

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

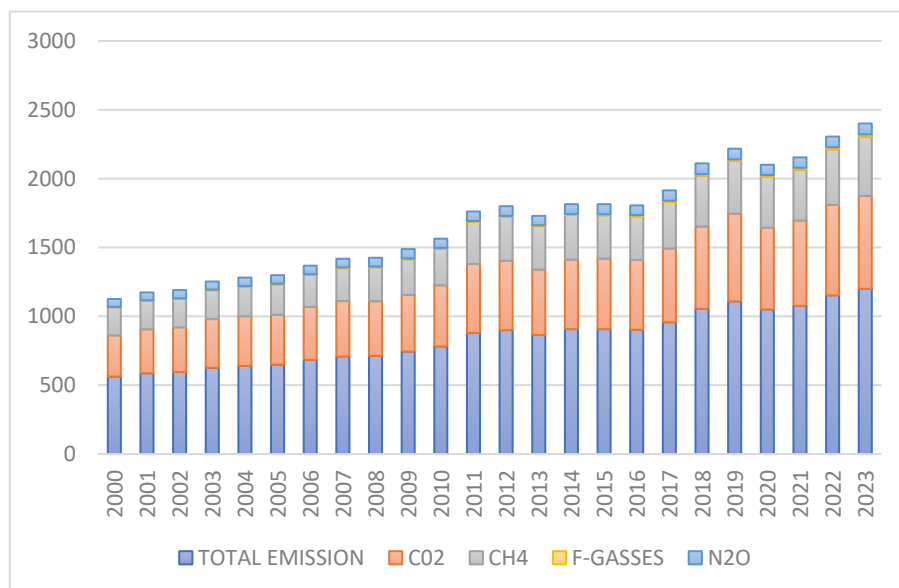
Perkembangan perekonomian global dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan dinamika yang kompleks. Transformasi ekonomi yang didorong oleh pesatnya industrialisasi dan konsumsi energi yang masif menciptakan tekanan terhadap stabilitas lingkungan, salah satunya melalui pemanasan global. Sebagai konsekuensinya, perubahan iklim kini mempengaruhi kehidupan manusia secara langsung melalui peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem serta mengganggu ekosistem secara tidak langsung (Hartley dan Tandon, 2022). Kondisi tersebut yang kemudian mendorong munculnya paradigma baru terkait pembangunan ekonomi berkelanjutan untuk mengatasi *trade-off* antara pembangunan dengan pelestarian lingkungan. Pembangunan yang tidak memperhatikan kedua aspek tersebut akan menimbulkan masalah di masa depan (Putri, 2020).

Saat ini perubahan iklim menjadi isu paling mendesak yang dihadapi oleh seluruh negara di dunia. Fenomena ini telah mendorong terciptanya berbagai kesepakatan internasional, seperti *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), Protokol Kyoto 1997, *Bali Action Plan*, *Paris Agreement* hingga *Glasgow Climate Pact* yang disepakati pada COP26 di Skotlandia. Meningkatnya suhu rata-rata global, naiknya permukaan air laut, dan meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem adalah dampak nyata dari

perubahan iklim yang disebabkan oleh Gas Rumah Kaca (GRK). Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan menyerap dan memantulkan kembali radiasi inframerah.



Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (2021), suhu rata-rata global meningkat sekitar 1,1 derajat celsius dibandingkan masa pra-industri, terutama akibat aktivitas manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Jika upaya pengurangan emisi tidak segera dilakukan, kemampuan untuk membangun ketahanan iklim akan semakin sulit dan dapat mengancam pembangunan keberlanjutan serta kelompok masyarakat rentan (Lee et al., 2023). *World meteorological Organization (WMO)* melaporkan bahwa konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer terus mencapai rekor tertinggi, dengan rata-rata peningkatan absolut tahunan menunjukkan angka 2,3 ppm selama 10 tahun terakhir. Angka tersebut mencerminkan tantangan yang dihadapi dalam upaya mitigasi perubahan iklim.



Sumber: *Emission Database for Global Atmospheric Research*, diolah 2024

**Gambar 1. 1**  
**Emisi GRK Berdasarkan Jenisnya di Indonesia Tahun 2000-2023**

Indonesia, dengan posisinya sebagai negara dengan ekonomi terbesar di antara negara-negara yang tercatat sebagai salah satu penyumbang emisi Gas Rumah Kaca terbesar di dunia. **Gambar 1.1** menunjukkan peningkatan emisi GRK yang signifikan dari tahun 2000 hingga tahun 2023. Emisi total pada tahun 2023



mencapai 1200.2 MtCO<sub>2</sub>eq, meningkat 113 persen dibandingkan tahun 2000. Sedangkan jika dibandingkan dengan tahun 2012, emisi GRK Indonesia meningkat 300,21 MtCO<sub>2</sub>eq atau sekitar 33 persen. Bahkan dalam periode yang lebih pendek, dari tahun 2022 ke 2023, masih terjadi peningkatan sebesar 4 persen meskipun sempat turun pada tahun 2020 akibat pandemi COVID-19. Sebagian besar volume emisi GRK di Indonesia didominasi oleh karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan nitrogen dioksida (N<sub>2</sub>O) yang berasal dari aktivitas manusia.

Pertumbuhan ekonomi Indonesia berkorelasi dengan peningkatan emisi gas rumah kaca. Berbagai aktivitas ekonomi yang meliputi sektor industri, transportasi, dan energi berkontribusi terhadap pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer (Pangestu dan Ayuningsasi, 2024). Peningkatan pendapatan per kapita mendorong perubahan pola konsumsi masyarakat yang cenderung lebih intensif energi, seperti penggunaan kendaraan pribadi, peralatan elektronik, dan gaya hidup perkotaan lainnya. Pertumbuhan ekonomi ini juga menciptakan tekanan terhadap sumber daya alam, terutama melalui konversi lahan untuk memenuhi berbagai kebutuhan pembangunan infrastruktur, Perkebunan, dan kawasan industri. Ekspansi tersebut tidak hanya meningkatkan emisi melalui aktivitas produksi dan konsumsi, tetapi juga mengurangi kapasitas hutan sebagai penyerap karbon alami yang seharusnya dapat mengurangi dampak perubahan iklim (Raihan et al., 2023).

Hutan Indonesia merupakan salah satu hutan tropis terluas ketiga di dunia setelah Brasil dan Republik Demokratik Kongo, dengan tutupan hutan dari 90 juta hektar atau sekitar 50 persen dari total luas daratan (Kementerian Kehutanan RI, 2025). Namun demikian, menurut data Global



Forest Watch (2025), Indonesia telah kehilangan tutupan pohon sebanyak 32 juta hektar selama dua dekade terakhir. Kondisi tersebut mengakibatkan pelepasan karbon dalam jumlah masif ke atmosfer. Menghadapi tantangan tersebut, pemerintah Indonesia telah meluncurkan program *Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030* dengan target ambisius mencapai emisi negatif sebesar 140 juta ton CO<sub>2</sub>eq pada tahun 2020. Kondisi tutupan pohon yang optimal menjadi kunci strategi mitigasi perubahan iklim, mengingat potensi penyerapan karbon yang sangat besar dari ekosistem hutan Indonesia.

Selain dari sektor kehutanan, emisi gas rumah kaca di Indonesia berasal dari konsumsi energi yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil. PDB per kapita dan konsumsi energi menunjukkan karakteristik dua sisi, di mana keduanya berperan dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan pencapaian pembangunan berkelanjutan, namun pada saat yang sama turut meningkatkan tekanan terhadap lingkungan. Kondisi ini mengindikasikan pentingnya transisi menuju sumber energi yang lebih bersih serta penerapan strategi pertumbuhan hijau yang mampu memisahkan pertumbuhan ekonomi dari degradasi lingkungan (Razak et al., 2025). Berdasarkan data Kementerian ESDM, lebih dari 80 persen kebutuhan energi nasional dari berbagai sektor masih bergantung pada sumber energi tidak terbarukan (Kementerian ESDM, 2024). Kondisi ini menyebabkan sektor energi menjadi salah satu penyumbang emisi GRK terbesar dari total emisi nasional. Batu bara mendominasi bauran energi nasional, diikuti gas alam dan minyak bumi. Ketergantungan yang tinggi pada

bakar fosil ini sejalan dengan pertumbuhan ekonomi yang mendorong peningkatan konsumsi energi di sektor industri, rumah tangga dan komersial.



Kondisi ini diperparah oleh subsidi dan kompensasi bahan bakar fosil yang masih signifikan, bahkan mencapai 443,6 triliun rupiah pada tahun 2022. Subsidi yang terus menerus dilakukan tidak hanya menghambat upaya dalam mewujudkan target pengurangan emisi GRK dalam NDC, tetapi juga menghasilkan inefisiensi penggunaan energi, menciptakan pemborosan apabila subsidi tidak tepat sasaran, dan adopsi teknologi energi bersih akan terhambat. Sebaliknya, transisi menuju energi terbarukan merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (Nadeak dan Nasrudin, 2023).

Menurut *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar mencapai 3.686 gigawatt, yang terdiri dari energi surya, angin, hidro, panas bumi, dan bioenergi. Namun, pemanfaatan potensi energi tersebut masih sangat rendah. Kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional baru mencapai 14,1 persen, jauh tertinggal dari target Rencana Umum Energi Nasional yaitu 23% pada tahun 2025 dan 31 persen pada tahun 2050 (Kementerian ESDM, 2025). Lambatnya pengembangan energi terbarukan disebabkan oleh berbagai faktor termasuk, keterbatasan investasi, tantangan teknologi, regulasi yang belum sepenuhnya mendukung, serta keterbatasan sumber daya manusia yang kompeten dalam bidang energi terbarukan (Udin, 2020).

Transportasi merupakan salah satu konsumen energi bahan bakar fosil terbesar yang juga berkontribusi pada total emisi di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi yang pesat mendorong peningkatan mobilitas masyarakat dan logistik, yang pada gilirannya meningkatkan konsumsi bahan bakar secara eksponensial. Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai



157 juta unit pada tahun 2023, dengan dominasi sepeda motor sebesar 85 persen dari total kendaraan bermotor (BPS, 2024). Proses urbanisasi yang cepat memperkuat tekanan pada sektor transportasi. Konsentrasi penduduk di kawasan metropolitan menciptakan kemacetan lalu lintas yang memperburuk efisiensi bahan bakar dan meningkatkan emisi per kilometer perjalanan. Alhindawi et al. (2020) menyatakan bahwa rasio jarak tempuh dan jumlah kendaraan berpengaruh terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca.

Keterbatasan infrastruktur transportasi publik yang ramah lingkungan membuat masyarakat bergantung pada kendaraan pribadi. Meskipun beberapa kota besar telah mengembangkan sistem transportasi seperti TransJakarta, MRT, Teman Bus dan LRT, namun jangkauan dan konektivitas sistem tersebut masih terbatas dibandingkan dengan kebutuhan mobilitas masyarakat. Kondisi ini memperpanjang ketergantungan sektor transportasi pada bahan bakar fosil, sehingga target penurunan emisi gas rumah kaca menjadi sulit tercapai.

Akumulasi gas rumah kaca saat dari berbagai sektor tersebut memicu dampak nyata di Indonesia. Pada tahun 2024, suhu rata-rata nasional mencapai 27,53 derajat celsius, tercatat sebagai tahun terpanas sejak pencatatan dimulai (Petriella, 2025). Kondisi ini kemudian memicu kenaikan permukaan air laut yang dapat mengancam 65% penduduk Indonesia yang bermukim di wilayah pesisir. Peningkatan gas rumah kaca juga menyebabkan perubahan pola cuaca menjadi sulit diprediksi, ditandai dengan musim kemarau yang lebih panjang dan kekeringan yang parah, serta musim hujan yang singkat namun dengan curah hujan ekstrem.



Ketidakseimbangan iklim memberikan dampak serius, terutama pada pertanian. Berdasarkan hasil survei yang dipaparkan pada Diskusi

Nasional Petani Indonesia, 98,7 persen petani mengakui adanya perubahan iklim, dengan mayoritas mengalaminya dalam bentuk kekeringan (70,7 persen) dan musim yang tidak menentu (71,7 persen). Ketidakseimbangan ini berdampak langsung pada produktivitas pertanian nasional, dimana 77,6 persen petani melaporkan penurunan hasil panen, bahkan 46,7 persen mengalami gagal panen akibat perubahan iklim (KRKP, 2024).

Pertumbuhan ekonomi merupakan instrumen penting dalam mengukur tingkat kesejahteraan masyarakat, dimana kemampuan ekonomi yang kuat memungkinkan terciptanya berbagai peluang bagi masyarakat untuk meningkatkan taraf hidupnya (Soebagiyo D, 2000 dalam Dinilhaq dan Azhar, 2024). Dalam beberapa dekade terakhir, berbagai kegiatan ekonomi telah mengalami perubahan yang cukup mendasar. Namun, peningkatan aktivitas ekonomi ini tidak terlepas dari praktik-praktik pembangunan yang tidak ramah lingkungan, tercermin melalui tingginya emisi gas rumah kaca.

Fenomena ini menciptakan hubungan yang kompleks antara pertumbuhan ekonomi dan emisi GRK. Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) yang diadaptasi oleh Grossman dan Krueger pada tahun 1991 menjelaskan hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan dalam bentuk kurva U-terbalik. Hipotesis tersebut mengatakan bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi yang diukur melalui Produk Domestik Bruto (*Gross Domestic Bruto/GDP*) akan diikuti oleh peningkatan kerusakan lingkungan tercermin dari tingginya emisi GRK. Namun, setelah mencapai titik tertentu (*turning point*), peningkatan pendapatan justru akan mendorong

kan kualitas lingkungan. Hipotesis EKC mengasumsikan bahwa masyarakat dengan pendapatan tinggi akan lebih peduli terhadap kualitas



lingkungan dan memiliki kemampuan finansial serta teknologi untuk mengurangi emisi GRK.

Di Indonesia, sektor-sektor penggerak ekonomi seperti perkebunan, pertambangan, manufaktur dan transportasi berkontribusi terhadap pertumbuhan Produk Domestik Bruto dan pendapatan masyarakat. Namun, aktivitas ekonomi tersebut menjadi sumber utama emisi GRK melalui deforestasi dan konsumsi energi. Kondisi ini menuntut Indonesia untuk menemukan strategi pembangunan yang dapat menyeimbangkan target pertumbuhan ekonomi dengan komitmen pengurangan emisi GRK sebagaimana yang tertuang dalam *Nationally Determined Contribution (NDC)*.

Dalam dokumen NDC, Indonesia menetapkan target pengurangan emisi gas rumah kaca sebesar 31,89 persen pada tahun 2030 dengan upaya sendiri dan 43,2 persen dengan bantuan internasional. Target ambisius tersebut menuntut adanya transformasi struktural ekonomi yang mendalam dan menyeluruh. Sejalan dengan komitmen jangka panjang, Indonesia menargetkan pencapaian *net zero emission* pada tahun 1060. Yang mengharuskan dekarbonisasi menyeluruh pada sektor-sektor kunci ekonomi sambil mempertahankan laju pertumbuhan ekonomi rata-rata 5-6 persen per tahun guna mencapai status negara maju. Realisasi target NDC dan *Net Zero Emission* ini membutuhkan investasi masif sebesar 3,5 triliun dollar US hingga tahun 2060, dengan alokasi terbesar untuk sektor energi dan sektor kehutanan.

Pemahaman mendalam tentang dinamika hubungan ini menjadi penting untuk merumuskan strategi pembangunan berkelanjutan yang dapat mengakomodasi target pertumbuhan ekonomi sekaligus mencapai komitmen pengurangan emisi. Maka dengan ini, penulis tertarik melakukan penelitian



dengan judul “Analisis Emisi Gas Rumah Kaca dengan Pendekatan *Environmental Kuznets Curve* di Indonesia”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Apakah PDB per kapita mengikuti pola *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dalam mempengaruhi emisi gas rumah kaca di Indonesia?
2. Apakah Konsumsi Energi Terbarukan berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia?
3. Apakah Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia?
4. Apakah Tutupan Hutan berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan di atas, maka yang menjadi tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh PDB per kapita terhadap emisi gas rumah kaca sekaligus menguji validitas EKC di Indonesia.
2. Menganalisis pengaruh konsumsi energi terbarukan terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
3. Menganalisis pengaruh konsumsi energi bahan bakar fosil terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
4. Menganalisis pengaruh tutupan hutan terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.



#### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran terkait pengaruh pertumbuhan ekonomi yang tercermin dari PDB terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia. Selain itu, hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan referensi atau pertimbangan bagi para pemangku kepentingan dalam mengambil kebijakan terkait pembangunan yang memperhatikan aspek lingkungan. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan tambahan referensi dan masukan bagi peneliti selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

##### 2.1.1 Teori Environmental Kuznet Curve

Pada tahun 1955, Simon Kuznets awalnya mengidentifikasi hubungan pertumbuhan ekonomi dan ketimpangan pendapatan. Hipotesisnya menyatakan bahwa seiring pertumbuhan ekonomi suatu negara, ketimpangan pendapatan cenderung meningkat pada awal pembangunan, kemudian mencapai titik puncak, dan akhirnya menurun setelah negara tersebut mencapai tingkat pendapatan per kapita tertentu.

Kemudian pada tahun 1990-an Grossman dan Krueger melakukan penelitian terkait dampak potensial dari NAFTA dengan mengaplikasikan hipotesis Kuznet. Mereka berpendapat bahwa, seperti halnya ketimpangan pendapatan, degradasi lingkungan mungkin meningkat pada tahap awal industrialisasi. Namun, saat pertumbuhan ekonomi mencapai tingkat tertentu, pendapatan per kapita yang lebih tinggi tidak lagi dikaitkan dengan penurunan kualitas lingkungan, tetapi justru dengan peningkatan kualitas udara (Grossman dan Krueger, 1991).

Pada periode yang sama, Shafik et. al dalam Kubicová, (2014) menganalisis hubungan antara GDP per kapita dan sepuluh indikator kualitas lingkungan pada 149 negara dari tahun 1960-1986. Hasilnya menunjukkan deforestasi, emisi abu terbang dan polusi sungai memiliki hubungan non-linear

ap pendapatan per kapita. Sementara indikator persediaan air bersih, anitasi memiliki hubungan linear negatif dengan pendapatan. Adapun



limbah padat dan karbon dioksida memiliki hubungan linear positif terhadap pendapatan.

Teori EKC digambarkan melalui kurva berbentuk U terbalik. Di mana pada tahap awal perekonomian didominasi oleh sektor primer dengan tingkat pendapatan yang masih rendah. Pada tahap pra-industri ini, aktivitas ekonomi masih terbatas dengan sumber daya alam yang melimpah dan produksi limbah masih minim, namun mulai muncul degradasi lingkungan akibat penggunaan teknologi yang kurang ramah lingkungan dan prioritas hanya pada pertumbuhan ekonomi. Kemudian, memasuki tahap industri yang dicirikan oleh dominasi sektor sekunder dan pendapatan tergolong menengah, sumber daya alam mulai berkurang dan akumulasi limbah meningkat akibat proses industrialisasi yang pesat. Hal tersebut yang menciptakan hubungan positif antara pertumbuhan ekonomi dan kerusakan lingkungan sebelum mencapai titik balik (*turning point*).

Pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi setelah mencapai titik balik, perekonomian memasuki tahap pasca-industri dengan berpusat pada sektor jasa. Pada tahapan ini terjadi transformasi struktural menuju industri berbasis teknologi dan informasi disertai penguatan regulasi lingkungan, adopsi teknologi bersih dan peningkatan kesadaran lingkungan, yang akhirnya menciptakan hubungan negatif antara pertumbuhan ekonomi dan kerusakan lingkungan (Leal dan Marques, 2022).

Hipotesis Environmental Kuznets Curve telah banyak diteliti selama beberapa dekade terakhir dengan hasil yang beragam di berbagai konteks.

ada penelitian mendukung validitas EKC, sementara yang lain nukan bukti yang bertentangan. Penelitian yang dilakukan Mahmood et.



al membuktikan hipotesis EKC berlaku di China dan India. Penelitian tersebut menggunakan data *time series* dari tahun 1980-2019 dengan variabel tingkat emisi karbon dioksida per kapita, populasi, urbanisasi, keuangan dan konsumsi energi. Hasil menunjukkan populasi dan konsumsi energi memiliki hubungan positif dengan pelepasan karbon dioksida. Urbanisasi meningkatkan pembuangan karbon dioksida di India, namun di Tiongkok, justru membantu mengurangi pembuangan karbon dioksida. Sementara pinjaman domestik ke sektor swasta mengakibatkan degradasi lingkungan pada negara China dan India (T. Mahmood et al., 2021).

Hipotesis EKC diperkuat oleh penelitian Hashmi et al., (2020) di Pakistan. Penelitian tersebut menggunakan variabel karbon dioksida, konsumsi energi, PDB per kapita, nilai tambah sektor jasa, serta keterbukaan perdagangan. Hasil menunjukkan konsumsi energi melalui adopsi energi terbarukan mengurangi polusi dalam jangka panjang. Adapun keterbukaan perdagangan meningkatkan emisi dalam jangka panjang maupun pendek, dan tingkat pendapatan berdampak negatif dan tidak elastis pada emisi, sedangkan sektor jasa sangat elastis pada polusi. Metode FMOLS, OLS dinamis dan uji kausalitas Toda-Yamamoto konsisten mengonfirmasi keberadaan EKC yang didorong oleh pertumbuhan sektor jasa di Pakistan, menyoroti pentingnya reorientasi struktural ekonomi menuju sektor jasa (Hashmi et al., 2020).

Beberapa penelitian juga bertentangan dengan hipotesis EKC. Penelitian yang dilakukan Mohd Arshad Ansari et. al menemukan bahwa hipotesis EKC tidak didukung untuk negara-negara Gulf Cooperation Council (GCC), di mana

ubahan ekonomi, konsumsi energi dan globalisasi meningkatkan jejak karbon (Ansari et al., 2020). Penelitian Mohd Arshad Ansari pada negara-



negara ASEAN menemukan bahwa EKC tidak berlaku untuk emisi karbondioksida, namun berlaku untuk emisi jejak ekologis (Ansari, 2022). Hal ini berarti hipotesis EKC tidak dapat digeneralisasi untuk semua jenis polutan. Keberadaan dan aplikabilitas EKC sangat bervariasi tergantung pada konteks geografis, jenis indikator dan struktur ekonomi yang diteliti.

### 2.1.2 Konsep Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang terdapat di atmosfer bumi, baik yang muncul secara alami maupun akibat aktivitas manusia yang memiliki kemampuan khusus untuk menyerap dan memancarkan kembali panas bumi. Proses ini dikenal sebagai efek rumah kaca yang menjaga suhu bumi agar tetap hangat sehingga layak untuk dihuni (IPCC, 2022a). Konsep Efek Rumah Kaca dikemukakan pertama kali oleh Jean-Baptiste Joseph Fourier pada tahun 1827. Konsep ini menyatakan bahwa yang terjadi pada lapisan atmosfer serupa dengan apa yang terjadi di dalam sebuah rumah kaca. Berdasarkan pada konsep tersebut, dilakukan penelitian lebih lanjut oleh ilmuwan seperti John Tyndall, yang mengidentifikasi gas-gas tertentu seperti CO<sub>2</sub> dan uap air sebagai penyebab utama penyerapan radiasi inframerah, serta Svante Arrhenius dan Guy Stewart Callendar, yang lebih lanjut mengembangkan model matematis untuk hubungan antara konsentrasi gas rumah kaca dan pemanasan global (Anderson et al., 2016).

Fenomena ini menjadi perhatian setelah Roger Revelle dan Hans Suess menerbitkan hasil penelitiannya pada tahun 1950-an. Mereka mengidentifikasi peningkatan aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil sebagai penyebab utama peningkatan kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer. Penelitian tersebut dilanjutkan oleh Charles David Keeling yang memulai pengukuran CO<sub>2</sub> sistematis di



Mauna Loa. Seiring perkembangan, para ilmuwan mengidentifikasi berbagai jenis gas rumah kaca dan karakteristiknya, bahkan isu ini telah menjadi bidang interdisiplin.

Gas rumah kaca dapat muncul secara alami dan melalui aktivitas manusia (antropogenik). Menurut *Center for Climate dan Energy Solution* (2025), jenis gas yang mendominasi gas rumah kaca, meliputi: (i) Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan senyawa yang paling banyak dihasilkan oleh aktivitas manusia dengan potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) sebesar 1 dan waktu tinggalnya mencapai ratusan tahun; (ii) Nitrogen Oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) merupakan senyawa dengan nilai GWP sebesar 273, artinya efek pemansannya hampir mencapai 300 kali lebih kuat dibandingkan dengan karbon dioksida dalam periode seratus tahun. Adapun waktu tinggalnya mencapai 109 tahun; (iii) Metana ( $\text{CH}_4$ ) adalah gas dengan waktu tinggal sekitar 12 tahun dan GWP 28, yang berarti satu molekul metana dapat menangkap panas hampir 30 lebih kuat dibandingkan karbon dioksida; (vi) Fluorinated Gases (F-gases) adalah kelompok gas yang mengandung fluor, seperti chlorofluorocarbons (CFCs), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), dan sulfur heksafluorida ( $\text{SF}_6$ ). Konsentrasi gas-gas tersebut hanya sekitar 3,4  $\text{GtCO}_2\text{eq}$ , namun dengan potensi pemanasan yang berada pada kisaran 12.000 hingga 25.000 dalam periode 100 tahun.

Soeder, (2021) menyebutkan bahwa sumber gas rumah kaca berasal dari berbagai aktivitas seperti pembakaran bahan bakar fosil, praktik pertanian, pengolahan limbah, proses industri, pembukaan hutan dan muncul secara

Pembakaran bahan bakar fosil meliputi batu bara, minyak, dan gas alam.



Aktivitas ini menjadi sumber emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terbesar selama dua abad terakhir.

Adapun praktik pertanian menghasilkan Metana (CH<sub>4</sub>), terutama dari pencernaan ternak (fermentasi enterik) dan pengelolaan pupuk kandang. Selain itu, Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) dilepaskan dari tanah yang dibuahi dan selama penguraian bahan organik. Pengelolaan limbah menghasilkan metana karena limbah organik terurai secara anaerob. Proses ini merupakan sumber emisi metana yang penting, berkontribusi terhadap beban gas rumah kaca secara keseluruhan di atmosfer.

Proses industri turut melepaskan berbagai jenis gas rumah kaca termasuk CO<sub>2</sub>, metana, dan nitrous oxide melalui produksi semen dan bahan lainnya dapat mengeluarkan CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang signifikan. Pembukaan hutan untuk pertanian atau pembangunan perkotaan melepaskan karbon yang tersimpan di pohon dan tanah, berkontribusi pada peningkatan kadar CO<sub>2</sub> di atmosfer. Proses ini tidak hanya menambah konsentrasi gas rumah kaca tetapi juga mengurangi kapasitas planet untuk menyerap CO<sub>2</sub>.

Selain dari aktivitas manusia, gas rumah kaca juga bersumber dari alam termasuk letusan gunung berapi, gas rawa-rawa, dan pembusukan alami vegetasi juga dapat melepaskan CO<sub>2</sub> dan metana. Namun, skala emisi alami ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan sumber yang disebabkan oleh manusia.

Crippa et al., (2024) dalam laporan EDGAR mengestimasi emisi gas rumah kaca melalui tujuh kegiatan utama yang terdiri dari, industri tenaga listrik (*r industri*), pembakaran dan proses industri (*industrial combustion and*



*processes*), bangunan (*buildings*), transportasi (*transport*), pertanian (*agriculture*), eksploitasi bahan bakar (*fuel exploitation*), limbah (*waste*).

Adapun di Indonesia menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018), terdapat Lima sektor yang digunakan dalam mengestimasi emisi tertuang dalam (*Nationally Determined Contribution*) NDC yaitu, sektor energi, sektor proses industri dan penggunaan produk/*industrial process and product uses* (IPPU), sektor pertanian, sektor kehutanan, dan sektor limbah.

### 2.1.3 Teori Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi adalah konsep yang mencerminkan peningkatan berkelanjutan dalam produksi per kapita suatu negara, yang yang mencerminkan peningkatan standar hidup dan kesejahteraan ekonomi. Menurut Todaro dan Smith (2020), pertumbuhan ekonomi merujuk pada peningkatan kapasitas suatu negara dalam memproduksi barang dan jasa sering waktu. Pertumbuhan ekonomi didefinisikan sebagai suatu proses multidimensional yang melibatkan perubahan dalam struktur sosial, sikap masyarakat, dan institusi nasional, serta peningkatan pertumbuhan ekonomi, pengurangan ketimpangan, dan pengentasan kemiskinan.

Kuznets (dalam Todaro, 2016) mengartikan pertumbuhan ekonomi sebagai kenaikan jangka panjang dalam kemampuan suatu negara untuk menyediakan semakin banyak barang-barang ekonomi kepada penduduknya. Kemampuan ini tumbuh sesuai dengan kemajuan teknologi, penyesuaian kelembagaan, dan ideologis yang diperlukannya.



Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, pertumbuhan ekonomi seimbang dengan keberlanjutan sosial dan kelestarian lingkungan. p pertumbuhan ekonomi hijau (*green growth*) dan ekonomi sirkular

(*circular economy*) muncul sebagai pendekatan alternatif yang berupaya menyelaraskan tujuan pertumbuhan ekonomi dengan keberlanjutan lingkungan. Pertumbuhan ekonomi hijau menekankan pada pentingnya investasi pada sektor-sektor yang ramah lingkungan, efisiensi sumber daya, dan inovasi teknologi yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (OECD, 2011).

Pertumbuhan ekonomi menggambarkan ekspansi PDB (Produk Domestik Bruto) atau PNB (Produk Nasional Bruto) potensial suatu negara yang mencerminkan adanya perkembangan ekonomi. Pada tingkat regional, pertumbuhan ekonomi diukur melalui Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), yang merepresentasikan nilai tambah bruto dari seluruh barang dan jasa yang dihasilkan di wilayah domestik suatu daerah dalam periode tertentu. dalam menentukan nilai PDB atau PDRB, digunakan pendekatan lapangan usaha, pendekatan pengeluaran dan pendekatan pendapatan yang dihitung atas dasar harga berlaku dan harga konstan.

Pendekatan lapangan usaha merupakan jumlah nilai tambah barang dan jasa yang diproduksi. Dalam Prasetyani dan Sumardi, (2020) dijelaskan perkembangan sektoral PDRB menurut lapangan usaha berasal dari tiga sektor utama yaitu PDRB sektor primer, sektor sekunder, dan sektor tersier. PDRB sektor primer meliputi, sektor pertanian, kehutanan dan perikanan; sektor pertambangan dan penggalan, kemudian sektor sekunder berasal dari kegiatan usaha yang terdiri dari sektor industri pengolahan; sektor listrik, gas dan air bersih; sektor konstruksi. Adapun sektor tersier terdiri dari sektor jangnan besar dan eceran, reparasi mobil dan sepeda motor; sektor ortasi dan pergudangan; sektor penyediaan akomodasi dan makan



minum; sektor informasi dan komunikasi; sektor jasa keuangan dan asuransi; real estate; jasa perusahaan; administrasi pemerintahan, pertahanan, jaminan sosial wajib; jasa pendidikan; jasa kesehatan dan kegiatan sosial; serta jasa lainnya.

Pendekatan pengeluaran menunjukkan penggunaan nilai tambah yang dihasilkan, terdiri dari pengeluaran konsumsi akhir rumah tangga; pengeluaran konsumsi akhir lembaga non-profit yang melayani rumah tangga; pengeluaran konsumsi akhir pemerintah, pembentukan modal tetap domestik bruto, perubahan inventori, dan ekspor neto. Sedangkan pendekatan pendapatan merupakan balas jasa yang diterima oleh faktor-faktor produksi yang ikut serta dalam proses produksi di suatu wilayah dalam jangka waktu tertentu (BPS, 2021).

Adapun perhitungan atas dasar harga berlaku digunakan untuk mengetahui kemampuan sumber daya ekonomi suatu daerah, sedangkan perhitungan atas dasar harga konstan digunakan untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi secara riil.

#### **2.1.4 Konsep Energi**

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja, dan merupakan elemen vital dalam menunjang aktivitas manusia dan pertumbuhan ekonomi. Sedangkan menurut UU No. 30 Tahun 2007, Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetika. Sebagai sumber daya alam, energi berperan sebagai modal pertumbuhan ekonomi dan sebagai penopang sistem pangan. Dalam konteks pembangunan modern, ketergantungan terhadap berbasis bahan bakar fosil telah menjadi karakteristik utama proses



pertumbuhan ekonomi, terutama pada negara berkembang, meskipun pada saat yang sama memunculkan tekanan terhadap kualitas lingkungan (Idris & Razak, 2025).

Konsumsi energi adalah jumlah total energi yang digunakan individu, rumah tangga, industri, atau negara pada periode waktu tertentu dalam menjalankan aktivitas sosial dan ekonomi. Menurut Simarmata et al. (2021) sumber energi digolongkan menjadi dua kelompok besar yaitu energi konvensional dan energi terbarukan. Bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam konvensional yang tidak dapat terbarukan, karena prosesnya membutuhkan waktu jutaan tahun. Semua bahan bakar fosil dihasilkan dari pemfosilan senyawa hidrokarbon yang dihasilkan oleh tanaman hidup melalui proses fotosintesa yang mengubah secara langsung energi surya menjadi energi kimia (Afriyanti et al., 2020). Contoh energi fosil antara lain batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Sedangkan energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami dan berkelanjutan seperti matahari, angin, dan air.

Penggunaan energi terbarukan dipandang sebagai bagian dari strategi *green growth* untuk mengurangi tekanan lingkungan, di mana peningkatan konsumsi energi terbarukan dinilai mampu mengelola dampak negatif aktivitas ekonomi terhadap ekosistem. selain itu, penanggulangan perubahan iklim juga semakin diperkuat melalui berbagai instrument kebijakan, seperti regulasi lingkungan dan penerapan biaya pencemaran (Sari Saudi et al., 2024). Penggunaan energi terbarukan disebut lebih ramah lingkungan karena

hasilkan emisi yang jauh lebih rendah pada tahap operasionalnya.



Menurut Dewan Energi Nasional (2016), faktor utama pendorong peningkatan kebutuhan energi yaitu pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, harga energi, dan perkembangan teknologi. Pertama, perubahan populasi sangat mempengaruhi besar dan komposisi kebutuhan energi, baik langsung maupun akibat dari dampak yang ditimbulkan terhadap perkembangan ekonomi. Kedua, pertumbuhan ekonomi akan sangat sensitif terhadap prakiraan energi, sehingga permintaan energi berkorelasi sangat kuat dengan aktivitas ekonomi. Ketiga, jenis teknologi yang dikembangkan dan digunakan akan mempengaruhi keputusan investasi, biaya pasokan yang berbeda untuk tiap jenis serta tingkat dan komposisi permintaan energi masa depan. Keempat, harga energi yang dibayarkan mempengaruhi pilihan teknologi dan peralatan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi.

### 2.1.5 Konsep Tutupan Hutan

Hutan merupakan salah satu komponen ekosistem daratan yang memiliki peran vital dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan iklim global. Menurut UU RI no. 42 Tahun 1999, Hutan adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan. Sedangkan menurut FAO (2000), hutan merupakan lahan yang memiliki luas lebih dari 0,5 hektar, dengan tutupan kanopi pohon lebih dari 10 persen dan ditumbuhi pohon setinggi 5 meter saat mencapai umur dewasa. Definisi tersebut mencakup hutan alami maupun hutan tanaman, namun tidak termasuk lahan yang digunakan untuk pertanian dan perkotaan.

Klasifikasi tutupan hutan di Indonesia dibagi menjadi dua kelas, yakni hutan alam yang meliputi hutan primer dan hutan sekunder, serta kelas



hutan tanaman. Hutan primer adalah hutan alami yang belum mengalami gangguan oleh manusia dan masih mempertahankan struktur dan komposisi spesies aslinya. Sedangkan hutan sekunder adalah hutan yang telah tumbuh kembali secara alami setelah mengalami kerusakan akibat aktivitas atau bencana alam.

Hutan memiliki fungsi menjaga kelestarian tanah dan air, melindungi keanekaragaman hayati, serta menjaga kestabilan atmosfer. Sebagai salah satu ekosistem paling kompleks di bumi, hutan berperan sebagai penyangga ekologis yang mengatur siklus hidrologi, mencegah erosi tanah, dan menyediakan habitat bagi spesies hewan dan tumbuhan. Hutan berfungsi sebagai penyerap karbon dan penghasil oksigen melalui proses fotosintesis, sehingga hutan menjadi kunci dalam mitigasi perubahan iklim dan regulasi iklim global. Keberlangsungan ekosistem hutan dan seluruh fungsi ekologis yang menyertainya dipengaruhi oleh sejauh mana hutan dijaga dan dilindungi dari ancaman, seperti deforestasi.

Deforestasi adalah konversi lahan hutan untuk penggunaan lahan lain atau pengurangan luas tutupan hutan dibawah ukuran 10 persen (FAO, 2018). Secara umum, deforestasi didorong oleh ekspansi pertanian, urbanisasi, eksploitasi kayu, dan pembangunan infrastruktur. Menurut *World Wildlife Fund*, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kehilangan tutupan hutan. Pertama, konversi hutan menjadi lahan pertanian dilakukan untuk memenuhi permintaan pangan dan produk konsumen lainnya yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk. Lahan dan tenaga kerja lokal yang murah, serta

li pemerintah mendorong perkebunan yang tidak berkelanjutan, sehingga gkatkan laju konversi hutan. Kedua, penebangan liar didorong oleh



peningkatan terhadap permintaan kayu dan produk turunannya. Penebangan yang dilakukan secara ilegal dapat merusak harga pasar karena kayu yang ditebang tidak dikenakan bea dan pajak. Ketiga, perencanaan dan tata kelola yang baik sangat penting dilakukan untuk mencegah kerusakan dan degradasi lingkungan. Dalam hal ini, diperlukan pengelolaan yang efektif, transparan, adil, dan inklusif.

## 2.2 Hubungan Antar Variabel

### 2.2.1 Hubungan PDB per Kapita dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Pertumbuhan ekonomi yang cepat berperan dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui peningkatan pendapatan, akses terhadap layanan public, dan pembangunan infrastruktur. Namun, peningkatan aktivitas ekonomi di berbagai sektor mendorong pelepasan emisi gas rumah kaca yang akan berdampak pada pemanasan global. Menurut Suparmoko (2014), semakin cepat pertumbuhan ekonomi, maka semakin banyak barang sumber daya yang dibutuhkan dalam proses produksi, yang pada gilirannya akan mengurangi ketersediaan sumber daya alam yang ada di bumi.

Hubungan pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan yang dikenal sebagai *Environmental Kuznets Curve* menjelaskan karakteristik emisi pada setiap tahapan pertumbuhan. Pada tingkat pembangunan yang rendah, negara cenderung mengutamakan pertumbuhan dengan mengeksploitasi sumber daya alam secara intensif tanpa mempertimbangkan dampak lingkungan, sehingga emisi meningkat tajam seiring peningkatan aktivitas industri dan konsumsi berbasis fosil.

Seiring peningkatan pendapatan per kapita dan kesadaran lingkungan, masyarakat mulai menuntut kualitas lingkungan yang lebih baik. Hal tersebut



mendorong pemerintah untuk menerapkan regulasi lingkungan yang lebih ketat dan investasi dalam teknologi bersih. Kemampuan finansial yang lebih baik memungkinkan investasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi hijau, efisiensi energi, dan energi terbarukan. Selain itu, pada tahap ini, pola konsumsi masyarakat yang lebih sadar lingkungan juga berkontribusi terhadap penurunan intensitas emisi per unit output ekonomi, sehingga pada akhirnya emisi gas rumah kaca dapat turun meskipun pertumbuhan ekonomi terus berlanjut.

## 2.2.2 Hubungan Konsumsi Energi Terbarukan dengan Emisi Gas

### Rumah Kaca

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber alam yang dapat diperbarui secara alami dan terus menerus, serta tidak akan habis meskipun digunakan secara berkelanjutan. Penggunaan energi terbarukan berpengaruh langsung terhadap emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global (Tsandra et al., 2023). Pada negara-negara maju, peningkatan proporsi energi terbarukan dalam campuran energi nasional telah dikaitkan dengan penurunan emisi karbon per kapita (Muazu et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa transisi dari bahan bakar fosil ke sumber energi bersih dapat membantu mencapai target keberlanjutan lingkungan. Potensi yang sama ditunjukkan pada negara-negara berkembang. Meskipun masih bergantung pada energi fosil, terdapat tren positif dalam adopsi energi terbarukan yang dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap pengurangan emisi melalui investasi hijau dan kebijakan mendukung (Tenaw & e, 2021).



### 2.2.3 Hubungan Konsumsi Energi Bahan Bakar Fosil dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Energi bahan bakar fosil merupakan sumber energi primer yang telah menjadi tulang punggung perekonomian global selama ini. Secara umum, energi yang terdiri dari minyak bumi, gas alam, dan batu bara ini memiliki peran vital dalam berbagai sektor kehidupan manusia, mulai dari pembangkit listrik untuk kebutuhan domestik dan industri, sebagai bahan bakar transportasi, hingga sebagai bahan baku industri petrokimia untuk menghasilkan berbagai produk turunannya. Di Indonesia, bahkan di beberapa negara lain, energi bahan bakar fosil masih menjadi pilihan utama untuk memenuhi kebutuhan energi seiring pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi. Namun, pada proses penggunaan energi fosil, berbagai jenis gas seperti karbon dioksida, metana, dan dinitrogen oksida dilepaskan ke atmosfer. Akumulasi gas-gas tersebut meningkatkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim.

Sebuah penelitian yang dilakukan (Raihan et al., 2024) menunjukkan bahwa seiring pertumbuhan ekonomi, dan ketergantungan pada bahan bakar fosil, emisi gas rumah kaca juga meningkat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Rahmayani, 2021) bahwa terdapat hubungan kausal antara pariwisata, konsumsi energi fosil, pertumbuhan ekonomi dan emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan pertumbuhan ekonomi dikaitkan dengan konsumsi energi bahan bakar fosil yang lebih tinggi, yang pada gilirannya meningkatkan pariwisata. Menurut (H. Mahmood et al., 2021)

perubahan ekonomi dan konsumsi terhadap energi primer, minyak dan batu bara memiliki hubungan N-shape. Artinya, pada tahap awal pertumbuhan



ekonomi, konsumsi energi meningkat, tetapi setelah mencapai titik tertentu, peningkatan pertumbuhan ekonomi dapat mengurangi konsumsi terhadap energi yang tidak terbarukan.

#### 2.2.4 Hubungan Tutupan Hutan dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Hutan berperan sebagai penyerap karbon alami (*carbon sink*) yang menyerap karbon dioksida dari atmosfer melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa pohon, akar, tanah, dan bahan organik lainnya. Mekanisme penyerapan karbon menjadikan hutan sebagai komponen penting dalam pengendalian emisi, terutama di kawasan tropis yang mampu menyerap sekitar 5-15 ton CO<sub>2</sub> per hektar per tahun, tergantung pada kondisi vegetasi dan lingkungan. Selain sebagai penyerap karbon aktif, hutan juga berfungsi sebagai penyimpan karbon jangka panjang. Pohon-pohon dewasa dapat menyimpan ratusan ton karbon per hektar dalam biomasnya yang terakumulasi selama ribuan tahun (IPCC, 2022b). Dengan demikian, mempertahankan atau memperluas tutupan hutan berarti mempertahankan stock karbon yang tidak masuk ke atmosfer sebagai emisi.

Ketika tutupan hutan mengalami penurunan akibat deforestasi atau degradasi lahan, kapasitas penyerapan karbon dioksida dari atmosfer berkurang, sehingga gas rumah kaca yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia tidak dapat diserap secara optimal. Selain itu, proses penebangan dan pembakaran hutan melepaskan karbon yang telah tersimpan dalam biomassa dan tanah kembali ke atmosfer dalam bentuk karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya.

Penelitian yang dilakukan Ketaren (2023) menemukan bahwa ekosistem *trove* berperan penting dalam mitigasi emisi gas rumah kaca dengan



menyerap karbon dioksida dan menyimpannya dalam biomasnya. Peningkatan area hutan dikaitkan dengan peningkatan faktor kapasitas beban (*load capacity factor*), yang mencerminkan kemampuan ekosistem untuk mendukung gaya hidup manusia secara berkelanjutan (Raihan et al., 2024). Sebaliknya, menurut Maryani (2020), kebakaran hutan dan tingkat deforestasi berkaitan erat dengan peningkatan emisi gas rumah kaca. Dan endapan gambut merupakan faktor yang berkontribusi terhadap tingginya tingkat kebakaran hutan tersebut. Hal ini menunjukkan kondisi tutupan hutan memiliki dampak yang berlawanan terhadap emisi, dimana pelestarian hutan mengurangi emisi sementara kerusakan hutan meningkatkan emisi gas rumah kaca.

### 2.3 Penelitian Terdahulu

Raihan et al. (2024) melakukan penelitian untuk menganalisis dampak lingkungan dari pertumbuhan ekonomi, bahan bakar fosil, energi terbarukan, globalisasi, inovasi teknologi dan tutupan pohon di Polandia. Penelitian tersebut menggunakan data *time series* dengan metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dan *Dynamic Ordinary Least Square* (DOLS). Adapun hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dan penggunaan energi bahan bakar fosil meningkatkan emisi GRK meskipun mengurangi faktor kapasitas beban di Polandia, sedangkan energi terbarukan, globalisasi, inovasi teknologi, dan tutupan hutan dapat membantu mengurangi emisi GRK dan meningkatkan faktor kapasitas beban di Polandia.



Jalil & Mahmud (2009) dalam penelitiannya mengkaji hubungan antara pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, dan emisi CO<sub>2</sub> di China dalam rangka EKC, serta memasukkan pengaruh perdagangan luar negeri untuk

mengurangi bias. Metode yang digunakan adalah *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) untuk menguji kointegrasi jangka panjang antara variabel-variabel tersebut. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan jangka panjang yang signifikan antara konsumsi energi per kapita dan emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Terdapat juga hubungan kausal satu arah dari pertumbuhan ekonomi menuju emisi CO<sub>2</sub>. Namun, bukti untuk kurva EKC tidak terlalu kuat secara grafis, meskipun hasil empiris mendukung keberadaan EKC di China. Pengaruh perdagangan luar negeri terhadap emisi CO<sub>2</sub> ditemukan negatif namun tidak signifikan.

Aziz et al. (2020) melakukan penelitian untuk mengeksplorasi hubungan antara pertumbuhan ekonomi, luas hutan, produksi pertanian, konsumsi energi dan degradasi lingkungan di Pakistan menggunakan kerangka hipotesis Environmental Kuznets Curve. Data yang digunakan adalah data *time series* dengan pendekatan *Quantile Autoregressive Distributed Lag* (QADRL) dan uji Wald untuk mengeksplorasi kestabilan dan hubungan non-linear antara variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas hutan berkontribusi pada pengurangan jejak ekologi, sedangkan sektor pertanian meningkatkan emisi. Adapun konsumsi energi terbarukan juga mampu mengurangi jejak ekologi, meskipun pengaruhnya beragam tergantung pada kuantil. Penelitian juga menemukan hipotesis EKC terbukti valid di Pakistan.

Begum et al. (2020) melakukan penelitian untuk mengukur dan menganalisis dampak dinamis dari pertumbuhan ekonomi dan luas hutan terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Malaysia. Penelitian tersebut menggunakan metode DOLS untuk menguji data deret waktu (*time series*). Penelitian menemukan

aruh positif signifikan dari pertumbuhan ekonomi dan deforestasi terhadap CO<sub>2</sub>. Pertumbuhan ekonomi dan penurunan luas hutan berkontribusi



pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, sehingga perlindungan hutan sangat penting adanya.

Rahman et al. (2022) Melakukan penelitian untuk menyelidiki dampak lingkungan dari konsumsi energi fosil, energi terbarukan, dan energi nuklir, serta pengaruh sektor pariwisata terhadap emisi CO<sub>2</sub> di sepuluh negara tujuan wisata teratas dari tahun 1972 hingga 2021. Penelitian ini juga dilakukan untuk menguji hipotesis EKC dalam konteks aktivitas pariwisata dan pertumbuhan ekonomi. Penelitian tersebut menggunakan model *Cross-Sectional Autoregressive Distributed Lag* (CS-ARDL). Hasil mendukung hipotesis EKC dalam jangka panjang. Penggunaan energi terbarukan dan energi nuklir berkontribusi pada penurunan emisi CO<sub>2</sub>, sementara konsumsi bahan bakar fosil berdampak positif terhadap peningkatan emisi. Aktivitas pariwisata memiliki dampak positif terhadap kualitas lingkungan, yang menunjukkan bahwa pariwisata yang berkelanjutan dapat berkontribusi pada kualitas lingkungan yang lebih baik.

Nadeak & Nasrudin (2023) melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh PDB per kapita dan konsumsi energi terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia sekaligus menguji hipotesis *Environmental Kuznets Curve*. Penelitian ini menggunakan data *time series* dengan metode *Error Correction Mechanism* (ECM) dan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Adapun hasil penelitian menunjukkan PDB perkapita memiliki efek positif pada emisi GRK sedangkan konsumsi energi terbarukan memiliki dampak negatif terhadap total emisi GRK. Sebaliknya, konsumsi energi tak terbarukan berdampak negatif terhadap total emisi GRK tetapi positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> secara khusus.



## 2.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia. Peningkatan emisi gas rumah kaca merupakan isu lingkungan yang sedang dihadapi berbagai negara di dunia, termasuk Indonesia. Salah satu faktor yang mempengaruhi fenomena tersebut adalah pertumbuhan ekonomi yang tercermin melalui PDB per kapita. Meningkatnya aktivitas ekonomi pada berbagai sektor mendorong pelepasan emisi gas rumah kaca ke atmosfer, yang kemudian akan berdampak pada pemanasan global. Hal ini terjadi karena setiap kegiatan yang menunjang pertumbuhan ekonomi menghasilkan emisi yang berlebihan.

Produk domestik bruto per kapita menggambarkan tingkat kesejahteraan ekonomi masyarakat pada suatu negara. Peningkatan PDB per kapita umumnya diikuti oleh peningkatan konsumsi energi dan aktivitas produksi yang berpotensi meningkatkan emisi GRK. Peningkatan emisi terjadi karena pada tahap awal, pembangunan masih berfokus pada pertumbuhan ekonomi tanpa memperhatikan aspek lingkungan. Namun, pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi, peningkatan PDB per kapita akan mengurangi emisi karena adanya kesadaran lingkungan dan teknologi yang lebih bersih. Hubungan ini kemudian bersifat non-linear sebagaimana yang digambarkan pada hipotesis *Environmental Kuznets Curve*.

Peningkatan konsumsi energi sering kali mencerminkan peningkatan aktivitas ekonomi di berbagai sektor. Penggunaan energi bahan bakar fosil negara-negara berkembang mampu mendorong pertumbuhan ekonomi yang sifatnya yang efisien dalam mendukung kegiatan produktif. Sebagian



besar sektor ekonomi seperti, sektor industri, manufaktur, dan transportasi masih bergantung pada bahan bakar fosil untuk menjaga efisiensi operasional dan daya saing. Selain itu, pembangunan infrastruktur dan urbanisasi yang pesat sering kali ditandai dengan lonjakan permintaan terhadap energi bahan bakar fosil untuk mendukung konstruksi, pembangkit listrik dan sistem transportasi. Meskipun energi bahan bakar fosil berkontribusi positif terhadap output ekonomi, hal ini juga menimbulkan eksternalitas negatif berupa emisi yang dapat merusak lingkungan dan menyebabkan pemanasan global.

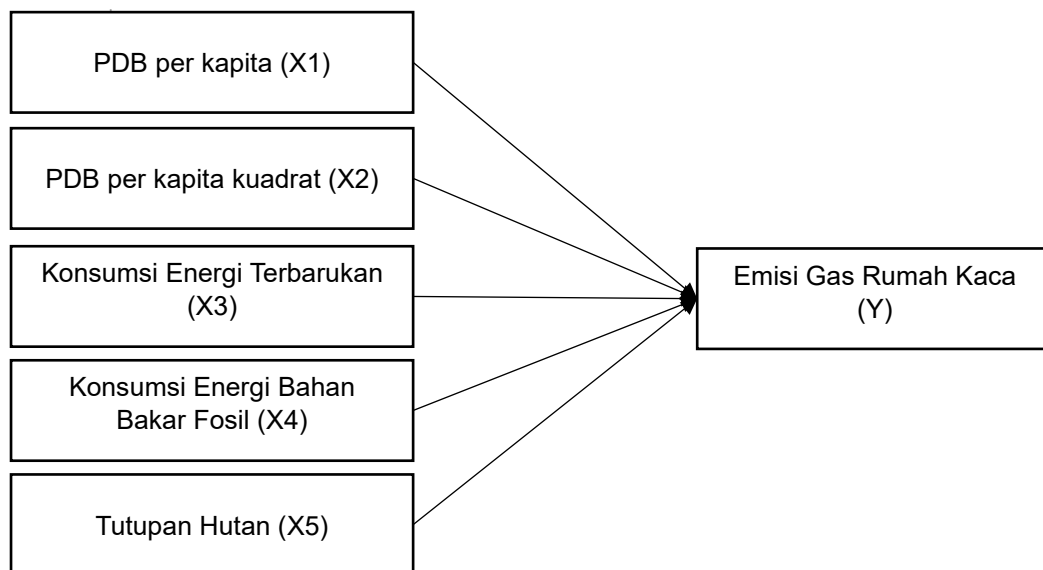
Energi merupakan input penting dalam proses produksi, sehingga perubahan energi berdampak langsung terhadap biaya produksi, efisiensi, dan struktur industri. Transisi energi dari fosil ke energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca. Penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa modern menghasilkan emisi jauh lebih rendah atau bahkan mendekati nol dalam siklus penggunaannya. Transisi ini tidak hanya mengurangi jejak karbon, tetapi juga mendorong inovasi teknologi dan efisiensi energi yang dapat menurunkan intensitas emisi per unit output ekonomi. Sehingga, peningkatan konsumsi energi terbarukan diharapkan mampu mengurangi ketergantungan pada energi bahan bakar fosil dan berkontribusi pada penurunan emisi gas rumah kaca.

Hutan berperan sebagai *carbon sink* yang dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer. Melalui proses fotosintesis, tumbuhan menyerap karbon dioksida dari atmosfer dan mengubahnya menjadi oksigen dan senyawa k yang disimpan dalam biomassa tumbuhan dan tanah. Semakin luas n hutan, semakin besar jumlah karbon yang dapat diserap dan disimpan



dalam ekosistem hutan. Sebaliknya, penebangan hutan secara liar, alih fungsi lahan dan berbagai aktivitas degradasi hutan lainnya menyebabkan berkurangnya tutupan vegetasi hutan dan mengganggu proses fotosintesis.

Adapun kerangka konseptual penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2. 1 Bagan Kerangka Pikir Penelitian**

## 2.5 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir penelitian pada **Gambar 2.1** maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Diduga PDB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
2. Diduga PDB kuadrat berpengaruh negatif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia
3. Diduga konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
4. Diduga konsumsi energi fosil berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.



5. Diduga tutupan hutan berpengaruh negatif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.

