

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim telah menjadi salah satu isu terbesar dalam agenda pembangunan berkelanjutan saat ini (Setiawan et al., 2021). Perubahan iklim merupakan hal yang tidak dapat dihindari akibat pemanasan global dan diyakini akan berdampak luas terhadap berbagai aspek kehidupan. Beberapa bencana yang disebabkan oleh kenaikan suhu bumi seperti kekeringan, ketidakstabilan curah hujan, peningkatan temperatur dan kelembapan akan mengakibatkan kerusakan dan kegagalan pada setiap sektor produksi (Rozci, 2023). Kerusakan ekonomi akibat perubahan iklim telah terdeteksi pada sektor-sektor yang terpapar iklim seperti pertanian, kehutanan, perikanan, energi dan pariwisata (Lee et al., 2023).

Laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2023)* mengungkapkan bahwa suhu rata-rata global pada tahun 2011-2020 meningkat sekitar 1,1°C dibandingkan dengan masa pra-industri yaitu pada tahun 1850-1900. Angka ini terlihat kecil, namun memiliki konsekuensi besar terhadap kestabilan sistem iklim bumi. Kenaikan suhu tersebut disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Gas-gas ini dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia, seperti penggunaan energi yang tidak berkelanjutan, penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan, gaya hidup, serta pola konsumsi dan produksi di berbagai wilayah, negara, dan kelompok masyarakat (Lee et al., 2023).

Perubahan iklim memberikan dampak yang luas dan saling berkaitan. Banyak spesies flora dan fauna yang mengalami perubahan distribusi, perilaku, dan waktu reproduksi, yang berpotensi mengganggu interaksi ekosistem dan merusak keseimbangan ekologis (Karmana, 2024). Selain itu, penurunan produksi pangan akibat perubahan iklim dapat memicu krisis pangan dan meningkatkan harga pangan secara global, terutama di wilayah-wilayah yang bergantung pada produksi pertanian lokal (Anjani et al., 2024). Kemudian, Lyetunde et al., (2025) menemukan bahwa perubahan iklim saat ini telah berkontribusi terhadap sekitar 13 juta kematian setiap tahun di seluruh dunia. Gelombang panas, banjir, dan kebakaran hutan meningkatkan angka kesakitan dan kematian, sementara iklim yang lebih hangat memperluas penyebaran geografis malaria, demam berdarah, dan penyakit yang ditularkan melalui vektor lainnya (Lyetunde et al., 2025).

Berdasarkan laporan *Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (2024)* emisi gas rumah kaca di kawasan Asia-Pasifik menunjukkan peningkatan yang signifikan selama beberapa dekade terakhir, yang didorong oleh pesatnya proses industrialisasi dan urbanisasi, ekspansi ekonomi, serta tingginya ketergantungan pada bahan bakar fosil. Asia menjadi salah satu kontributor terbesar terhadap emisi gas rumah kaca global dengan kontribusi sekitar 60 persen dari total emisi gas rumah kaca global, dengan 97 persen emisi regional berasal dari 17 negara termasuk Indonesia. Pertumbuhan populasi yang tinggi menuntut peningkatan produksi pangan dan energi yang pada akhirnya memperbesar tekanan terhadap lingkungan dan meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer.

Struktur ekonomi di banyak negara Asia masih bergantung pada sektor berbasis sumber daya alam yang membuat kawasan ini rentan terhadap masalah lingkungan (Imran et al., 2025). Aktivitas pertanian di Asia memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, dengan estimasi yang kontribusinya bisa melebihi 25-30 persen, bahkan bisa mencapai 43-44 persen tergantung negara serta jenis sumber emisi yang diperhitungkan (H. Liu & Liu, 2025). Selain itu, perubahan penggunaan lahan yang berdampak pada hutan rawa gambut dan mangrove di Asia Tenggara menghasilkan sekitar 48 persen dari emisi perubahan penggunaan lahan di kawasan tersebut (Sasmito et al., 2025).

Indonesia sebagai negara berkembang sekaligus negara kepulauan terbesar di dunia menghadapi permasalahan emisi gas rumah kaca yang kompleks. Indonesia berada pada peringkat keenam sebagai negara penghasil karbon tersebar di dunia pada tahun 2022 (Putri et al., 2024) dengan sumber utama berasal dari sektor energi, kehutanan dan penggunaan lahan, pertanian, proses industri serta limbah (KLHK, 2024). Sebagai negara kepulauan yang sangat bergantung pada sektor sumber daya alam, Indonesia termasuk kelompok negara yang rentan terhadap dampak perubahan iklim yang diakibatkan oleh emisi gas rumah kaca.

Peningkatan emisi gas rumah kaca berkontribusi terhadap terjadinya perubahan pola curah hujan, kenaikan suhu permukaan, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Dampak tersebut tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga berdampak terhadap berbagai indikator sosial ekonomi dan kelompok yang paling rentan menanggung beban perubahan iklim secara tidak proporsional (Adom, 2024). Artinya, dampak perubahan iklim tidak

dirasakan secara merata oleh semua kelompok masyarakat. Kelompok tertentu menanggung beban yang jauh lebih besar dibandingkan kelompok lain, meskipun mereka paling sedikit berkontribusi terhadap penyebab perubahan iklim.

Penelitian Samir et al. (2026) menemukan bahwa tekanan iklim telah menurunkan efisiensi produksi pertanian secara agregat dalam jangka pendek. Hal tersebut menunjukkan perubahan iklim kronis dapat menimbulkan potensi biaya ekonomi yang tinggi jika tidak ada tindakan yang diambil terhadap perubahan iklim (Fernando et al., 2021). Karena itu, hampir seluruh negara di dunia, termasuk Indonesia, telah berkomitmen untuk mengambil langkah nyata dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Komitmen ini diwujudkan melalui partisipasi aktif dalam berbagai perjanjian internasional, seperti *Kyoto Protocol (1997)* yang menjadi langkah awal dalam menetapkan target pengurangan emisi secara global, yang kemudian berhasil menurunkan emisi negara-negara yang meratifikasinya sekitar 7 dibandingkan tingkat emisi yang diperkirakan terjadi pada skenario “No-Kyoto” (Maamoun, 2019). Upaya tersebut kemudian diperkuat melalui *Paris Agreement (2015)* dengan mendorong negara-negara untuk menahan kenaikan suhu global di bawah 2°C, dan sebisa mungkin hingga 1,5°C.

Selain itu, perhatian dunia terhadap isu ini juga tercermin dalam agenda pembangunan berkelanjutan global, yaitu *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Pada tujuan ke-13, yaitu “*Climate Action*”, negara-negara di seluruh dunia bersepakat untuk memerangi perubahan iklim dan dampaknya. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan iklim merupakan tantangan global yang

membutuhkan perhatian segera dan upaya bersama dari pemerintah, dunia usaha, komunitas, dan individu di seluruh dunia (Filho et al., 2023).

Namun, meskipun kesadaran global terhadap pentingnya pengendalian perubahan iklim semakin meningkat, upaya untuk menurunkan emisi gas rumah kaca bukanlah hal yang mudah untuk diwujudkan. Pemerintah Indonesia menghadapi kesulitan dalam mengadopsi strategi untuk menangani isu perubahan iklim (Setiawan et al., 2021). Tantangan yang dihadapi bersifat kompleks karena menyangkut dilema antara kebutuhan untuk menjaga laju pertumbuhan ekonomi dan kewajiban untuk melindungi lingkungan hidup dari degradasi yang semakin parah.

Pertumbuhan ekonomi di negara berkembang pada umumnya masih sangat bergantung pada sektor-sektor yang bersifat padat energi, seperti industri manufaktur, transportasi, pertambangan, dan energi konvensional. Sektor-sektor ini berperan penting sebagai mesin pendorong pembangunan melalui penciptaan lapangan kerja, peningkatan pendapatan, serta ekspansi infrastruktur dan kegiatan perdagangan. Namun demikian, aktivitas tersebut juga menjadi kontributor emisi gas rumah kaca, mengandalkan bahan bakar fosil seperti batubara, minyak bumi dan gas alam.

Sebagian besar kebutuhan energi Indonesia masih bergantung pada bahan bakar fosil (Hulu et al., 2024). Firmansyah et al., (2022) menemukan bahwa energi terbarukan memiliki pengaruh negatif terhadap PDB di beberapa negara Asia Tenggara termasuk Indonesia, yang artinya pertumbuhan ekonomi lebih dominan didukung oleh konsumsi energi secara total yang didominasi dengan energi tidak terbarukan. Hal tersebut membuat Indonesia menghadapi tantangan berat dalam mencari jalan tengah antara

kebutuhan untuk terus mendorong pembangunan ekonomi dan industrialisasi dengan komitmen global untuk mengurangi emisi karbon. Pemerintah dituntut untuk tetap menyediakan energi yang terjangkau dan stabil bagi masyarakat serta pelaku usaha, sambil berusaha mempercepat transisi menuju energi bersih dan efisien. Hal ini menjadi semakin rumit karena bahan bakar fosil memainkan peran penting dalam perekonomian nasional (Rahman et al., 2025).

Dalam konteks tersebut, upaya menekan emisi sering kali dihadapkan pada risiko perlambatan ekonomi, terutama jika kebijakan pengurangan emisi diterapkan tanpa disertai dukungan teknologi yang memadai, akses pendanaan yang cukup, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia yang relevan, sehingga potensi inovasi dan efisiensi tidak dapat dioptimalkan. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang cermat dan terintegrasi, termasuk perencanaan kebijakan berbasis bukti, investasi pada teknologi bersih, serta program pelatihan dan insentif ekonomi, agar proses transisi menuju ekonomi rendah karbon dapat berjalan lancar tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi, menjaga stabilitas sosial, dan tetap mendorong kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

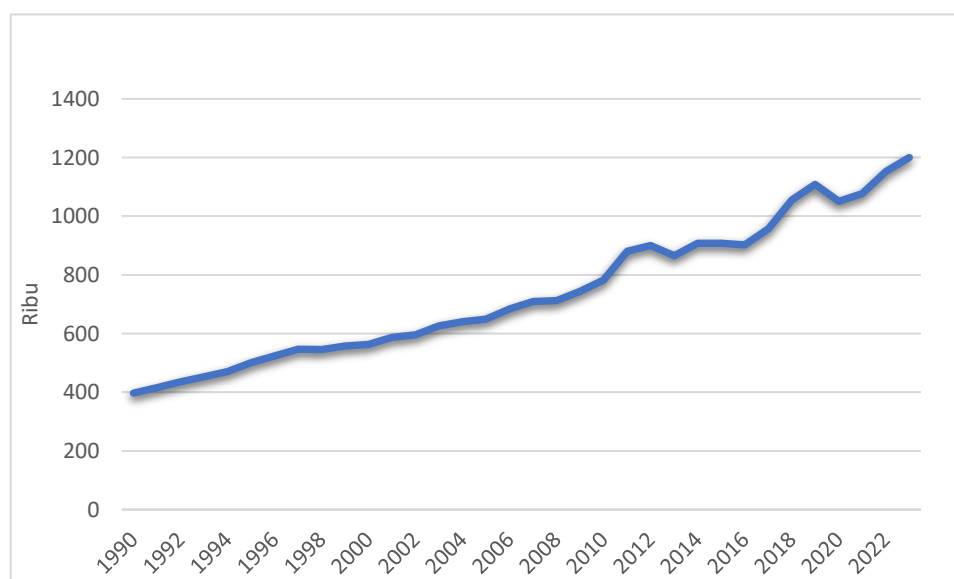
Pemerintah Indonesia menyadari hal tersebut dan berkomitmen untuk menurunkan emisi hingga 31,89 persen dengan usaha sendiri dan 43,2 persen dengan bantuan internasional pada tahun 2030, sebagaimana yang tercantum dalam *Enhanced Nationally Determined Contribution (ENDC RI, 2022)*. Upaya tersebut didukung oleh berbagai kebijakan seperti *Rencana Umum Energi Nasional (REUN)*, *Indonesia's Blue Economy Roadmap 2021-2045*, serta kebijakan transisi energi menuju sumber yang lebih ramah

lingkungan. Penelitian oleh Saudi et al. (2024), menunjukkan bahwa adopsi energi terbarukan dan teknologi penyimpanan energi memiliki hubungan negatif yang signifikan terhadap emisi CO₂ di Indonesia, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Artinya, peningkatan pemanfaatan energi terbarukan secara konsisten mampu menekan tingkat emisi karbon, sehingga mendukung pencapaian target penurunan emisi nasional.

Namun demikian, berdasarkan data *World Development Indicators* (World Bank, 2024) konsumsi energi terbarukan di Indonesia pada tahun 1990 adalah 59,2 persen dari total konsumsi energi, namun menurun hingga 20,2 persen pada tahun 2021. Hal ini menunjukkan ketergantungan ekonomi terhadap energi fosil masih tinggi.

Selama tiga dekade terakhir, pertumbuhan ekonomi Indonesia yang ditandai oleh industrialisasi, urbanisasi, dan peningkatan konsumsi energi telah mendorong kesejahteraan, namun sekaligus meningkatkan emisi gas rumah kaca.

Gambar 1.1 Perkembangan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia Tahun 1990-2022



Sumber: World Bank, 2024

Berdasarkan data *World Development Indicators* (World Bank, 2024) pada grafik di atas, terlihat bahwa total emisi gas rumah kaca di Indonesia mengalami peningkatan yang sangat signifikan selama lebih dari tiga dekade terakhir. Pada tahun 1990, total emisi tercatat sekitar 397 juta ton CO₂ ekuivalen (Mt CO₂e). Angka ini terus meningkat secara konsisten setiap tahun dan mencapai lebih dari 1.100 juta ton CO₂e pada tahun 2022. Dengan demikian, selama periode 1990–2022, total emisi gas rumah kaca Indonesia meningkat lebih dari tiga kali lipat, menandakan adanya pertumbuhan pesat aktivitas ekonomi nasional yang diiringi dengan peningkatan konsumsi energi dan intensitas produksi di berbagai sektor.

Lonjakan emisi ini mencerminkan pola pembangunan yang masih bergantung pada sumber daya fosil dan proses produksi intensif energi, serta menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi nasional selama periode tersebut belum sepenuhnya sejalan dengan praktik pembangunan yang berkelanjutan. Selain itu, ekspansi wilayah perkotaan yang cepat, peningkatan signifikan jumlah kendaraan bermotor, modernisasi fasilitas industri, dan konsumsi energi yang terus meningkat turut mempercepat laju peningkatan emisi, menciptakan tekanan tambahan terhadap ekosistem, memperburuk kualitas udara, dan memicu tantangan serius terkait mitigasi perubahan iklim yang menuntut strategi kebijakan yang lebih terintegrasi dan efektif.

Fenomena peningkatan emisi gas rumah kaca seiring pertumbuhan aktivitas ekonomi dijelaskan oleh Grossman & Krueger (1991) melalui teori Environmental Kuznets Curve (EKC). Teori ini menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, pertumbuhan produksi dan intensifikasi kegiatan ekonomi cenderung meningkatkan tekanan terhadap lingkungan,

yang tercermin dari kenaikan emisi gas rumah kaca. Namun, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, peningkatan kesejahteraan masyarakat dapat mendorong perbaikan kualitas lingkungan secara lebih signifikan. Hal ini terjadi melalui beberapa mekanisme, antara lain perubahan struktur ekonomi menuju sektor yang lebih ramah lingkungan, adopsi teknologi produksi yang lebih bersih dan efisien, serta penguatan regulasi dan kebijakan lingkungan yang lebih ketat. Kombinasi faktor-faktor ini memungkinkan aktivitas ekonomi tetap berjalan sambil mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Akibatnya, emisi gas rumah kaca cenderung menurun, mencerminkan hubungan terbalik antara pertumbuhan pendapatan dan tekanan lingkungan pada tahap pendapatan tinggi.

Pada sektor perikanan, aktivitas perikanan tangkap (*capture fisheries*) sangat bergantung pada bahan bakar fosil, terutama solar, untuk menggerakkan kapal penangkap ikan, sekitar 75 persen-90 persen dari total input energi berasal dari konsumsi bahan bakar secara langsung (Suryanto et al., 2025), yang secara keseluruhan berkontribusi terhadap emisi GHG. Sementara itu, perkembangan perikanan budidaya sebagai upaya pemenuhan kebutuhan pangan dan peningkatan nilai tambah juga berpotensi meningkatkan emisi melalui input nitrogen seperti pakan dan kotoran ikan (Deng et al., 2024). Pemberian pakan yang berlebihan dan kurang terkontrol dapat meningkatkan akumulasi nutrisi di dalam kolam atau tambak, yang kemudian menghasilkan gas rumah kaca, terutama metana (CH_4) dan nitrous oxide (N_2O), melalui proses dekomposisi organik. Selain itu, penggunaan energi dalam proses budidaya, seperti pompa air, aerator, dan transportasi pakan, turut menambah jejak karbon sektor ini.

Di sisi lain, sektor pertanian menyumbang emisi melalui penggunaan energi dan pengelolaan tanah yang menghasilkan pengelolaan tanah yang menghasilkan CO₂, kegiatan pengolahan limbah organik yang menghasilkan CH₄, dan kegiatan pemupukan di pertanian dapat menghasilkan N₂O (Sinatrya et al., 2024). Aktivitas pertanian intensif, termasuk pembajakan lahan secara terus-menerus, penerapan irigasi mekanis yang membutuhkan energi besar, serta penggunaan traktor dan mesin pertanian berbahan bakar fosil, secara signifikan meningkatkan konsumsi energi, mempercepat emisi karbon dioksida, dan berkontribusi terhadap perubahan iklim sekaligus menimbulkan tekanan tambahan pada sumber daya alam yang terbatas.

Selain itu, praktik pengolahan tanah yang tidak ramah lingkungan, seperti pembakaran sisa tanaman, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan, atau pengelolaan limbah pertanian yang kurang efisien, dapat memicu pelepasan gas rumah kaca tambahan seperti metana (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O), yang masing-masing memiliki potensi pemanasan global jauh lebih tinggi dibandingkan CO₂, sehingga meningkatkan risiko perubahan iklim, merusak kesuburan tanah, dan menimbulkan dampak jangka panjang terhadap keseimbangan ekosistem serta keberlanjutan produksi pertanian.

Kemudian, sektor peternakan menciptakan kondisi anaerobik yang mendorong terbentuknya gas rumah kaca, baik melalui proses fermentasi enterik maupun dari pengelolaan limbah ternak (Hidayati et al., 2021). Fermentasi enterik pada hewan ruminansia, seperti sapi dan kambing, menghasilkan metana sebagai produk sampingan pencernaan, sementara limbah ternak yang disimpan dalam kondisi tertutup atau kolam anaerobik

mempercepat akumulasi CH₄ dan N₂O. Intensifikasi produksi ternak tanpa pengelolaan limbah yang tepat dapat meningkatkan tekanan lingkungan secara signifikan, karena limbah ternak yang tidak ditangani dengan baik menghasilkan emisi metana dan amonia, mencemari air dan tanah, mengganggu kualitas udara, serta berkontribusi pada perubahan iklim dan degradasi ekosistem lokal.

Namun demikian, luas hutan memiliki peran strategis sebagai penyerap karbon alami yang mampu menekan laju peningkatan emisi gas rumah kaca (Fuller et al., 2025) akibat aktivitas manusia, sekaligus menyediakan ekosistem yang mendukung keanekaragaman hayati dan menjaga keseimbangan siklus air. Oleh karena itu, deforestasi atau penurunan luas hutan secara signifikan akan mempercepat akumulasi gas rumah kaca di atmosfer dan memperburuk dampak perubahan iklim.

Selain itu, seiring meningkatnya tingkat pendapatan masyarakat dan kesadaran lingkungan, aktivitas produksi di sektor perikanan dan pertanian berpotensi mengalami pergeseran menuju teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Misalnya, penggunaan praktik pertanian presisi, perikanan berkelanjutan, dan teknologi hemat energi dapat mengurangi emisi per unit produksi sekaligus meningkatkan produktivitas. Pergeseran ini tidak hanya bermanfaat bagi pengurangan emisi, tetapi juga mendukung pembangunan ekonomi yang lebih hijau dan berkelanjutan, sekaligus memperkuat ketahanan sektor pangan dan sumber daya alam terhadap tekanan lingkungan.

Penelitian terdahulu mengenai determinan emisi gas rumah kaca menunjukkan temuan yang cukup konsisten, meskipun besarnya

bervariasi. Suryanto et al. (2025), menemukan bahwa peningkatan jumlah kapal penangkap ikan di Indonesia, terutama kapal berukuran ≤ 30 GT yang tumbuh lebih dari 18.000 unit per tahun, meningkatkan konsumsi bahan bakar fosil dan menyebabkan emisi GRK yang signifikan. Mereka menunjukkan bahwa lebih dari 75–90 persen energi dalam perikanan tangkap berasal dari penggunaan bahan bakar kapal.

Sementara itu, C. Xu et al. (2023), menunjukkan bahwa pertumbuhan produksi akuakultur laut di China selama tiga dekade terakhir telah mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca secara signifikan, terutama berasal dari penggunaan pakan komersil. emisi N_2O dan CH_4 dari proses budidaya, serta konsumsi energi. Kemudian, Y. Xu et al. (2023), dalam studi mereka mengenai perikanan China menegaskan bahwa emisi karbon dari sektor perikanan berasal dari dua sumber utama, yaitu konsumsi bahan bakar pada perikanan tangkap dan dekomposisi pakan serta konsumsi listrik pada kegiatan akuakultur, di mana masing-masing wilayah menunjukkan pola emisi yang berbeda.

Selain sektor perikanan, emisi gas rumah kaca juga dipengaruhi oleh sektor peternakan dan pertanian. Sektor peternakan dikenal sebagai salah satu penyumbang emisi metana (CH_4) melalui proses fermentasi enterik sebagai bagian dari fisiologi pencernaan hewan (Li et al., 2025). Sedangkan, Chataut et al. (2023), menemukan bahwa mayoritas emisi dari sektor pertanian berasal dari proses metanogenesis, nitrifikasi, dan denitrifikasi.

Penurunan luas hutan akibat deforestasi atau alih fungsi lahan juga menjadi pengaruh peningkatan emisi gas rumah kaca karena kurangnya kapasitas penyerapan karbon. Penelitian mengenai luas hutan yang dilakukan

oleh Raza et al. (2025), di Pakistan pada tiga periode menunjukkan bahwa pada periode pertama yaitu pada tahun 1993-2003 terjadi penurunan luas hutan sebesar 21,9 persen yang menyebabkan total emisi tahunan sebesar 117.612,13 ton per tahun dan pada dua periode selanjutnya dilakukan pemulihan luas hutan yang berkontribusi terhadap peningkatan penyimpanan karbon pada periode tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, terlihat bahwa meskipun berbagai penelitian telah menyoroti determinan emisi gas rumah kaca, masih terdapat celah empiris dalam konteks Indonesia. Sebagian besar studi menekankan kontribusi sektor perikanan, baik tangkap maupun budidaya, terhadap emisi melalui konsumsi bahan bakar, penggunaan pakan, dan energi listrik, namun pengaruh produksi sektor perikanan secara agregat terhadap emisi nasional belum banyak dianalisis. Selain itu, sektor pertanian, peternakan, dan luas hutan juga berperan signifikan, tetapi studi yang menilai pengaruh masing-masing faktor ini terhadap emisi GRK secara terpisah masih terbatas. Dengan mempertimbangkan celah penelitian tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “Analisis Determinan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah produksi perikanan tangkap berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia selama periode 1990-2022?
2. Apakah produksi perikanan budidaya berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia selama periode 1990-2022?

3. Apakah indeks produksi tanaman berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia selama periode 1990-2022?
4. Apakah indeks produksi ternak berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca selama periode 1990-2022?
5. Apakah luas hutan berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia selama periode 1990-2022?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini yang sejalan dengan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh produksi perikanan tangkap terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia pada periode 1990–2022..
2. Untuk mengetahui pengaruh produksi perikanan budidaya terhadap emisi gas rumah kaca.
3. Untuk mengetahui pengaruh indeks produksi tanaman terhadap emisi gas rumah kaca.
4. Untuk mengetahui pengaruh indeks produksi ternak terhadap emisi gas rumah kaca.
5. Untuk mengetahui pengaruh luas hutan terhadap emisi gas rumah kaca.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah literatur di bidang ekonomi lingkungan, khususnya yang mengkaji emisi gas rumah kaca di negara berkembang.

2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penting bagi pemerintah dan pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan yang mampu meningkatkan produksi tanpa memperburuk emisi gas rumah kaca, khususnya melalui efisiensi energi dan teknologi ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Teori Environmental Kuznets Curve

Teori Environmental Kuznets Curve (EKC) mulai diperkenalkan secara empiris pada awal 1990-an melalui penelitian Grossman & Krueger (1991) yang menganalisis dampak liberalisasi perdagangan dalam kerangka North American Free Trade Agreement (NAFTA). Dalam studi tersebut, mereka menunjukkan bahwa kualitas lingkungan mengalami penurunan pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, tetapi mulai membaik setelah pendapatan per kapita mencapai tingkat tertentu. Temuan tersebut kemudian dikembangkan lebih komprehensif pada publikasi resmi tahun 1995 berjudul *Economic Growth and the Environment*, yang menjadi rujukan utama dalam formulasi EKC. Pada publikasi tersebut, Grossman dan Krueger menemukan bukti empiris bahwa emisi dan polusi lingkungan seperti sulfur dioksida dan partikulat cenderung meningkat pada negara dengan pendapatan per kapita rendah, namun menurun ketika pendapatan per kapita mencapai kisaran USD 8.000, sehingga hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan berbentuk kurva U terbalik.

Landasan teoritis EKC didasarkan pada perubahan struktur ekonomi dan teknologi seiring waktu. Pada tahap awal pembangunan, umumnya terjadi ekspansi produksi berbasis ekstraksi sumber daya alam dan penggunaan energi fosil yang intensif, sehingga polusi meningkat. Periode ini umumnya terjadi pada fase industrialisasi awal yang dimulai secara global sejak era

1970-an hingga awal 1990-an. Namun memasuki pertengahan hingga akhir 1990-an, banyak negara menunjukkan perubahan arah produksi yang lebih modern, efisien, dan berorientasi pada teknologi ramah lingkungan. Grossman & Krueger (1995) menekankan bahwa pada fase pembangunan lanjutan ini, pertumbuhan ekonomi mulai diimbangi dengan peningkatan regulasi lingkungan, perubahan komposisi industri, serta penerapan inovasi teknologi yang menurunkan tingkat polusi.

Dalam konteks tersebut, emisi gas rumah kaca sebagai indikator tekanan lingkungan tidak terlepas dari perkembangan aktivitas produksi pada sektor-sektor berbasis sumber daya alam. Peningkatan produksi pada sektor perikanan dan pertanian umumnya diiringi oleh intensifikasi penggunaan input produksi, energi, dan teknologi, yang pada tahap awal pembangunan cenderung meningkatkan emisi. Hal ini menunjukkan bahwa ekspansi ekonomi yang belum diimbangi dengan efisiensi dan pengelolaan lingkungan yang memadai berpotensi memperbesar dampak negatif terhadap kualitas lingkungan, terutama dalam bentuk peningkatan emisi gas rumah kaca.

2.1.2 Teori Eksternalitas

Teori eksternalitas merupakan salah satu landasan penting dalam ekonomi kesejahteraan yang dikembangkan oleh Arthur Cecil Pigou (1920) melalui karya klasiknya *The Economics of Welfare*. Pigou memandang bahwa dalam aktivitas ekonomi, terutama produksi, sering kali terdapat dampak yang dirasakan oleh masyarakat luas namun tidak tercermin dalam perhitungan biaya maupun manfaat oleh pelaku usaha. Fenomena inilah yang disebut eksternalitas. Pigou menjelaskan bahwa permasalahan eksternalitas muncul karena adanya kesenjangan antara *marginal private*

net product yaitu manfaat atau biaya yang hanya diperhitungkan oleh produsen dan *marginal social net product* yang mencerminkan dampak keseluruhan bagi masyarakat. Ketika produsen hanya menimbang aspek privat tanpa memperhatikan konsekuensi sosial yang lebih luas, aktivitas ekonomi dapat menciptakan ketidakseimbangan yang berujung pada kegagalan pasar.

Dalam konteks eksternalitas positif dari perspektif lingkungan, manfaat yang dihasilkan oleh suatu aktivitas sering kali lebih besar daripada keuntungan yang diterima langsung oleh pelaku kegiatan tersebut. Misalnya, upaya penghijauan, penggunaan energi terbarukan, atau penerapan teknologi produksi yang ramah lingkungan tidak hanya memberikan keuntungan bagi perusahaan dalam bentuk efisiensi jangka panjang, tetapi juga menciptakan manfaat sosial berupa kualitas udara yang lebih baik, penurunan risiko perubahan iklim, serta peningkatan kesehatan masyarakat.

Namun pada sisi eksternalitas negatif seperti pencemaran lingkungan, aliran limbah, dan emisi gas rumah kaca, biaya yang timbul bagi masyarakat jauh lebih besar dibandingkan dengan biaya yang ditanggung oleh produsen itu sendiri. Pigou menekankan bahwa kondisi ini tidak hanya mengurangi efisiensi ekonomi, tetapi juga berdampak pada kesejahteraan publik. Oleh karena itu, ia mengusulkan pentingnya peran pemerintah melalui instrumen seperti pajak Pigouvian, subsidi, serta regulasi untuk menyesuaikan biaya privat agar selaras dengan biaya sosial. Dengan mekanisme tersebut, pelaku usaha didorong untuk menanggung sebagian biaya lingkungan yang mereka timbulkan, sehingga keputusan produksi menjadi lebih efisien dan berorientasi pada keberlanjutan.

Teori eksternalitas relevan dalam menganalisis determinan emisi gas rumah kaca di Indonesia, karena peningkatan aktivitas produksi pada sektor perikanan tangkap dan budidaya, pertanian, serta peternakan menimbulkan dampak lingkungan yang tidak sepenuhnya ditanggung oleh pelaku usaha. Penggunaan bahan bakar, pakan, dan input produksi menghasilkan emisi, sementara penurunan luas hutan mengurangi kemampuan penyerapan karbon. Dampak tersebut dirasakan oleh masyarakat secara luas, sehingga mencerminkan adanya eksternalitas negatif.

2.2 Tinjauan Empiris

C. Xu et al. (2022), meneliti emisi gas rumah kaca dari akuakultur dan marikultur China menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis perhitungan emisi pada empat fase produksi (pakan, energi, N₂O akuatik, pupuk). Hasilnya menunjukkan bahwa total emisi mencapai 112 Mt CO₂e dengan sumber dari pakan 52 persen dan N₂O 29 persen. Kemudian, penelitian Parker et al., (2018) menunjukkan bahwa peningkatan produksi perikanan memiliki hubungan langsung dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar fosil oleh armada penangkapan, yang kemudian mendorong kenaikan emisi gas rumah kaca. Studi tersebut menemukan bahwa sektor perikanan global menghasilkan 179 juta ton CO₂-eq pada tahun 2011, dan emisi dari industri perikanan global meningkat sebesar 28 persen pada tahun 1990-2011, dengan sedikit peningkatan produksi pada periode yang sama. Bahkan, emisi rata-rata per ton tangkapan justru bertambah sekitar 21 persen selama periode tersebut.

Penelitian oleh Ngarava et al. (2023), menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca memiliki pengaruh negatif terhadap produksi akuakultur di Sub-

Sahara Afrika, sementara produksi akuakultur berdampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Namun, ekspansi akuakultur dalam jangka panjang cenderung meningkatkan emisi, yang mengindikasikan bahwa sektor ini masih berada pada fase awal Environmental Kuznets Curve (EKC), sehingga diperlukan penerapan praktik akuakultur berkelanjutan untuk menekan emisi tanpa menghambat pertumbuhan sektor.

Selanjutnya, Sharafi et al. (2023), meneliti mengenai konsumsi energi pada produksi pertanian menunjukkan bahwa peningkatan produksi pertanian jangka panjang di Iran diiringi dengan kenaikan konsumsi energi dan emisi GRK, terutama dari listrik dan pupuk nitrogen. Dengan pendekatan *machine learning*, studi ini membuktikan bahwa optimalisasi input energi, khususnya listrik dan pupuk kimia, berpotensi meningkatkan efisiensi energi sekaligus menekan emisi gas rumah kaca.

Penelitian oleh Mohammed et al. (2025), mengkaji dinamika emisi gas rumah kaca sektor pertanian di Uni Eropa (EU-27) selama periode 1990–2021 dengan mengombinasikan pendekatan ARDL dan CORINE Land Cover. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum emisi GRK sektor pertanian di Uni Eropa mengalami tren penurunan, namun intensifikasi aktivitas pertanian seperti produksi tanaman, peternakan, penggunaan pupuk, dan ekspansi jangka panjang lahan pertanian tetap berkontribusi terhadap peningkatan emisi.

Raihan et al. (2023), menganalisis pengaruh berbagai faktor pertanian terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) di Bangladesh periode 1990–2018 dengan pendekatan *Dynamic Ordinary Least Squares* (DOLS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perluasan lahan pertanian, peningkatan

indeks produksi tanaman, produksi peternakan, produksi perikanan, penggunaan energi di sektor pertanian, serta konsumsi pupuk berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi GRK dalam jangka panjang. Sebaliknya, nilai tambah sektor pertanian dan luas lahan hutan terbukti berpengaruh negatif terhadap emisi GRK.

Yalcinkaya (2024), menganalisis lonjakan emisi GRK di Turki yang dipicu oleh peningkatan populasi ternak, yang dalam satu dekade terakhir menyebabkan kenaikan emisi sektor pertanian sebesar 36 persen. Dengan menggunakan pendekatan berbasis *Geographic Information System* (GIS), hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi GRK dari sektor peternakan meningkat sekitar 30 persen selama periode 2013-2021, dengan fermentasi enterik sebagai kontributor utama emisi. Ternak sapi mendominasi kontribusi emisi, sementara unggas memiliki peran yang relatif kecil.

Penelitian Cavraro et al. (2023) mengkaji tingkat emisi karbon dioksida (CO_2) dari sektor perikanan skala kecil (*Small-Scale Fishery/SSF*) di wilayah GSA17, Laut Adriatik Utara dan Tengah, dengan menyusun inventarisasi emisi berbasis konsumsi bahan bakar menggunakan pendekatan *Tier 1* IPCC. Studi ini menggabungkan data pelacakan GPS pada kapal sampel dan kuesioner nelayan untuk menghitung konsumsi bahan bakar, total emisi tahunan, serta intensitas emisi per kilogram dan per nilai ekonomi hasil tangkapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara agregat SSF menghasilkan emisi yang relatif rendah dibandingkan segmen perikanan industri seperti kapal trawl, dengan rata-rata intensitas emisi sekitar 7,01 kg CO_2 per kg tangkapan. Meskipun demikian, peningkatan intensitas aktivitas penangkapan, jumlah hari melaut, serta variasi musiman, terutama pada musim panas berkontribusi

terhadap kenaikan emisi. Sebaliknya, karakteristik operasional SSF yang menggunakan kapal kecil, alat tangkap pasif, dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah terbukti berperan signifikan dalam menekan emisi gas rumah kaca.

2.3 Hubungan Antar Variabel

2.3.1 Hubungan Produksi Perikanan Tangkap dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Produksi perikanan tangkap memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), terutama karena aktivitas penangkapan ikan sangat bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil. Semakin tinggi volume produksi, umumnya semakin intensif operasi penangkapan dilakukan, baik dari sisi frekuensi melaut, durasi operasi, maupun penggunaan kapal berdaya mesin lebih besar, sehingga meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂, CH₄, serta N₂O. Parker et al. (2018), menunjukkan bahwa emisi dari perikanan global meningkat 28 persen antara 1990–2011 meskipun produksi relatif stagnan, menandakan bahwa peningkatan emisi sangat dipengaruhi oleh intensitas energi per unit hasil tangkapan. Pada konteks yang serupa, Y. Xu et al. (2023), menemukan bahwa aktivitas penangkapan, terutama menggunakan alat tangkap seperti trawl dan gillnet, merupakan penyumbang terbesar emisi GRK karena kebutuhan bahan bakarnya yang tinggi.

Dalam kerangka teori Environmental Kuznets Curve (EKC) pada fase awal pembangunan sektor perikanan tangkap, peningkatan produksi umumnya didorong oleh perluasan armada penangkapan, penggunaan kapal bermesin berbahan bakar fosil, serta intensifikasi aktivitas penangkapan di laut. Kondisi ini menyebabkan konsumsi energi yang tinggi dan berimplikasi

pada peningkatan emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO₂), sehingga hubungan antara produksi perikanan tangkap dan emisi GHG cenderung bersifat positif. Namun, sejalan dengan peningkatan pendapatan per kapita dan kemajuan pembangunan ekonomi, sektor perikanan tangkap mulai mengalami transformasi struktural melalui adopsi teknologi yang lebih efisien, peningkatan standar pengelolaan perikanan berkelanjutan, serta penerapan regulasi lingkungan yang lebih ketat.

Oleh karena itu, variabel produksi perikanan tangkap dipandang sebagai faktor yang berpotensi mendorong peningkatan emisi GRK di Indonesia, namun dapat menurun ketika sektor perikanan telah mencapai tingkat efisiensi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

2.3.2 Hubungan Produksi Perikanan Budidaya dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Produksi perikanan budidaya memiliki hubungan yang saling memengaruhi dengan emisi gas rumah kaca (GRK). Peningkatan produksi akuakultur cenderung meningkatkan emisi GRK dari berbagai sumber seperti pakan, penggunaan energi, sisa pakan, kotoran ikan, hingga perubahan penggunaan lahan untuk tambak. Penelitian C. Xu et al. (2022), menunjukkan bahwa lebih dari 50 persen emisi GRK dari akuakultur dihasilkan dari produksi bahan baku pakan, diikuti oleh emisi N₂O dari proses biologis di kolam dan konsumsi energi selama budidaya.

Selain itu, penelitian C. Xu et al., (2023) menegaskan bahwa ekspansi akuakultur laut di Tiongkok selama kurang lebih tiga dekade telah mendorong peningkatan signifikan emisi CO₂-eq secara total, seiring dengan meningkatnya volume produksi dan penggunaan berbagai input seperti pakan, energi, serta infrastruktur budidaya. Meskipun demikian, studi tersebut

juga menunjukkan bahwa intensitas emisi per satuan produksi mengalami penurunan sebagai dampak dari kemajuan teknologi, efisiensi sistem budidaya, serta perbaikan manajemen produksi.

Penelitian Ngarava et al. (2023) juga menjelaskan adanya hubungan timbal balik antara produksi budidaya dan emisi GRK, di mana peningkatan emisi berdampak negatif terhadap produktivitas budidaya melalui perubahan suhu, kualitas air, dan peningkatan stres organisme, sementara intensifikasi produksi justru berpotensi menaikkan tingkat emisi.

Berbagai hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan produksi perikanan budidaya memiliki pengaruh positif terhadap peningkatan emisi GRK. Indikator seperti volume produksi budidaya dan tingkat penggunaan pakan mencerminkan besarnya tekanan lingkungan yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemahaman tentang keterkaitan antara produksi budidaya dan emisi GRK menjadi dasar penting dalam merumuskan strategi pembangunan perikanan yang berkelanjutan dan rendah karbon di Indonesia.

2.3.3 Hubungan Indeks Produksi Tanaman dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Indeks produksi tanaman memiliki keterkaitan yang signifikan dengan tingkat emisi gas rumah kaca (GRK), karena peningkatan output tanaman umumnya diikuti oleh intensifikasi penggunaan input pertanian yang bersifat padat energi dan beremisi tinggi. Kenaikan indeks produksi tanaman mencerminkan peningkatan aktivitas budidaya seperti penggunaan pupuk kimia, pestisida, irigasi berbasis listrik, serta mekanisasi pertanian yang bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga mendorong emisi CO₂, N₂O, dan CH₄. Sharafi et al. (2023) menunjukkan bahwa emisi GRK dari produksi tanaman terutama bersumber dari konsumsi listrik dan pupuk nitrogen, yang

secara bersama-sama menyumbang lebih dari separuh total emisi dalam sistem produksi tanaman jangka panjang. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan produktivitas tanaman tidak hanya bergantung pada faktor biologis, tetapi juga pada intensitas energi per satuan output.

Sejalan dengan temuan tersebut, Mohammed et al. (2025) menemukan bahwa peningkatan indeks produksi tanaman di negara-negara Uni Eropa dalam jangka panjang berasosiasi positif dengan peningkatan emisi GRK, terutama melalui perluasan lahan pertanian dan penggunaan input sintetis. Kemudian, Raihan et al. (2023) juga menemukan bahwa kenaikan 1 persen pada indeks produksi tanaman dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca sebesar 0.29 persen.

Oleh karena itu, dalam kerangka penelitian ini, indeks produksi tanaman dipandang sebagai variabel yang berpotensi meningkatkan emisi GRK, khususnya ketika pertumbuhan produksi dicapai melalui intensifikasi input energi dan kimia tanpa diimbangi oleh peningkatan efisiensi dan praktik pertanian berkelanjutan.

2.3.4 Hubungan Indeks Produksi Ternak dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Indeks produksi ternak memiliki hubungan yang kuat dengan peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), mengingat sektor peternakan merupakan salah satu sumber utama emisi metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) dalam sistem pertanian. Peningkatan indeks produksi ternak mencerminkan bertambahnya populasi dan intensitas produksi hewan ternak, yang secara langsung meningkatkan emisi melalui proses fermentasi enterik, pengelolaan kotoran ternak, serta penggunaan energi dan pakan berbasis input pertanian.

Raihan et al. (2023), menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, kenaikan indeks produksi ternak berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi GRK, di mana peningkatan 1 persen produksi ternak dapat meningkatkan emisi GRK sekitar 0,40 persen. Kemudian, studi Yalcinkaya (2024), menegaskan bahwa peningkatan aktivitas dan skala sektor peternakan berimplikasi langsung pada kenaikan emisi GRK melalui jalur struktural yang relatif konsisten. Studi tersebut menunjukkan bahwa fermentasi enterik merupakan kontributor terbesar emisi, mencapai sekitar 61 persen dari total emisi GRK sektor peternakan, diikuti oleh emisi dari pengelolaan kotoran ternak yang didominasi oleh N_2O dan CH_4 . Dominasi emisi ini terutama berasal dari ternak ruminansia, khususnya sapi, yang menyumbang lebih dari 70 persen total emisi sektor peternakan.

Dengan demikian, peningkatan indeks produksi ternak yang mencerminkan bertambahnya populasi dan intensitas produksi secara sistematis akan memperbesar volume emisi GRK, baik melalui peningkatan fermentasi enterik maupun akumulasi kotoran ternak yang dikelola secara konvensional. Hubungan positif ini memperkuat argumen bahwa tanpa perubahan teknologi dan praktik manajemen, pertumbuhan produksi ternak cenderung memperburuk tekanan lingkungan dan meningkatkan emisi GRK dalam jangka panjang.

2.3.5 Hubungan Luas Hutan dengan Emisi Gas Rumah Kaca

Luas hutan memiliki hubungan yang kuat dan bersifat negatif dengan emisi gas rumah kaca (GRK), mengingat hutan berperan sebagai penyerap karbon (carbon sink) utama melalui proses fotosintesis dan penyimpanan karbon dalam biomassa serta tanah hutan. Semakin luas tutupan hutan,

semakin besar kemampuan ekosistem tersebut dalam menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer, sehingga berkontribusi pada penurunan konsentrasi GRK. Sebaliknya, penurunan luas hutan akibat deforestasi dan degradasi hutan akan melepaskan karbon tersimpan ke atmosfer dalam bentuk CO_2 , metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O), yang secara langsung meningkatkan emisi GRK.

Studi oleh Raihan et al. (2023), menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, luas hutan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi GRK, di mana peningkatan luas hutan berkontribusi terhadap penurunan emisi melalui peningkatan kapasitas penyerapan karbon dan stabilisasi siklus karbon alami. Hasil tersebut menegaskan bahwa ekspansi atau perlindungan kawasan hutan mampu mengimbangi emisi yang dihasilkan dari aktivitas pertanian dan sektor berbasis lahan lainnya.

Kemudian, Mohammed et al. (2025), menegaskan bahwa perlindungan hutan dan peningkatan tutupan vegetasi merupakan instrumen kebijakan iklim yang efektif dalam menekan emisi GRK, khususnya melalui mekanisme penyerapan karbon jangka panjang dan pengurangan emisi dari perubahan penggunaan lahan (*land use change*). Kebijakan kehutanan yang terintegrasi dengan strategi mitigasi perubahan iklim terbukti mampu menurunkan tekanan lingkungan sekaligus mendukung keberlanjutan sektor pertanian.

Dengan demikian, luas hutan berperan strategis dalam menekan emisi GRK melalui fungsi ekologisnya sebagai penyerap karbon dan penyangga sistem iklim. Hubungan negatif ini memperkuat argumen bahwa tanpa upaya perlindungan dan rehabilitasi hutan yang konsisten, peningkatan aktivitas

ekonomi berbasis lahan berpotensi mempercepat akumulasi emisi GRK dan memperburuk perubahan iklim dalam jangka panjang.

2.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian merupakan rangkaian alur pemikiran yang tersusun secara teratur berdasarkan landasan teori. Penyusunannya bertujuan untuk memberikan landasan konseptual yang kuat dalam menjelaskan serta menuntun peneliti dalam menjawab hipotesis yang telah ditetapkan.

Produksi perikanan tangkap berpotensi meningkatkan emisi melalui intensifikasi aktivitas penangkapan yang bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil pada armada kapal. Jenis alat tangkap seperti trawl dan gillnet juga meningkatkan konsumsi bahan bakar sehingga menjadi penyumbang emisi dalam kegiatan penangkapan ikan (Y. Xu et al., 2023). Kemudian, Parker et al. (2018) mencatat bahwa emisi dari perikanan global meningkat 28 persen antara 1990–2011 meskipun produksi relatif stagnan, yang menunjukkan bahwa intensitas energi per unit hasil tangkapan menjadi faktor penentu utama.

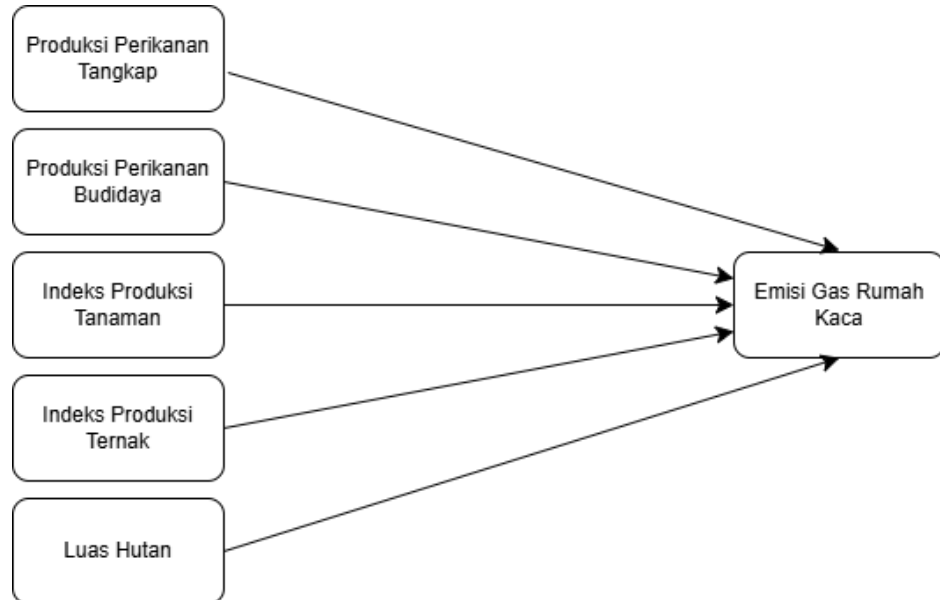
Sektor akuakultur juga memberikan kontribusi terhadap emisi GRK, terutama melalui produksi bahan baku pakan, konsumsi energi, dan emisi N₂O dari proses biologis di kolam (C. Xu et al., 2022). Perluasan akuakultur laut dalam tiga dekade terakhir di Tiongkok terbukti meningkatkan emisi CO₂-eq meskipun intensitas emisinya menurun akibat efisiensi teknologi (C. Xu et al., 2023).

Selain itu, indeks produksi tanaman dan indeks produksi ternak mencerminkan intensitas aktivitas pertanian dan peternakan, di mana

peningkatan produksi tanaman sering dikaitkan dengan penggunaan pupuk dan perubahan penggunaan lahan, sedangkan peningkatan produksi ternak berhubungan langsung dengan emisi metana dari fermentasi enteric serta emisi dari pengelolaan kotoran ternak. Raihan et al. (2023) menemukan bahwa peningkatan 1 persen pada indeks produksi tanaman dapat meningkatkan emisi GRK sebesar 0,29 persen, sementara peningkatan 1 persen pada produksi ternak meningkatkan emisi GRK sebesar 0,40 persen, yang menunjukkan hubungan positif antara intensifikasi produksi ternak dan emisi GRK.

Di sisi lain, sektor kehutanan memainkan peran mitigatif terhadap emisi GRK. Mohammed et al. (2025) menegaskan bahwa perlindungan hutan dan peningkatan tutupan vegetasi merupakan instrumen kebijakan iklim yang efektif, terutama melalui mekanisme penyerapan karbon jangka panjang dan pengurangan emisi akibat perubahan penggunaan lahan. Hutan berfungsi sebagai *carbon sink* yang mampu menyerap dan menyimpan karbon melalui proses fotosintesis, sehingga membantu menyeimbangkan emisi yang dihasilkan dari aktivitas ekonomi produktif.

Berdasarkan temuan-temuan ini, kerangka pikir penelitian mengasumsikan bahwa peningkatan aktivitas produksi pada sektor perikanan tangkap, perikanan budidaya, pertanian tanaman, dan peternakan cenderung meningkatkan emisi GRK, sementara perlindungan hutan dan peningkatan tutupan vegetasi berperan sebagai faktor pengendali yang mampu menekan atau mengompensasi peningkatan emisi tersebut melalui mekanisme penyerapan karbon dan pencegahan perubahan penggunaan lahan. Adapun kerangka pikir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Gambar 2.1 Kerangka Pikir Penelitian

2.5 Hipotesis Penelitian

Dengan merujuk pada landasan teori yang telah dikemukakan serta temuan penelitian terdahulu yang relevan, maka dapat disusun hipotesis sebagai dugaan awal terhadap permasalahan penelitian. Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diduga produksi perikanan tangkap berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
2. Diduga produksi perikanan budidaya berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
3. Diduga indeks produksi tanaman berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
4. Diduga indeks produksi ternak berpengaruh positif terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.

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