

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Isu terkait pemanasan global dan perubahan iklim merupakan permasalahan serius yang telah menjadi topik perbincangan di seluruh dunia sekarang ini. Menurut UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) mengelompokan 6 jenis gas rumah kaca (GRK) diantaranya karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitro dioksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs), dan sulfur heksa fluorida (SF_6). Diantara jenis GRK diatas, karbon dioksida (CO_2) merupakan faktor utama dari munculnya fenomena pemanasan global (Widiawati dkk., 2022). Peningkatan peristiwa kebakaran hutan, jumlah asupan karbon oleh vegetasi, dan pola pasokan dan permintaan energi. Peningkatan emisi dari sumber-sumber ini pada gilirannya semakin memperburuk perubahan iklim sehingga dapat mendorong emisi antropogenik dan penyerapannya pada ekosistem dan lingkungan.

Gas Rumah Kaca (GRK) seperti karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu jenis emisi yang berasal dari sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang digunakan sebagai bahan bakar penghasil energi dalam sektor transportasi, industri, dan rumah tangga. Metana (CH_4) muncul dari sektor pertanian, perubahan penggunaan lahan, pembakaran biomassa, dan tempat pembuangan sampah. Nitrous oksida (N_2O) dihasilkan terutama dari pembakaran bahan bakar fosil dalam industri dan kegiatan pertanian. Sementara itu, hidrofluorokarbon (HFCs) dan perfluorokarbon (PFCs) terkait dengan industri pendinginan dan pendinginan, termasuk penggunaan freon dalam aerosol. Selain



itu, sulfur heksafluorida (SF₆) juga berasal dari transmisi listrik, manufaktur, dan penggunaan dalam industri pendingin.

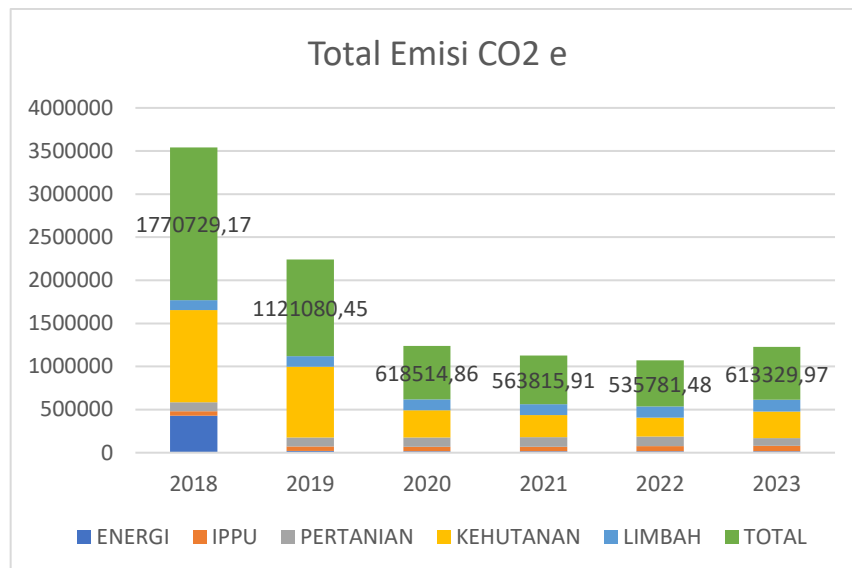
Laporan IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), menetapkan aspek penilaian emisi antropogenik dari kebakaran hutan terkait dengan penggunaan lahan secara permanen, sementara untuk jenis emisi CH₄ dari lahan basah dan bioma permafrost diketahui meningkat sebagai respon kondisi yang lebih hangat. Berdasarkan penilaian ahli (IPCC) proyeksi peningkatan suhu rata-rata global selama abad ke – 21 antara 1,1 dan 6,4 °C (Jones dkk., 2023).

Kondisi ini diperburuk oleh penebangan liar dan konversi lahan hutan menjadi perkebunan, yang mengakibatkan berkurangnya jumlah pohon yang berfungsi menyerap gas karbon dioksida. Pada tahun 2020, Indonesia tetap berada di posisi ke-8 sebagai negara penghasil emisi CO₂, mencerminkan tantangan serius dalam mengelola sumber daya alam dan upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Penggunaan sumber energi fosil di sektor energi, industri, transportasi, limbah dan penggunaan produk serta penggunaan lahan, dan kehutanan (LULUCF) yang menjadi aspek kontributor penyumbang emisi CO₂ e di Indonesia. Secara spesifik, ekuivalen karbon dioksida (CO₂eq) adalah metrik yang digunakan untuk membandingkan emisi dari berbagai gas rumah kaca berdasarkan potensi pemanasan globalnya dengan mengonversi jumlah gas lain ke jumlah karbon dioksida yang ekuivalen dengan potensi pemanasan global yang sama (Paraskevopoulou dkk., 2025).

Energy Institute Statistical melaporkan sektor energi telah menghasilkan 35,3 GtCO₂e, dibandingkan dengan tahun 1850 yang hanya 0,27 GtCO₂e, atau 90 persen dari total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di dunia. Wilayah Asia berkontribusi sebesar 85 persen terhadap permintaan dari Global Selatan



(sekitar 47 persen dari total permintaan dunia), dengan negara-negara seperti Tiongkok, India, Indonesia, Jepang, dan Korea Selatan berperan sebagai contributor utama.



Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan 2024

Gambar 1. 1 Grafik **Emisi Gas Rumah Kaca**

Pada tahun 2018, total emisi mencapai angka tertinggi, yakni 1.770.729, dengan kontribusi terbesar dari sektor Kehutanan (1.067.962,86) dan Energi (430.068,68). Namun, dalam kurun waktu lima tahun terakhir, terjadi perubahan signifikan. Sektor Energi mengalami penurunan drastis, dari 430.068,68 di 2018 menjadi hanya 18.227,37 CO₂e di 2023. Penurunan ini dipicu oleh dampak pandemi COVID-19 pada 2020 yang mengurangi aktivitas industri dan transportasi.

Pada tahun 2020, sektor limbah menyumbangkan 3,2 persen dari total emisi gas rumah kaca (GRK) global. Dari angka tersebut, 1,3 persen berasal dari air (air limbah) yang menghasilkan nitrogen oksida (N₂O) dan metana. Selain itu, 1,6 persen lainnya berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA),



yang umumnya menghasilkan metana. Dengan kontribusi tersebut, sektor limbah menempati peringkat keempat sebagai penyumbang utama emisi GRK, setelah sektor energi, AFOLU (pertanian, kehutanan, dan alih guna lahan), serta industri (*Climate Watch, the World Resources Institute., 2020*).

Di Indonesia, sebagian besar hilangnya tutupan pohon disebabkan oleh produksi komoditas, terutama melalui perkebunan kayu dan kelapa sawit skala besar. Kebakaran yang dipicu oleh aktivitas pertanian juga menyebabkan kerusakan hutan dalam skala besar, yang berkontribusi pada kabut asap berbahaya dan emisi karbon. Kebakaran hutan terutama terjadi pada peristiwa El Niño pada tahun 1997-1998 dan 2015-2016. Namun, Indonesia menunjukkan penurunan signifikan dalam hilangnya tutupan pohon mulai tahun 2017, yang kemungkinan terkait dengan kebijakan pemerintah yang bertujuan mencegah pembukaan lahan dan kebakaran (Kusniati dan Rapi., 2021).

Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation merupakan suatu kerangka kerja yang dibuat berdasarkan kesepakatan Paris terkait perubahan iklim. Melalui kerangka ini, negara-negara maju memberikan insentif kepada negara-negara berkembang dalam upaya perlindungan hutan sebagai langkah mengurangi emisi gas rumah kaca.

Melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia telah melakukan upaya untuk menekan emisi gas rumah kaca dari berbagai sektor dengan penurunan masing-masing sebesar 47,3 persen pada tahun 2020, 43,8 persen pada tahun 2021, dan 41,6 persen di tahun 2022.



Populasi yang terus bertambah menimbulkan tekanan yang lebih besar permintaan energi dan sumber daya alam, sedangkan perkembangan yang sering kali terkait dengan perluasan industri, semakin memperburuk

konsumsi energi dan dampak terhadap lingkungan (Xuan, 2024). Sebagai negara dengan penduduk terbesar ke empat di dunia untuk memenuhi kebutuhan barang dan jasa yang tinggi, diperlukan konsumsi energi yang besar untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi dan kapasitas energi yang besar untuk menopang pertumbuhan ekonomi (Adiputro dan Martini, 2022).

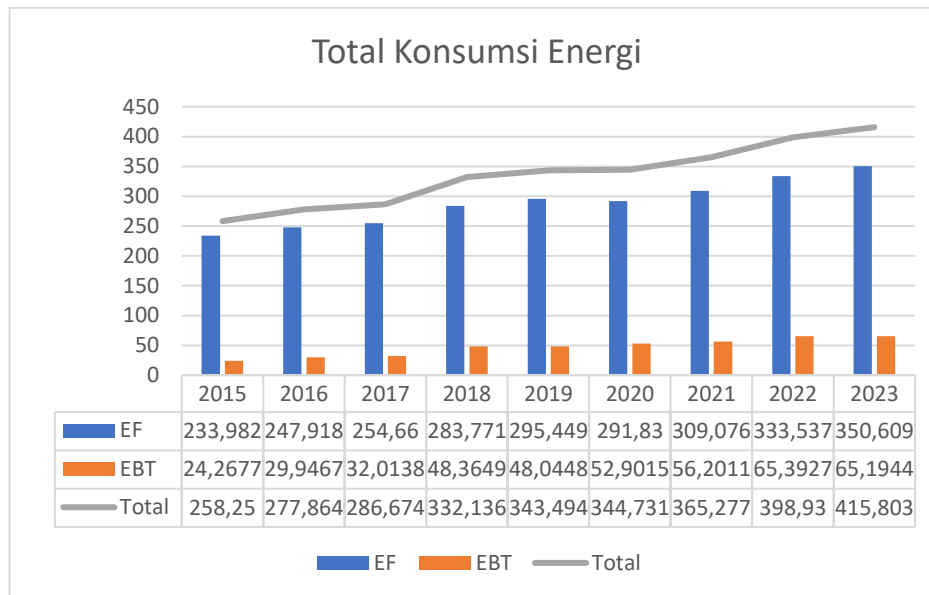
Menurut Holdren dalam model IPAC (*Impact Population Affluence Technology*), pertumbuhan populasi adalah salah satu faktor yang berperan penting dalam peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂). Lingkungan memiliki peran penting sebagai pendukung kegiatan ekonomi, yang dapat dibagi menjadi tiga kategori: sebagai penyedia bahan baku, penerima limbah dari produksi dan konsumsi, serta penyedia fasilitas. Implikasi dari peran ini adalah lingkungan merupakan elemen penting dalam sistem ekonomi.

International Energy Agency (IEA) melaporkan pada tahun 2019 sekitar 81% pasokan energi primer di dunia berasal dari bahan bakar fosil, tingginya tingkat emisi ini tidak terlepas dari ketergantungan struktural negara terhadap energi fosil sebagai komponen utama pendorong pertumbuhan ekonomi. Sektor industri, transportasi, dan pembangkit listrik yang memanfaatkan batubara, minyak bumi dan gas alam, terutama dalam mendukung industrialisasi dan pemenuhan kebutuhan energi dalam skala yang besar. Proporsi penyumbang GRK menunjukkan pertumbuhan yang cenderung mengalami peningkatan, mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan di Indonesia semakin memburuk setiap tahunnya.



alam jangka panjang, ketergantungan Indonesia pada energi fosil akan
ak negatif terhadap keamanan energi nasional. Karakteristik energi fosil

yang tidak dapat diperbaharui akan mengakibatkan guncangan pada kebutuhan energi nasional.



Sumber: *Statistical Review of World Energy 2024*

Gambar 1. 2 Grafik Total Konsumsi Energi

Pada tahun 2015, konsumsi energi fosil tercatat sebesar 233,98 TWh, didorong oleh kebutuhan sektor industri dan pembangkit listrik. Tren ini mengalami peningkatan setiap tahunnya. Namun, pada tahun 2020, terjadi penurunan yang cukup signifikan, dengan konsumsi tercatat sebesar 291,83 TWh akibat pandemi COVID-19. Pasca-pandemi, konsumsi energi fosil kembali meningkat, mencapai 309,08 TWh pada tahun 2021, 333,54 TWh (2022), dan di tahun 2023 tercatat 350,61 TWh.

Sebagian besar negara di seluruh dunia mulai melakukan transformasi energi dengan beralih secara bertahap ke penggunaan energi baru terbarukan.



rian ESDM (2019) menjelaskan bahwa energi baru terbarukan sumber energi ramah lingkungan yang tidak menimbulkan polusi, tidak

berdampak pada perubahan iklim atau pemanasan global, karena dihasilkan dari proses alami yang berkelanjutan.

Gambar 1.2 menjelaskan Kontribusi Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran energi Indonesia menunjukkan peningkatan signifikan selama periode 2015-2023, meskipun masih jauh tertinggal dibandingkan energi fosil. Pada 2015, kontribusi EBT mencapai 24,27 TWh, mengindikasikan pengembangan energi bersih di Indonesia. Dalam tiga tahun berikutnya (2016-2018), kontribusi EBT bertumbuh secara signifikan, mencapai 29,95 TWh (2016), 32,01 TWh (2017), dan melonjak menjadi 48,36 TWh (2018) seiring operasional proyek seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan surya (PLTS) dalam skala kecil. Pertumbuhan sempat terhambat pada periode 2019-2020 dengan angka 48,04 TWh (2019) dan 52,90 TWh (2020), akibat pengaruh pandemi COVID-19. Pemulihan berlangsung pada tahun 2021-2023 ditandai dengan membaiknya kondisi ekonomi nasional, dengan kontribusi EBT mengalami lonjakan signifikan mencapai 56,20 TWh (2021), 65,39 TWh (2022), dan 65,19 TWh (2023) secara keseluruhan laju pertumbuhan tahunan rata-rata sebesar 12,3% dalam periode 2015-2023. Menurut Kementerian ESDM target bauran energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025 sebagai upaya transisi energi yang lebih ramah lingkungan.

Reneri Arista dan Amar, (2019) menjelaskan Pembangunan ekonomi tidak dapat dipisahkan dari pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan. Namun, jika sumber daya tersebut dieksploitasi secara berlebihan tanpa



imbangkan aspek keberlanjutan, hal ini berpotensi memicu dampak lingkungan yang serius. Sejak periode 1990-2023, perekonomian nasional konsisten menunjukkan tren pertumbuhan positif, namun faktor

penurunan drastis pada tahun 1998 akibat krisis ekonomi global. Saat itu, gejolak sosial dan politik memperparah kondisi ekonomi hingga pertumbuhan berada pada titik paling rendah di angka -13,4 persen. Sementara Pandemi COVID-19 pada 2020 menyebabkan pertumbuhan ekonomi kembali melambat menciptakan ketidakstabilan ekonomi nasional hingga pertumbuhan ekonomi menurun ke titik -2,35 persen selama dua dekade terakhir pasca krisis ekonomi.

Dalam konteks pembangunan ada hubungan kausalitas pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan, peningkatan emisi gas rumah kaca dan konsumsi sumber daya alam yang berlebihan merupakan aspek terpenting yang sering diabaikan karena pemerintah lebih fokus pada pertumbuhan ekonomi. Akibatnya, pada tahap ini, tidak ada kesadaran mengenai polusi lingkungan, dan teknologi yang diperlukan untuk mengurangi polusi belum tersedia (Eldowma dkk., 2023).

Sektor manufaktur merupakan aspek terpenting penyumbang GDP terbesar bagi pertumbuhan ekonomi nasional. Manufaktur merupakan sektor ekonomi yang fokus pada pengolahan bahan mentah menjadi produk jadi dengan memanfaatkan mesin, tenaga kerja, dan metode industri yang terstruktur. Meskipun sektor industri berperan penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi, sektor ini juga dapat berdampak pada kualitas udara. Jumlah polutan yang dihasilkan dari industri dapat bervariasi tergantung pada jenis dan kapasitas bahan bakunya (A. S. Pratama dkk., 2024).

Adanya potensi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh industrialisasi, akan berdampak pada penurunan kualitas lingkungan sebagai korelasi antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan (Pratama,



Hipotesis Kurva Lingkungan Kuznets (EKC) berasumsi bahwa polusi lingkungan akan meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, namun akan menurun setelah ekonomi mencapai titik balik yang ditentukan oleh ambang batas tertentu dari PDB riil per kapita (Yurtkuran, 2021). Di satu sisi dinamika inovasi terbuka, melalui transfer teknologi dan investasi asing untuk pengembangan energi bersih, dapat memberikan penyeimbang terhadap efek degradasi lingkungan dengan membantu Indonesia mengadopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan.

Dalam tahapan pertumbuhan ekonomi Rostow (1960) menguraikan lima tahap perkembangan, dari masyarakat tradisional hingga era konsumsi massal, struktur ekonomi negara berubah pada setiap tahap, mempengaruhi pola konsumsi energi. Ketergantungan Indonesia saat ini pada bahan bakar fosil dan industrialisasi yang sedang berlangsung menunjukkan transisi dari tahap "lepas landas" ke tahap "*drive to maturity*", yang ditandai dengan ekspansi industri yang signifikan dan peningkatan penggunaan energi, untuk memahami lintasan pembangunan Indonesia dan peningkatan konsumsi listrik dan emisi CO₂ yang sesuai. Teori ini menunjukkan bahwa ketika Indonesia maju menuju tahap pembangunan ekonomi yang lebih tinggi, Indonesia akan memiliki kapasitas yang lebih besar untuk berinvestasi dalam energi terbarukan, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan (Hoadkott, 2023).

Merujuk pada penelitian Sultana dan Rahman, (2024) menjelaskan pertumbuhan PDB di negara MENA memiliki dua aspek berbeda pada polusi, di satu sisi mengalami peningkatan di sisi lain berdampak positif terhadap polusi. Ada

de-off antara pertumbuhan PDB dan pencemaran lingkungan. Ketergantungan pada bahan bakar fosil merupakan penyebab utama polusi



lingkungan. Untuk menjaga pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan hingga akumulasi industrialisasi, transportasi dan urbanisasi yang masif, perlu memperluas sumber energi dan menggunakan lebih banyak energi terbarukan untuk menurunkan pencemaran lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan studi lanjutan dengan objek, periode, dan metode yang berbeda untuk membuktikan dampak yang ditimbulkan dari aspek yang dapat mempengaruhi emisi karbon (CO_2). Masalah terkait dengan degradasi lingkungan yang ada di Indonesia menarik penulis untuk melakukan kajian serupa dengan fokus pada kasus di Indonesia. Dengan demikian, dalam penelitian skripsi ini, penulis memilih judul “Analisis Determinan Emisi CO_2 di Indonesia.”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka pertanyaan penelitian ini sebagai berikut:

1. Apakah konsumsi energi fosil berpengaruh terhadap emisi CO_2 di Indonesia jangka panjang dan jangka pendek?
2. Apakah energi terbarukan berpengaruh terhadap emisi CO_2 di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek?
3. Apakah Gross Domestic Product Perkapita berpengaruh terhadap emisi CO_2 di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek?
4. Apakah deforestasi berpengaruh terhadap emisi CO_2 di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek?
5. Apakah manufaktur berpengaruh terhadap emisi CO_2 di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek?



1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis pengaruh konsumsi energi fosil terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek.
2. Untuk menganalisis pengaruh konsumsi energi terbarukan terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek.
3. Untuk menganalisis pengaruh Gross Domestic Product Perkapita terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek.
4. Untuk menganalisis pengaruh deforestasi terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek.
5. Untuk menganalisis pengaruh manufaktur terhadap emisi CO₂ di Indonesia dalam jangka panjang dan jangka pendek.

1.4 Manfaat Penelitian

Secara teoritis, adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan pengetahuan pada kajian ekonomi dan lingkungan.

1. Manfaat bagi Teoritis

Penelitian ini sebagai sumber acuan dan rujukan bagi peneliti yang baru khususnya bagi penelitian yang berkaitan dengan penyusunan perencanaan dan kebijakan penerapan ekonomi hijau untuk mencapai pembangunan ekonomi yang berkelanjutan secara luas dan memperhatikan aspek keberlanjutan.



Manfaat bagi Praktisi

Bagi peneliti ini diharapkan dapat berfungsi sebagai tinjauan atau dasar untuk pemerintah dan sektor swasta dalam mengimplementasikan

ekonomi hijau. Tujuannya adalah mencapai dampak yang efisien dan positif terhadap perekonomian berkelanjutan di Indonesia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjaun Pustaka

2.1.1 Teori Environmental Kuznets Curve

Secara teori, hubungan antara pembangunan ekonomi dan kualitas lingkungan dapat dijelaskan melalui Kurva Kuznets Lingkungan (Environmental Kuznets Curve - EKC). Hal ini menunjukkan adanya saling ketergantungan antara ekonomi dan lingkungan, dimana tindakan pada salah satu sisi dapat berdampak signifikan pada yang lain (Bergougui, 2024).

Pada awalnya, tingkat emisi karbon dioksida (CO_2) di suatu negara meningkat seiring dengan pertumbuhan pendapatan atau ekonomi. Namun, setelah mencapai titik tertentu, kualitas lingkungan mulai membaik meskipun pertumbuhan ekonomi terus berlangsung. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan kurva berbentuk U terbalik, di mana setelah periode pertumbuhan ekonomi tertentu, emisi CO_2 mengalami peningkatan dan kualitas lingkungan menurun. Namun, seiring waktu, pertumbuhan ekonomi tersebut diikuti oleh penurunan emisi CO_2 (Stern, 2004).

Hubungan antara lingkungan dan pendapatan pertama kali diperkenalkan oleh Grossman dan Krueger (1991) melalui Hipotesis Kurva Kuznets Lingkungan (EKC), menunjukkan adanya hubungan sistematis antara perubahan pendapatan dan degradasi lingkungan. Hal ini mengungkapkan bahwa tingkat kerusakan lingkungan akibat sejumlah polutan serta pendapatan per kapita menunjukkan pola yang selaras dengan kurva Kuznets.

orente dkk., (2022) Dalam hal ini, menyatakan tingkat polusi akan terus at hingga mencapai titik tertentu, setelah itu kualitas lingkungan mulai



membaik seiring dengan kenaikan pendapatan. Pada tahap awal, terdapat hubungan positif antara kenaikan pendapatan dan degradasi lingkungan. Namun, setelah mencapai titik balik (*turning point*), hubungan ini berubah menjadi negatif. Artinya, seiring dengan meningkatnya pendapatan, degradasi lingkungan akan mulai menurun.

Kerusakan lingkungan biasanya meningkat akibat pergeseran struktur ekonomi dari pedesaan ke perkotaan, serta dari sektor pertanian ke industri sebagai bentuk produksi. Penjelasan mengenai kurva U-terbalik Kuznets adalah fase pertumbuhan ekonomi yang melibatkan transisi dari sektor pertanian ke industri, dan kemudian ke pasca-industri dengan sistem perekonomian berbasis jasa.

Menurut Panayotou (1993) dalam (Schneider dan Bedi, 2025) menjelaskan bahwa EKC yang berbentuk U terbalik dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu efek skala, efek komposisi, dan efek teknik. Efek skala terjadi ketika degradasi lingkungan meningkat seiring dengan kenaikan pendapatan per kapita. Efek komposisi muncul ketika degradasi lingkungan meningkat akibat perubahan struktur ekonomi dari pertanian ke industri. Seiring waktu, aktivitas ekonomi ini menyebabkan degradasi lingkungan yang tingkatnya semakin menurun. Akhirnya, hubungan antara pendapatan per kapita dan degradasi lingkungan dipengaruhi oleh teknik produksi atau efek teknik, yang menunjukkan bahwa perbaikan teknologi dalam aktivitas ekonomi dapat mengurangi kerusakan lingkungan.

Peters (2003) dalam Hutabarat (2010) menggambarkan EKC sebagai hubungan antara masalah polusi udara dan tingkat pertumbuhan ekonomi suatu

Pada tahap awal pembangunan, negara berfokus pada pengembangan untuk meningkatkan *output* demi kesejahteraan masyarakat. Namun,



seiring dengan peningkatan industrialisasi, polusi udara juga meningkat. Negara dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat akan memiliki kapasitas untuk mengatasi polusi tersebut. Setelah berhasil mengimplementasikan metode dan prosedur pengendalian polusi, tingkat polusi dapat stabil atau bahkan menurun bersamaan dengan pertumbuhan ekonomi. Selain itu, negara juga akan berupaya untuk memperbaiki kualitas udara. Akhirnya, negara akan mengembangkan teknologi yang ramah lingkungan untuk mengurangi polusi. Hubungan positif antara pertumbuhan ekonomi dan pencemaran lingkungan mengakibatkan peningkatan tingkat degradasi lingkungan seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang meningkat (Hassan dkk., 2024).

2.1.2 Teori IPAT

Teori IPAT (*Impact of Population, Affluence, and Technology*), yang diusulkan oleh Ehrlich dan Holdren pada tahun 1971, merupakan formula yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari aktivitas manusia (Magee dan Devezas, 2018). Model ini mengklasifikasikan semua faktor yang berdampak pada lingkungan menjadi tiga pendorong utama: ukuran populasi, kemakmuran yang ditentukan oleh konsumsi atau produksi per kapita, serta teknologi yang digunakan untuk mengukur dampak dari semua faktor lainnya. Masing-masing pendorong dianggap memiliki efek proporsional terhadap lingkungan. Namun, asumsi mengenai proporsionalitas ini tidak dapat diuji oleh model IPAT itu sendiri, karena teknologi, sebagai salah satu pendorong, umumnya ditentukan oleh dampak lingkungan yang diukur dengan dua pendorong lainnya (Hassan dkk., 2024).



enurut York dkk., 2003 Menjelaskan persamaan IPAT dapat direformulasi n bentuk logaritma untuk memungkinkan analisis regresi dalam

menginvestigasi efek dari masing-masing variabel independen. Teori ini dikenal sebagai *Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology* (STIRPAT). Rumus dasar untuk STIRPAT adalah sebagai berikut:

$$I = aP_bA_cT_d$$

Dengan mengukur a sebagai skala model, b, c , dan d merupakan eksponen P = populasi, A = tingkat konsumsi, dan T = teknologi yang harus diestimasi dan e adalah *error term* (Mansoor dan Sultana, 2018).

2.1.3 Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida (CO₂) merupakan GRK, yang dihasilkan dari berbagai kegiatan, termasuk pembakaran bahan bakar fosil dalam sektor energi, industri, dan transportasi, serta dari penggundulan hutan dan praktik pertanian.

Menurut *National Academy of Sciences* (NAS) tahun 1979, peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer hingga dua kali lipat dapat menyebabkan kenaikan suhu bumi sekitar 1,5°C. Fenomena ini terjadi karena gas rumah kaca (GRK), seperti CO₂, memicu ketidakseimbangan suhu global, di mana sebagian wilayah mengalami panas ekstrem sementara wilayah lain menjadi lebih dingin. Ketidakstabilan ini memperburuk efek rumah kaca yang berpotensi merusak lapisan atmosfer. Di sisi lain, tingginya ketergantungan pada energi fosil (batu bara dan minyak bumi) sebagai sumber bahan bakar akan mempercepat akumulasi emisi GRK, sehingga suhu permukaan bumi diprediksi terus meningkat secara signifikan. Jika tidak dikendalikan, hal ini dapat menjadi masalah serius bagi stabilitas iklim global.



Protokol Kyoto adalah perjanjian internasional yang dibuat dalam kerangka *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) pada tahun 1992. Perjanjian ini mewajibkan negara-negara untuk mengurangi emisi gas

rumah kaca, dengan asumsi bahwa (a) pemanasan global terjadi, dan (b) emisi CO₂ disebabkan oleh aktivitas manusia. Protokol ini bertujuan untuk melaksanakan misi UNFCCC dalam menghadapi pemanasan global dengan menurunkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer ke "tingkat yang dapat mencegah gangguan berbahaya akibat aktivitas manusia terhadap sistem iklim."

2.1.4 Pertumbuhan Penduduk

Meadow dalam bukunya berjudul *"The Limit to Growth"* yang membahas hubungan antara variabel lingkungan, yaitu: populasi, produksi pertanian, produksi industri, pemanfaatan sumber daya alam, dan polusi (Richter, 2025). Di satu sisi, populasi juga berfungsi sebagai pihak yang mengalami dampak dari degradasi lingkungan, seperti yang dinyatakan dalam kutipan berikut: "yang miskin mati karena kelaparan, sementara orang kaya dan miskin sama-sama mati akibat produk sampingan dari kemakmuran polusi dan bencana ekologis."

Pertumbuhan jumlah penduduk memaksa perekonomian untuk menyediakan lebih banyak barang dan jasa guna memenuhi kebutuhan masyarakat. Namun, peningkatan produksi barang dan jasa ini akan membutuhkan lebih banyak sumber daya alam yang harus dieksploitasi dari persediaannya. Akibatnya, sumber daya alam semakin menipis. Selain itu, pencemaran lingkungan juga meningkat seiring dengan tingginya laju pertumbuhan ekonomi.

Populasi penduduk yang mengalami peningkatan adalah faktor utama pendorong adanya peningkatan permintaan listrik secara agregat. Peningkatan aktivitas ekonomi yang terjadi seiring dengan pertumbuhan industri dan populasi meningkatkan permintaan terhadap energi listrik. Jika tidak ditangani, hal ini



dapat menyebabkan masalah ketersediaan energi listrik di masa depan, yang berpotensi mengakibatkan krisis energi.

2.1.5 Energi Fosil

Sumber energi tak terbarukan atau energi fosil adalah sumber yang tidak dapat dipulihkan oleh alam dalam rentang waktu yang sejalan dengan konsumsi manusia. Penggunaan energi fosil untuk keperluan produksi listrik, transportasi, rumah tangga, dan keperluan industri.

Bahan bakar batubara dapat berfungsi untuk menghasilkan uap atau mengalami proses karbonisasi untuk memproduksi bahan bakar cair yang kemudian dapat digunakan menjadi sumber energi.

2.1.6 Energi Terbarukan

Energi baru dan terbarukan (EBT) adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak berkontribusi terhadap perubahan iklim serta pemanasan global, karena energi tersebut diperoleh dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, udara, biofuel, dan energi panas bumi. Hal ini menunjukkan bahwa sumber energi ini tersedia tanpa merugikan lingkungan, dan menjadi alasan utama dalam pengembangan karena tidak memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Perlunya inovasi dan teknologi untuk mempercepat transisi energi sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi emisi CO₂.

2.1.7 Gross Domestic Product Perkapita (GDP)

Gross Domestic Product (GDP) adalah ukuran total nilai barang dan jasa yang dihasilkan oleh suatu negara dalam jangka waktu tertentu, biasanya satu tahun. GDP mencakup semua kegiatan ekonomi yang terjadi dalam batas wilayah negara tersebut, termasuk produksi yang dilakukan oleh perusahaan.



asing yang beroperasi di dalamnya. Gross Domestic Product berdasarkan pengeluaran (*expenditure*) menggambarkan nilai produk barang dan jasa (output) yang dihasilkan oleh suatu daerah domestik dan digunakan untuk konsumsi akhir masyarakat. GDP sering dijadikan sebagai indikator utama kesehatan ekonomi suatu negara karena mencerminkan aktivitas dan pertumbuhan ekonomi.

2.1.8 Deforetasi

Deforestasi adalah proses hilangnya hutan secara permanen akibat aktivitas manusia. Kegiatan utama yang menyebabkan terjadinya adalah penebangan atau pembakaran hutan untuk mengubah lahan menjadi kawasan pertanian (seperti perkebunan kelapa sawit atau peternakan), organisasi, infrastruktur, atau untuk mengambil kayunya secara komersial. Proses ini tidak hanya menghilangkan pepohonan, tetapi juga merusak seluruh ekosistem hutan secara keseluruhan. Dampak deforestasi sangat luas dan merugikan, termasuk mempercepat perubahan iklim (karena hutan tidak lagi menyerap karbon dioksida)

2.1.9 Manufaktur

Industri manufaktur merupakan salah satu sektor ekonomi yang fokus utamanya adalah memproduksi barang jadi atau setengah jadi dari bahan baku. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk meningkatkan nilai tambah dan manfaat dari produk yang dihasilkan. Industri manufaktur memiliki peran krusial dalam menyediakan barang dan layanan yang diperlukan oleh masyarakat. Sektor industri di Indonesia diklasifikasikan berdasarkan Klasifikasi Buku Laporan Usaha Indonesia (KBLI), yaitu seluruh kegiatan ekonomi menjadi beberapa lapangan

ng ditekankan pada proses kegiatan ekonomi dalam menciptakan barang dan pendekatan fungsi (Arsyad dan Kusuma, 2014)



2.2 Penelitian Terdahulu

Xuan (2024), Penelitian ini berjudul *Determinants of environmental pollution: Evidence from Indonesia* Studi ini mengeksplorasi hubungan antara konsumsi listrik, penggunaan bahan bakar fosil, adopsi energi terbarukan, pertumbuhan penduduk, PDB, dan pencemaran lingkungan di Indonesia. Studi ini mengungkap hubungan jangka panjang yang signifikan antara variabel menggunakan data deret waktu dari tahun 2000 hingga 2023 dan menerapkan teknik ekonometrik seperti analisis kointegrasi, uji kausalitas Granger, dan Model Koreksi Kesalahan Vektor (VECM). Hasilnya menunjukkan bahwa konsumsi listrik mendorong pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂, sementara ketergantungan bahan bakar fosil secara signifikan berkontribusi terhadap polusi lingkungan.

Gershon dkk., (2024) meneliti hubungan konsumsi energi, pertumbuhan ekonomi, dan emisi karbon, menyelidiki efek interaktif konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon untuk tujuh belas negara Afrika terpilih menggunakan teknik estimasi panel statis menggunakan data tahunan dari tahun 2000 hingga 2017. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi energi berdampak positif pada pertumbuhan ekonomi dan berdampak negatif terhadap emisi karbon. Namun, dampak konsumsi energi terhadap pertumbuhan ekonomi lebih besar daripada efek lingkungan yang merugikan.

Hou dkk., (2023) Penelitian ini menggunakan variabel energi fosil, energi terbarukan (EBT), dan PDB periode 1990–2019. Untuk mengevaluasi hasil empiris, metode estimasi data panel lanjutan menggunakan uji kointegrasi dan teknik estimasi CS-ARDL digunakan untuk memeriksa hubungan jangka panjang variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar fosil meningkatkan emisi karbon baik dalam jangka pendek maupun PDB meningkatkan emisi karbon baik dalam jangka pendek maupun



jangka panjang. Namun, penggunaan EBT merugikan emisi karbon dan dikaitkan dengan pembangunan berkelanjutan di negara-negara OECD.

Aulia Tsandra dkk., (2023) Penelitian ini menguji pengaruh peran konsumsi energi dan aktivitas ekonomi terhadap emisi CO₂ di kelompok negara *Advanced Economies* dan *Emerging Markets* yang tergabung dalam G20, serta mengetahui negara-negara yang memiliki pengaruh terhadap emisi CO₂. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan model analisis regresi data panel dengan *Fixed Effect Model* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada negara *Advanced Economies*, emisi CO₂ per kapita dipengaruhi oleh konsumsi energi bahan bakar fosil, konsumsi energi terbarukan, PDB per kapita, dan keterbukaan perdagangan. Sedangkan, emisi CO₂ di negara *Emerging Markets* dipengaruhi oleh konsumsi energi bahan bakar fosil, konsumsi energi terbarukan, PDB per kapita, FDI, dan industrialisasi.

Tahir, (2023) Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel-variabel seperti Perdagangan, FDI (Penanaman Modal Asing), REC (Konsumsi Energi Terbarukan), EPC (Konsumsi Tenaga Listrik), Pertumbuhan Ekonomi, Populasi Perkotaan, dan Emisi Karbon di dalam Pakistan selama periode waktu 1990 hingga 2022. Teknik *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) digunakan untuk estimasi. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan jangka panjang ada antara variabel-variabel ini. REC, Pertumbuhan Ekonomi, dan FDI secara signifikan mempengaruhi emisi CO₂, sedangkan variabel yang tersisa memiliki efek yang tidak signifikan terhadap emisi karbon. Selain itu, berdasarkan temuan penelitian ini merekomendasikan agar pemerintah mengadopsi kebijakan

agi yang ketat untuk mengatasi masalah iklim dan mengendalikan polusi.

aihannya dkk., (2025) judul penelitian ini untuk melihat Efek dinamis investasi



asing langsung, globalisasi, pertumbuhan ekonomi, dan konsumsi energi terhadap emisi karbon di Meksiko. Model penelitian ini menggunakan pendekatan ARDL. Menurut hasil simulasi ARDL, penggunaan energi dan PDB telah diidentifikasi sebagai faktor utama yang mempengaruhi emisi CO₂. Dengan demikian, hasilnya menunjukkan bahwa Meksiko harus mengatasi dampak lingkungan dari bahan bakar fosil dan transisi ke ekonomi berkelanjutan dengan mengadopsi sumber energi yang lebih bersih.

2.3 Kerangka Berpikir

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini dibangun berdasarkan analisis teoritis dan empiris dari masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya. Landasan berpikir ini mengintegrasikan teori, konsep, dan logika kausal untuk memandu peneliti dalam mengumpulkan data, menganalisis hubungan antar variabel, serta menjawab pertanyaan penelitian secara sistematis.

Sektor AFOLU (Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya) adalah salah satu penyumbang utama emisi karbon dioksida (CO₂). Kegiatan penebangan hutan, deforestasi dan perubahan penggunaan lahan untuk pertanian atau pemukiman sering kali menyebabkan hilangnya tutupan vegetasi yang berperan sebagai penyerap karbon.

Pertumbuhan penduduk secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ antropogenik (aktivitas manusia) melalui berbagai aspek. Pertama, peningkatan jumlah penduduk mendorong permintaan yang lebih besar terhadap sumber daya alam, energi, dan lahan. Seiring dengan pertumbuhan pola konsumsi masyarakat juga meningkat, sehingga kebutuhan energilah tangga, transportasi, industri, dan produksi pangan semakin tinggi.



Akibatnya, penggunaan bahan bakar fosil meningkat, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer.

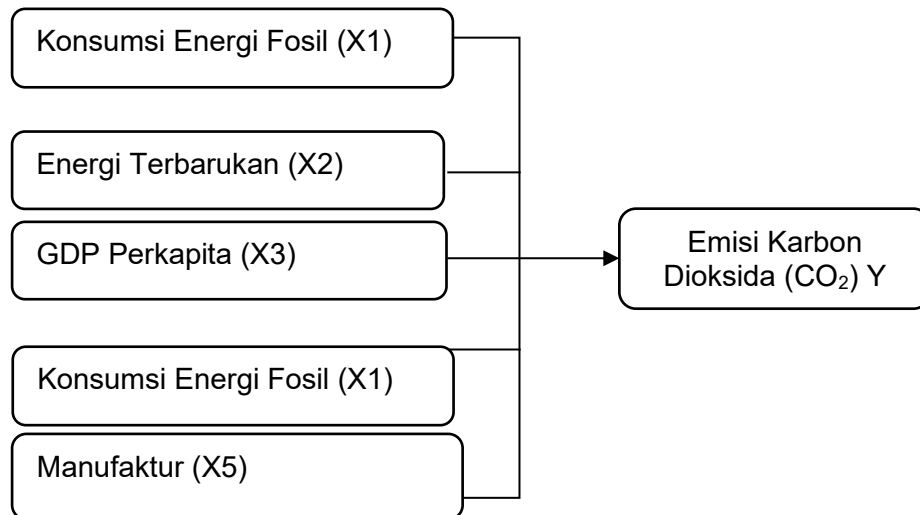
Konsumsi energi fosil menjadi penyumbang utama emisi CO₂ karena bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi yang paling murah dan mudah diakses untuk mendukung aktivitas ekonomi, misalnya pada sektor seperti industri, transportasi, dan pembangkit listrik. Dalam upaya mendorong pertumbuhan ekonomi, negara dan perusahaan cenderung memilih sumber energi yang efisien secara biaya, meskipun berdampak besar terhadap lingkungan. Akibatnya, semakin tinggi aktivitas ekonomi, semakin besar pula konsumsi energi fosil, dan ini menyebabkan peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer.

Energi terbarukan berperan penting dalam menekan pengurangan emisi CO₂ karena sumber energi ini tanpa melalui proses pembakaran yang melepaskan gas rumah kaca ke atmosfer. Dengan demikian, semakin besar porsi EBT dalam sistem energi nasional maupun global, semakin rendah jumlah emisi CO₂. Dalam aspek teknologi energi terbarukan juga cenderung mengalami perkembangan, membuatnya semakin efisien dan ekonomis, sehingga mendorong lebih banyak negara untuk beralih pada energi bersih dan ramah lingkungan.

Hubungan antara pertumbuhan PDB dan emisi CO₂ umumnya bersifat positif, terutama pada tahap awal pembangunan ekonomi. Aktivitas seperti industrialisasi, produksi energi berbasis fosil, transportasi, dan ekspansi infrastruktur memicu peningkatan konsumsi energi, yang secara langsung berdampak pada emisi CO₂. Semakin tinggi PDB suatu negara, semakin besar konsumsi energi untuk mendukung sektor manufaktur, konstruksi, dan jasa, sehingga emisi CO₂ cenderung meningkat. Meskipun PDB dan emisi CO₂ umumnya



positif, ada kecenderungan efek dekoupling (pemisahan pertumbuhan ekonomi dari emisi) dimungkinkan melalui inovasi teknologi, energi bersih, dan kebijakan hijau yang progresif.



Gambar 2. 1 Kerangka Pikir Penelitian

