

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim menjadi salah satu isu global yang mendapat perhatian besar karena peningkatan emisi gas rumah kaca (*Greenhouse Gases*/GHG) akibat berbagai aktivitas manusia. Berdasarkan IPCC *Sixth Assessment Report*, emisi gas rumah kaca antropogenik global pada tahun 2019 mencapai sekitar 59 GtCO₂-eq. Sektor energi menyumbang sekitar 34%, industri 24%, pertanian, kehutanan, dan penggunaan lahan (AFOLU) 22%, transportasi 15%, serta bangunan 6%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa aktivitas penggunaan energi, kegiatan ekonomi, dan mobilitas manusia berkontribusi terhadap peningkatan emisi global. Oleh karena itu, transportasi menjadi salah satu sektor strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim (IPCC, 2022).

Sektor transportasi memiliki peran penting dalam peningkatan emisi karena masih bergantung pada bahan bakar berbasis minyak. Pada tahun 2019, sekitar 92% energi yang digunakan sektor transportasi berasal dari bahan bakar berbasis minyak, sehingga aktivitas transportasi menjadi salah satu sumber utama emisi karbon dioksida. Selain menghasilkan gas rumah kaca, pembakaran bahan bakar kendaraan juga menghasilkan berbagai polutan udara, seperti partikulat (*particulate matter*/PM), nitrogen dioksida (NO₂), dan karbon monoksida (CO). Paparan polusi udara dari aktivitas transportasi dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan, terutama penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Kondisi tersebut mendorong pentingnya pengembangan transportasi rendah emisi dan berkelanjutan (IPCC, 2022; WHO, 2024).

Indonesia juga menghadapi tantangan serupa seiring meningkatnya kebutuhan mobilitas masyarakat. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai sekitar 157 juta unit pada tahun 2023, dengan sepeda motor mendominasi lebih dari 132 juta unit atau lebih dari 80% dari total kendaraan. Pertumbuhan kendaraan bermotor tersebut rata-rata mencapai sekitar 5-6% per tahun. Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan

Sumber Daya Mineral (ESDM), sektor transportasi merupakan konsumen energi terbesar sekitar 44-45% dari total konsumsi energi final nasional. Peningkatan jumlah kendaraan tersebut berdampak pada meningkatnya konsumsi BBM, yang diproyeksikan mencapai sekitar 32,2 juta kiloliter untuk bensin dan 18,7 juta kiloliter untuk solar pada tahun 2025. Kondisi ini berkontribusi menyumbang sekitar 23% dari total emisi sektor tersebut, dengan transportasi darat sekitar 90%, sementara kendaraan penumpang seperti mobil dan sepeda motor sekitar 55% total emisi pada tahun 2023 (IESR, 2023; ESDM, 2024; BPS, 2024). Selain pertumbuhan jumlah kendaraan, kondisi pelayanan jalan turut memengaruhi emisi transportasi, karena kemacetan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor (Barth & Boriboonsomsin, 2008).

Bebagai upaya pengurangan emisi pada sektor transportasi dilakukan melalui peningkatan efisiensi energi kendaraan, penerapan standar emisi yang lebih ketat, serta penggunaan bahan bakar alternatif seperti biodiesel dan bioethanol. Pengembangan transportasi umum massal dan pengendalian penggunaan kendaraan pribadi juga dilakukan untuk menekan konsumsi bahan bakar minyak dan kepadatan lalu lintas. Selain itu, optimasi sistem transportasi berkelanjutan diarahkan untuk meningkatkan efisiensi mobilitas dan menurunkan tingkat pencemaran udara pada kawasan perkotaan (IEA, 2023; Kementerian ESDM, 2024).

Salah satu pendekatan yang mulai dikembangkan untuk mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas mobilitas adalah pemanfaatan kendaraan listrik. Teknologi ini dianggap lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung selama proses operasionalnya (IEA, 2024). Selain itu, pemanfaatan energi listrik berpotensi menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendukung sistem transportasi rendah karbon (IRENA, 2023; IEA, 2024). Namun, untuk mengetahui sejauh mana kontribusi dan potensi tersebut, diperlukan suatu pendekatan analisis yang mampu memodelkan hubungan antara konsumsi energi, pertumbuhan transportasi, serta emisi gas rumah kaca (Heaps, 2008).

Berdasarkan kondisi tersebut, berbagai metode digunakan dalam analisis emisi sektor transportasi, seperti inventarisasi emisi, pendekatan faktor emisi (*emission factor*), *life Cycle Assessment* (LCA), dan pemodelan energi. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Long-range Energy Alternatives Planning* (LEAP), yaitu model perencanaan energi untuk memproyeksikan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca berdasarkan berbagai skenario. LEAP dipilih karena mampu mengolah data yang tersedia secara efisien untuk menghasilkan proyeksi jangka panjang serta mendukung pengembangan berbagai skenario kebijakan. Melalui pendekatan tersebut, perubahan pola energi, pergeseran dari kendaraan berbahan bakar fosil menuju kendaraan listrik, serta implikasinya terhadap besaran emisi dapat dievaluasi secara terstruktur (IPCC, 2023; Heaps, 2008; IEA, 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Seberapa besar kontribusi sektor transportasi darat terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia?
2. Seberapa efektif penerapan kendaraan listrik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca pada sistem transportasi darat di Indonesia?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya kontribusi sektor transportasi darat terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia.
2. Untuk menganalisis tingkat efektivitas penerapan kendaraan listrik dalam mengurangi emisi gas rumah kaca pada sistem transportasi darat di Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat penelitian yang didapat dari hasil di atas berdasarkan tujuan yang telah ditentukan

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai besarnya kontribusi sektor transportasi darat terhadap emisi gas rumah kaca di Indonesia berdasarkan hasil analisis yang dilakukan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan dalam menganalisis efektivitas penerapan kendaraan listrik sebagai upaya pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi darat.
3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai keterkaitan antara kondisi pelayanan jalan, konsumsi energi, dan emisi gas rumah kaca dalam mendukung sistem transportasi yang lebih berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka diperlukan ruang lingkup dan batasan penelitian yang jelas. Ruang lingkup dan batasan penelitian dalam studi ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada sektor transportasi di Indonesia khususnya transportasi darat, yaitu mobil penumpang, sepeda motor, bus, dan truk.
2. Emisi gas rumah kaca yang dianalisis dalam penelitian ini hanya pada emisi karbon dioksida (CO₂).
3. Penelitian ini menganalisis konsumsi energi sektor transportasi dan kontribusinya terhadap gas rumah kaca, serta potensi pengurangan emisi melalui penerapan kendaraan listrik.
4. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dasar (*base year*) tahun 2024.
5. Simulasi dalam penelitian ini dilakukan dengan proyeksi hingga tahun 2050 untuk melihat perkembangan konsumsi energi dan potensi pengurangan emisi melalui penerapan kendaraan listrik.

6. Penelitian tidak memperhitungkan emisi yang berasal dari proses produksi kendaraan, produksi baterai kendaraan listrik, pengolahan bahan baku, distribusi kendaraan, maupun proses daur ulang kendaraan dan baterai.
7. Tidak menghitung secara khusus emisi yang timbul dari proses pembangkitan listrik yang digunakan untuk mengisi daya kendaraan.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis terkait emisi sektor transportasi, kendaraan listrik, dan simulasi energi. Tahap berikutnya meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data sekunder, serta pengolahan dan verifikasi data yang mencakup jumlah kendaraan, konsumsi bahan bakar, jumlah kendaraan listrik, laju pertumbuhan kendaraan, dan faktor emisi.

Berdasarkan data yang telah diverifikasi, model disusun menggunakan LEAP dengan mengacu pada *base year* yang ditetapkan. Selanjutnya, beberapa skenario dikembangkan untuk merepresentasikan tingkat adopsi kendaraan listrik yang berbeda. Setiap skenario kemudian disimulasikan guna menghasilkan proyeksi kebutuhan energi dan emisi sektor transportasi.

Hasil simulasi yang diperoleh dari setiap skenario selanjutnya dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan melalui interpretasi *output* model untuk mengkaji perubahan kebutuhan energi, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas rumah kaca, serta melihat kontribusi penerapan kendaraan listrik dan keterkaitannya dengan kondisi peyalanan jalan dalam mendukung upaya pengurangan emisi pada sektor transportasi darat di Indonesia.

1.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada skenario *Business as Usual* (BaU) periode 2025–2050, perkembangan sektor transportasi darat di Indonesia masih sangat didominasi oleh kendaraan konvensional berbasis bahan bakar fosil, sehingga peningkatan jumlah armada berbanding lurus dengan lonjakan kebutuhan energi final dan emisi CO₂. Sebaliknya, penerapan kendaraan listrik melalui

skenario *Low Carbon* (LC), *Strengthened Low Carbon* (SLC), dan *Indonesia Electric Vehicle Policy* (IEVP) mampu secara bertahap mengubah struktur konsumsi energi nasional melalui penurunan penggunaan bahan bakar bensin dan solar serta peningkatan penggunaan energi listrik.

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan metode LEAP, perbandingan terhadap skenario BaU mencatat tingkat efektivitas pengurangan emisi CO₂ sebesar 26,60% pada skenario LC, 35,27% pada skenario SLC, dan 48,26% pada skenario IEVP, yang menjadikan skenario IEVP sebagai kebijakan paling efektif dalam mereduksi emisi sektor transportasi darat. Selain penetrasi kendaraan listrik dan pergeseran komposisi armada, hasil penelitian juga menyimpulkan bahwa tingkat pelayanan jalan memiliki keterkaitan erat terhadap konsumsi energi dan emisi, di mana kondisi lalu lintas yang tidak lancar atau mengalami kemacetan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan emisi kendaraan.