

Analisis Pengaruh Aktivitas Ekonomi terhadap Peningkatan Emisi Karbon: Studi Empiris Empat Negara ASEAN

Muhammad Adi Adrian^{a,*}

^aUniversitas Negeri Semarang

Abstract

The increase in global temperature and climate change over the past decade is the result of an increase in CO2 emissions. Several factors such as economic activity (represented by Gross Domestic Product/GDP), population, deforestation, and energy consumption are considered to have the most influence on increasing CO2 emissions. This study uses panel data analysis to analyze the relationship between GDP growth, population, deforestation, and energy consumption on increasing CO2 emissions in four ASEAN countries, namely Indonesia, Malaysia, Thailand and Vietnam, for the period of 2001-2021. The research method used is panel data regression with Fixed Effect Model (FEM). The results showed that GDP growth and energy consumption have a positive effect while population and deforestation have no influence on CO2 emissions. Further, the increase in carbon emissions in the four ASEAN countries is more due to the amount of energy consumption by the community and economic growth rather than deforestation and population growth.

Keywords: CO2 emission; GDP; environment; deforestation; energy consumption

Abstrak

Peningkatan suhu global dan perubahan iklim yang terjadi selama satu dekade terakhir merupakan hasil dari peningkatan emisi CO2. Beberapa faktor seperti aktivitas ekonomi (diukur dengan Produk Domestik Bruto/PDB), populasi, deforestasi, dan konsumsi energi diduga berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO2. Penelitian ini menggunakan analisis data panel untuk menganalisis hubungan antara pertumbuhan PDB, jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi terhadap peningkatan emisi CO2 di empat negara ASEAN (Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam) pada tahun 2001–2021. Metode estimasi yang digunakan adalah regresi data panel dengan *Fixed Effect Model* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara parsial pertumbuhan PDB dan konsumsi energi berpengaruh positif, sedangkan jumlah penduduk dan deforestasi tidak memiliki pengaruh terhadap emisi CO2. Peningkatan emisi karbon di empat negara ASEAN lebih disebabkan oleh besarnya konsumsi energi yang dihasilkan masyarakat dan pertumbuhan ekonomi, bukan disebabkan oleh deforestasi dan pertumbuhan penduduk.

Kata Kunci: emisi CO2; PDB; lingkungan; deforestasi; konsumsi energi

Kode Klasifikasi JEL: C23; Q23; Q40; Q50

*Alamat Korespondensi Penulis: Semawe RT 18/RW 05, Tanjung, Klego, Boyolali. Email: adiadrian779@gmail.com.

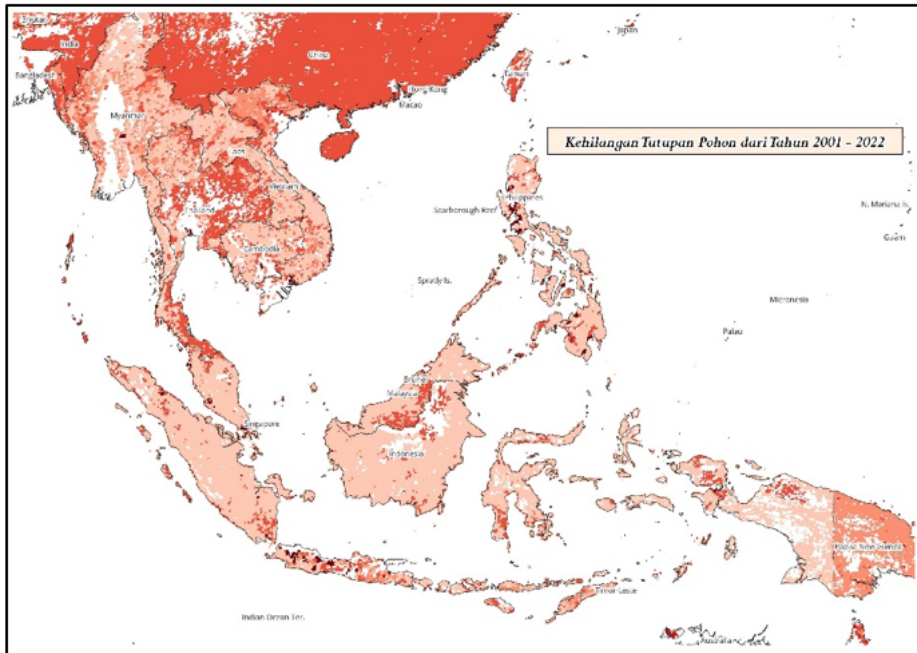
1. Pendahuluan

Perkembangan era modern dalam satu dekade terakhir ini sudah mulai terasa di berbagai negara di dunia. Percepatan perkembangan ini tentunya tidak lepas dari peran globalisasi yang menjadi pintu masuk modernisasi (Asongu *et al.*, 2016). Transisi dari *Millennial Development Goals* (MDGs) ke *Sustainable Development Goals* (SDGs) telah membawa banyak literatur tentang hubungan antara energi, pertumbuhan ekonomi, populasi, dan degradasi lingkungan yang menjadi perhatian para akademisi dan pengambil kebijakan. Ozturk (2010) menyatakan bahwa relevansi energi sebagai sumber kemakmuran ekonomi telah banyak dijelaskan. Namun, eksplorasi dan eksploitasi juga diperlukan bagi suatu negara untuk meningkatkan kesejahteraan individu, penggunaan komoditas publik secara optimal, pertumbuhan yang inklusif, tetapi harus mempertimbangkan pembangunan berkelanjutan dan pengembangan energi terbarukan (Akpan & Akpan, 2012).

Hutan merupakan salah satu bagian dari lingkungan hidup yang menjadi faktor penting bagi bumi dan kelangsungan hidup umat manusia. Peran hutan dan hutan dalam memenuhi kebutuhan manusia telah berkembang selama berabad-abad, dari yang sebelumnya hutan hanya digunakan untuk produksi kayu, akhir-akhir ini fungsi non-produksi dari hutan telah berkembang makin signifikan (Ciesielski & Stereńczak, 2018). Manfaat yang dihasilkan hutan bersifat jangka panjang dan sangat berguna bagi kelangsungan hidup manusia, mulai dari peningkatan kualitas lingkungan, pengurangan emisi CO₂ peluang ekonomi, dan standar estetika (Coletta *et al.*, 2016; Marziliano *et al.*, 2013). Selain itu, hutan juga merupakan tempat berkumpulnya keanekaragaman hayati dan perubahan iklim dipengaruhi oleh penyimpanan karbon yang direpresentasikan sebagai pengatur ekosistem. Dengan semua alasan tersebut, perlindungan hutan harus mempertimbangkan sifat politik, adat istiadat, kondisi sosial, dan ekonomi (Piuksi & Farrell, 2000).

Sejak tahun 2001 hingga 2021, kawasan hutan dunia menyusut sebesar 437 juta hektar, setara dengan 11% dari luas hutan pada tahun 2000 dan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 174 Gt (*Global Deforestation Rates & Statistics by Country* — GFW, n.d.). Tingkat kehilangan kawasan hutan bersih telah mencapai lebih dari 50% sejak tahun 1990 (FAO, 2016). Penyusutan sektor hutan disebabkan oleh meningkatnya populasi manusia dan meningkatnya permintaan akan pangan dan lahan (Arshad *et al.*, 2020). Kawasan hutan terancam oleh perubahan iklim, hama, penyakit, eksploitasi, industrialisasi, dan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk di suatu negara sangat erat kaitannya dengan peningkatan industrialisasi yang didasari oleh meningkatnya kebutuhan manusia sehingga industrialisasi yang masif tentunya akan memengaruhi terciptanya pertumbuhan ekonomi (Liu & Bae, 2018). Namun, proses industrialisasi ini sering kali mengabaikan lingkungan sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan alam dan menurunkan kualitas hidup manusia (Awan *et al.*, 2018).

Pada saat yang sama, penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara dan



Gambar 1: Kehilangan Tutupan Pohon dari Tahun 2001–2022

Sumber: *Global Forest Watch* (2022), data diolah *ArcGIS Pro*

minyak bumi juga berkontribusi terhadap degradasi lingkungan dan penurunan keanekaragaman hayati, yang pada gilirannya memengaruhi kesehatan, kepuasan, dan kemakmuran masyarakat (Khan *et al.*, 2021). Oleh karena itu, degradasi lingkungan telah menjadi ancaman besar bagi habitat alami manusia dan spesies lain di bumi (Majeed & Mumtaz, 2017). Gambar 1 menunjukkan penyebab yang paling dominan kehilangan tutupan pohon selama kurun waktu 2001 hingga 2022. Terdapat lima kategori utama yang menjadi penyebab hilangnya tutupan pohon yang terjadi di empat negara ASEAN tersebut. Pertama adalah deforestasi yang didorong komoditas, yang mana deforestasi skala besar ini terkait dengan kebutuhan dasar yang tidak mencukupi sehingga mengorbankan luasan tutupan pohon untuk ekspansi pertanian komersil. Kedua adalah pertanian berpindah yang terjadi akibat ekspansi pertanian skala kecil dan menengah. Ketiga adalah kategori kehutanan yang mana kehilangan tutupan pohon di bidang kehutanan akibat kehilangan sementara dari perkebunan dan pemanenan hutan alam dengan beberapa deforestasi hutan primer. Keempat adalah kebakaran hutan yang menyebabkan kehilangan tutupan pohon. Dan kelima adalah urbanisasi deforestasi yang disebabkan perluasan pusat-pusat perkotaan (*Global Forest Watch*, 2022).

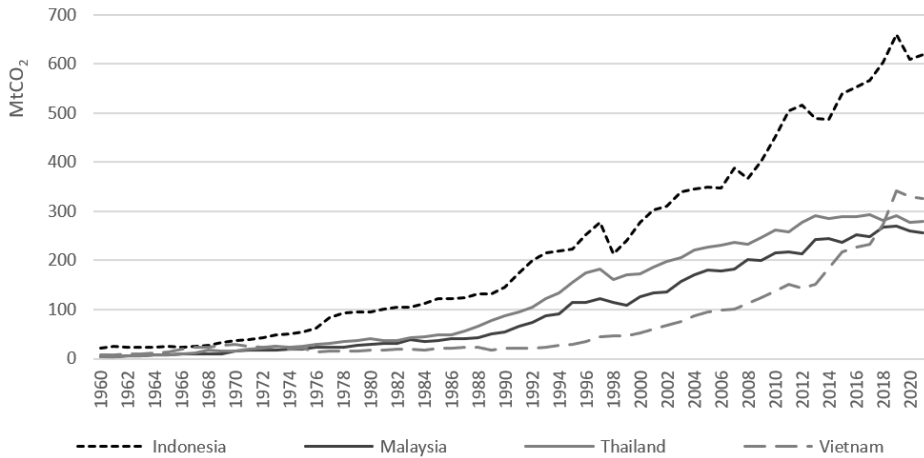
Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) terutama berasal dari pembakaran

bahan bakar fosil yang terus-menerus digunakan sebagai kebutuhan. Munculnya masalah perubahan iklim global dimulai ketika negara-negara industri pada abad ke-19 dan ke-20 mulai menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara untuk konsumsi bahan bakar (Adusah-Poku, 2016). Transformasi dari tenaga air ke batu bara dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas nyatanya justru menimbulkan masalah di masa depan dan secara luas dipandang sebagai sumber utama dari kinerja pertumbuhan dan perubahan iklim (Majeed & Tauqir, 2020). Para ilmuwan lingkungan berpendapat bahwa konsumsi energi bertanggung jawab terhadap emisi karbon dioksida (CO₂). Energi merupakan faktor penting dalam industri manufaktur, baik dalam proses produksi maupun penggunaan sehari-hari yang juga membutuhkan bahan bakar.

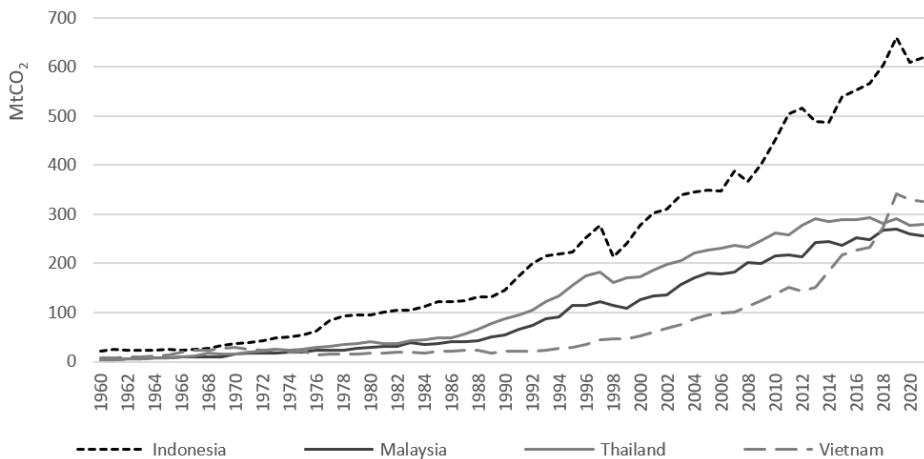
Selain itu, industri manufaktur juga dapat meningkatkan ekspansi industri dan pertumbuhan ekonomi. Namun, penggunaan energi yang tinggi juga dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂ yang makin memperburuk kualitas lingkungan (Majeed & Asghar, 2021) dan menjadi salah satu penyebab utama terciptanya Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer dan mengakibatkan pemanasan global dan perubahan iklim. Pemanasan global dan perubahan iklim dapat dilihat dari mencairnya salju dan es, naiknya permukaan air laut, berubahnya pola curah hujan, naiknya suhu udara dan lautan, menurunnya produktivitas pertanian dan satwa liar, serta berkurangnya produktivitas tenaga kerja. Oleh karena itu, ancaman pemanasan global dan perubahan iklim telah mendapat perhatian lebih dari para pemerhati lingkungan dalam beberapa dekade terakhir. Akibatnya, para ekonom dan pemerhati lingkungan menjadi lebih sadar akan konsekuensi lingkungan dari pertumbuhan ekonomi dengan mengalihkan perhatian dari pertumbuhan ekonomi yang sederhana menjadi pertumbuhan ekonomi yang ramah lingkungan (Alam *et al.*, 2016).

Secara umum, emisi CO₂ global selalu difokuskan pada negara-negara maju dan berkembang di Asia karena negara-negara tersebut bersama-sama menyumbang sekitar 80% emisi CO₂ antropogenik global. Sebagai contoh, sepuluh negara penghasil emisi terbesar di dunia pada tahun 2012, yang semuanya merupakan negara maju dan berkembang di Asia, menyumbang sekitar dua pertiga emisi CO₂ antropogenik global (Adusah-Poku, 2016). Negara-negara ASEAN seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam yang merupakan negara berkembang di Asia juga memiliki kontribusi dalam peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂). Seperti yang terlihat pada Gambar 2 selama periode tahun 1960 hingga 2021 peningkatan jumlah emisi CO₂ di Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal ini sejalan dengan meningkatnya industrialisasi dan peningkatan aktivitas produksi di keempat negara tersebut. Hal ini dibuktikan dalam tiga dekade terakhir, di mana negara-negara tersebut menikmati pertumbuhan ekonomi yang lebih tinggi dengan melakukan transformasi ekonomi dari sektor pertanian primer ke sektor industri yang berbasis energi.

Meskipun keempat negara tersebut hanya menyumbang 6 persen dari populasi global, akan tetapi jika dilihat pada Gambar 3, peningkatan jumlah penduduk



Gambar 2: Peningkatan Emisi CO2
 Sumber: *Global Carbon Atlas (2023)*



Gambar 3: Peningkatan Populasi Penduduk
 Sumber: *Global Forest Watch (2022)*

keempat negara tersebut lebih signifikan. Dari tahun 1960 hingga 2021, jumlah penduduk Indonesia meningkat 300 persen dari 87 juta menjadi 276 juta. Hal yang sama juga terjadi di Malaysia yang pada tahun 1960 jumlah penduduk Malaysia sekitar 8 juta jiwa dan pada tahun 2021 menjadi 32 juta jiwa atau meningkat sebesar 400 persen, sedangkan jumlah penduduk Thailand meningkat sebesar 250 persen dan Vietnam sebesar 300 persen. Sebuah studi yang dilaku-

kan oleh Nasir & Rehman (2011) menunjukkan bahwa negara-negara dengan populasi besar lebih bertanggung jawab terhadap emisi CO₂ dan tingkat emisi CO₂ negara berkembang lebih tinggi karena mereka tidak diwajibkan untuk mematuhi Protokol Kyoto.

Penggunaan energi minyak fosil, populasi, pertumbuhan ekonomi, dan deforestasi dipandang sebagai kontributor terbesar emisi CO₂. Studi yang dilakukan oleh Arshad *et al.* (2020) menyatakan bahwa emisi CO₂ memiliki hubungan jangka panjang yang positif terhadap PDB, populasi, dan deforestasi. Penelitiannya juga menekankan bahwa deforestasi dan peningkatan populasi dapat memperburuk pencemaran lingkungan. Meningkatnya pertumbuhan ekonomi suatu negara tentu tidak luput dari peran sektor-sektor ekonomi lain yang juga mengalami peningkatan, seperti sektor industrialisasi yang berdampak pada peningkatan emisi karbon. Penelitian yang dilakukan oleh Majeed & Asghar (2021), Yousefi-Sahzabi *et al.* (2011), Sohag *et al.* (2017), dan Alam *et al.* (2016) mengatakan bahwa pertumbuhan ekonomi (PDB) memiliki hubungan positif terhadap emisi CO₂. Berdasarkan beberapa hal tersebut kemudian dapat diasumsikan bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki hubungan yang positif terhadap emisi karbon (CO₂).

Peningkatan populasi penduduk juga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi peningkatan emisi CO₂. Peningkatan jumlah populasi pada suatu negara akan menyebabkan wilayah pemukiman penduduk makin menyusut sehingga banyak terjadi ekspansi di wilayah hijau (hutan) untuk dijadikan sebagai pemukiman baru. Akibatnya, hutan yang merupakan paru-paru dunia makin terkikis dan kehilangan fungsinya. Selain itu, banyaknya populasi pada suatu negara juga akan menyebabkan kebutuhan akan konsumsi energi meningkat sehingga eksploitasi sumber daya alam tak terbarukan seperti bahan bakar fosil makin masif walaupun sejalan dengan konsekuensinya terhadap pencemaran lingkungan. Voumik (2022) mengatakan bahwa populasi dapat memengaruhi peningkatan emisi CO₂. Selain itu, hasil studinya di Bangladesh juga menemukan bahwa konsumsi energi memiliki dampak yang paling signifikan terhadap lingkungan dan sangat merugikan masyarakat di Bangladesh. Kemudian, penelitian serupa juga mengatakan bahwa terdapat korelasi antara jumlah penduduk dengan peningkatan emisi CO₂ (Agung *et al.*, 2017; Alam *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2021; Adusah-Poku, 2016). Berdasarkan hal tersebut populasi penduduk dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ memiliki hubungan secara positif.

Peningkatan jumlah konsumsi energi di suatu negara dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂. Hal ini sejalan dengan hasil beberapa penelitian yang juga mengatakan bahwa peningkatan konsumsi energi berpengaruh positif terhadap tingkat emisi CO₂ (Asongu *et al.*, 2016; Hussain *et al.*, 2012; Nathaniel & Adeleye, 2021; Olubusoye & Musa, 2020; Wang *et al.*, 2018). Sedangkan, hubungan yang terjadi antara deforestasi dan emisi CO₂, menurut studi yang dilakukan oleh Raihan *et al.* (2022) di Malaysia, deforestasi memiliki pengaruh negatif terhadap emisi CO₂, yang artinya penurunan luas hutan atau deforestasi dapat memberikan efek jangka panjang terhadap emisi CO₂.

Penelitian ini menggunakan teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang diadaptasi dari Kurva Kuznet. Teori EKC pertama kali dikembangkan oleh Grossman & Krueger (1991) yang mengaplikasikan hipotesis Kuznets untuk mengetahui hubungan pertumbuhan ekonomi dengan kualitas lingkungan. Teori EKC membentuk U-terbalik untuk berbagai polutan dengan tingkat pendapatan yang lebih tinggi. Berbagai makalah telah ditulis mengenai pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, deforestasi, dan populasi serta hubungannya dengan emisi karbon dioksida (CO₂). Karena ASEAN merupakan salah satu pasar utama dan pusat industrialisasi baru, maka hal ini berpotensi berdampak pada peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan antara emisi CO₂, pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, deforestasi, dan jumlah penduduk. Penelitian ini menggunakan analisis data panel yang menggabungkan data *time series* dan *cross section* dengan metode *Fixed Effect Model* (FEM) untuk mengestimasi pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, deforestasi, dan jumlah penduduk terhadap emisi CO₂ di empat negara ASEAN, yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam sejak tahun 2001 sampai dengan tahun 2021.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber, seperti World Bank, *Global Carbon Atlas* (GCA), *Global Forest Watch* (GFW), dan *US Energy Information and Administration* (EIA). Penelitian ini menggunakan dampak lingkungan sebagai variabel dependen yang diproksikan dengan emisi CO₂ dalam satuan metrik ton karbon dioksida (MtCO₂). Variabel independen yang digunakan antara lain produk domestik bruto (PDB) atas dasar harga berlaku (dalam satuan dolar Amerika Serikat), jumlah penduduk (dalam orang per tahun), deforestasi yang diukur dari penurunan tutupan pohon per tahun (dalam satuan kilo ha), dan konsumsi energi (dalam satuan juta metrik ton minyak ekuivalen). Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data runtun waktu (*time series*) dari empat negara di ASEAN, yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2021. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data panel yang diestimasi dengan *Fixed Effect Model* (FEM). FEM dapat menunjukkan kontribusi pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi terhadap peningkatan emisi CO₂ di empat negara ASEAN yaitu, Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam. Adapun, model ekonometrik dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$CO_2 = \alpha_0 + \beta_1 LnGDP_{i,t} + \beta_2 LnP_{i,t} + \beta_3 LnDF_{i,t} + \beta_4 LnEC_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Makalah ini menggunakan log natural dari beberapa variabel untuk menstandarkan satuan. $\ln CO_2$ adalah emisi karbon dioksida; $\ln PDB$ adalah pertumbuhan ekonomi; $\ln P$ adalah pertambahan penduduk; $\ln DF$ adalah pertumbuhan

deforestasi; $\ln EC$ adalah pertumbuhan konsumsi energi; i adalah negara; t adalah tahunan; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ adalah parameter koefisien dari masing-masing variabel independen; α_0 adalah intersep; ε_i adalah error.

3. Hasil dan Pembahasan

Peran sektor kegiatan ekonomi dalam memengaruhi lingkungan antara lain disebabkan oleh persaingan negara-negara berkembang untuk menjadi negara maju. Untuk mencapai hal tersebut, sering kali negara mengambil jalan pintas ekonomi dengan tidak mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan dari kegiatan ekonomi tersebut, seperti pencemaran lingkungan, eksploitasi alam, peningkatan emisi karbon, dan perubahan sosial ekonomi masyarakat.

Mengatasi masalah lingkungan dan emisi CO₂, pemerintah di seluruh dunia pada KTT Kyoto pada tahun 1997 membuat kesepakatan mengenai emisi gas rumah kaca (GRK) yang mana negara-negara industri harus mengurangi emisi nasional sebesar 5 persen selama periode 2008–2012 (Hussain *et al.*, 2012). Selain itu, kesepakatan *Sustainable Development Goals* (SDG) juga menekankan bahwa pembangunan suatu negara harus didasarkan pada kelestarian lingkungan. Hal ini seharusnya menjadi titik balik bagi negara-negara ASEAN, seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam. Sebagai negara berkembang, peningkatan aktivitas ekonomi haruslah berkelanjutan dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan sesuai dengan kesepakatan yang tertuang dalam SDGs.

Tabel 1: Statistik Deskriptif

Variabel	Mean	Std. Dev	Min.	Maks.	Obs.
CO2	275,1441	137,0617	59,65400	659,4357	84
GDP	3,64E+11	2,80E+11	3,27E+10	1,19E+12	84
P	1,08E+08	83585385	23709115	2,76E+08	84
DF	509377,5	564974,9	36101,94	2422072	84
EC	98,89854	44,17529	19,29968	205,1861	84

Tabel 1 menunjukkan ringkasan statistik deskriptif dari beberapa indikator yang mempengaruhi peningkatan emisi CO₂ di empat negara ASEAN yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2021. Pertama, peningkatan emisi CO₂ pada periode 2001–2021 memiliki rata-rata 275,1 MtCO₂, dengan tingkat minimum 59,7 MtCO₂ dan tingkat maksimum 659,4 MtCO₂. Kedua, pertumbuhan ekonomi yang diprosikan dengan produk domestik bruto (PDB) pada periode 2001–2021 memiliki rata-rata sebesar US\$364 miliar, dengan level minimum US\$327 miliar dan level maksimum US\$1,19 triliun. Ketiga, jumlah penduduk di keempat negara tersebut memiliki rata-rata sekitar 108 juta jiwa, dengan tingkat minimum 23 juta jiwa dan maksimum 276 juta jiwa. Keempat, peningkatan deforestasi yang diprosikan dengan pengurangan tutupan pohon pada periode 2001–2021 memiliki rata-rata pengurangan sebesar 509 kha (kilo hektar), dengan tingkat minimum 36 kha dan tingkat maksimum 2.422 kha. Terakhir, konsumsi energi empat negara ASEAN,

yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam memiliki rata-rata konsumsi energi sebesar 99 juta metrik ton setara minyak, dengan tingkat minimum 19 juta metrik ton setara minyak, dan tingkat maksimum 205 juta metrik ton setara minyak.

Tabel 2: Korelasi

	CO2	GDP	EC	DF	P
CO2	1,0000				
GDP	0,9474	1,0000			
P	0,5459	0,4373	1,0000		
DF	0,7147	0,6476	0,4453	1,0000	
EC	0,9720	0,9549	0,4694	0,5923	1,0000

Hasil korelasi yang ditunjukkan pada Tabel 2 menjelaskan hubungan antarvariabel dalam memengaruhi emisi CO2. Tabel 2 menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi memiliki korelasi positif yang kuat dengan emisi CO2. Hal ini dibuktikan dengan konsumsi energi yang memiliki korelasi sebesar 0,97 terhadap emisi CO2, pertumbuhan ekonomi (PDB) memiliki korelasi sebesar 0,95 terhadap emisi CO2, kemudian untuk deforestasi memiliki korelasi terhadap emisi CO2 sebesar 0,71 dan untuk jumlah penduduk memiliki korelasi sebesar 0,54 terhadap emisi CO2. Berdasarkan hasil korelasi tersebut, dapat diartikan bahwa peningkatan konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi (PDB), deforestasi, dan jumlah penduduk akan mengikuti tren peningkatan tingkat emisi CO2.

Tabel 3: Hasil Estimasi Model Pooled Least Squared (PLS)

Variabel	Koefisien	Std. Error	t	Prob.
GDP	0,032767	0,037649	0,870326	0,3868
P	0,049908***	0,012795	3,900503	0,0002
DF	0,088896***	0,010635	8,359141	0,0000
EC	0,775893***	0,057210	13,56223	0,0000
Constant	-0,869600	0,762893	-1,139870	0,2578
R2	0,9787		Prob > F	0,0000
R2-Adj	0,9776		F	908,7
N	84		DW	0,6499

Keterangan: *sig. 0,10 ** sig. 0,05 *** sig. 0,01

Model yang sesuai dalam data panel antara lain *Common Effect Model* (PLS), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model*. Tabel 3 menjelaskan hasil estimasi *Common Effect Model* atau *Pooled Least Squared* (PLS) yang menunjukkan nilai probabilitas F sebesar 0,0000 dengan nilai statistik F sebesar 908,7. Nilai *R-squared* pada estimasi PLS adalah sebesar 0,9787. Hasil ini menyatakan bahwa variasi persentase perubahan emisi CO2 di 4 negara ASEAN dijelaskan oleh variabel pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi sebesar 97,87% dan sisanya sebesar 2,13% dipengaruhi oleh variabel lain di luar variabel-variabel tersebut. Kemudian, secara parsial, jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi

CO₂. Hanya pertumbuhan ekonomi (PDB) yang tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂.

Tabel 4: Hasil Estimasi *Fixed Effect Model* (FEM)

Variabel	Koefisien	Std. Error	t	Prob.
GDP	-0,087476**	0,043312	-2,019662	0,0469
P	0,306492	0,206362	1,485215	0,1416
DF	-0,038635	0,025365	-1,523166	0,1319
EC	1,113625***	0,069133	1,610846	0,0000
Constant	-2,283324	3,291518	-0,693699	0,4900
R2	0,9884		Prob > F	0,0000
R2-Adj	0,9873		Observasi	84
F	930,068		Kelompok	4

Keterangan: *sig. 0,10 ** sig. 0,05 *** sig. 0,01

Kemudian, pada model *Fixed Effect Model* (FEM) yang ditunjukkan pada Tabel 4, menunjukkan bahwa berdasarkan statistik F (930,07) dan untuk probabilitas F sebesar 0,0000. Nilai *R Squared* pada estimasi FEM sebesar 0,9884. Hasil ini menyatakan bahwa variasi persentase perubahan emisi CO₂ di empat negara di ASEAN dijelaskan oleh variabel pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi sebesar 98,84% dan sisanya sebesar 1,16% dipengaruhi oleh variabel lain di luar variabel-variabel tersebut. Kemudian, secara parsial pertumbuhan ekonomi (PDB) dan konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Hanya deforestasi dan jumlah penduduk yang tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂.

Tabel 5: Hasil Uji Chow

Uji	P _{value}	Alpha (α)	Conclusion
Chow	0	< 0,05	Reject H ₀ : FEM

Langkah selanjutnya adalah menentukan model terbaik antara *Pooled Least Squared* (PLS) dan *Fixed Effect Model* (FEM). Dalam memilih antara PLS atau FEM, diperlukan estimasi *Chow Test*. Uji ini dilakukan untuk membandingkan model mana yang tepat digunakan antara PLS dan FEM. Jika nilai uji probabilitas (Prob.) pada *cross-section* F lebih besar dari α (Prob > α), maka model yang terbaik menggunakan PLS. Namun, jika nilai Prob < α , maka yang paling tepat menggunakan model FEM. Hasil uji Chow pada Tabel 5 menunjukkan nilai Prob sebesar 0,0000 < 0,05 lebih kecil dari nilai α . Hal ini mengindikasikan bahwa *Fixed Effect Model* (FEM) merupakan model yang paling baik dibandingkan dengan model *Pooled Least Squared* (PLS). Penelitian ini tidak menggunakan estimasi *Random Effect Model* (REM). Hal ini dikarenakan syarat untuk menggunakan REM adalah jumlah data *cross-section* lebih banyak dibandingkan dengan data *time series*. Pada studi ini, data *cross-section* lebih sedikit dibandingkan dengan data *time series*, yaitu hanya empat negara (Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam), sedangkan data *time series* yang dihitung sebanyak 21 negara dari

tahun 2001 sampai dengan tahun 2021 sehingga tidak dapat dilakukan hasil estimasi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi di empat negara ASEAN berpengaruh terhadap emisi CO₂. Sementara itu, deforestasi dan jumlah penduduk tidak berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO₂. Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, seperti Asongu *et al.* (2016), Hussain *et al.* (2012), Fauzi (2017), Majeed & Asghar (2021), dan Alam *et al.* (2016). Namun, penelitian ini perlu dikaji lebih dalam mengenai pengaruh deforestasi dan jumlah penduduk terhadap peningkatan emisi CO₂ karena penelitian ini menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap emisi CO₂. Penebangan liar, kebakaran hutan, dan kegiatan lain yang menyebabkan deforestasi diduga dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂. Berkurangnya jumlah pohon dapat menyebabkan proses fotosintesis (penyerapan karbon dioksida) tanaman menjadi berkurang sehingga meningkatkan emisi CO₂. Selain deforestasi, jumlah penduduk juga menyebabkan kebutuhan akan kebutuhan pokok meningkat dan penggunaan energi juga meningkat. Berdasarkan asumsi tersebut, maka perlu diteliti kembali pengaruh deforestasi dan jumlah penduduk terhadap peningkatan emisi CO₂ dengan menggunakan indikator yang lebih spesifik.

Hasil penelitian menyatakan bahwa Produk Domestik Bruto (PDB) memiliki hasil yang signifikan terhadap emisi CO₂. hal ini dibuktikan dengan nilai probabilitas (t) = 0,0469 di bawah taraf uji $\alpha = 0,05$. Nilai koefisien pada Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar 0,087 berarti bahwa setiap kenaikan 1 persen Produk Domestik Bruto di keempat negara akan mampu menurunkan nilai emisi CO₂ sebesar 0,087% (dalam satuan metrik ton per kapita). Koefisien yang negatif berarti peningkatan nilai persentase suatu variabel akan menurunkan nilai variabel dependen. Secara empiris, hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya seperti Asongu *et al.* (2016), Hussain *et al.* (2012), dan Fauzi (2017) yang mengatakan bahwa pertumbuhan ekonomi dapat memberikan dampak buruk terhadap kerusakan lingkungan dan peningkatan emisi CO₂.

Hubungan bilateral yang masif antara negara-negara ASEAN dengan negara-negara maju di dunia memudahkan terjadinya transfer teknologi yang ramah lingkungan sehingga dalam melakukan kegiatan ekonomi meminimalisir kerusakan lingkungan dan pencemaran udara (emisi CO₂). Hasil ini dikuatkan oleh Majeed & Tauqir (2020) dalam penelitiannya, mengatakan bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki pengaruh yang heterogen pada beberapa negara. Negara-negara miskin cenderung mengandalkan teknologi tradisional yang erat kaitannya dengan polusi dan sering kali mengorbankan lingkungan dalam mencapai pertumbuhan ekonomi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk negara kaya, pertumbuhan ekonomi cenderung menunjukkan dampak yang baik bagi lingkungan karena menghargai alam dan menggunakan teknologi hijau dan ramah lingkungan dalam kegiatan ekonominya.

Pertumbuhan penduduk di setiap negara tentunya memiliki dampak positif dan negatif bagi suatu negara. Hasil penelitian ini menyebutkan bahwa jumlah

penduduk di keempat negara ASEAN tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan emisi CO₂. Hal ini dibuktikan dengan nilai probabilitas (t) = 0,1416 yang lebih besar dari taraf uji $\alpha = 0,05$. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alam *et al.* (2016) bahwa jumlah penduduk tidak berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO₂. Jumlah penduduk tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂ karena keempat negara ASEAN, meskipun memiliki pertumbuhan penduduk yang pesat, akan tetapi tidak berdampak pada peningkatan kebutuhan dan aktivitas ekonomi yang berdampak pada emisi CO₂. Selain itu, letak geografis yang sama, yaitu dikelilingi oleh wilayah hutan hujan tropis, membuat peningkatan jumlah penduduk tidak begitu berdampak pada peningkatan emisi CO₂.

Deforestasi menunjukkan hasil yang serupa dengan jumlah penduduk yang mana keduanya tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO₂. Hal ini dibuktikan dengan nilai probabilitas (t) = 0,1316 yang lebih besar dari tingkat uji $\alpha = 0,05$. Kondisi ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, seperti penelitian Arshad *et al.* (2020) yang mengatakan bahwa deforestasi dalam jangka panjang dapat memperburuk pencemaran lingkungan dan memiliki hasil yang signifikan terhadap emisi CO₂ yang menyatakan bahwa penurunan tutupan pohon sebesar satu persen dapat memberikan efek jangka panjang berupa peningkatan emisi CO₂. Tidak signifikannya deforestasi terhadap peningkatan emisi CO₂ di keempat negara ASEAN tersebut dikarenakan tingkat deforestasi yang berfluktuasi dan cenderung menurun. Hal ini juga diperkuat dengan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan atau alam serta dengan melakukan kegiatan reboisasi dan penghijauan.

Konsumsi energi merupakan faktor utama dalam kualitas lingkungan. Peningkatan konsumsi energi dapat memperburuk lingkungan udara karena sumber energi tradisional (minyak fosil) mengeluarkan CO₂ di atmosfer. Konsumsi energi, yang sebagian besar terdiri dari energi terbarukan dan nuklir, dapat meningkatkan kualitas lingkungan (Majeed & Tauqir, 2020). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi energi berpengaruh sangat signifikan terhadap emisi CO₂. Hal ini dibuktikan dengan nilai probabilitas (t) = 0,0000 di bawah taraf uji $\alpha = 0,05$. Nilai koefisien yang positif pada konsumsi energi berarti bahwa setiap kenaikan 1 persen konsumsi energi di keempat negara tersebut akan mampu menurunkan nilai emisi CO₂ sebesar 1,12 persen (dalam satuan metrik ton per kapita).

Studi empiris yang sejalan dengan hasil penelitian seperti yang dilakukan oleh Majeed & Tauqir (2020) dalam penelitiannya mengenai pengaruh konsumsi energi terhadap emisi karbon, yang kemudian menyatakan bahwa konsumsi energi memiliki hasil yang positif terhadap emisi CO₂. Aslan *et al.* (2022) dalam penelitiannya menegaskan bahwa negara pengimpor minyak merupakan penghasil emisi CO₂ terbesar. Studi yang dilakukan di Pakistan juga menyatakan bahwa hampir 54 persen konsumsi energi di Pakistan bergantung pada minyak dan gas bumi, yang mengakibatkan makin banyak emisi CO₂ yang dihasilkan dan menjadi penyebab utama pencemaran lingkungan di Pakistan. Untuk dapat

mengantisipasi peningkatan emisi CO₂ tersebut, penggunaan teknologi diharapkan dapat menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan energi terbarukan. Selain itu, penggunaan energi minyak fosil dilakukan dengan cara mengurangi konsumsi secara bertahap hingga mencapai 0 persen sehingga dapat mengurangi tingkat emisi CO₂ di atmosfer bumi. Selain itu, yang tidak kalah penting adalah gerakan kesadaran rumah tangga dalam menerapkan pembangunan hijau dengan memanfaatkan ruang secara optimal sebagai tempat tumbuhnya tanaman yang dapat menyerap emisi CO₂. Pengenalan kesadaran lingkungan sejak dini pada anak usia sekolah juga merupakan salah satu upaya untuk menjaga lingkungan di masa depan (Fauzi, 2017).

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di empat negara ASEAN yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam periode 2001–2021. Kebaruan penelitian ini terletak pada variabel penelitian dengan memasukkan deforestasi serta konsumsi energi dalam memengaruhi peningkatan emisi CO₂. Selain itu, sampel penelitian yang digunakan meliputi empat negara ASEAN yang memiliki karakteristik yang mirip karena sama-sama merupakan negara berkembang serta dampak dari adanya pandemi Covid-19 dalam data yang digunakan menjadi pembeda dengan penelitian sejenis. Penelitian ini menguji hubungan antara pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi terhadap emisi CO₂ dengan menggunakan analisis data panel dengan *Fixed Effect Model* (FEM). Seperti yang telah dijelaskan pada bagian pendahuluan, selama beberapa dekade terakhir emisi CO₂ terus meningkat setiap tahunnya dan makin mengkhawatirkan karena berbagai faktor, seperti pertumbuhan ekonomi, populasi, deforestasi, dan konsumsi energi.

Hasil dari model data panel FEM menyatakan bahwa secara parsial hanya pertumbuhan ekonomi (PDB) dan konsumsi energi yang berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, sedangkan jumlah penduduk dan deforestasi tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂. Secara simultan, hasil penelitian menunjukkan hasil yang signifikan sebesar 0,9884 atau 98,84% yang berarti variasi persentase perubahan emisi CO₂ di empat negara di ASEAN dijelaskan oleh variabel pertumbuhan ekonomi (PDB), jumlah penduduk, deforestasi, dan konsumsi energi sebesar 98,84% dan sisanya sebesar 1,16% dipengaruhi oleh variabel-variabel lain di luar variabel tersebut.

Hasil penelitian ini perlu dilanjutkan dengan melibatkan negara yang berbeda di wilayah yang berbeda serta dapat juga membandingkan antara negara maju, berkembang, dan miskin. Penambahan periode yang lebih panjang tentunya akan memaksimalkan hasil ekonometrik. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor yang menyebabkan jumlah penduduk dan deforestasi tidak berpengaruh terhadap emisi CO₂. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui sumber utama peningkatan emisi karbon CO₂ adalah pertumbuhan

ekonomi dan konsumsi energi yang tinggi. Oleh karena itu, rekomendasi kebijakan yang dapat dilakukan oleh pemangku kebijakan untuk dapat mengurangi tingkat emisi karbon, salah satunya dengan mengurangi penggunaan energi fosil dan digantikan dengan energi terbarukan agar tidak menimbulkan dampak peningkatan emisi karbon CO₂ serta tidak menimbulkan dampak lingkungan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi atau masukan dan bahan pertimbangan bagi para pemangku kepentingan dalam mengatasi tingkat emisi karbon CO₂.

Daftar Pustaka

- [1] Adusah-Poku, F. (2016). Carbon dioxide emissions, urbanization and population: Empirical evidence in SUB Saharan Africa. *Energy Economics Letters*, 3(1), 1-16. doi: <https://doi.org/10.18488/journal.82/2016.3.1/82.1.1.16>.
- [2] Agung, P., Hartono, D., & Awirya, A. A. (2017). Pengaruh urbanisasi terhadap konsumsi energi dan emisi CO₂: Analisis provinsi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 10(1), 9-17. doi: <https://doi.org/10.24843/JEKT.2017.v10.i01.p02>.
- [3] Akpan, G. E., & Akpan, U. F. (2012). Electricity consumption, carbon emissions and economic growth in Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(4), 292-306.
- [4] 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.043>.
- [5] Arshad, Z., Robaina, M., Shahbaz, M., & Veloso, A. B. (2020). The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10065-10086. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07507-7>.
- [6] Aslan, A., Ocal, O., Ozsolak, B., & Ozturk, I. (2022). Renewable energy and economic growth relationship under the oil reserve ownership: Evidence from panel VAR approach. *Renewable Energy*, 188, 402-410. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.039>.
- [7] Asongu, S., El Montasser, G., & Toumi, H. (2016). Testing the relationships between energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth in 24 African countries: a panel ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6563-6573. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5883-7>.
- [8] Awan, U., Kraslawski, A., & Huiskonen, J. (2018). Governing interfirm relationships for social sustainability: the relationship between governance mechanisms, sustainable collaboration, and cultural intelligence. *Sustainability*, 10(12), 4473. doi: <https://doi.org/10.3390/su10124473>.
- [9] Ciesielski, M., & Stereńczak, K. (2018). What do we expect from forests? The European view of public demands. *Journal of Environmental Management*, 209, 139-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.032>.
- [10] Coletta, V., Lombardi, F., Altieri, V., Bombino, G., Marciandò, C., Menguzzato, G., & Marziliano, P. A. (2016). Environmental resources conservation through sustain-

- able forest management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223, 758-763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.264>.
- [11] FAO. (2016). *The state of world fisheries and aquaculture: contributing to food security and nutrition for all*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/465805/>.
- [12] Fauzi, R. (2017). Pengaruh konsumsi energi, luas kawasan hutan dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO2 di 6 (enam) negara anggota ASEAN: pendekatan analisis data panel. *Ecolab*, 11(1), 14-26. doi: <https://doi.org/10.20886/jklh.2017.11.1.14-26>.
- [13] Global Deforestation Rates & Statistics by Country — GFW. (n.d.). *Global forest watch: global*. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/>.
- [14] Global Forest Watch. (2022). *Tree cover loss by dominant driver 2022*. <https://data.globalforestwatch.org/documents/tree-cover-loss-by-dominant-driver-2022/about>.
- [15] Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *NBER Working Paper*, 3914. National Bureau of Economic Research. doi: 10.3386/w3914.
- [16] Hussain, M., Irfan Javaid, M., & Drake, P. R. (2012). An econometric study of carbon dioxide (CO2) emissions, energy consumption, and economic growth of Pakistan. *International Journal of Energy Sector Management*, 6(4), 518-533. doi: <https://doi.org/10.1108/17506221211282019>.
- [17] Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222>.
- [18] Liu, X., & Bae, J. (2018). Urbanization and industrialization impact of CO2 emissions in China. *Journal of Cleaner Production*, 172, 178-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.156>.
- [19] Majeed, M. T., & Mumtaz, S. (2017). Happiness and environmental degradation: A global analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 11(3), 753-772.
- [20] Majeed, M. T., & Tauqir, A. (2020). Effects of urbanization, industrialization, economic growth, energy consumption, financial development on carbon emissions: an extended STIRPAT model for heterogeneous income groups. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences (PJCSS)*, 14(3), 652-681.
- [21] Majeed, M. T., & Asghar, N. (2021). Trade, energy consumption, economic growth, and environmental quality: an empirical evidence from D-8 and G-7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 61302-61316. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15066-z>.
- [22] Marziliano, P. A., Laforteza, R., Colangelo, G., Davies, C., & Sanesi, G. (2013). Structural diversity and height growth models in urban forest plantations: a case-study in northern Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(2), 246-254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.01.006>.
- [23] Nasir, M., & Rehman, F. U. (2011). Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: an empirical investigation. *Energy Policy*, 39(3), 1857-1864. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.025>.
- [24] Nathaniel, S. P., & Adeleye, N. (2021). Environmental preservation amidst carbon emissions, energy consumption, and urbanization in selected African countries: implication for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125409. doi: ht-

- tps://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125409.
- [25] Olubusoye, O. E., & Musa, D. (2020). Carbon emissions and economic growth in Africa: are they related?. *Cogent Economics & Finance*, 8(1), 1850400. doi: <https://doi.org/10.1080/23322039.2020.1850400>.
- [26] Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy–growth nexus. *Energy Policy*, 38(1), 340-349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.024>.
- [27] Piussi, P., & Farrell, E. P. (2000). Interactions between society and forest ecosystems: challenges for the near future. *Forest Ecology and Management*, 132(1), 21-28. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00376-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00376-5).
- [28] Raihan, A., Begum, R. A., Nizam, M., Said, M., & Pereira, J. J. (2022). Dynamic impacts of energy use, agricultural land expansion, and deforestation on CO2 emissions in Malaysia. *Environmental and Ecological Statistics*, 29(3), 477-507. doi: <https://doi.org/10.1007/s10651-022-00532-9>.
- [29] Sohag, K., Al Mamun, M., Uddin, G. S., & Ahmed, A. M. (2017). Sectoral output, energy use, and CO 2 emission in middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 9754-9764. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8599-z>.
- [30] Voumik, L. C., Rahman, M. H., & Hossain, M. S. (2022). Investigating the subsistence of Environmental Kuznets Curve in the midst of economic development, population, and energy consumption in Bangladesh: Imminent of ARDL model. *Heliyon*, 8(8), e10357. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10357>.
- [31] Wang, S., Zeng, J., Huang, Y., Shi, C., & Zhan, P. (2018). The effects of urbanization on CO2 emissions in the Pearl River Delta: a comprehensive assessment and panel data analysis. *Applied Energy*, 228, 1693-1706. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.155>.
- [32] Yousefi-Sahzabi, A., Sasaki, K., Yousefi, H., & Sugai, Y. (2011). CO 2 emission and economic growth of Iran. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16, 63-82. doi: <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9252-z>.