

DETERMINAN EMISI CO₂ PADA NEGARA ANGGOTA ASEAN TAHUN 2015-2022

Farhan Rafif Santana* dan Nugroho Sumarjiyanto Benedictus Maria

Departemen Ilmu Ekonomi dan Studi Pembangunan, Fakultas Ekonomika dan Bisnis,
Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

*Corresponding Email: farhansantana@students.undip.ac.id

ABSTRACT

This study aims to test the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis in ASEAN member countries from 2015 to 2022 and to analyze the effect of per capita GDP, population size, energy transition, foreign investment, and trade openness on carbon emissions in ASEAN member countries from 2015 to 2022. This research uses a quantitative approach with data sourced from the International Energy Agency and the World Bank. The analytical method applied is multiple linear regression using panel data from 10 ASEAN countries for the period 2015-2022. The results show that the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis is confirmed in ASEAN member countries for the period 2015-2022, with a turning point for the relationship between per capita GDP and CO₂ emissions in the ASEAN region at 17.11 trillion dollars. Singapore and Brunei Darussalam are the two countries among 11 in the ASEAN region that have passed the scale and structural effect phase on the Environmental Kuznets Curve, while others remain on the left side of the EKC. Per capita GDP can significantly increase or reduce carbon emissions in the ASEAN region depending on whether the member country has reached the EKC turning point phase. Population size, foreign investment, and trade openness significantly increase carbon emissions in the ASEAN region. The energy transition can reduce carbon emissions in the ASEAN region, though not significantly.

Keywords: Carbon Emissions, Per Capita GDP, Population Size, Energy Transition, Foreign Investment, and Trade Openness.

 <https://doi.org/10.14710/djoe.44589>



[This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license](#)

PENDAHULUAN

Pembangunan sebuah negara merupakan hal yang fundamental karena berhubungan dengan kemajuan berkelanjutan dimana salah satunya dapat dilihat melalui pertumbuhan ekonomi (Van, 2016). Publikasi ilmiah Van (2020) yang berjudul “Inclusive Economic Sustainability: SDGs and Global Inequality” menyatakan komitmen pembangunan ekonomi secara global dimanifestasikan dalam agenda sustainable development goals (SDGs). Pertumbuhan ekonomi yang meningkat tidak selalu menjadi tolak ukur yang baik bagi perekonomian karena dalam prosesnya terdapat alternatif yang dikorbankan dimana salah satunya adalah lingkungan (Mohsin dkk., 2022).

Degradasi lingkungan yang cukup besar khususnya di negara berkembang merupakan konsekuensi dari proses pembangunan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan (Saliminezhad dkk., 2022). Degradasi lingkungan sebagai akibat dari kegiatan ekonomi yang tidak bertanggung jawab terhadap lingkungan menyebabkan emisi gas rumah kaca. Osobajo., dkk (2020) menyatakan bahwa emisi gas CO₂ menjadi penyebab utama perubahan iklim

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018) menjelaskan bahwa kenaikan suhu dunia rata-rata telah mencapai 1 °C dimana dengan tren kenaikan emisi saat ini, kenaikan suhu diperkirakan akan mencapai tingkat irreversible losses 2°C. Tingkat irreversible losses adalah batas kenaikan suhu yang apabila terlewati, kerusakan alam menjadi sangat signifikan dan suhu akan cenderung terus meningkat. Negara di dunia telah berkomitmen untuk mereduksi emisi karbon melalui perjanjian-perjanjian internasional seperti Protokol Kyoto tahun 1997 dan Perjanjian Paris tahun 2016 dengan target yang beragam tanpa terkecuali negara Kawasan ASEAN.

ASEAN merupakan salah satu kawasan yang cukup relevan dengan isu pertumbuhan ekonomi dan masalah lingkungan. Negara di Asia Tenggara memerlukan energi fosil yang tergolong murah untuk mengakselerasi pertumbuhan ekonominya namun disisi lain terdapat kekayaan hayati yang perlu untuk dipelihara kelestariannya (Widyawati, 2021). International Energy Agency (2024) menyebutkan bahwa permintaan energi di ASEAN dalam dua dekade terakhir meningkat 3 persen pertahun dan diproyeksikan berlanjut hingga 2030. Permintaan energi tersebut tidak lain untuk menopang ekonomi ASEAN yang tumbuh rata-rata di atas 5 persen per tahun. Namun, hampir 90 persen dari permintaan energi di kawasan ASEAN merupakan energi fosil yang menyebabkan emisi karbon tumbuh 3,8 persen per tahun (Noor dan Saputra, 2020).

ASEAN sebagai organisasi di kawasan Asia Tenggara memberikan sumbangsih yang cukup tinggi terhadap produksi emisi CO₂ dunia mencapai 7,35 persen padahal hanya beranggotakan 11 negara (Arista dan Amar, 2019). Tingginya tingkat emisi di kawasan ASEAN akan meningkatkan risiko perubahan iklim yang berdampak negatif memangkas pertumbuhan ekonomi sebesar 11 persen per tahun dalam jangka panjang (Bakhri, 2018).

Noor dan Saputra (2020) menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi yang tinggi mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara umum merupakan target pembangunan yang dikejar oleh hampir seluruh negara di dunia, namun pertumbuhan ekonomi itu sendiri terkadang dapat menciptakan trade-off berupa eksternalitas negatif yang dapat menurunkan kesejahteraan masyarakat. Dalam kasus eksternalitas negatif yang masif seperti perubahan iklim akibat emisi karbon. Emisi yang ditimbulkan dari proses industri berbanding lurus dengan jumlah industri dan konsumsi energi. Hal ini menimbulkan hubungan terbalik antara emisi dengan pertumbuhan ekonomi (Noor dan Saputra, 2020).

Produk Domestik Bruto (PDB) perkapita seperti diungkap dalam teori environmental Kuznets curve (EKC) merupakan faktor yang mempengaruhi emisi karbon (Todaro dan Smith, 2012). PDB perkapita menunjukkan aktivitas ekonomi dan peningkatan pembangunan fisik yang membutuhkan konsumsi energi berlebih (Parker dan Bhatti, 2020). Konsumsi energi yang didominasi oleh energi tak terbarukan menyebabkan kerusakan lingkungan (Dong dkk., 2018).

Aslam dkk. (2022) dalam penelitian dengan judul *The Nexus of Industrialization, GDP per capita and CO₂ emission in China* mengelaborasi teori

Environmental Kuznets Curve (EKC) dan menyatakan pendapatan perkapita dalam jangka pendek meningkatkan emisi CO₂. Namun, dalam jangka panjang pendapatan perkapita yang meningkat diprediksi akan dibarengi dengan penurunan emisi CO₂ dengan syarat adanya transisi energi dalam proses produksi.

Peningkatan emisi CO₂ disebabkan karena peningkatan aktivitas penggunaan energi sebagai dampak dari bertambahnya jumlah penduduk. Sarkodie dan Owusu (2016) menyatakan bahwa pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali menimbulkan masalah karena cepatnya pertumbuhan konsumsi yang tidak dibarengi dengan peningkatan penyediaan kebutuhan bahan baku. Manusia akan menggunakan bahan bakar (minyak, gas, dan fosil), aktivitas pembakaran, dan penggundulan hutan. Islam dkk. (2020) menyatakan bahwa kondisi tersebut berdampak pada pemanasan global yang dapat memengaruhi penurunan kualitas lingkungan. Penggunaan energi yang masih didominasi oleh jenis tak terbarukan sudah pasti berdampak pada degradasi lingkungan sehingga transisi energi diperlukan dalam upaya menghambat kerusakan lingkungan (Dong dkk., 2018).

Konsepsi transisi energi yang mulai dikampanyekan secara global pada dasarnya belum mampu menurunkan emisi CO₂. Transisi energi diukur melalui ETI (energy transition index) yaitu parameter yang menunjukkan aktivitas setiap negara dalam melakukan transformasi energi dari tak terbarukan yang notabennya tidak ramah lingkungan menjadi terbarukan Laporan World Economic Forum (2023) dengan judul Energy Transition Index Report 2023 pada dasarnya indeks transisi energi di seluruh negara secara global terus mengalami tren peningkatan, artinya konsumsi energi terbarukan dan aktivitas ekonomi ramah lingkungan di setiap negara mengalami peningkatan.

Wiyekti (2021) menyatakan bahwa negara yang melakukan transisi energi, probabilitas untuk negara itu mengalami degradasi lingkungan semakin kecil. Fostering Effective Energy Transition (2022) menjelaskan bahwa terdapat korelasi negatif antara ETI dengan Emisi CO₂ dimana semakin tinggi ETI sebuah negara, maka tingkat degradasi lingkungan semakin kecil. Penelitian Sharif dkk (2020) menunjukkan bahwa transisi energi belum mampu menurunkan degradasi lingkungan khususnya negara berkembang.

Faktor lain yang mempengaruhi emisi CO₂ adalah Foreign Direct Investment (FDI) yang dielaborasi melalui dua teori diantaranya Pollution Haven Hypothesis dan Pollution Halo Hypothesis. Pandangan Pollution Haven Hypothesis mengacu pada paradigma bahwa negara asing dapat mengambil keuntungan dari ketatnya peraturan lingkungan di negara tuan rumah dengan memindahkan industri kotor ke negara lain melalui FDI yang mengarah pada peningkatan emisi di negara tersebut (Mehdi dan Taleghani, 2022). Pandangan sebaliknya yaitu Pollution Halo Hypothesis menganggap bahwa tingkat emisi polusi udara seiring meningkatnya FDI karena efek limpahan FDI yang positif seperti praktik teknologi terkini, peningkatan produktivitas, dan perluasan lapangan kerja (Kizilkaya, 2017).

Menurut Nasir et al., (2019) FDI dapat berdampak positif atau negatif terhadap kualitas lingkungan tergantung pada metode penelitian, kerangka waktu, dan wilayah. Sun dan He (2018) menemukan bahwa FDI dalam industri yang padat karya dan padat modal berpolusi berat memiliki efek "Haven Pollution" terhadap lingkungan, sedangkan FDI dalam industri padat modal yang minim akan pencemaran lingkungan memiliki efek "Halo Pollution".

Faktor fundamental yang mempengaruhi emisi CO₂ adalah keterbukaan perdagangan. Keterbukaan perdagangan mengacu pada aktivitas perdagangan luar negeri yang mengakibatkan mobilitas barang masuk (impor) maupun keluar (ekspor). Kegiatan perdagangan dan emisi karbon memiliki hubungan yang kompleks sehingga dapat memberikan dampak positif dan negatif tergantung pada kebijakan dan praktik perdagangan spesifik yang diimplementasikan oleh negara-negara dan perusahaan (Rambeli et al., 2021). Keterbukaan perdagangan memberi dampak negatif yaitu mendorong pertumbuhan ekonomi yang dapat meningkatkan permintaan energi dan emisi karbon dioksida. Dampak positif dari keterbukaan perdagangan juga dapat mengurangi emisi karbon apabila kegiatan tersebut dapat memproduksi teknologi dan energi bersih yang lebih efisien (Widyawati et al., 2021).

Perdagangan internasional di negara berkembang didominasi oleh sektor primer yang membutuhkan aktivitas mobilisasi berlebih sehingga meningkatkan konsumsi energi dan pada akhirnya dapat meningkatkan emisi karbon dioksida karena adanya peningkatan produktivitas nasional yang signifikan (Grahn et al., 2009).

Emisi CO₂ di kawasan ASEAN merupakan isu krusial yang membutuhkan alternatif solusi untuk dikurangi dengan menganalisis variabel yang mempengaruhinya. Variabel yang diduga mempengaruhi emisi CO₂ di ASEAN yaitu GDP perkapita, jumlah penduduk, transisi energi, investasi asing, dan keterbukaan perdagangan sehingga berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan, maka penelitian ini menganalisis Determinan Emisi CO₂ pada Negara Anggota ASEAN Tahun 2015-2022.

TINJAUAN PUSTAKA

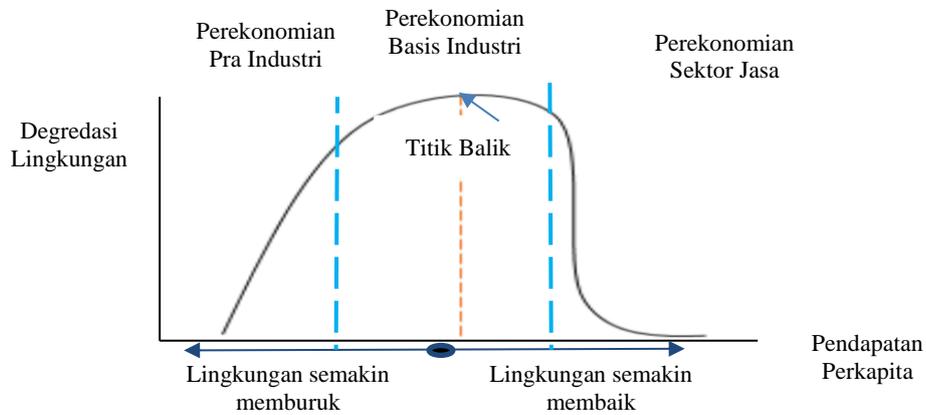
Enviromental Kuznest Curve (EKC)

Simon Kuznets dalam penelitian yang berjudul "Economic Growth and Income Quality" menjelaskan bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki peran untuk mengatur perubahan distribusi pendapatan dalam jangka panjang dimana terjadi ketimpangan pendapatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, tetapi ketika ekonomi mencapai tingkat tertentu, perbedaan pendapatan tersebut cenderung berkurang sejalan dengan perkembangan ekonomi yang lebih positif (Stern, 2014). Grossman dan Krueger (1995) mengembangkan asumsi Simon Kuznets dengan menghubungkan pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan yang menghasilkan hipotesis environmental Kuznest Curve (EKC).

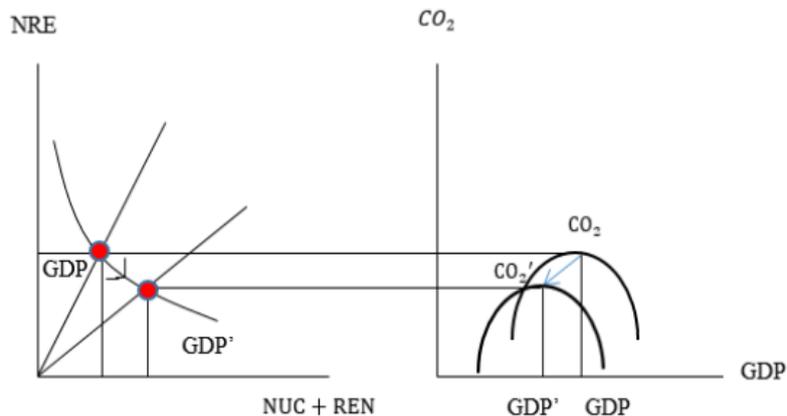
Gambar 1 memperlihatkan pada tahap pertama dari industrialisasi, polusi bertambah dengan cepat karena orang lebih tertarik dalam pekerjaan dan pendapatan daripada udara dan air bersih. Pada tingkat pendapatan yang rendah, negara akan beralih dari pertanian ke industri dan intensitas polusi naik sebagai limbah dari bertumbuhnya produksi dan konsumsi masal. Sedangkan pada tingkat pendapatan yang tinggi, kemajuan pembangunan ekonomi didominasi pada pasca-industri atau perekonomian jasa. Pada tahap ini kesadaran lingkungan naik, pengeluaran untuk lingkungan lebih tinggi, efisiensi teknologi, dan kenaikan permintaan barang/jasa ramah lingkungan (Alam J. 2014).

Seiring berkembangnya zaman, didukung dengan sumber daya alam yang berpotensi dan teknologi yang canggih, energi terbarukan akan dibuat dalam upaya

untuk memperbaiki kualitas lingkungan guna mengurangi emisi CO₂. Pada saat periode ini terjadi maka peningkatan pertumbuhan ekonomi akan dibarengi dengan kualitas lingkungan yang semakin baik.



Gambar 1. Kurva Enviromental Kuznets Curve (EKC)
Sumber: Grossman dan Krueger (1991)



Gambar 2. Kurva Kuznets Setelah Peningkatan Penggunaan Energi Terbarukan
Sumber: Dong dkk., (2018)

Gambar 2 menunjukkan Kurva Kuznets sebelum dan setelah terjadi peningkatan konsumsi energi terbarukan. Pada awalnya emisi berada pada tingkat yang tinggi dikarenakan tingginya tingkat penggunaan energi tidak terbarukan, namun ketika penggunaan energi terbarukan mengalami peningkatan maka emisi karbondioksida yang dihasilkan oleh berbagai kegiatan ekonomi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi.

Degradasi Lingkungan (Eksternalitas Emisi CO₂ Akibat Industrialisasi)

Eksternalitas merupakan konsep penurunan kesejahteraan yang di akibatkan karena produksi suatu barang/jasa yang tidak memiliki harga atau hanya memiliki harga parsial (Pigou, 2017). Eksternalitas tersebut dipahami sebagai transaction spillovers, yaitu biaya dan manfaat yang tidak terhitung dalam barang atau jasa tertentu. Salah

satu bentuk eksternalitas negatif yaitu Emisi CO₂ akibat adanya industrialisasi dan urbanisasi.

Barbier & Markandya (1990) merumuskan faktor-faktor yang menyebabkan degradasi lingkungan yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S = ([W - A], [(R - G) + E]) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan tersebut menjelaskan bahwa degradasi lingkungan dipengaruhi oleh dari aliran limbah (W) yang melebihi kapasitas asimilasi lingkungan (A) dan aliran sumber daya alam terbarukan yang berasal dari lingkungan (R) yang melebihi produktivitas (dikelola atau alami) biologis dari sumber daya (G), serta aliran sumber daya yang tidak terbarukan yang berasal dari lingkungan (E).

Emisi polusi udara atau biasa disebut pencemaran udara merupakan satu dari banyak contoh eksternalitas (Boumol & Blinder, 1986). Eksternalitas inilah yang kemudian menjadi penyebab kegagalan mekanisme pasar karena akan mempengaruhi keseimbangan lingkungan jangka panjang dan berdampak pada pembangunan ekonomi (Boumol & Blinder, 1986). Kegagalan pasar merupakan ketidaksempurnaan dalam mekanisme pasar yang mencegah keluaran optimal (Schiller, 2008).

Pengaruh GDP Perkapita terhadap Emisi Karbon

Pertumbuhan ekonomi merupakan kenaikan kapasitas dalam jangka panjang sebuah negara untuk menyediakan berbagai barang ekonomi dan dibarengi dengan kemajuan teknologi, institusional, dan aspek lainnya (Kuznets dalam Todaro, 2012). Pertumbuhan ekonomi juga dapat diartikan sebagai kenaikan jumlah proses produksi masyarakat sehingga hasil (output) masyarakat mengalami peningkatan.

Solow growth model menjabarkan pertumbuhan ekonomi yang didasarkan pada pada fungsi produksi agregat sebagai berikut:

$$Y = A \cdot F(K, L) \quad (2)$$

Y merupakan output nasional sebuah wilayah, K adalah modal fisik, L adalah tenaga kerja dan A merupakan teknologi dengan faktor yang mempengaruhi pengadaan modal fisik adalah investasi.

Ekonom neo-klasik mengeliminasi energi dari perekonomian sehingga memisahkan ekonomi dari ekologi atau sumber energi. Konsep fungsi produksi, hanya menyertakan modal dan tenaga kerja untuk memproduksi output yang tergantung pada teknologi. Tidak adanya energi dalam kerangka neo-klasik akan mendistorsi analisis mengenai pertumbuhan ekonomi dan sumber pertumbuhan dikarenakan kecepatan pertumbuhan ekonomi sering kali tergantung pada penggunaan energi (Kartiasih dkk., 2012). Model pertumbuhan ekonomi terbaru yang dikemukakan Stern (2019) menyatakan bahwa hubungan antara energi dan output (PDB) secara sederhana dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = f(L, K, E, M) \quad (3)$$

dimana Y adalah output agregat ataupun sektoral, L adalah tenaga kerja, K adalah modal atau kapital, E dan M masing-masing adalah energi dan material non-energi

lainnya. Komponen E dalam fungsi produksi tersebut dapat saja memiliki hubungan komplementer (saling melengkapi) atau substitusi (saling menggantikan) dengan faktor produksi lain (non-E).

Hipotesis EKC menjelaskan bahwa Pertumbuhan ekonomi terhubung secara teratur dengan emisi karbon dioksida (CO₂) di mana ketika tingkat pendapatan masih rendah, pertumbuhan ekonomi yang cepat dapat menyebabkan peningkatan emisi karbon dioksida karena kebutuhan energi yang meningkat. Namun, ketika tingkat pendapatan sudah cukup tinggi, pertumbuhan ekonomi yang lebih lanjut akan menyebabkan transisi ke energi bersih dan teknologi yang lebih ramah lingkungan, sehingga emisi karbon dioksida akan menurun (Todaro dan Smith, 2006).

Pengaruh Jumlah Penduduk terhadap Emisi Karbon

Peningkatan emisi karbon dioksida disebabkan karena adanya pertumbuhan penduduk yang mendorong bertambahnya aktivitas manusia. Penduduk dapat diartikan sebagai seluruh orang yang menempati suatu daerah atau negara dalam periode tertentu (Safriawan dan Idris, 2020). Dalam konteks lingkungan, teori Malthusianisme juga menekankan bahwa pertumbuhan populasi manusia akan meningkatkan degradasi lingkungan. Menurut Todaro dan Smith (2012) pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali akan menimbulkan berbagai masalah dan hambatan karena akan menyebabkan cepatnya pertambahan konsumsi yang mungkin tidak dibarengi dengan peningkatan penyediaan kebutuhan bahan baku khususnya energi. Dalam aktivitasnya, manusia akan menggunakan bahan bakar (minyak, gas, dan fosil), aktivitas pembakaran, dan penggundulan hutan. Aktivitas yang dilakukan tersebut merupakan cara untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, baik secara sosial dan ekonomi.

Pengaruh Transisi Energi terhadap Emisi Karbon

Transisi energi merupakan strategi setiap negara di dunia dalam menekan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) untuk mencapai Net Zero Emission (NZE) menjadi suatu potensi pertumbuhan ekonomi baru, mengingat banyaknya investasi yang akan masuk dan menyerap tenaga kerja serta industri lokal (Markard, 2018). Transisi energi diartikan sebagai sebuah komitmen dan proses perubahan (transformasi) dari energi tak terbarukan menjadi energi terbarukan dengan mempertimbangkan sustainability dalam upaya mencapai pertumbuhan ekonomi hijau. Upaya yang dilakukan semua negara untuk mengurangi konsumsi energi primer yaitu dengan merumuskan perhitungan Energy Transition Index. ETI terbentuk atas tiga elemen performa sistem yakni keamanan dan akses terhadap pasokan energi, keberlanjutan lingkungan, serta pertumbuhan dan perkembangan ekonomi (World Economic Forum, 2022). Berdasarkan teori EKC, emisi puncak (Peak Emission) transisi energi terbaik bisa dicapai ketika suatu negara sudah melewati pertumbuhan ekonomi yang tinggi dan pertumbuhannya mulai merendah, hal itu dikarenakan konsumsi energi relatif sudah tidak tumbuh. .

Pengaruh Investasi Asing terhadap Emisi Karbon

Investasi merupakan salah satu indikator pendanaan dalam kegiatan ekonomi dan pembangunan infrastruktur, sarana dan prasarana dalam menunjang kesejahteraan

masyarakat di suatu negara. Menurut sifatnya investasi dibagi menjadi investasi langsung dan tidak langsung.

Menurut Jhingan (2004), Foreign Direct Investment (FDI) merupakan penanaman modal yang dilakukan oleh swasta dari luar negeri atau dapat dikatakan penanaman modal dari suatu negara ke negara lain atas nama pemerintah pemilik modal. Setidaknya ada tiga keuntungan yang didapat dari aliran Foreign Direct Investment (FDI) yaitu : (1) sebagai sarana mengurangi resiko dari kepemilikan modal dengan melakukan diversifikasi melalui investasi, (2) memberikan spread terbaik untuk pembentukan corporate governance, accounting rules, dan legalitas dalam integrasi pasar modal dan, (3) arus modal secara global membatasi kemampuan pemerintah untuk membentuk kebijakan yang kurang tepat.

Dalam berbagai literatur ekonomi lingkungan menyebutkan terdapat dua hipotesis yang mengaitkan hubungan FDI dengan kualitas lingkungan yakni Pollution Haven Hypothesis dan Pollution Halo Hypothesis. Pollution Haven Hypothesis menerangkan bahwa apabila negara maju melakukan investasi ke negara berkembang dalam bentuk industri yang mayoritas menggunakan energi tidak terbarukan maka justru dapat meningkatkan degradasi lingkungan di negara tujuan (Gill dkk, 2018). Menurut Nasir et al., (2019) FDI dapat berdampak positif atau negatif terhadap kualitas lingkungan tergantung pada metode penelitian, kerangka waktu, dan wilayah. Melalui efek limpahan teknologi, transfer perusahaan dari negara maju meningkatkan kualitas lingkungan negara berkembang (Eskeland & Harrison, 2003). Pandangan tersebut disebut dengan Pollution Halo Hypothesis

Pengaruh Keterbukaan Perdagangan terhadap Emisi Karbon

Keterbukaan Perdagangan (Trade Oppeness) adalah suatu proses untuk melancarkan kegiatan ekonomi perdagangan dengan cara mengurangi atau menghapus hambatan perdagangan berupa pengurangan atau penghilangan tarif, penghapusan yang bertujuan untuk memperbesar kuota impor, penghapusan nilai tukar, dan penghapusan persyaratan izin administratif untuk impor. Tujuan kegiatan tersebut yaitu untuk memberikan peluang terbukanya pasar bagi produk barang dan jasa karena ada kemudahan akses dan penetrasi pasar, berkurangnya hambatan perdagangan maupun investasi, dan perkembangan teknologi informasi yang sangat cepat telah menciptakan sistem atau pola perdagangan modern berbasis digital.

Dampak negatif dari adanya keterbukaan perdagangan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi dan konsumsi, yang dapat meningkatkan permintaan energi dan emisi karbon dioksida. Dampak positif dari keterbukaan perdagangan juga dapat mengurangi emisi karbon apabila kegiatan tersebut dapat memproduksi teknologi dan energi bersih yang lebih efisien, dan keterbukaan perdagangan dapat mengurangi tekanan kemampuan untuk memanfaatkan sumber daya alam dari negara lain karena alasan ekonomi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan model matematis untuk merumuskan hipotesis yang berkaitan dengan determinan Emisi CO₂ pada negara-negara Kawasan ASEAN dalam kurun waktu tahun 2015-2022. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah Emisi CO₂ yang diukur melalui nilai konsentrasi CO₂ dalam satuan Mton. Variabel independen meliputi GDP Perkapita,

Jumlah Penduduk, Transisi Energi, Investasi Asing, dan Keterbukaan Perdagangan. Data yang digunakan adalah data sekunder yang bersumber dari World Bank, World Economic Forum (WEF), International Energy Agency (IEA), United Nation Development Program (UNDP), publikasi jurnal terkait, dan studi literatur, dalam bentuk data panel yang meliputi periode 2015-2022 dan negara-negara yang tergabung dalam kawasan ASEAN.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dan studi literatur dengan menggunakan data yang bersumber dari lembaga-lembaga tersebut. Analisis data dilakukan dengan teknik standarisasi data menggunakan transformasi logaritma untuk menghindari permasalahan normalitas. Selanjutnya, analisis dilakukan melalui regresi data panel untuk memprediksi nilai pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen.

Uji kesesuaian model dilakukan menggunakan Uji Chow, Uji Hausman, dan Uji Lagrange Multiplier untuk menentukan model yang paling sesuai digunakan dalam pemodelan data panel. Deteksi asumsi klasik dilakukan melalui uji normalitas, multikolinieritas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi. Pengujian koefisien regresi dilakukan secara parsial menggunakan uji t untuk menguji signifikansi pengaruh variabel independen secara individu, dan secara serempak menggunakan uji F untuk menguji signifikansi pengaruh variabel independen secara simultan terhadap variabel dependen. Selain itu, dilakukan perhitungan koefisien determinasi (R²) untuk mengukur tingkat kemampuan model dalam menjelaskan variasi variabel independen serta perhitungan hipotesis Environmental Kuznets Curve untuk mengevaluasi dampak variabel GDP perkapita terhadap Emisi CO₂.

HASIL DAN PEMBAHSAN

ASEAN (Association of Southeast Asian Nations) merupakan sebuah organisasi geo politik dan ekonomi di kawasan Asia Tenggara yang didirikan pada tanggal Agustus 1967 di kota Bangkok, yang terdiri dari 11 negara diantaranya Indonesia, Thailand, Malaysia, Singapura, Filipina, Brunei Darussalam, Vietnam, Laos, Myanmar, Kamboja, dan Timor Leste. Pada penelitian ini model yang digunakan adalah *Random Effect Model*. Analisis ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas GDP Perkapita, Jumlah Penduduk, Transisi Energi, Investasi Asing, dan Keterbukaan Perdagangan terhadap variabel tidak bebas Tingkat Emisi CO₂. Estimasi model yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

Format penulisan rumus :

$$ECO2 = \beta_0 + \beta_1 GP + \beta_2 GP^2 + \beta_3 JP + \beta_4 TE + \beta_5 IA + \beta_6 KP + \varepsilon \quad (4)$$

keterangan :

ECO2	:	Tingkat emisi CO ₂ .
i	:	11 Negara ASEAN
t	:	Waktu (2015 hingga 2022)
α	:	Konstanta
X1	:	GP (GDP Perkapita)
X2	:	GP ² (GDP Perkapita ²)
X3	:	Jumlah Penduduk
X4	:	Transisi Energi
X5	:	Investasi Asing
X6	:	Keterbukaan Perdagangan

ε : error term

Pemilihan Model

Berdasarkan hasil uji chow, uji hasuman, dan uji lagrange multiplier, model yang lebih baik digunakan dalam penelitian ini adalah Fixed Effect Model. intersep dan slope dari persamaan regresi yang dianggap konstan baik antar daerah maupun antar waktu.

Hasil Uji Deteksi Penyimpangan Asumsi Klasik

Dari hasil pengujian asumsi klasik didapatkan bahwa hasil uji normalitas nilai Probabilitas Jarque-Bera ialah sebesar 3.971731 di mana lebih besar dari $\alpha = 0,05$ (5%). Sehingga hasil ini memenuhi syarat uji normalitas yang artinya data terdistribusi dengan normal. Hasil uji heteroskedastisitas menggunakan uji Glesjer menunjukkan nilai > 0.05 sehingga dapat simpulkan dalam penelitian ini tidak ada heteroskedastisitas atau data sudah bersifat homogen. Sementara dalam uji multikolinearitas hasil correlation matriks menunjukkan hasil bahwa tidak terdapat permasalahan multikolinearitas dengan nilai kurang dari 0,8 artinya uji multikolonieritas dalam penelitian ini tidak terjadi multikolonieritas.

Hasil Statistik Uji Regresi

Tabel 1. Hasil Uji Regresi Fixed Effect Model

Variabel	Fixed Effect Model		
	Koefisien	t-Statistic	P-Value
C	-832.3337	-3.643815	0.0009
X1	9.864816	5.949645	0.0000
X2	-2.882263	-2.191797	0.0356
X3	6.256113	9.005109	0.0000
X4	-2.055680	-0.358508	0.7222
X5	1.820706	0.080926	0.0360
X6	2.011755	3.678883	0.0008
R ²		0.915218	
Prob (F Statistic)			0.0000

Sumber:: Eviews 10 (data diolah)

Berdasarkan hasil olah daya yang terjadi pada tabel 1 dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$ECO2 = -832.3337 + 9.864816GPit - 2.882263GP^2it + 6.256113JPit - 2.055680TEit + 1.820706IAit + 2.011755KPit + \varepsilon \quad (5)$$

Hasil uji koefisien determinasi menunjukkan nilai Adjusted R square mempunyai nilai 0.915218 (91%), artinya variabel pertumbuhan penduduk, tenaga kerja, investasi, dan inflasi terhadap pertumbuhan ekonomi mempunyai memiliki pengaruh sebesar 91 % sedangkan sisanya 0,9% dipengaruhi variabel lain yang belum diketahui. Kemudian didapatkan hasil uji F statistik sebesar $0.000000 < 0.05$ artinya varaibel pertumbuhan penduduk, tenaga kerja, inflasi dan investasi dianalisis secara bersamaan mempunyai pengaruh positif dan signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa GDP perkapita dan GDP perkapita kuadrat menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikansi 0,05 terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN tahun 2015-2022. Hasil regresi menunjukkan bahwa peningkatan PDB perkapita sebesar 1 triliun dollar akan meningkatkan emisi karbon sebesar 9.86 Mton sedangkan peningkatan PDB perkapita kuadrat sebesar 1 triliun dollar akan menurunkan emisi karbon sebesar -2.88 Mton dengan asumsi ceteris paribus. Temuan tersebut membuktikan bahwa hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) terbukti pada negara kawasan ASEAN.

Hipotesis EKC mengasumsikan kondisi dimana dalam tahap awal pembangunan negara (pre industrial economics), pengaruh PDB perkapita akan berpengaruh positif terhadap degradasi lingkungan, namun setelah masa industrial economics terjadi, kurva EKC mulai mengalami diminishing return sejalan dengan berkembangnya pada masa post industrial economics. PDB perkapita memiliki hubungan erat terhadap konsumsi energi. Negara maju akan memaksimalkan industrialisasi untuk peningkatan perekonomian sehingga pendapatan perkapita semakin meningkat, namun pada negara dengan kesenjangan pendapatan yang besar, terjadi gap dalam penggunaan energi dan kualitas lingkungan dimana pada kelompok masyarakat berpendapatan rendah hanya memanfaatkan sumber daya alam secara berlebihan namun tidak mampu membayar degradasi lingkungan sehingga emisi karbon yang dihasilkan juga semakin besar.

Negara di kawasan ASEAN hampir semuanya adalah negara berkembang dengan status pendapatan middle income kecuali Singapura. Berdasarkan perhitungan hipotesis environmental Kuznets curve hanya dua negara yang nilai PDB perkapitanya sudah melewati titik turning point yaitu Singapura dan Brunei Darussalam diantara 9 negara. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Hundi (2018) yang menyatakan GDP perkapita memiliki korelasi terhadap emisi karbon melalui mekanisme teori EKC yaitu berpengaruh positif pada sisi kiri dan berpengaruh negatif pada sisi kanan kurva EKC.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah penduduk menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikansi 0,05 terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN tahun 2015-2022. Hasil regresi menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk sebesar 1 juta jiwa akan meningkatkan emisi karbon sebesar 6.25 Mton dengan asumsi ceteris paribus. Kepadatan penduduk berpengaruh terhadap beberapa aspek kehidupan manusia salah satunya adalah konsumsi energi karena merupakan faktor yang menunjang kebutuhan hidup yang meliputi sektor industri, transportasi, rumah tangga dan lain sebagainya.

Peningkatan populasi penduduk dalam skala rumah tangga menyebabkan bertambahnya permintaan kendaraan bermotor dikarenakan masyarakat akan menggunakan alat transportasi sebagai kebutuhan primer dalam kehidupan sehari-hari. Peningkatan populasi penduduk dalam skala makro mendorong pemerintah untuk membuka sektor industri untuk menyerap lapangan kerja, sehingga industrialisasi dengan teknologi yang tidak ramah lingkungan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan dan meningkatnya emisi CO₂.

Hasil penelitian tersebut sejalan dengan temuan Yusril et al., (2022) yang menyatakan bahwa berdasarkan Teori Maltus dijelaskan bahwa pertumbuhan penduduk meningkatkan konsumsi semua sektor sehingga dalam konteks ini, konsumsi energi diasumsikan dapat meningkat bersamaan dengan peningkatan

jumlah penduduk. Konsumsi energi tak terbarukan yang meningkat berdampak pada emisi karbon yang semakin tinggi. Hasil serupa juga ditemukan oleh Sarkodie dan Owusu (2016) yang menyatakan bahwa jumlah penduduk yang bertambah tanpa diimbangi dengan transisi energi dapat menyebabkan peningkatan emisi karbon.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa transisi energi tidak berpengaruh pada taraf signifikansi 0,05 terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN tahun 2015-2022. Transisi energi tidak memberikan pengaruh cukup kuat dalam menurunkan emisi karbon di ASEAN. Transisi energi didefinisikan sebagai sebuah komitmen dan proses perubahan (transformasi) dari energi tak terbarukan menjadi energi terbarukan yang berkelanjutan.

Negara yang melakukan transisi energi logikanya emisi karbon yang dihasilkan rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian Hundie (2018) yang menyatakan bahwa negara yang gencar melakukan transisi energi yaitu Inggris, Prancis dan Jerman (mencapai 65 - 70persen) menggunakan energi terbarukan untuk proses industrialisasi dan sangat berdampak dengan menurunnya emisi karbon. Transisi energi dalam penelitian ini faktanya tidak berdampak signifikan terhadap penurunan emisi karbon yang artinya penerapannya belum efisien pada sebagian negara anggota ASEAN sehingga perlu dibarengi dengan upaya pelestarian lingkungan seperti deforestasi hutan lindung atau penggunaan energi canggih seperti carbon capture storage technology.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi asing menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikansi 0,05 terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN tahun 2015-2022. Hasil regresi menunjukkan bahwa peningkatan investasi asing sebesar 1 milyar dolar akan menurunkan emisi karbon sebesar 1.82 Mton dengan asumsi ceteris paribus. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada negara anggota ASEAN yang mayoritas negara berkembang investasinya didominasi oleh industri polusi menyebabkan polusi tinggi sejalan dengan Pollution Haven Hypothesis.

Pollution Haven Hypothesis menjelaskan secara teoritis bahwa perusahaan yang didanai investasi asing akan digunakan sebagai alat untuk mentransfer teknologi pencemar ke wilayah dengan peraturan lingkungan yang lemah, seperti negara-negara yang lebih maju akan mencoba untuk mentransfer fasilitas produksi mereka yang berpolusi ke negara berkembang untuk mendapatkan keuntungan dari lemahnya peraturan mengenai lingkungan di negara berkembang. Investasi asing di negara kawasan ASEAN akan berdampak negatif terhadap lingkungan terutama di negara berkembang dengan standar lingkungan yang lebih lemah (Kastratovac, 2019).

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Sasana dan Aminata (2018) yang menunjukkan bahwa peningkatan investasi di Indonesia justru meningkatkan polusi udara karena adanya investasi dibidang industri dengan teknologi yang tidak ramah lingkungan. Penelitian Hundie (2018) juga menyatakan bahwa keterbukaan perdagangan yang menyangkut investasi pembangunan konstruksi dan tambang di Ethiopia justru meningkatkan emisi karbon dan degradasi lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf signifikansi 0,05 terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN tahun 2015-2022. Hasil regresi menunjukkan bahwa peningkatan keterbukaan perdagangan sebesar 1 persen akan meningkatkan emisi karbon sebesar 2.01 Mton dengan asumsi ceteris paribus. Keterbukaan Perdagangan

(Trade Oppeness) adalah suatu proses untuk melancarkan kegiatan ekonomi perdagangan dengan cara mengurangi atau menghapus hambatan perdagangan.

Kegiatan perdagangan dan emisi karobon memiliki hubungan yang kompleks sehingga dapat memberikan dampak positif dan negatif tergantung pada kebijakan dan praktik perdagangan spesifik yang diimplementasikan oleh negara-negara dan perusahaan. Keterbukaan perdagangan di Kawasan ASEAN praktiknya memberikan dampak negatif yaitu mendorong pertumbuhan ekonomi dan konsumsi, yang dapat meningkatkan permintaan energi dan emisi karbon dioksida. Kegiatan perdagangan juga secara tidak langsung dapat menyebabkan permintaan terhadap komoditas terkait, termasuk bahan bakar. Hal ini pada akhirnya dapat meningkatkan emisi karbon dioksida karena adanya peningkatan produktivitas nasional yang signifikan (Grahm et al., 2009). Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Hundie (2018) bahwa keterbukaan perdagangan khususnya pada sektor energi tak terbarukan dapat secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ di sektor energi.

Hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC)

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Santika (2020) yang meneliti terbukti atau tidaknya hipotesis environmental Kuznets curve (EKC) di suatu negara, maka dalam pengujiannya digunakan variabel X1 (PDB perkapita) dan X2 (PDB perkapita kuadrat), variabel X1 digunakan untuk mengetahui apakah selama rentang waktu penelitian atau dapat dikatakan dalam jangka pendek environmental Kuznets curve (EKC) terbukti dengan menunjukkan hasil yang positif mempengaruhi kerusakan lingkungan. Sedangkan X2 digunakan untuk mengetahui apakah dalam jangka panjang PDB perkapita akan menurunkan ketimpangan pendapatan dibuktikan dengan hasil yang negatif. Hasil pehitungan berdasarkan syarat tersebut yaitu:

Tabel 2. Perhitungan Pembuktian Kuznets Curve

Keterangan	Hasil
Koefisien pendapatan	9.864816
Koefisien pendapatan kuadrat	-2.882263
Pembuktian	Memenuhi syarat 1 yaitu: -2.882263 (β_2) < 0 sehingga hipotesis <i>Kuznets curve</i> terbukti.
<i>Turning point</i>	$-\beta_1/2\beta_2$ (Formula) - 9.864816/2. -2.882263 = 17,1129 triliun dollar

Berdasarkan hasil perhitungan titik balik pada Tabel 2 diperoleh hasil titik balik hubungan PDB perkapita terhadap emisi CO₂ di kawasan ASEAN sebesar 17,11 triliun dollar sehingga dapat disimpulkan bahwa negara yang berada pada sisi kiri kurva environmental Kuznets curve memiliki pengaruh positif antara PDB perkapita dengan emisi karbon hingga turning point. Selanjutnya setelah melalui turning point, negara yang berada pada sisi kanan environmental Kuznets curve ketika terjadi kenaikan PDB perkapita akan berkorelasi negatif dengan emisi karbon.

Klasifikasi fase pada kurva environmental Kuznets curve dari tiap negara anggota ASEAN berdasarkan data GDP perkapita yang diperoleh oleh setiap negara pada tahun 2015 – 2022 dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi Negara Anggota ASEAN Berdasarkan GDP Perkapita (dalam triliun dollar)

Negara	Sisi Kiri EKC	Negara	Sisi Kanan EKC
Malaysia	11,99	Singapura	82,81
Thailand	6,91	Brunei Darussalam	37,15
Indonesia	4,79		
Vietnam	4,16		
Filipina	3,50		
Laos	2,05		
Timor Leste	1,61		
Kamboja	1,76		
Myanmar	1,15		
<i>Turning point</i>			17,11

Sumber: Microsoft Excel (data diolah)

Tabel 3 menunjukkan klasifikasi EKC negara anggota ASEAN dimana mayoritas masih berada pada sisi kiri EKC sehingga justifikasinya setiap terjadi kenaikan GDP perkapita pasti akan diikuti dengan meningkatnya emisi karbon. Singapura dan Brunei Darussalam merupakan negara diantara 11 negara lain di kawasan ASEAN yang sudah melalui fase efek skala dan efek struktural pada kurva environmental Kuznets curve karena GDP perkapita melebihi titik turning point (US\$ 17,11 triliun). GDP perkapita akan berkorelasi negatif dengan degradasi lingkungan khususnya emisi karbon dioksida di dua negara tersebut.

Singapura saat ini telah mengembangkan teknologi yang dapat meminimalisir atau mengurangi emisi karbon melalui mekanisme carbon capture storage yaitu teknologi penangkapan karbon di udara akibat adanya pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas industri manufaktur, pembakaran, dan penggunaan kendaraan tidak ramah lingkungan. Teknologi tersebut memungkinkan pertumbuhan ekonomi tetap terjaga dan meningkat disertai dengan menurunnya efek degradasi lingkungan. Brunei Darussalam juga sudah berada sisi kanan EKC dikarenakan sektor basis PDB nya merupakan produk primer berupa minyak yang dimana dalam proses produksi tidak menghasilkan emisi karbon tinggi.

Negara middle income diantaranya Malaysia, Thailand, Indonesia, Vietnam, Filipina, Laos, Timor Leste, dan Kamboja berada pada sisi kiri EKC sehingga setiap penambahan GDP pada negara tersebut akan meningkatkan emisi karbon dioksida. Negara tersebut masih berada pada efek skala di mana mereka menggunakan bahan bakar fosil sebagai poros utama untuk meningkatkan perekonomiannya serta belum memiliki teknologi modern yang dapat mengurangi emisi karbon dioksida secara masif, sehingga ketika negara tersebut melakukan kegiatan ekonomi, akan meningkatkan emisi karbon dioksida.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyoroiti pentingnya pemahaman terhadap Emisi CO₂ di negara-negara Kawasan ASEAN dalam periode 2015-2022. Berdasarkan teori Environmental Kuznets Curve (EKC), ditemukan bahwa terdapat titik balik pada hubungan antara GDP perkapita dan Emisi CO₂ di kawasan ASEAN sebesar 17,11 triliun dollar, dengan beberapa negara seperti Singapura dan Brunei Darussalam telah mencapai fase efek skala dan efek struktural pada kurva EKC. Di sisi lain, variabel independen seperti GDP perkapita, jumlah penduduk, investasi asing, dan keterbukaan perdagangan secara bersama-sama memengaruhi Emisi CO₂ di kawasan ASEAN, sedangkan transisi energi tidak memberikan dampak yang signifikan.

Dalam konteks teoritis, penelitian ini memperkuat pemahaman akan aplikabilitas teori EKC dan memberikan gambaran yang lebih kaya tentang faktor-faktor yang mempengaruhi Emisi CO₂ di kawasan ASEAN. Implikasi praktisnya, pemerintah dapat mengambil langkah-langkah strategis seperti mempercepat pertumbuhan ekonomi hijau, mengatur investasi asing untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, mengawasi kegiatan ekspor-impor untuk mengurangi Emisi CO₂, dan meningkatkan investasi dalam teknologi hijau serta edukasi masyarakat untuk mempercepat transisi energi dan mengurangi Emisi CO₂ di kawasan ASEAN.

Meskipun penelitian ini memberikan kontribusi penting, ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, seperti batasan periode penelitian dan kemungkinan penambahan variabel yang relevan untuk penelitian mendatang. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan penelitian ini dengan melibatkan faktor-faktor tambahan dan memperluas cakupan waktu untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang dinamika Emisi CO₂ di kawasan ASEAN.

REFERENSI

- Alam, M. S. (2006). Economic growth with energy. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1000-1024.
- Arista, T. R., & Amar, S. (2019). Analisis kausalitas emisi CO₂, konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan modal manusia di ASEAN. *Jurnal Kajian Ekonomi dan Pembangunan*, 1(2), 519-532.
- Aslam, B., Hu, J., Shahab, S., Ahmad, A., Saleem, M., Shah, S. S. A., ... & Hassan, M. (2021). The nexus of industrialization, GDP per capita and CO₂ emission in China. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101674.
- Bakhri, M. S. (2018). Konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, globalisasi dan emisi CO₂: Studi kasus ASEAN-5. *Jurnal Economics Development*, 8(4), 210-220.
- DasGupta, R., Kumar, S., & Pathak, R. (2022). Multinational enterprises' internationalization and adoption of sustainable development goals. *International Journal of Managerial Finance*, 8(4), 150-164.
- Grahn, T., et al. (2009). Dampak keterbukaan perdagangan terhadap emisi karbon di ASEAN. *Jurnal Keuangan dan Perdagangan Global*, 14(2), 75-88.
- Hundie, B. (2018). Hubungan antara PDB perkapita dan emisi karbon: Bukti dari negara-negara ASEAN. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 5(2), 112-125.
- Kastratovac, N. (2019). Dampak investasi asing terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN. *Jurnal Perdagangan dan Lingkungan*, 12(3), 150-165.

- Mohsin, M., Naseem, S., Sarfraz, M., & Azam, T. (2022). Assessing the effects of fuel energy consumption, foreign direct investment and GDP on CO2 emission: New data science evidence from Europe & Central Asia. *Fuel*, 314, 123098.
- Noor, A., & Saputra, A. (2020). Dampak PDB perkapita dan populasi terhadap emisi karbon di kawasan ASEAN: Analisis hipotesis kurva Kuznets lingkungan. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 230-246.
- Noor, M. A., & Saputra, P. M. A. (2020). Emisi karbon dan produk domestik bruto: Investigasi hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) pada negara berpendapatan menengah di kawasan ASEAN. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 230-246.
- Osobajo, O. A., et al. (2020). The impact of energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19), 1–16.
- Rambeli, N., Marikan, D. A. A., Hashim, E., Ariffin, S. Z. M., Hashim, A., & Podivinsky, J. M. (2021). The determinants of carbon dioxide emissions in Malaysia and Singapore. *Jurnal Ekonomi Malaysia*, 55(2), 107-119.
- Sarkodie, S., & Owusu, P. A. (2016). Carbon dioxide emissions, GDP, energy use, and population growth: A multivariate and causality analysis for Ghana, 1971–2013. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 13508-13520.
- Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2016). Dampak pertumbuhan penduduk terhadap emisi karbon: Studi kasus negara-negara ASEAN. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 3(1), 45-58.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2012). *Economic development* (10th ed.). Pearson.
- van Niekerk, A. J. (2020). Inclusive economic sustainability: SDGs and global inequality. *Sustainability*, 12(13), 5427.
- Widyawati, R. F., et al. (2021). Pengaruh pertumbuhan ekonomi, populasi penduduk kota, keterbukaan perdagangan internasional terhadap emisi gas karbon dioksida (CO2) di negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*, 3(1), 37–47.