



Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri, Rumah Tangga, dan Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Regina Citra Kurnia Pangestu^{1*}, Anak Agung Ketut Ayuningsasi²

¹⁻²Universitas Udayana, Indonesia

Alamat: Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Udayana, Bali, Indonesia

Korespondensi penulis: reginapangestu96@gmail.com*

Abstract. *Greenhouse gases (GHGs), particularly carbon emissions, are one of the effects of globalization. Consumption of energy for daily activities and necessities influences the rise in carbon emissions. From 1990 to 2021, this study will look at how energy use in the transportation, household, and industrial sectors affects Indonesia's carbon emissions. The research approach is a quantitative one based on secondary time series data sourced from the International Energy Agency (IEA) website. Multiple linear regression analysis methods are used to conduct the analysis. Energy consumption in the household sector has a negative and significant impact on Indonesia's carbon emissions from 1990 to 2021, while energy consumption in the industrial and transportation sectors has a positive and significant impact. The household sector has reduced its use of biomass, switched to electricity and LPG, and implemented energy efficiency. The research suggests that the use of energy in the transportation and industrial sectors has a positive impact due to their continued reliance on fossil fuel-derived non-renewable energy. The fact that an increase in household energy use will result in a decrease in carbon emissions, which can contribute to an improvement in the quality of the environment, indicates that the negative impact of household energy use is actually positive.*

Keywords: *energy consumption, industry, household, transportation, emissions, carbon*

Abstrak. Gas rumah kaca (GRK), khususnya emisi karbon, merupakan salah satu dampak globalisasi. Konsumsi energi untuk aktivitas dan kebutuhan sehari-hari memengaruhi peningkatan emisi karbon. Dari tahun 1990 hingga 2021, penelitian ini akan melihat bagaimana penggunaan energi di sektor transportasi, rumah tangga, dan industri memengaruhi emisi karbon Indonesia. Pendekatan penelitian adalah kuantitatif berdasarkan data deret waktu sekunder yang bersumber dari situs web Badan Energi Internasional (IEA). Metode analisis regresi linier berganda digunakan untuk melakukan analisis. Konsumsi energi di sektor rumah tangga berdampak negatif dan signifikan terhadap emisi karbon Indonesia dari tahun 1990 hingga 2021, sedangkan konsumsi energi di sektor industri dan transportasi berdampak positif dan signifikan. Sektor rumah tangga telah mengurangi penggunaan biomassa, beralih ke listrik dan LPG, dan menerapkan efisiensi energi. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan energi di sektor transportasi dan industri berdampak positif karena terus bergantung pada energi tak terbarukan yang berasal dari bahan bakar fosil. Fakta bahwa peningkatan penggunaan energi rumah tangga akan menghasilkan penurunan emisi karbon, yang dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan, menunjukkan bahwa dampak negatif penggunaan energi rumah tangga sebenarnya positif.

Kata kunci: konsumsi energi, industri, rumah tangga, transportasi, emisi, karbon

1. LATAR BELAKANG

Ujian dunia yang saat ini sedang dihadapi oleh seluruh dunia adalah perubahan lingkungan. Efek rumah kaca, yang disebabkan oleh meningkatnya intensitas gas rumah kaca (GRK), merupakan salah satu penyebab perubahan iklim saat ini. Zat perusak ozon yang paling dikenal luas di udara adalah CO₂ atau karbon dioksida (Hassan *et al.*, 2022). Dalam hal lingkungan dan ilmu pengetahuan, emisi karbon menunjuk pada proses terlepasnya gas-gas yang berisi karbon ke atmosfer bumi sebagai efek dari kegiatan manusia. Karbondioksida adalah salah satu gas tersebut. Gas ini dilepaskan saat bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batu bara dibakar, serta saat proses industri dan transportasi dilakukan (BMKG,

2021). Menurut data dari International Energy Agency tahun 2023, emisi karbondioksida Indonesia terus mengalami peningkatan tiap tahun, meskipun pada tahun 2020, emisi CO₂ sebesar 532,2 Mt/CO₂ (metrik ton setara CO₂) menurun dari tahun sebelumnya sebesar 571,1 Mt/CO₂ pada tahun 2019. Hal tersebut terjadi dikarenakan pandemi COVID-19 yang pada saat itu menimpa seluruh dunia dan para negara membuat kebijakan untuk menutup perbatasan dan menerapkan langkah-langkah yang ketat dengan membatasi pergerakan (mobilitas) dan kepadatan penduduk demi mencegah penularan virus COVID-19 (Nicola *et al.*, 2020).

Pemanfaatan sumber daya alam (SDA), khususnya SDA penghasil energi, tidak dapat dipisahkan dari kegiatan ekonomi. Baik bisnis maupun energi memiliki keterkaitan satu sama lain. Energi adalah sumber daya pemasukan yang menunjang proses produksi. Energi sebagai sumber daya alam dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk memajukan kesejahteraan masyarakat dan dikelola sesuai dengan prinsip pembangunan berkelanjutan. Pembangunan yang berwawasan ekologis menjadi dasar untuk mencapai keberlanjutan (Zuldareva, 2017). Pemakaian sumber daya energi secara sektoral terbagi ke dalam sejumlah sektor, antara lain pertanian, transportasi, jasa dunia usaha, industri, sektor domestik dan sektor yang lain (Tang, 2017). Saat ini Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam. Ketergantungan Indonesia pada bahan bakar fosil memiliki dampak negatif yang serius terhadap lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca, polusi udara, dan pemanasan global (Putri *et al.*, 2022). Pada tahap pembangunan ekonomi, penggunaan energi yang kurang ramah lingkungan berkaitan erat dengan menurunnya kualitas lingkungan. Emisi GRK meningkat akibat pertumbuhan industri pengguna energi yang tidak ramah lingkungan, terutama di negara-negara berkembang (Fauzi, 2017). Kebakaran hutan, pemakaian alat-alat elektronik seperti AC (*Air Conditioner*), televisi, komputer, pembangkitan listrik, kemudian pemakaian kendaraan bermotor dan mobil, serta aktivitas industri adalah ilustrasi dari kegiatan yang meningkatkan emisi gas rumah kaca di atmosfer (Wulandari *et al.*, 2016). Pertumbuhan penduduk perkotaan, industri, dan rumah tangga juga meningkatkan konsumsi energi (Agung *et al.*, 2017). Sektor industri merupakan pengguna energi terbanyak di Indonesia. Peningkatan kebutuhan energi yang terdominasi oleh sumber energi tak terbarukan menyebabkan emisi yang sangat besar dan dampaknya terhadap iklim sangat penting (Shahiduzzaman & Alam, 2012).

Indonesia merupakan penghasil emisi karbondioksida terbesar, menempati urutan ketiga di dunia (Fauzi, 2017). Indonesia juga salah satu pemakai energi terbesar di dunia dan menempati urutan kelima di Asia Tenggara dalam hal konsumsi energi per orang (Arinaldo & Adiatma, 2019). Data tahun 2016 oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) &

Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE), menerangkan jika selama periode 2000-2014, konsumsi energi akhir tertinggi terdapat pada sektor industri, kemudian diikuti oleh sektor perumahan dan transportasi. Sektor transportasi memiliki laju pertumbuhan tahunan rata-rata terbesar, yaitu sejumlah 6,46 persen. Hal tersebut didatangkan karena melonjaknya kuantitas kendaraan transportasi di Indonesia, awalnya dari 19 juta angkutan dalam tahun 2000 menjadi sebanyak 114 juta angkutan pada dalam 2014, atau setara 13,7 persen per tahun. Berdasarkan data tersebut, konsumsi energi tertinggi di Indonesia terdapat pada sektor-sektor yang berkaitan telak dengan kegiatan ekonomi seperti industri, rumah tangga, dan transportasi. Konsumsi bahan bakar dan listrik yang tinggi berperan pada emisi yang besar (Wulandari *et al.*, 2016). Rumah tangga Indonesia menyumbang 3,8 persen dari emisi karbon langsung dan 20,7 persen dari emisi karbon tidak langsung. Emisi listrik sebesar 35 persen adalah penyumbang emisi terbesar. Emisi GRK dari energi listrik diperkirakan akan tetap tertinggi pada tahun 2030, bukan hanya berdasarkan peningkatan permintaan listrik karena pertumbuhan ekonomi dan populasi, tetapi juga karena konsumsi bahan bakar fosil untuk membangun pembangkit listrik yang baru (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019).

Berdasarkan informasi dari Badan Pusat Statistik tahun 2023, pada tahun 2021 konsumsi energi final adalah 4,77 juta terajoule. Pemakai energi tertinggi di Indonesia tahun 2017-2021 dipegang oleh sektor industri dan konstruksi yaitu sejumlah 2,01 juta terajoule, di mana angka tersebut menaruh sekitar 42,1 persen dari total konsumsi energi akhir. Pemakai energi kedua yakni sektor rumah tangga sejumlah 1,58 juta terajoule atau 33,1 persen dari total konsumsi energi akhir. Peringkat ketiga ditempati oleh sektor transportasi sejumlah 885 ribu terajoule atau 17,9 persen dari total konsumsi energi akhir. Kemudian, sisa 6,5 persen dipegang oleh sektor lainnya yaitu sebesar 308 ribu terajoule. Hal ini menandakan bahwa ketiga sektor, yakni sektor industri, rumah tangga, dan transportasi sangat berpengaruh dalam pemakaian energi di Indonesia. Sesuai uraian yang telah diberikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah: (i) untuk mengetahui pengaruh konsumsi energi pada sektor transportasi, rumah tangga, dan industri secara simultan dan parsial terhadap emisi karbon Indonesia.

2. KAJIAN TEORITIS

Pertumbuhan Ekonomi

Todaro & Smith (2020:117) mendefinisikan pertumbuhan ekonomi sebagai peningkatan jumlah faktor produksi yang berkontribusi terhadap hasil atau output masyarakat. Terdapat tiga bagian mendasar dalam pembangunan moneter suatu negara, meliputi: 1) Pengumpulan modal, termasuk sumber daya manusia atau SDM, dan semua jenis usaha. PDB (Produk Domestik

Bruto) negara akan meningkat lebih cepat jika modalnya semakin banyak. 2) Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat akan meningkatkan jumlah tenaga kerja. 3) Perkembangan teknologi yang akan mendukung pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kapasitas produksi.

Dalam Frisdiantara et al., (2016:50), Nafziger menegaskan bahwa pembangunan dan pertumbuhan ekonomi mempunyai pengertian yang berbeda. Kemajuan finansial mendorong perkembangan moneter yang diikuti oleh perubahan dalam sirkulasi hasil dan desain finansial. Peningkatan tingkat kesejahteraan masyarakat dari kemiskinan, penurunan kontribusi sektor pertanian terhadap GNP (Gross National Product) dan peningkatan kontribusi sektor jasa dan industri terhadap GNP, peningkatan tingkat keterampilan dan pendidikan tenaga kerja, serta kemajuan teknologi yang signifikan yang berasal dari negara tersebut merupakan beberapa perubahan tersebut. Sementara output atau pendapatan per kapita suatu negara meningkat sebagai akibat dari ekspansi ekonomi. Pertumbuhan ekonomi suatu negara akan terus berubah dari waktu ke waktu dan mengikuti pola tertentu.

Hipotesis *Environmental Kuznet Curve* (EKC)

Grossman & Krueger mengajukan hipotesis Kurva Kuznet Lingkungan (EKC) pada tahun 1991 untuk menyelidiki hubungan antara kausalitas lingkungan dan ekspansi ekonomi (Nikensari *et al.*, 2023). Distribusi pendapatan biasanya akan memburuk pada tahap awal pertumbuhan ekonomi sebelum membaik di kemudian hari. Kurva Kuznets "U terbalik" kemudian digunakan untuk menggambarkan pengamatan ini karena plot deret waktu perubahan dalam distribusi pendapatan bersifat longitudinal. Pembangunan awal dikemas dalam area modern mutakhir, di mana bisnis dibatasi tetapi upah dan efisiensi tinggi. Ketika suatu negara beralih dari ekonomi tradisional ke ekonomi modern, proses pertumbuhan yang stabil dari ekspansi sektor modern dapat mengakibatkan pembentukan kurva Kuznets. Sebaliknya, menurut Todaro & Smith (2020:238), manfaat pendidikan pada awalnya akan meningkat sebagai akibat dari munculnya industri modern yang membutuhkan keterampilan, tetapi kemudian akan menurun karena pasokan pekerja terdidik meningkat dan pasokan pekerja tidak terampil menurun.

Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

Todaro & Smith (2020:504) mendefinisikan pembangunan berkelanjutan sebagai pola pembangunan yang, biasanya mensyaratkan setidaknya beberapa perlindungan lingkungan, memungkinkan generasi mendatang untuk hidup setidaknya sebaik saat ini. Fakta industrialisasi yang tak terelakkan adalah bahwa hal itu akan menyebabkan peningkatan polusi tanah, air, dan udara, yang menurunkan kualitas lingkungan. Pembangunan yang sadar lingkungan adalah dasar untuk mengakui perkembangan yang dapat dikelola. Perserikatan

Bangsa-Bangsa (PBB) menetapkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) sebagai tujuan pembangunan. 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) pada dasarnya adalah seruan mendesak untuk kerja sama global antara negara-negara maju dan berkembang.

Eksternalitas

Eksternalitas adalah dampak yang ditimbulkan oleh tindakan seseorang terhadap kesejahteraan orang lain. Polusi adalah contoh klasik dari eksternalitas. Ketika suatu barang dibuat, ia mencemari udara dan membahayakan kesehatan orang-orang yang tinggal di sekitar pabrik. Jika suatu tindakan menghasilkan eksternalitas negatif, misalnya kontaminasi, jumlah ideal secara sosial di pasar tidak akan sama persis dengan jumlah harmoni. Eksternalitas negatif berbentuk emisi karbon. Kuantitas optimal secara sosial akan lebih besar daripada kuantitas ekuilibrium jika suatu kegiatan memiliki eksternalitas positif, seperti dampak teknologi (Mankiw, 2021:188).

Konsumsi Energi dan Pertumbuhan Ekonomi

Energi merupakan komponen penting yang berperan dalam kegiatan ekonomi, baik sebagai konsumen maupun sebagai penggerak kegiatan ekonomi. Energi tidak hanya sebagai barang konsumsi, tetapi juga sebagai unsur utama dalam penciptaan dan kemajuan teknologi yang sangat penting bagi pertumbuhan ekonomi (Pratiwi, 2021). Kegiatan atau proses penggunaan atau konsumsi energi untuk memenuhi kebutuhan dalam berbagai kegiatan sehari-hari, seperti transportasi, pemanasan, pendinginan, produksi, dan sebagainya, dapat disebut sebagai konsumsi energi (Dinas Ketahanan Pangan, 2021).

Selain berdampak pada pembangunan ekonomi, peningkatan pemanfaatan energi akan berdampak buruk pada kualitas lingkungan. Penggunaan energi berbahan bakar fosil akan berdampak buruk pada kualitas lingkungan dan meningkatkan emisi gas rumah kaca. Sekitar 99% emisi gas rumah kaca disebabkan oleh konsumsi energi, sedangkan 1% disebabkan oleh metana (CH_4) dan nitrogen oksida (N_2O), di mana konsentrasi karbon dioksida yang lebih tinggi dapat menyebabkan pemanasan global (Budiwan, 2020).

Emisi Karbondioksida (CO_2)

Emisi didefinisikan sebagai radiasi; emisi cahaya, panas, atau elektron dari permukaan padat atau cair; emisi (Kamus Besar Bahasa Indonesia, 2023). Senyawa kimia yang dikenal sebagai emisi CO_2 , atau emisi karbon dioksida, terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen pada atom karbon. Senyawa tersebut berbentuk gas pada suhu dan tekanan standar dan tersedia di lingkungan dunia. Salah satu golongan gas rumah kaca (GRK) adalah emisi karbon dioksida. GRK adalah gas di atmosfer yang menyerap dan memancarkan radiasi inframerah matahari. Zat perusak ozon terjadi secara alami atau karena aktivitas makhluk hidup organik.

Suhu bumi meningkat akibat panas yang mengandung sinar inframerah dan terperangkap dalam gas rumah kaca, yang dapat berkontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global (Wahyudi, 2019). Pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, dan gas alam merupakan penyebab utama emisi karbon dioksida.

Selain dampak pembakaran bahan bakar fosil, konsumsi listrik yang berlebihan dan penggundulan hutan juga dapat menyebabkan emisi karbon dioksida (Todaro & Smith, 2020:535). Pembakaran bahan bakar fosil dapat dideteksi pada asap kendaraan bermotor dan asap limbah industri. Berlandaskan teori-teori di atas, maka hipotesis penelitian sebagai berikut. Konsumsi energi sektor industri, konsumsi energi sektor rumah tangga, dan konsumsi energi sektor transportasi secara simultan berpengaruh terhadap emisi karbon Indonesia. Kemudian, konsumsi energi sektor industri, rumah tangga, dan transportasi masing-masing berpengaruh positif terhadap emisi karbon Indonesia.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memakai desain penelitian kuantitatif dengan data yang diperoleh dari laman resmi *International Energy Agency* (IEA) mulai dari tahun 1990-2021 atau selama 32 tahun. Perangkat lunak *SPSS* versi 25 mendukung metode analisis regresi linier berganda yang digunakan dalam penelitian ini. Model yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{LnY} = \text{Ln}\beta_0 + \beta_1 \text{LnX}_1 + \beta_2 \text{LnX}_2 + \beta_3 \text{LnX}_3 + \mu$$

LnY merupakan variabel terikat, $\text{Ln}\beta_0$ merupakan konstanta, β_1 , β_2 , dan β_3 merupakan koefisien regresi dari X_1 , X_2 , dan X_3 . Kemudian LnX_1 merupakan variabel bebas konsumsi energi sektor industri, LnX_2 merupakan variabel bebas konsumsi energi sektor rumah tangga, LnX_3 merupakan variabel bebas konsumsi energi sektor transportasi, serta μ merupakan variabel pengganggu. Tujuan dari uji analisis regresi linier berganda adalah untuk mengetahui bagaimana variabel independen yaitu konsumsi energi sektor industri (X_1), rumah tangga (X_2), dan transportasi (X_3) memiliki pengaruh terhadap variabel dependen emisi karbon Indonesia (Y). Kemudian, dilakukan uji asumsi klasik yaitu dengan melengkapi asumsi-asumsi normalitas, tidak ditemukan gejala multikolinearitas, autokorelasi, dan heteroskedastisitas, supaya model regresi yang disusun akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses dalam pengumpulan data diambil dari laman resmi *International Energy Agency* (IEA) dengan mengambil rentang waktu penelitian dari tahun 1990 sampai 2021 di Indonesia yang berkaitan dengan data konsumsi energi sektor industri, konsumsi energi sektor rumah tangga, konsumsi energi sektor transportasi, dan emisi karbon.

Hasil Pengujian

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas (*Kolmogorov-Smirnov*)

		<i>Unstandardized Residual</i>
<i>N</i>		32
<i>Normal Parameters^{a,b}</i>	<i>Mean</i>	.0000000
	<i>Std.Deviation</i>	.05992713
<i>Most Extreme Differences</i>	<i>Absolute</i>	.139
	<i>Positive</i>	.101
	<i>Negative</i>	-.139
<i>Test Statistic</i>		.139
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>		.117c

Sumber: Data diolah, 2024

Berlandaskan Tabel 1, nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar $0,117 > \alpha (0,05)$, artinya data berdistribusi normal.

Tabel 2. Hasil Uji Multikolinearitas

<i>Model</i>	<i>Collinearity Statistic</i>	
	<i>Tolerance</i>	<i>VIF</i>
<i>(Constant)</i>		
<i>LN_X1</i>	.374	2.760
<i>LN_X2</i>	.964	1.038
<i>LN_X3</i>	.383	2.610

Sumber: Data diolah, 2024

Berlandaskan Tabel 2, terlihat ketiga variabel yakni X_1 , X_2 , dan X_3 memiliki nilai *tolerance* $> 0,100$ dan nilai *VIF* $< 10,00$. Oleh karena itu, tidak ada gejala multikolinearitas.

Tabel 3. Hasil Uji Heteroskedastisitas Glejser

<i>Model</i>		<i>Sig.</i>
1	<i>(Constant)</i>	
	<i>LN_X1</i>	.784
	<i>LN_X2</i>	.086
	<i>LN_X3</i>	.472

Sumber: Data diolah, 2024

Berlandaskan Tabel 3, nilai signifikansi untuk variabel X_1 , X_2 , dan $X_3 > \alpha (0,05)$, sehingga tidak ditemukan gejala heteroskedastisitas pada model regresi.

Tabel 4. Hasil Uji Autokorelasi (*Runs Test*)

	<i>Unstandardized Residual</i>
<i>Test Value^a</i>	-.01105
<i>Cases < Test Value</i>	16
<i>Cases \geq Test Value</i>	16
<i>Total Cases</i>	32
<i>Number of Runs</i>	14
<i>Z</i>	-.898
<i>Asymp. Sig. (2-tailed)</i>	.369

Sumber: Data diolah, 2024

Hasil tes pada Tabel 4 yaitu nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* sebesar $0,369 >$ nilai signifikansi $0,05$, artinya data tidak ada gejala autokorelasi.

Tabel 5. Hasil Analisis Regresi Linier Berganda

Model	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients			
	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
(Constant)	-7.288	1.187		-6.138	.000
LN_X1	.919	.052	.760	17.523	.000
LN_X2	-.227	.070	-.088	-3.247	.003
LN_X3	.236	.040	.254	5.933	.000

Sumber: Data diolah, 2024

Berikut model regresi yang diperoleh dari hasil Analisis Regresi Linier Berganda pada Tabel 5:

$$\text{LnY} = -7,288 + 0,919\text{LnX}_1 + -0,227\text{LnX}_2 + 0,236\text{LnX}_3$$

Pengaruh Secara Simultan

Hasil pengujian menunjukkan nilai F-hitung sebesar 464,293 dengan probabilitas 0,000. H_1 diterima dan H_0 ditolak, hal ini menunjukkan bahwa variabel konsumsi energi pada sektor industri (X_1), variabel konsumsi energi pada sektor rumah tangga (X_2), dan variabel konsumsi energi pada sektor transportasi (X_3) secara simultan berpengaruh signifikan terhadap variabel emisi karbon di Indonesia (Y) jika dibandingkan dengan nilai F-tabel sebesar 2,92.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Pratiwi, 2021), yaitu terdapat hubungan kausalitas searah antara konsumsi energi dengan emisi CO_2 , sebagaimana dibuktikan oleh hasil uji *Granger* yang menyatakan bahwa energi mempengaruhi emisi. Demikian pula dengan penelitian sejenis yang dilakukan oleh Karunia et al. (2023) yang menunjukkan bahwa penggunaan energi secara fundamental mempengaruhi peningkatan emisi CO_2 . Dampak positif kemudian ditemukan karena dominasi bahan bakar fosil dalam bauran energi, menurut penelitian yang dilakukan di Indonesia oleh Alam et al. (2016) dan Sugiawan & Managi (2016). Selain itu, penelitian oleh Wisnu Ardhi (2016) menunjukkan bahwa pemanfaatan (konsumsi) energi memengaruhi emisi karbondioksida. Emisi CO_2 dan penggunaan energi juga saling terkait, menurut penelitian Arista & Amar (2019). Penelitian penelitian tersebut menunjukkan penggunaan energi terutama dari ketiga sektor masih terdominasi oleh energi tak terbarukan yang sangat berpengaruh terhadap emisi karbon di Indonesia di mana setiap tahunnya terus mengalami peningkatan yang berdampak buruk bagi kualitas lingkungan.

Pengaruh Secara Parsial

Secara parsial, koefisien regresi dari variabel konsumsi energi pada sektor industri (X_1) yaitu 0,919 yang berarti setiap kenaikan satu persen pada konsumsi energi sektor industri menyebabkan kenaikan pada emisi karbon di Indonesia (Y) sebesar 91,9 persen dengan asumsi ceteris paribus. Koefisien regresi dari variabel konsumsi energi sektor rumah tangga (X_2) yaitu

0,227 artinya setiap kenaikan satu persen pada konsumsi energi sektor rumah tangga menyebabkan penurunan pada emisi karbon di Indonesia (Y) sebesar 22,7 persen dengan asumsi ceteris paribus. Koefisien regresi dari variabel konsumsi energi sektor transportasi (X_3) yaitu 0,236 berarti tiap peningkatan satu persen pada konsumsi energi sektor transportasi menyebabkan kenaikan pada emisi karbon di Indonesia (Y) sebesar 23,6 persen dengan asumsi ceteris paribus.

Uji signifikansi dengan parsial pada X_1 didapat t-hitung (17,523) > t-tabel (2,048) melalui nilai probabilitas sebanyak $0,000 < \alpha (0,05)$. Ini menyiratkan bahwa konsumsi energi pada sektor industri memengaruhi emisi karbon di Indonesia pada periode 1990-2021 dengan positif dan signifikan. Kemudian, pada variabel X_2 diperoleh t-hitung (-3,247) < t-tabel (2,048) dan nilai probabilitas sebesar $0,003 < \alpha (0,05)$. Artinya, konsumsi energi sektor rumah tangga memiliki pengaruh yang negatif dan signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia pada tahun 1990-2021. Pada variabel X_3 , diperoleh t-hitung (5,933) > t-tabel (2,048) melalui nilai probabilitas sejumlah $0,000 < \alpha (0,05)$. Artinya, konsumsi energi sektor transportasi memiliki pengaruh signifikan dan positif terhadap emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021. Selain itu, nilai R^2 didapat sebesar 0,980 artinya variabel emisi karbon di Indonesia dapat dijelaskan oleh konsumsi energi sektor industri, rumah tangga, dan transportasi sebesar 98 persen dengan dua persen sisanya adalah akibat dari variabel yang lain di luar dari model penelitian ini.

Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Industri terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Hasil dari penelitian ini adalah konsumsi energi pada sektor industri memiliki pengaruh yang signifikan juga positif akan emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021. Hasil penelitian ini satu jalan oleh penelitian yang dilakukan Pratama (2022) di mana mendapat hasil bahwa konsumsi energi adalah salah satu faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia terutama dalam bidang industri. Kemudian, penelitian oleh Wahid *et al.* (2013) mendapatkan hasil industrialisasi memiliki kausalitas pada emisi CO₂ di Singapura. Penelitian oleh Elfaki & Heriqbaldi (2023) juga mendapatkan hasil yaitu industrialisasi mempunyai efek signifikan dan positif terhadap mutu lingkungan di Indonesia. Hasil dari penelitian ini dan penelitian-penelitian terdahulu menyiratkan sektor industri di Indonesia menyebabkan peningkatan emisi karbon dikarenakan masih terdominasi oleh SDA tak terbarui (fosil) yang mengancam kelestarian lingkungan di masa depan.

Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Rumah Tangga terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Dalam hasil pengujian, didapat bahwa konsumsi energi sektor rumah tangga berpengaruh signifikan dan negatif atas emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021, artinya jika terjadi peningkatan konsumsi energi pada rumah tangga maka emisi karbon di Indonesia akan menurun. Berdasarkan laporan dari Kementerian ESDM, sepanjang periode 2012-2022, sektor rumah tangga perlahan sudah mengurangi pemakaian energi biomas seperti kayu bakar dan limbah pertanian, kemudian beralih pada pemakaian energi LPG dan energi listrik di mana lebih efisien untuk mengurangi emisi karbon karena penggunaan energi biomas seperti kayu bakar dan limbah pertanian mengeluarkan asap dari pembakaran bahan bakar tersebut sehingga melepaskan emisi. Pengurangan energi biomas dalam rumah tangga juga terdapat dalam penelitian oleh Elinur *et al.* (2010). Kebijakan pemerintah yang mendukung penggunaan energi terbarukan dan efisiensi energi yang semakin baik seperti penggunaan panel surya, lampu LED, peralatan rumah tangga yang hemat energi, dan sistem pemanas yang efisien dapat meningkatkan pemakaian teknologi bersih sehingga mengurangi konsumsi energi yang berkontribusi pada pengurangan emisi CO₂ (Kristiani & Soetjipto, 2019).

Pengaruh Konsumsi Energi Sektor Transportasi terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Hasil riset ini menyuratkan konsumsi energi pada sektor transportasi berpengaruh signifikan juga positif atas emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021. Hasil riset serupa yang dilaksanakan oleh Kurniarahma *et al.* (2020) yang mendapat hasil yaitu konsumsi energi sektor transportasi berpengaruh signifikan terhadap emisi karbondioksida di Indonesia. Selain itu, terdapat juga riset yang dilaksanakan oleh Alvin M.A.Y. *et al.* (2023) dengan hasilnya yaitu transportasi dan logistik terbukti berpengaruh signifikan dan positif atas emisi karbon di Indonesia. Kemudian, hasil riset yang dilakukan oleh Yudiartono *et al.* (2022) menunjukkan bahwa lebih dari 90 persen pangsa bahan bakar minyak di Indonesia digunakan untuk transportasi. Berlandaskan hasil riset ini beserta dengan riset-riset terdahulu, menyatakan bahwa konsumsi energi sektor transportasi juga masih terdominasi oleh energi fosil atau sumber daya alam tak terbarukan yang menyebabkan peningkatan emisi karbon di udara.

Implikasi Penelitian

Berlandaskan hasil penelitian, dapat disimpulkan, bahwa secara simultan konsumsi energi sektor industri, rumah tangga, dan transportasi berpengaruh dengan signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021. Kemudian, secara parsial, konsumsi energi sektor industri dan transportasi berpengaruh dengan signifikan dan positif terhadap emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021. Sedangkan konsumsi energi sektor rumah tangga

berpengaruh signifikan dan negatif terhadap emisi karbon di Indonesia selama tahun 1990-2021.

Konsumsi energi sektor industri dan transportasi pada tahun 1990-2021 memiliki pengaruh positif terhadap emisi karbon, yang berarti jika ada kenaikan konsumsi sektor industri dan transportasi, maka emisi karbon juga akan meningkat. Hal ini menandakan sektor industri dan transportasi di Indonesia masih bergantung pada energi fosil atau sumber daya alam tak terbarukan yang menyebabkan peningkatan terhadap emisi karbon.

Konsumsi energi sektor rumah tangga berpengaruh signifikan dan negatif terhadap emisi karbon di Indonesia yang menunjukkan bahwa sektor rumah tangga Indonesia sudah melakukan efisiensi energi pada konsumsi energi sehingga emisi yang dikeluarkan dari sektor rumah tangga tidak sebanyak emisi yang dikeluarkan oleh sektor industri dan transportasi di mana emisi yang dihasilkan masih tinggi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan dan temuan penelitian terdahulu dapat ditarik kesimpulan bahwa secara simultan konsumsi energi pada sektor transportasi, rumah tangga, dan industri punya pengaruh signifikan terhadap emisi karbon Indonesia dalam kurun waktu 1990 sampai dengan 2021. Kemudian, dalam kurun waktu 1990 sampai dengan 2021, konsumsi energi pada sektor rumah tangga berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon Indonesia, sedangkan konsumsi energi pada sektor transportasi dan industri berpengaruh positif dan signifikan.

Berkenaan dengan simpulan tersebut, berikut beberapa saran yang dapat disampaikan. Bagi pemerintah, terkhusus dalam bidang transportasi, diharapkan untuk menghimbau kembali masyarakat untuk menggunakan transportasi umum yang tersedia guna mengurangi polusi dari kendaraan pribadi yang semakin banyak dan menambah stasiun pengisian daya untuk kendaraan listrik supaya minat masyarakat dalam penggunaan kendaraan listrik bertambah. Pemerintah juga dapat memberhentikan operasi bus-bus atau transportasi umum yang sudah tidak layak operasi dan mengurangi kenyamanan bagi penumpang dan pengguna jalan. Pemerintah dapat mengadakan edukasi dan kampanye yang lebih intensif tentang pentingnya mengurangi konsumsi energi yang berlebihan sehingga dapat membantu mengurangi emisi CO₂. Bagi pelaku usaha (industri), dapat meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) serta efisiensi energi. Kemudian, memperhatikan kembali AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) dalam menjalankan usaha atau proyek di sekitar. Selain itu, diharapkan perusahaan melakukan pengungkapan emisi karbon secara transparan mengenai emisi yang dihasilkan dan upaya pengendaliannya. Pelaku industri juga diharapkan untuk beralih ke

aktivitas ekonomi rendah karbon atau ekonomi hijau yang lebih ramah lingkungan dan dapat menurunkan emisi CO₂. Bagi masyarakat, masyarakat dapat lebih konsisten dalam menerapkan efisiensi energi dan menggunakan energi yang ramah lingkungan. Kemudian, beralih pada transportasi umum guna mengurangi polusi juga kemacetan di jalan dan menggunakan kendaraan listrik. Penulis menyadari penelitian ini terdapat keterbatasan, oleh karena itu bagi peneliti selanjutnya, dapat menaruh variabel-variabel lain, metode penelitian, serta rentang waktu yang berbeda di luar penelitian ini supaya mendapat hasil penelitian yang lebih akurat dan lebih teruji kebenarannya.

DAFTAR REFERENSI

- 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(2), 9–18.
- Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H., & 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.
- Alvin M.A.Y., Setiowati, N. O., Leksono, V. A., & Putri, A. A. (2023). *Kajian Emisi Karbon: Faktor Pendorong dan Peramalan Emisi Karbon di Indonesia dengan Metode SEM-RF*. Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan. <https://lppm.itk.ac.id/detail-hasil-penelitian/kajian-emisi-karbon-faktor-pendorong-dan-peramalan-emisi-karbon-di-indonesia-dengan-metode-sem-rf> diakses tanggal 1 Januari 2024.
- Arinaldo, D., & Adiatma, J. C. (2019). *Indonesia's Coal Dynamics: Toward A Just Energy Transition*. Institute for Essential Services Reform.
- 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.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Neraca Energi Indonesia 2017-2021. In *bps.go.id*.
- BMKG. (2021). *Buletin Gas Rumah Kaca*.
- Budiwan, I. (2020). *Analisis Pengaruh Konsumsi Energi Terhadap Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi Karbon Dioksida di Indonesia*. Institut Pertanian Bogor.
- Dinas Ketahanan Pangan. (2021). *Konsumsi Energi dan Protein*. data.ntbprov.go.id. <https://data.ntbprov.go.id/dataset/konsumsi-energi-dan-protein> diakses tanggal 10 Juli 2023.

- Elfaki, K. E., & Heriqbaldi, U. (2023). Analyzing the Moderating Role of Industrialization on the Environmental Kuznets Curve (EKC) in Indonesia: What Are the Contributions of Financial Development, Energy Consumption, and Economic Growth? *Sustainability*, 15(5), 1–14.
- Elinur, Priyarsono, D. S., Mangara Tambunan, & Muhammad Firdaus. (2010). Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, 2(1), 97–119.
- 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 2. *Jurnal Ecolab*, 11(1), 1–52.
- Frisdiantara, Christea, & Imam Mukhlis. (2016). *Ekonomi Pembangunan: Sebuah Kajian Teoretis dan Empiris* (1st ed.). Malang: Lembaga Penerbitan Universitas Kanjuruhan Malang.
- Hassan, S. T., Batool, B., Sadiq, M., & Zhu, B. (2022). How do Green Energy Investment, Economic Policy Uncertainty, and Natural Resources Affect Greenhouse Gas Emissions? A Markov-Switching Equilibrium Approach. *Journal of Environmental Impact Assessment Review*, 97(Article 106887).
- International Energy Agency. (2023). Total CO₂ Emissions, Indonesia 1990-2020. In *iea.org*. <https://www.iea.org/countries/indonesia> diakses tanggal 2 Juli 2023.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia. (2023). *Emisi*. *kbbi.web.id*. <https://kbbi.web.id/emisi> diakses tanggal 30 Juli 2023.
- Karunia, M. R., Komarulzaman, A., & Tjahjawardita, A. (2023). Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan dan Emisi Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan dan Emisi Karbon di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(1), 81–92.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). Handbook of Energy & Economy Statistics of Indonesia 2019. In *esdm.go.id*. <https://www.esdm.go.id/en/publication/handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-heesi> diakses tanggal 25 Juni 2023.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*.
- Kristiani, A. W., & Soetjipto, W. (2019). Urbanisasi, Konsumsi Energi, dan Emisi CO₂: Adakah Perbedaan Korelasinya di Kawasan Barat Indonesia (KBI) dan Kawasan Timur Indonesia (KTI)? . *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 7(3), 166–180.
- Kurniarahma, L., Togar Laut, L., & Kusuma Prasetyanto, P. (2020). Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Emisi CO₂ di Indonesia. *Journal of Economic*, 2(2), 368–385.
- Mankiw, N. G. (2021). *Principles of Economics* (9th Edition). Boston: Cengage.

- Nicola, M., Zaid, A., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M., & Agha, R. (2020). The Socio-Economic Implications of the Coronavirus Pandemic (COVID-19): A Review. *International Journal of Surgery*, 78, 185–193.
- Nikensari, I., Destilawati, S., & Nurjanah, S. (2023). Studi Environmental Kuznets Curve di Asia: Sebelum dan Setelah Millennium Development Goals. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan*, 27(2), 11–25.
- Pratama, A. (2022). Pengaruh Industrialisasi terhadap Emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Ekonomi, Manajemen, Dan Bisnis*, 6(1), 98–110.
- Pratiwi, D. R. (2021). Analisis Hubungan Kausalitas Pertumbuhan Ekonomi, Konsumsi Energi, dan Emisi CO₂ di Indonesia pada Periode 1980-2019. *Jurnal Budget*, 6(1), 17–35.
- Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi (PTPSE), & Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2016). *Outlook Energi Indonesia 2016*. BPPT Press.
- Putri, A. R., Gunarto, T., Emalia, Z., & Murwiati, A. (2022). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Pertumbuhan Penduduk, dan Konsumsi Energi terhadap Emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 1(6), 1070–1080. <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet>
- Shahiduzzaman, M., & Alam, K. (2012). Cointegration and Causal Relationships Between Energy Consumption and Output: Assessing the Evidence from Australia. *Journal of Energy Economics*, 34(6), 2182–2188.
- Sugiawan, Y., & Managi, S. (2016). The Environmental Kuznets Curve in Indonesia: Exploring the Potential of Renewable Energy. *Energy Policy*, 98, 187–198.
- Tang. (2017). Pengaruh Penanaman Modal Asing, Pendapatan Domestik Bruto, Konsumsi Energi, Konsumsi Listrik, dan Konsumsi Daging Terhadap Kualitas Lingkungan Pada 41 Negara Di Dunia Dan 17 Negara Di Asia Periode 1999- 2013. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, 2(2), 1–12.
- Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2020). *Economic Development* (13th ed.). Harlow: Pearson.
- Wahid, I. N., Aziz, A. A., & Nik Hashim Nik Mustapha. (2013). Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions in Selected ASEAN Countries. *Prosiding Persidangan Kebangsaan Ekonomi Malaysia Ke VIII*, 2, 758–765.
- Wahyudi, R. S. (2019). *Pengaruh Penggunaan Katalis Kawat Tembaga Terhadap Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Pada Knalpot Sepeda Motor*. Tesis. Universitas Negeri Padang.
- Wisnu Ardhi, D. (2016). Analisis Dampak Gross Domestic Product dan Konsumsi Energi terhadap Emisi Karbondioksida di Indonesia Pada Periode 1971-2013. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB Universitas Brawijaya*, 6(1), 1–11.

- Wulandari, M. T., Hermawan, & Purwanto. (2016). Kajian Emisi CO₂ Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang). *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan 2013*. Semarang.
- Yudiarsono, Windarta, J., & Adiarso. (2022). Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang Untuk Mendukung Program Peta Jalan Transisi Energi Menuju Karbon Netral. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(3), 201–217.
- Zuldareva, F. (2017). Analisis Pengaruh Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia Periode 1981-2014. *Jurnal Ekonomi*, 5(1), 1–13.