faktor-faktor yang diperhitungkan dalam penelitian ini meliputi Pertumbuhan Ekonomi (GGDP), Penanaman Modal Asing (FDI), Jumlah Populasi (POP), Konsumsi Energi Fosil (EF), dan Konsumsi Energi Terbarukan (GET). Penelitian ini menggunakan regresi data panel dengan memanfaatkan data deret waktu dan data lintas-seksi. Uji Chow dan Hausman dilakukan untuk menentukan model yang tepat, dan model efek tetap dipilih sebagai yang paling sesuai. Penelitian ini menunjukkan bahwa GET memiliki hubungan yang tidak signifikan dengan emisi CO₂, sedangkan GGDP, FDI, POP, dan EF memiliki hubungan yang signifikan dengan emisi CO₂. Sebagai kesimpulan, dengan mempertimbangkan semua variabel independen dalam penelitian ini yang mempengaruhi emisi CO₂, upaya ke depan sebaiknya difokuskan pada cara mengendalikan variabel-variabel ini untuk mengurangi emisi CO₂.

Kata Kunci: Data Panel; Emisi Karbon; Konsumsi Bahan Bakar Fosil; Pertumbuhan Konsumsi Energi Terbarukan; Pertumbuhan PDB; Penanaman Modal Asing; Populasi

1. Pendahuluan

Dalam istilah ekonomi, pembangunan tradisional mengacu pada situasi di mana tingkat pertumbuhan pendapatan per kapita yang berkelanjutan tercapai, memungkinkan suatu negara meningkatkan outputnya lebih cepat daripada pertumbuhan populasinya. Pembangunan ekonomi sangat erat kaitannya dengan alokasi sumber daya produktif dan alam yang langka secara efisien, guna mendorong pertumbuhan yang berkelanjutan seiring waktu. Mengingat saling ketergantungan ini, pencapaian pembangunan ekonomi di suatu negara juga menghadapi tantangan dari mekanisme ekonomi, sosial, politik, dan kelembagaan, baik di sektor publik maupun swasta (Todaro & Smith, 2015). Pembangunan ekonomi berkaitan erat dengan pertumbuhan ekonomi karena pembangunan ekonomi dapat merangsang pertumbuhan ekonomi, dan sebaliknya, pertumbuhan ekonomi dapat memfasilitasi pembangunan ekonomi (Apriliana, 2021). Untuk mendukung tingkat pertumbuhan ekonomi yang tinggi, pemerintah dan masyarakat dapat meningkatkan produktivitas mereka guna menghasilkan output tambahan yang mendukung pertumbuhan ekonomi. Namun, tingkat produktivitas yang tinggi di masyarakat memiliki konsekuensi lingkungan, seperti timbulnya limbah akibat aktivitas manusia. Degradasi lingkungan merupakan bentuk kerusakan lingkungan yang menunjukkan penurunan kualitas lingkungan dan sering dikaitkan dengan meningkatnya aktivitas ekonomi yang tidak mempertimbangkan dampak lingkungan. Mengatasi penurunan kualitas lingkungan menjadi prioritas utama bagi negara-negara ASEAN, termasuk Brunei, Myanmar, Singapura, Thailand, Filipina, Laos, Vietnam, Kamboja, Indonesia, dan Malaysia (Santi & Sasana, 2021).

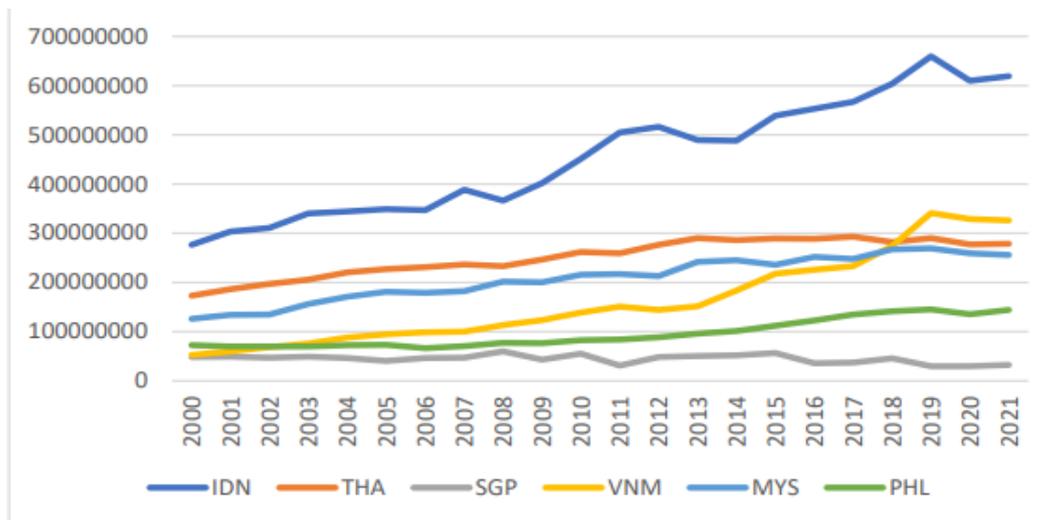
Salah satu bentuk degradasi lingkungan yang signifikan akibat aktivitas ekonomi yang tidak bertanggung jawab adalah emisi gas rumah kaca (GRK). GRK mencakup gas-gas seperti metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), dan karbon dioksida (CO₂). Di antara kategori gas-gas ini, terdapat juga gas fluorinated (HFCs, PFCs, dan SF₆). Di antara GRK ini, karbon dioksida (CO₂) memiliki dampak signifikan terhadap pemanasan global, yang menyumbang sekitar 75% dari total (Hariyani et al., 2022). Peningkatan emisi CO₂ menyebabkan perubahan iklim, yang mempengaruhi kehidupan secara global, menyebabkan perubahan pada lingkungan darat dan laut (Akbar, 2019). Peningkatan tingkat emisi CO₂ juga dapat merusak lapisan ozon, yang mengakibatkan peningkatan suhu global.



Gambar 1. Suhu Bumi dari 1880 hingga 2022

Sumber: (Katadata Insight Center, 2022)

Dalam **Gambar 1**, dapat diamati bahwa suhu rata-rata permukaan Bumi meningkat sekitar 1,1 derajat Celsius dari akhir 1800-an hingga 2020. Peningkatan suhu rata-rata permukaan Bumi ini telah menyebabkan gelombang panas, mengurangi kapasitas manusia untuk bekerja, dan menurunkan produktivitas. Menurut data Our World in Data, Asia menyumbang total emisi CO₂ sebesar 457 miliar ton, atau 29% dari emisi kumulatif global pada tahun 2017. Enam negara ASEAN menyumbang 31,9 miliar ton, atau 2,1% dari emisi Asia (Ritchie et al., 2020). Di bawah ini adalah grafik yang menggambarkan emisi CO₂ di enam negara ASEAN: Indonesia, Malaysia, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam.



Gambar 2. Emisi CO₂ di 6 Negara ASEAN

Sumber: (Ritchie et al., 2020)

Gambar 2 menggambarkan fluktuasi emisi CO₂ di masing-masing negara ASEAN dari tahun 2000 hingga 2021. Selama periode ini, variasi emisi CO₂ yang mencolok terlihat, dengan Indonesia mencatatkan emisi tertinggi, diikuti oleh Thailand, Malaysia, Vietnam, Filipina, dan Singapura. Fluktuasi ini menunjukkan kompleksitas keberlanjutan lingkungan di kawasan tersebut. Lanskap global, khususnya di negara-negara anggota ASEAN, ditandai oleh emisi CO₂ yang tinggi, yang menyoroti kekuatan pendorong di balik fenomena ini. Salah satu kontributor utama meningkatnya emisi CO₂ adalah ketergantungan yang semakin intens pada energi fosil untuk mendukung aktivitas masyarakat dan meningkatkan produktivitas. Energi fosil menyumbang sekitar 70% dari permintaan energi dunia, dengan Asia Tenggara menyumbang sekitar 8% terhadap pertumbuhan energi global. Mengingat keadaan ini, ada kebutuhan mendesak untuk transisi bertahap menuju sumber energi alternatif untuk menggantikan energi non-terbarukan atau fosil, sehingga mengurangi dampak lingkungan.

Dietz & Rosa, arsitek model *Impact, Population, Affluence, and Technology* (IPAT), menyatakan bahwa lonjakan emisi CO₂ didorong oleh berbagai faktor antropogenik, termasuk ukuran populasi, aktivitas ekonomi, kemajuan teknologi, lembaga politik dan ekonomi, serta sikap dan keyakinan yang berlaku (Dietz & Rosa, 1997). Baik pertumbuhan populasi maupun pembangunan ekonomi merupakan variabel kunci yang mempengaruhi emisi CO₂. Selain itu, pengaruh Penanaman Modal Asing (FDI) terhadap emisi CO₂ diakui, dengan Hipotesis *Pollution Haven* dan Hipotesis *Pollution Halo* yang menawarkan perspektif yang bertentangan tentang hubungan rumit antara FDI dan polusi lingkungan.

Sebagai kesimpulan, faktor-faktor yang kompleks yang berkontribusi pada emisi CO₂, sebagaimana dijelaskan oleh berbagai kerangka kerja dan pengamatan ini, menyoroti kompleksitas dalam menangani tantangan lingkungan. Imperatif untuk beralih ke sumber energi yang berkelanjutan dan memahami interaksi yang rumit antara dinamika populasi, pembangunan ekonomi, dan investasi asing menjadi semakin jelas dalam upaya menuju masa depan yang lebih tangguh dan seimbang secara lingkungan.

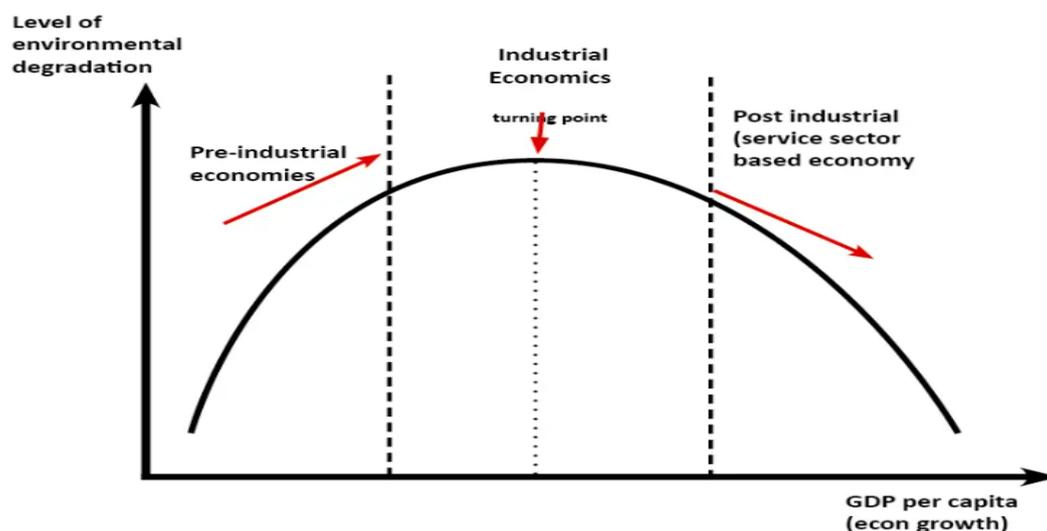
Berdasarkan pemaparan dan penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, Penanaman Modal Asing, ukuran populasi, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di enam negara anggota ASEAN dari tahun 2000 hingga 2021. Penelitian ini menggabungkan variabel ekonomi dan energi untuk mengkaji hubungannya dengan emisi karbon dioksida serta mengidentifikasi kebijakan yang dapat secara efektif menguranginya. Periode 2000–2021 dipilih karena menandai peningkatan yang signifikan dalam emisi karbon dioksida.

2. Pengembangan Hipotesis

2.1. Hubungan antara Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi CO₂

Pertumbuhan ekonomi memiliki kaitan yang erat dengan kondisi lingkungan, sebuah hubungan yang sering dijelaskan melalui teori Environmental Kuznets Curve (EKC). Kuznets memperkenalkan konsep pertumbuhan ekonomi sebagai faktor kunci dalam perubahan distribusi pendapatan jangka panjang. Hipotesis Kuznets menyatakan bahwa ketimpangan pendapatan awalnya meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, namun setelah mencapai titik tertentu, ketimpangan tersebut akan menurun seiring dengan perkembangan ekonomi yang terus berlanjut (Kuznets, 1955). Hipotesis EKC memperluas gagasan ini ke dalam degradasi lingkungan, dengan menyarankan bahwa seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, degradasi lingkungan awalnya akan memburuk namun pada akhirnya akan menurun seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang lebih lanjut.

Di bawah ini adalah gambar yang menggambarkan teori EKC.



Gambar 3. *Environmental Kuznets Curve*

Sumber: (Panayotou, 1993)

Gambar 3 menggambarkan hubungan antara perubahan dalam struktur ekonomi dan pertumbuhan ekonomi, dengan membagi EKC menjadi tiga tahap: ekonomi pra-industri,

ekonomi industri, dan ekonomi pasca-industri. Pada tahap pertama, pertumbuhan ekonomi beralih dari sektor pertanian ke sektor industri, yang mengakibatkan degradasi lingkungan yang signifikan karena pergeseran dari pedesaan ke perkotaan dan dari pertanian ke industri (Panayotou, 1993). Tren ini berlanjut di tahap kedua, di mana investasi lebih lanjut mendorong transformasi ekonomi. Pada tahap ketiga, ekonomi beralih dari sektor industri ke sektor jasa, disertai dengan berkurangnya polusi udara seiring dengan meningkatnya pendapatan.

Pada tingkat pendapatan yang lebih rendah, negara-negara beralih dari pertanian ke industri, menyebabkan peningkatan intensitas polusi akibat produksi dan konsumsi yang lebih tinggi, pemanfaatan sumber daya alam yang lebih besar, dan peningkatan emisi polusi. Sebaliknya, pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi, perkembangan ekonomi didominasi oleh ekonomi pasca-industri atau berbasis jasa. Pada tahap ini, kesadaran lingkungan meningkat, pengeluaran untuk lingkungan meningkat, teknologi yang efisien diadopsi, dan permintaan akan barang dan jasa yang ramah lingkungan tumbuh (Alam et al., 2016). Akibatnya, sektor industri menjadi lebih bersih, nilai-nilai masyarakat bergeser menuju pelestarian lingkungan, dan regulasi menjadi lebih efektif (Dasgupta et al., 2002).

Hariani et al. menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi berdampak positif dan signifikan terhadap emisi CO₂, yang berarti bahwa seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, emisi CO₂ juga meningkat secara signifikan (Hariani et al., 2022). Temuan ini sejalan dengan Kizilkaya, yang juga menemukan dampak positif dan signifikan dari pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂. Namun, beberapa peneliti tidak setuju dengan temuan ini (Kizilkaya, 2017). Misalnya, Santi & Sasana berpendapat bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki dampak negatif dan tidak signifikan terhadap emisi CO₂, yang menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya aktivitas ekonomi, kesadaran lingkungan masyarakat juga meningkat dan mereka terlibat dalam aktivitas yang tidak berkontribusi pada peningkatan emisi CO₂ (Santi & Sasana, 2021).

Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi akan secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ di enam negara ASEAN. Oleh karena itu, hipotesis yang diusulkan adalah sebagai berikut:

H1: Pertumbuhan ekonomi memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN.

2.2. Hubungan antara Penanaman Modal Asing dan Emisi CO₂

Penanaman Modal Asing (FDI) memengaruhi pencemaran lingkungan, dengan dua hipotesis utama yang menjelaskan hubungan antara FDI dan pencemaran lingkungan: Hipotesis Pollution Haven dan Hipotesis Pollution Halo.

2.2.1. Hipotesis Pollution Haven

Hipotesis Pollution Haven menyatakan bahwa perusahaan yang mencari peluang investasi akan memilih negara-negara berkembang karena pajak yang lebih rendah dan regulasi emisi CO₂ yang kurang ketat. Khastar et al. menjelaskan bahwa, menurut hipotesis ini, perusahaan asing mungkin memanfaatkan regulasi lingkungan yang ketat di negara asal mereka dengan merelokasi industri yang merusak lingkungan ke negara berkembang melalui FDI, yang pada akhirnya meningkatkan emisi di negara penerima (Khastar et al., 2020).

Hipotesis ini berpendapat bahwa dalam lingkungan perdagangan yang liberal, industri-industri bermigrasi dari negara-negara kaya yang memiliki regulasi lingkungan yang ketat ke negara-negara yang kurang makmur dengan standar yang lebih longgar, menjadikannya menarik untuk investasi. Sebaliknya, industri dengan praktik ramah lingkungan cenderung

tetap berada di negara maju yang memiliki regulasi lebih ketat. Hipotesis Pollution Haven menyoroiti dampak lingkungan negatif dari dinamika ini, terutama di negara berkembang yang, meskipun menawarkan tenaga kerja murah dan sumber daya melimpah, mungkin kekurangan hukum lingkungan yang ketat.

Oleh karena itu, arus masuk perusahaan yang mencari investasi dapat berpotensi menyebabkan degradasi lingkungan di negara tuan rumah. Hipotesis ini menekankan hubungan kompleks antara pertimbangan ekonomi, regulasi lingkungan, dan pola investasi global, yang menggarisbawahi perlunya kebijakan yang seimbang yang mempertimbangkan pembangunan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan.

2.2.2. Hipotesis Pollution Halo

Berlawanan dengan Hipotesis Pollution Haven, Hipotesis Pollution Halo yang dikemukakan oleh Copeland & Taylor menyatakan bahwa FDI dapat mengurangi pencemaran lingkungan di negara tuan rumah (Copeland & Taylor, 2004). Hipotesis ini berpendapat bahwa investasi asing meningkatkan efisiensi energi, difusi teknologi, dan praktik manajemen yang lebih baik, yang secara kolektif mendorong lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan di negara penerima (Aisah, 2019).

Berbeda dengan Hipotesis Pollution Haven yang fokus pada manfaat lingkungan di negara asal akibat peningkatan produktivitas, efisiensi energi, dan manajemen yang lebih baik, Hipotesis Pollution Halo menekankan dampak lingkungan positif di negara tuan rumah. Hipotesis ini menyatakan bahwa FDI berperan sebagai jalur untuk transfer teknologi dan pengembangan keterampilan manajemen yang canggih, yang menghasilkan proses produksi yang lebih efisien, pengurangan konsumsi energi per unit output, dan penurunan signifikan emisi gas rumah kaca (Zarsky, 1999).

Dengan demikian, Hipotesis Pollution Halo menawarkan pandangan optimis tentang potensi manfaat lingkungan dari FDI, dengan menyoroiti pentingnya transfer teknologi dan pengembangan keterampilan dalam mendorong praktik berkelanjutan di negara tuan rumah.

Mert & Bölük menemukan bahwa FDI secara signifikan mengurangi emisi CO₂ di negara-negara yang mematuhi Protokol Kyoto, mendukung Hipotesis Pollution Halo (Mert & Bölük, 2016). Namun, Santi & Sasana berargumen bahwa meskipun FDI berdampak positif terhadap emisi CO₂, dampaknya tidak signifikan secara statistik, yang menunjukkan bahwa peningkatan investasi dapat memperburuk beban lingkungan dan mengurangi kualitas lingkungan, yang sejalan dengan Hipotesis Pollution Haven (Santi & Sasana, 2021).

Penelitian ini berpendapat bahwa peningkatan FDI akan secara signifikan mengurangi emisi CO₂ di enam negara ASEAN. Oleh karena itu, hipotesis yang diusulkan adalah sebagai berikut:

H2: Foreign Direct Investment secara signifikan berdampak negatif terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN.

2.2.3. Hubungan antara Populasi dan Emisi CO₂

Pertumbuhan populasi, baik akibat imigrasi maupun tingginya angka kelahiran, berdampak pada sumber daya alam dan infrastruktur sosial, sehingga menimbulkan tantangan bagi keberlanjutan suatu negara. Ekspansi populasi yang signifikan berdampak buruk pada ketersediaan lahan untuk pertanian dan meningkatkan tekanan pada sumber daya seperti makanan, energi, air, layanan sosial, dan infrastruktur. Seiring dengan berlanjutnya pertumbuhan populasi, permintaan akan barang dan jasa meningkat, yang pada akhirnya

menyebabkan penipisan sumber daya dan peningkatan pencemaran lingkungan (Suparmoko, 1997). Dalam *The Lancet* pada tahun 1994, Colin Butler mencatat bahwa kelebihan populasi memiliki konsekuensi ekonomi akibat penggunaan sumber daya. Pada tahun 2017, lebih dari 50 penerima Nobel yang disurvei oleh Times Higher Education mengidentifikasi kelebihan populasi manusia dan degradasi lingkungan sebagai dua ancaman terbesar yang dihadapi umat manusia.

Hariani et al. menemukan bahwa total populasi berdampak positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ di 10 negara ASEAN, berpendapat bahwa peningkatan populasi menyebabkan lebih banyak konsumsi energi, termasuk penggunaan listrik dan bahan bakar, yang mengakibatkan peningkatan emisi CO₂ (Hariani et al., 2022). Sebaliknya, Abdouli et al. menyarankan bahwa kepadatan populasi memiliki hubungan negatif dan signifikan dengan emisi CO₂, dengan alasan bahwa kepadatan populasi yang lebih tinggi membuat orang lebih sadar akan dampak lingkungan dari aktivitas mereka, sehingga mengurangi emisi CO₂ (Abdouli et al., 2018).

Penelitian ini berpendapat bahwa pertumbuhan populasi akan secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ di enam negara ASEAN. Oleh karena itu, hipotesis yang diusulkan adalah sebagai berikut:

H3: Populasi memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN.

2.2.4. Hubungan antara Konsumsi Energi Fosil dan Emisi CO₂

Energi fosil, yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, diklasifikasikan sebagai energi konvensional karena sifatnya yang terbatas. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan. Amalia et al. menyatakan bahwa bahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon saat dibakar, melepaskannya ke atmosfer (Amalia et al., 2022).

A'nnisa et al. mencatat bahwa peningkatan penggunaan energi fosil dapat menyebabkan masalah lingkungan, terutama di kota-kota besar, pertambangan, dan sektor lain yang sangat bergantung pada energi fosil (A'nnisa et al., 2020). Penggunaan energi fosil memiliki implikasi terhadap lingkungan lokal karena meningkatkan emisi CO₂, yang dapat berdampak negatif pada kesehatan masyarakat.

Begum et al. menemukan bahwa konsumsi energi fosil per kapita berdampak positif dan signifikan terhadap emisi CO₂, yang menunjukkan bahwa setiap peningkatan konsumsi energi per kapita akan menyebabkan peningkatan emisi CO₂ yang sesuai (Begum et al., 2015). Temuan ini sejalan dengan Santi & Sasana, yang menyatakan bahwa konsumsi energi fosil berdampak positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ di delapan negara ASEAN (Santi & Sasana, 2021). Oleh karena itu, semakin tinggi konsumsi energi, semakin tinggi pula emisi CO₂.

Penelitian ini berpendapat bahwa peningkatan konsumsi energi fosil akan secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ di enam negara ASEAN. Oleh karena itu, hipotesis yang diusulkan adalah sebagai berikut:

H4: Konsumsi energi fosil memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN.

2.2.5. Hubungan antara Konsumsi Energi Terbarukan dan Emisi CO₂

Energi terbarukan, yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui, dianggap ramah lingkungan dan menjadi alternatif bagi bahan bakar fosil. Adopsi energi terbarukan

tidak hanya memperbaiki kondisi lingkungan tetapi juga membantu melestarikan sumber daya energi fosil yang terbatas.

Sumber energi terbarukan menghasilkan emisi yang lebih sedikit dan, dalam beberapa kasus, tidak menghasilkan emisi sama sekali. Penggunaan energi terbarukan yang luas diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi yang ramah lingkungan (Rahmandani & Dewi, 2023). Energi terbarukan sangat penting dalam pembangunan ekonomi karena meningkatkan keamanan energi dengan menyediakan energi yang andal, mudah diakses, dan ramah lingkungan, yang esensial untuk pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Energi terbarukan menawarkan manfaat sosial dan lingkungan dengan mengurangi emisi karbon yang dilepaskan ke lingkungan (Rahmandani & Dewi, 2023).

Zulaicha et al. menemukan bahwa konsumsi energi terbarukan memiliki dampak negatif dan tidak signifikan terhadap emisi CO₂ (Zulaicha et al., 2020). Oleh karena itu, konsumsi energi terbarukan adalah langkah positif menuju pengurangan emisi CO₂, tetapi mungkin tidak memiliki dampak yang signifikan.

Penelitian ini berpendapat bahwa peningkatan konsumsi energi terbarukan akan secara signifikan mengurangi emisi CO₂ di enam negara ASEAN. Oleh karena itu, hipotesis yang diusulkan adalah sebagai berikut:

H5: Konsumsi energi terbarukan secara signifikan berdampak negatif terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder, khususnya data panel, yang mengintegrasikan dimensi deret waktu (*time series*) dan dimensi lintas negara (*cross-sectional*). Komponen deret waktu mencakup periode 21 tahun, yaitu dari tahun 2000 hingga 2021. Komponen lintas negara mencakup data dari enam negara: Indonesia, Malaysia, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam. Sumber data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan di bawah ini.

Tabel 1. Variabel Dependen dan Independen Beserta Sumbernya

Variabel	Satuan	Sumber Data
Variabel Dependen		
Emisi Karbon Dioksida (CO ₂)	Miliar ton	(Ritchie et al., 2020)
Variabel Independen		
Pertumbuhan Ekonomi (GDP)	Persen (%)	(World Bank, 2015)
Penanaman Modal Asing (FDI)	Arus Masuk Bersih (US\$)	(World Bank, 2015)
Jumlah Populasi (POP)	Orang	(World Bank, 2015)
Konsumsi Energi Fosil (EF)	Terawatt-jam (TWh)	(Ritchie et al., 2020)
Konsumsi Energi Terbarukan (ET)	Persen (%)	(Ritchie et al., 2020)

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi data panel. Regresi data panel memungkinkan analisis data dengan memperhitungkan dimensi spasial dan temporal. Dimensi spasial merujuk pada satuan observasi lintas negara dalam penelitian ini, yaitu negara-negara yang dianalisis. Dimensi temporal merujuk pada observasi berkala variabel-variabel selama periode tertentu, yang diwakili oleh tahun-tahun dalam penelitian ini. Regresi data panel digunakan untuk meningkatkan kekuatan statistik analisis, menghasilkan

nilai R-squared yang lebih realistis, dan menghindari hasil regresi yang semu (Enders, 2004). Stasioneritas setiap variabel diuji menggunakan uji Phillips-Perron (PP) (Phillips & Perron, 1988). Model regresi panel yang diestimasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$CO_{2it} = \alpha + \beta_1GGDP_{1it} + \beta_2FDI_{2it} + \beta_3POP_{3it} + \beta_4EF_{4it} + \beta_5GET_{5it} + e_{it}$$

Penjelasan:

i = Country i

t = Periode ke- t

CO₂ = Emisi Karbon Dioksida

GGDP = Pertumbuhan Ekonomi

FDI = Penanaman Modal Asing

POP = Populasi

EF = Konsumsi Energi Fosil

GET = Pertumbuhan Konsumsi Energi Terbarukan

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1. Hasil

4.1.1. Pemilihan Model

Dalam regresi data panel, terdapat tiga model yang dapat dipertimbangkan: model efek umum, model efek tetap, dan model efek acak. Kami menggunakan uji Chow untuk membandingkan model efek umum dengan model efek tetap guna menentukan model terbaik. Jika uji Chow menunjukkan bahwa model efek tetap lebih baik, kami kemudian melanjutkan dengan uji Hausman untuk memilih antara model efek tetap dan model efek acak. Sebaliknya, jika uji Chow memilih model efek umum, maka dilakukan uji rentang berganda untuk membandingkannya dengan model efek acak.

Tabel 2. Hasil Uji Chow dan Uji Hausman

Deskripsi	Prob.	Model yang Dipilih
Uji Chow	0.0000	Model Efek Tetap
Uji Hausman	0.0000	Model Efek Tetap

Berdasarkan hasil yang disajikan dalam **Tabel 2**, Model Efek Tetap (Fixed Effect Model atau FEM) ditetapkan sebagai model yang paling sesuai untuk penelitian ini. Uji Chow digunakan untuk memilih antara model efek umum dan model efek tetap. Keputusan ini didasarkan pada nilai probabilitas dari uji F cross-section. Jika nilai probabilitas lebih besar dari 0,05, model efek umum dipilih; jika kurang dari 0,05, model efek tetap dipilih. Seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2**, nilai probabilitas adalah 0,0000, yang kurang dari 0,05, menunjukkan bahwa model efek tetap dipilih. Uji Hausman membandingkan model efek tetap dengan model efek acak. Keputusan ini didasarkan pada nilai probabilitas dari cross-section random term. Jika nilai probabilitas lebih besar dari 0,05, model efek acak dipilih; jika kurang dari 0,05, model efek tetap dipilih. **Tabel 2** menunjukkan bahwa nilai probabilitas adalah 0,0000, yang kurang dari 0,05, sehingga mengkonfirmasi pemilihan model efek tetap.

Tabel 3. Hasil Regresi Data Panel dengan Model Efek Tetap (FEM)

Variabel	Koefisien	Std. Error	Prob.
GGDP	129.328.670,4	59.442.006	0,0315
FDI	-0,00111019	0,000137	0,0000
POP	2,793558	0,274610	0,0000
EF	233.495,9	14.201,85	0,0000
GET	-283.939,87	1.317.330	0,8297

Hasil regresi data panel menunjukkan nilai R-squared sebesar 0,984250, yang berarti 98% variasi dalam variabel dependen dijelaskan oleh variabel independen secara keseluruhan. Output regresi juga menunjukkan nilai probabilitas F sebesar 0,000000. Karena nilai ini kurang dari tingkat signifikansi alpha yang ditentukan sebesar 5%, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh gabungan dari semua variabel independen terhadap variabel dependen adalah signifikan secara statistik.

Seperti yang diamati dalam Tabel 3, variabel GGDP, FDI, POP, dan EF secara signifikan memengaruhi emisi CO₂. Namun, variabel GET tidak memiliki dampak yang signifikan. Persamaan regresi yang dihasilkan dari Model Efek Tetap adalah:

$$CO_2 = -236872582.574 + 129328670.4GGDP_{1it} - 0.00111019334377FDI_{2it} + 2.79355842676POP_{3it} + 233495.998482EF_{4it} - 283939.874345GET_{5it} + e_{it}$$

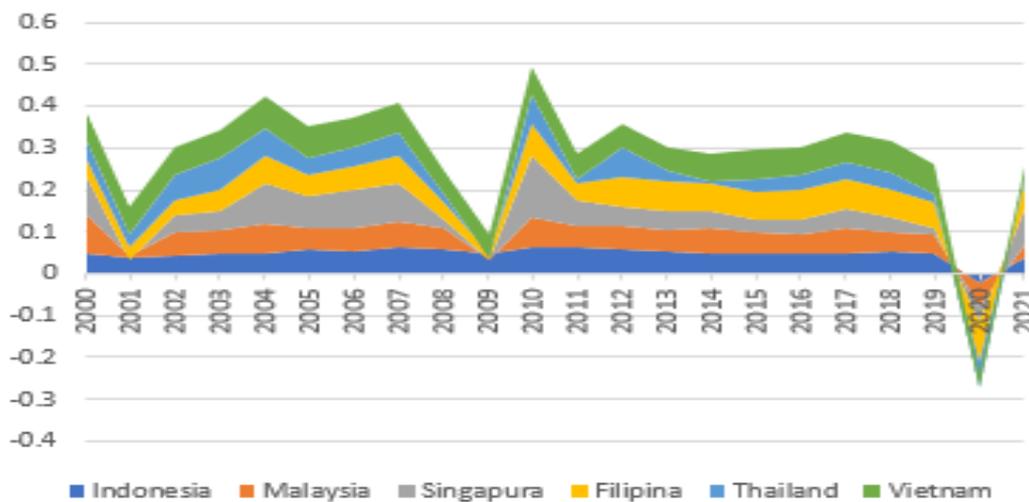
Hasil regresi data panel menggunakan Model Efek Tetap menunjukkan adanya variasi karakteristik data antar negara, yang ditunjukkan oleh perbedaan konstanta. Oleh karena itu, persamaan regresi yang menggabungkan efek spesifik negara adalah sebagai berikut:

$$CO_2 = -236872582.574 + 129328670.4GGDP_{1it} - 0.00111019334377FDI_{2it} + 2.79355842676POP_{3it} + 233495.998482EF_{4it} - 283939.874345GET_{5it} - 13871514_{6i} - 363000000_{7i} + 152000000_{8i} + 150000000_{9i} + 38614297_{10i} + 36308085_{11i} + U_{it}$$

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengaruh PDB terhadap Emisi CO₂

Antara tahun 2000 dan 2021, negara-negara dengan pertumbuhan ekonomi tertinggi secara berurutan adalah Vietnam, Thailand, Filipina, Singapura, Malaysia, dan Indonesia. Gambar 4 mengilustrasikan pertumbuhan ekonomi di enam negara ASEAN tersebut.



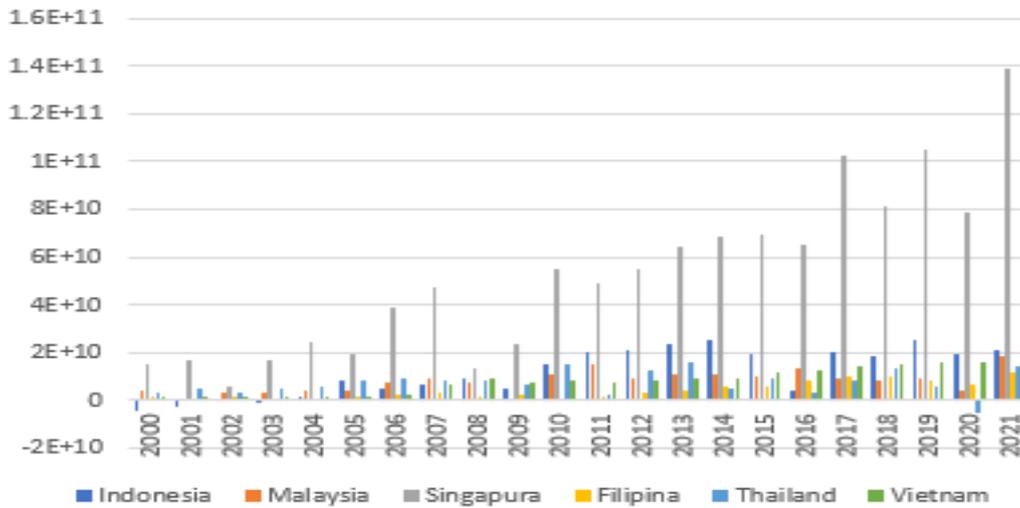
Gambar 4. Pertumbuhan Ekonomi Riil (PDB) di 6 Negara ASEAN

Sumber: (World Bank, 2015)

Analisis regresi mengungkapkan adanya korelasi positif yang signifikan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon dioksida (CO₂). Hal ini menunjukkan bahwa emisi CO₂ meningkat seiring dengan kemajuan pertumbuhan ekonomi. Temuan ini sejalan dengan hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC), yang menyatakan bahwa pembangunan ekonomi awalnya akan meningkatkan degradasi lingkungan. Namun, pada tahap selanjutnya, pertumbuhan ekonomi akan mendorong upaya konservasi lingkungan yang lebih baik dan penurunan dampak lingkungan. Pada tahap awal pertumbuhan industri, seringkali terjadi peningkatan kerusakan lingkungan, dengan harapan bahwa kemajuan ekonomi akan mendorong praktik lingkungan yang lebih baik seiring waktu, yang pada akhirnya mengurangi emisi. Temuan dalam penelitian ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Hariani et al., 2022), yang juga menunjukkan hubungan positif dan signifikan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂.

4.2.2. Pengaruh Penanaman Modal Asing (FDI) terhadap Emisi CO₂

Dari tahun 2000 hingga 2021, Singapura mengalami arus masuk Penanaman Modal Asing (FDI) terbesar.



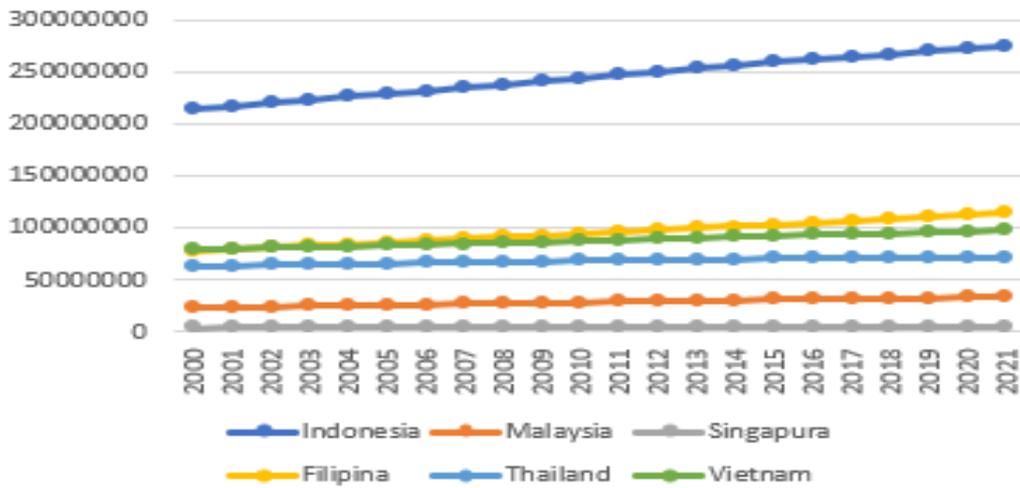
Gambar 5. Penanaman Modal Asing (FDI) di 6 Negara ASEAN

Sumber: (World Bank, 2015)

Hasil regresi menunjukkan bahwa FDI memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap emisi CO₂. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Mert & Bölük, 2016) yang menemukan hubungan negatif yang kuat antara FDI dan emisi CO₂. Penjelasan di balik hubungan ini adalah bahwa investasi asing sering kali membawa kemajuan teknologi yang meningkatkan standar lingkungan, sehingga mengurangi emisi karbon. Pengamatan ini mendukung hipotesis Pollution Halo, yang menyatakan bahwa peningkatan investasi asing dapat mengurangi emisi CO₂ dengan meningkatkan efisiensi manufaktur melalui teknologi canggih. Temuan ini menyoroti dampak eksternal lingkungan positif yang terkait dengan FDI dan pentingnya mempertimbangkan dampak ekonomi dan lingkungan dalam strategi investasi global.

4.2.3. Pengaruh Populasi terhadap Emisi CO₂

Selama periode penelitian, Indonesia memiliki populasi terbesar di antara enam negara ASEAN, dengan kisaran antara sekitar 214 juta hingga 270 juta jiwa. Setelah itu diikuti oleh Filipina (77 juta hingga 113 juta jiwa), Vietnam (79 juta hingga 97 juta jiwa), Thailand (63 juta hingga 71 juta jiwa), Malaysia (22 juta hingga 33 juta jiwa), dan Singapura (4 juta hingga 5 juta jiwa).



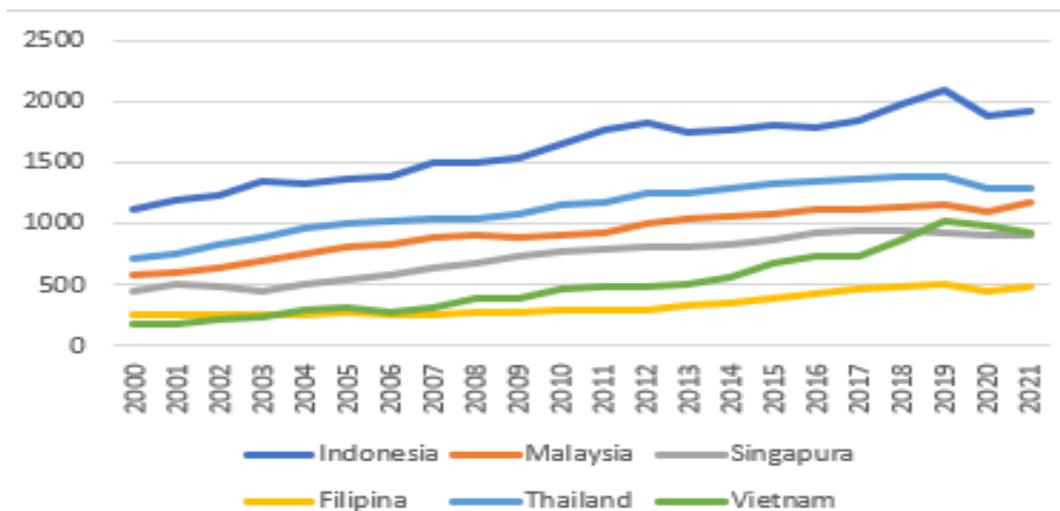
Gambar 6. Populasi (POP) dari 6 Negara ASEAN

Sumber: (World Bank, 2015)

Hasil regresi menunjukkan adanya hubungan positif dan signifikan antara ukuran populasi dan emisi CO₂. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Hariani et al., 2022), yang juga menemukan bahwa kepadatan populasi secara signifikan memengaruhi emisi CO₂. Ketika populasi bertambah, permintaan akan barang dan jasa meningkat, yang mengarah pada tingkat produksi yang lebih tinggi dan, pada akhirnya, emisi CO₂ yang lebih besar. Hal ini menekankan interaksi kompleks antara pertumbuhan populasi dan dampak lingkungan, serta pentingnya strategi berkelanjutan yang dapat menyeimbangkan tren demografi dengan pelestarian ekologi.

4.2.4. Pengaruh Konsumsi Energi Fosil terhadap Emisi CO₂

Selama periode penelitian, Indonesia memiliki konsumsi energi fosil tertinggi, diikuti oleh Thailand, Malaysia, Singapura, Vietnam, dan Filipina.



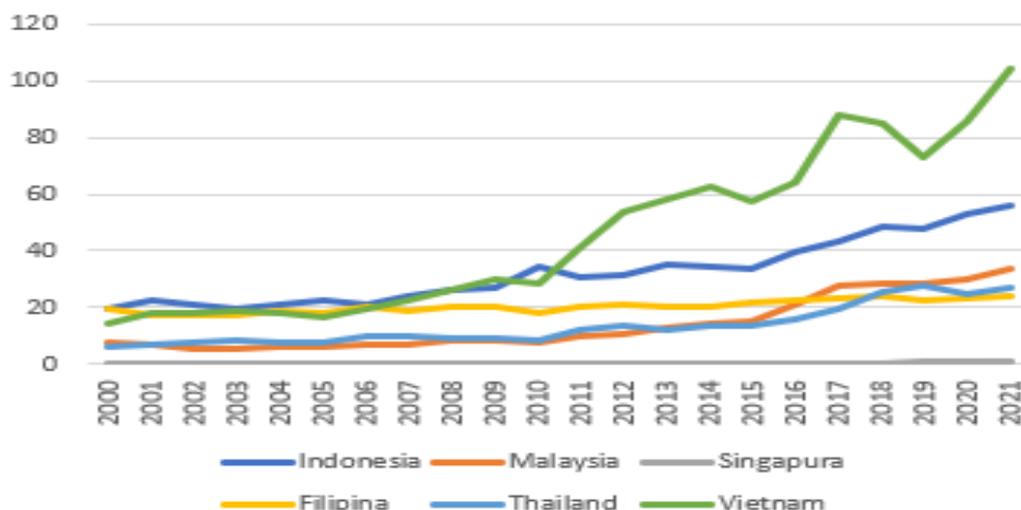
Gambar 7. Konsumsi Energi Fosil (EF) di 6 Negara ASEAN

Sumber: (Ritchie et al., 2020)

Hasil regresi menunjukkan adanya hubungan positif dan signifikan antara konsumsi energi fosil dan emisi CO₂. Temuan ini konsisten dengan penelitian Kizilkaya, yang menemukan bahwa konsumsi energi secara signifikan mempengaruhi emisi CO₂ (Kizilkaya, 2017). Korelasi positif ini menyoroti sifat karbon intensif dari bahan bakar fosil, di mana peningkatan konsumsi menyebabkan peningkatan emisi CO₂. Mengatasi pola konsumsi energi sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan, dan beralih ke sumber energi yang lebih bersih sangat penting untuk mengurangi emisi CO₂ dan mengatasi perubahan iklim.

4.2.5. Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan terhadap Emisi CO₂

Vietnam memiliki konsumsi energi terbarukan tertinggi, diikuti oleh Indonesia, Filipina, Malaysia, Thailand, dan Singapura.



Gambar 8. Konsumsi Energi Terbarukan (RE) di 6 Negara ASEAN

Sumber: (Ritchie et al., 2020)

Hasil regresi menunjukkan bahwa konsumsi energi terbarukan memiliki dampak negatif namun tidak signifikan secara statistik terhadap emisi CO₂. Ketidaksignifikan ini mungkin disebabkan oleh proporsi energi terbarukan yang relatif kecil dibandingkan dengan sumber konvensional seperti batu bara, minyak, dan gas. Meskipun adopsi energi terbarukan semakin meningkat, dampaknya dalam mengurangi emisi karbon global mungkin belum besar. Pengamatan ini konsisten dengan penelitian Zulaicha et al., yang menemukan bahwa konsumsi energi terbarukan memiliki hubungan negatif dengan emisi CO₂, tetapi efeknya tidak signifikan secara statistik (Zulaicha et al., 2020). Transisi menuju energi terbarukan membutuhkan investasi yang besar dan waktu untuk secara signifikan mengurangi emisi karbon. Komitmen yang terus berlanjut dan kebijakan inovatif sangat penting untuk mempercepat transisi ini dan mengurangi emisi CO₂.

5. Kesimpulan

Penelitian ini menyelidiki dampak berbagai faktor terhadap emisi CO₂ di enam negara ASEAN: Indonesia, Malaysia, Singapura, Filipina, Thailand, dan Vietnam. Studi ini mengungkapkan bahwa Pertumbuhan Ekonomi, Penanaman Modal Asing (FDI), Populasi, dan Konsumsi Energi Fosil secara signifikan mempengaruhi emisi CO₂, sementara Konsumsi Energi Terbarukan tidak memiliki efek yang signifikan secara statistik.

Temuan ini menyoroti kebutuhan mendesak bagi pemerintah untuk menangani tantangan lingkungan yang terkait dengan aktivitas manusia dan ekonomi. Pembuat kebijakan perlu mengembangkan dan menerapkan strategi proaktif untuk mengurangi emisi karbon. Langkah-langkah tersebut harus mencakup promosi sumber energi terbarukan, pemberian insentif kepada industri ramah lingkungan, dan penerapan pajak karbon pada aktivitas industri.

Temuan yang patut dicatat adalah bahwa FDI memiliki dampak negatif pada emisi CO₂. Pemerintah disarankan untuk merancang kebijakan yang meningkatkan FDI, terutama di industri yang berkelanjutan, guna mengurangi emisi CO₂ lebih lanjut dan menyelaraskan perkembangan ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menekankan interaksi kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ di wilayah ASEAN dan memberikan rekomendasi yang dapat diterapkan bagi pembuat kebijakan. Pendekatan komprehensif untuk mengatasi masalah lingkungan ini sangat penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dan melestarikan lingkungan.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah bersedia bekerja sama dengan baik selama penelitian ini.

7. Pernyataan *Conflicts of Interest*

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini.

Daftar Pustaka

- A'nnisa, L., Sasana, H., & Septiani, Y. (2020). Analisis Konsumsi Energi Fosil, Emisi CO₂, Konsumsi Energi Terbarukan dan Pertumbuhan Ekonomi terhadap Pengeluaran Kesehatan Indonesia Periode Tahun 2000-2017. *Dinamic: Directory Journal of Economic*, 2(2), 434-445. <https://jom.untidar.ac.id/index.php/dinamic/article/view/1374>
- Abdouli, M., Kamoun, O., & Hamdi, B. (2018). The impact of economic growth, population density, and FDI inflows on CO₂ emissions in BRICTS countries: Does the Kuznets curve exist? *Empirical Economics*, 54(4), 1717-1742. <https://doi.org/10.1007/s00181-017-1263-0>
- Aisah, S. (2019). *Pengaruh Foreign Direct Investment (FDI) dan Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Emisi Karbondioksida di Indonesia*. Universitas Jember.
- Akbar, F. N. (2019). *Hubungan Pendapatan Per Kapita, Konsumsi Energi, Pertumbuhan Penduduk, Dan Teknologi Terhadap Emisi Karbon Dioksida Studi Kasus: Indonesia Tahun 1981-2019* [Universitas Diponegoro]. <https://repofeb.undip.ac.id/12308/>
- Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., & Ozturk, I. (2016). Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. *Ecological Indicators*, 70, 466-479. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.043>
- Amalia, F., Sinaga, R., Soeyatno, R. F., Silitonga, D., Solikin, A., Hubbansyah, A. K., Siregar, R. T., Maulina, D., Kusumaningrum, R., & Sahamony, N. F. (2022). *Ekonomi Pembangunan*. Penerbit Widina.
- Apriliana, D. (2021). *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Emisi CO₂ di Indonesia Periode 1971-2017* [Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta].

<https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/55872>

- Begum, R. A., Sohag, K., Abdullah, S. M. S., & Jaafar, M. (2015). CO2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 594–601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.205>
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7–71.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 147–168. <https://doi.org/10.1257/0895330027157>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(1), 175–179. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.1.175>
- Enders, W. (2004). Applied Econometric Time Series. *Technometrics*, 46(2), 264–264. <https://doi.org/10.1198/tech.2004.s813>
- Hariani, E. T., Widyawati, R. F., & Ginting, A. L. (2022). Determinants of Carbon Emissions in 10 ASEAN Countries. *Economics Development Analysis Journal*, 11(3), 313–320. <https://doi.org/10.15294/edaj.v11i3.55632>
- Katadata Insight Center. (2022). *Indonesia Carbon Trading Handbook*. https://cdn1.katadata.co.id/media/filespdf/2022/Indonesia_Carbon_Trading_Handbook.pdf
- Khastar, M., Aslani, A., & Nejati, M. (2020). How does carbon tax affect social welfare and emission reduction in Finland? *Energy Reports*, 6, 736–744. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.03.001>
- Kizilkaya, O. (2017). The impact of economic growth and foreign direct investment on CO2 emissions: the case of Turkey. *Turkish Economic Review*, 4(1), 106–118. <https://doi.org/10.1453/ter.v4i1.1173>
- Kuznets, S. (1955). International Differences in Capital Formation and Financing. In *Capital Formation and Economic Growth: Vol. I* (pp. 17–110). Princeton University Press.
- Mert, M., & Bölük, G. (2016). Do foreign direct investment and renewable energy consumption affect the CO2 emissions? New evidence from a panel ARDL approach to Kyoto Annex countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21), 21669–21681. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7413-7>
- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. In *ILO Working Papers* (992927783402676).
- Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335–346. <https://doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- Rahmandani, N., & Dewi, E. P. (2023). Pengaruh Energi Terbarukan, Emisi Karbon, Dan Foreign Direct Investment Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Negara Anggota OKI. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam*, 9(1), 405–417. <https://doi.org/10.29040/jiei.v9i1.6962>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Santi, R., & Sasana, H. (2021). Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Jumlah Penduduk, Foreign Direct Investment (FDI), Energy Use/Consumption dan Krisis Ekonomi Terhadap Kualitas Lingkungan Ditinjau Dari Tingkat Carbon Footprint di Asean 8. *Diponegoro Journal of Economics*, 10(2), 343–354. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jme/article/view/31595>
- Suparmoko, M. (1997). *Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan: Suatu Pendekatan Teoritis*. BPFE.

- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2015). *Economic Development* (D. Alexander (ed.); 12th ed.). Pearson Education.
- World Bank. (2015). *ASEAN Services Intregation Report*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/759841468178459585/pdf/100637-Revised-WP-PUBLIC-Box393257B-ASEAN-Report-web.pdf>
- Zarsky, L. (1999). Havens, Halos and Spaghetti: Untangling the Evidence About the Relationship Between Foreign Investment and the Environment. *Conference on Foreign Direct Investment and the Environment*. <https://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/havens-halos-and-spaghetti-unta->
- Zulaicha, A. U., Sasana, H., & Septiani, Y. (2020). Analisis Determinasi Emisi CO2 di Indonesia Tahun 1990-2018. *Dinamic: Directory Journal of Economic*, 2(2), 487-500. <https://jom.untidar.ac.id/index.php/dinamic/article/view/1384>

Tentang Penulis

- 1) **Yohanes Berchman Suhartoko** memperoleh gelar Doktor dari Universitas Gadjah Mada, Indonesia, pada tahun 2013. Penulis adalah dosen pada Program Studi Ekonomi Terapan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia.
- 2) **Monica Gede Dewinta Ekaristi** adalah mahasiswa Program Studi Ekonomi Pembangunan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia.
E-Mail: gede_monicaa@yahoo.com