

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan mobilitas manusia menjadikan sektor transportasi sebagai salah satu penyumbang utama emisi karbon dioksida (CO₂) (Noussan et al., 2022). Peningkatan jumlah kendaraan dan aktivitas transportasi yang masih bergantung pada penggunaan energi berbasis minyak bumi menyebabkan emisi sektor transportasi terus meningkat dari tahun ke tahun. Menurut International Energy Agency (2023), emisi dari sektor transportasi meningkat sekitar 70% sejak tahun 1990 yaitu 4,7 gigaton CO₂ per tahun, dan meningkat hingga 8 gigaton CO₂ setiap tahun, sehingga menjadikan sektor transportasi sebagai salah satu penyumbang emisi dengan pertumbuhan tercepat di dunia.

Di Indonesia, sektor transportasi memiliki peranan penting dalam konsumsi energi nasional yang tercatat sebagai subsektor dengan penggunaan energi terbesar. Tingginya aktivitas transportasi yang masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar minyak (BBM) menyebabkan sektor ini menjadi kontributor utama emisi CO₂. Sektor transportasi di Indonesia menghasilkan sekitar 150 juta ton emisi CO₂ ekuivalen pada tahun 2022, dengan kendaraan bermotor menjadi penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca di sektor tersebut. Berdasarkan data kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia konsumsi energi sektor transportasi pada tahun 2023 mencapai 448,53 juta *barrel oil equivalent* (BOE) atau sekitar 36,74% dari total konsumsi energi nasional. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingginya konsumsi energi pada sektor transportasi memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan emisi karbon di Indonesia (Mulyani et al., 2024).

Salah satu kebijakan yang diambil oleh pemerintah Indonesia adalah pengembangan dan adopsi kendaraan alternatif, seperti *Battery Electric Vehicle* (BEV), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) dan *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) yang berpotensi untuk menghemat energi, mengurangi tingkat polusi, dan menekan pengeluaran biaya operasional (Bieker et al, 2021). Hal ini didukung

dengan terbitnya Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program BEV Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan (Masayu et al., 2024). Namun, kendaraan alternatif tetap memiliki dampak lingkungan dari proses produksi baterai, penggunaan bahan baku, serta limbah pada akhir masa pakai kendaraan. Selain itu, kendaraan *hybrid* masih menggunakan bahan bakar fosil sehingga tetap menghasilkan emisi (Pipitone et al., 2021).

Untuk menganalisis dampak transisi kendaraan alternatif terhadap emisi CO₂, diperlukan pendekatan yang mampu menggambarkan hubungan aktivitas transportasi, konsumsi energi, dan emisi secara rinci. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode *bottom-up*, yaitu pendekatan yang menghitung emisi berdasarkan data aktivitas kendaraan seperti jumlah kendaraan, jarak tempuh, dan konsumsi bahan bakar (Lightstone et al., 2021). Menurut IEA (2021), metode ini dinilai lebih akurat karena menggunakan data aktivitas aktual sehingga mampu merepresentasikan kondisi transportasi secara lebih detail. Selain itu, metode *bottom-up* juga dapat digunakan untuk menganalisis berbagai skenario jangka panjang, seperti *Business as Usual* (BaU) dan *Net Zero Emissions* (NZE), untuk membandingkan potensi penurunan emisi CO₂ akibat transisi kendaraan alternatif.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas emisi CO₂ pada sektor transportasi serta potensi kendaraan alternatif dalam menurunkan emisi (Ali et al., 2023; Alfandi et al., 2023; Nugroho et al., 2020; Rahmanta et al., 2023). Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada wilayah tertentu dan hanya berfokus pada satu jenis kendaraan alternatif. Selain itu, kajian jangka panjang mengenai dampak transisi kendaraan alternatif terhadap emisi CO₂ di Indonesia menggunakan metode *bottom-up* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi penurunan emisi CO₂ transportasi jalan di Indonesia melalui berbagai skenario transisi kendaraan alternatif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan kendaraan alternatif BEV, HEV dan PHEV pada skenario Bau dan NZE terhadap kebutuhan energi sektor transportasi jalan di Indonesia?
2. Seberapa besar penurunan emisi CO₂ yang dapat dicapai melalui penerapan kendaraan alternatif berdasarkan skenario Bau dan NZE menggunakan metode *bottom-up*?
3. Bagaimana dampak jangka panjang transisi kendaraan alternatif terhadap emisi CO₂ sektor transportasi jalan di Indonesia berdasarkan skenario BaU dan NZE?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah yang telah di uraikan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penggunaan kendaraan alternatif BEV, HEV dan PHEV pada skenario Bau dan NZE terhadap kebutuhan energi pada sektor transportasi jalan di Indonesia.
2. Menghitung dan mengevaluasi potensi penurunan emisi CO₂ yang dapat dicapai melalui penerapan kendaraan alternatif berdasarkan Skenario Bau dan NZE dengan menggunakan metode *bottom-up*.
3. Menganalisis dampak jangka panjang transisi kendaraan alternatif terhadap emisi CO₂ sektor transportasi jalan di Indonesia dalam jangka panjang berdasarkan skenario BaU dan NZE.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat yang dapat dirangkumkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan referensi ilmiah mengenai analisis emisi CO₂ sektor transportasi jalan dengan pendekatan *bottom-up*, serta kajian skenario BaU dan NZE, khususnya terkait pengembangan kendaraan alternatif seperti BEV, HEV dan PHEV.
2. Studi ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah dan pemangku kebijakan dalam merumuskan strategi pengurangan emisi CO₂ di

sektor transportasi, melalui gambaran kebutuhan energi, perkembangan kendaraan, dan potensi penurunan emisi.

3. Analisis ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya penggunaan kendaraan ramah lingkungan serta mendukung upaya transisi menuju sistem transportasi yang berkelanjutan.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Untuk mempermudah dalam mengevaluasi permasalahan agar tidak menyimpang dari pokok permasalahan sesuai dengan judul penelitian, maka diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada sektor transportasi jalan di Indonesia, meliputi kendaraan penumpang dan kendaraan angkutan barang.
2. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *bottom-up* untuk menghitung kebutuhan energi dan estimasi emisi berdasarkan jumlah kendaraan, jarak tempuh rata-rata, konsumsi energi, serta faktor emisi dari masing-masing sumber energi.
3. Jenis kendaraan alternatif yang dianalisis mencakup BEV, HEV dan PHEV.
4. Kajian dibatasi pada analisis kebutuhan energi dan emisi CO₂, tanpa membahas secara rinci aspek teknis kendaraan maupun desain infrastruktur secara mendalam.
5. Batas waktu analisis difokuskan pada periode jangka panjang, hingga tahun 2050, guna melihat tren perubahan emisi CO₂ akibat transisi kendaraan alternatif.
6. Skenario yang dianalisis meliputi skenario BaU dan NZE sebagai dasar perbandingan dalam menilai potensi penurunan emisi.
7. Analisis difokuskan pada dampak transisi kendaraan alternatif terhadap kebutuhan energi dan tingkat emisi, tanpa membahas secara detail aspek sosial, politik, atau perilaku konsumen.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *bottom-up* berbasis analisis skenario untuk menghitung kebutuhan energi dan emisi CO₂

pada sektor transportasi jalan. Perhitungan dilakukan berdasarkan jenis dan jumlah kendaraan, jarak tempuh rata-rata, konsumsi energi spesifik, serta faktor emisi dari setiap sumber energi yang digunakan. Emisi kendaraan konvensional dihitung menggunakan faktor emisi bahan bakar bensin dan solar, sedangkan emisi kendaraan alternatif seperti BEV, HEV, dan PHEV dianalisis berdasarkan konsumsi listrik, penggunaan bahan bakar, dan sumber energi yang mendukung operasional kendaraan tersebut. Penelitian ini menerapkan dua skenario utama, yaitu BaU dan NZE. Skenario BaU merepresentasikan kondisi tanpa adanya kebijakan tambahan, sementara skenario NZE menggambarkan peningkatan penggunaan kendaraan alternatif disertai pengurangan konsumsi bahan bakar fosil secara bertahap. Perbandingan hasil kedua skenario digunakan untuk mengevaluasi perubahan kebutuhan energi dan potensi penurunan emisi CO₂, sehingga dapat ditentukan skenario transisi kendaraan alternatif yang

1.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa transisi dari kendaraan konvensional menuju kendaraan alternatif, yaitu BEV, HEV, dan PHEV, memberikan pengaruh terhadap kebutuhan energi dan emisi CO₂ pada sektor transportasi jalan di Indonesia selama periode 2026–2050. Berdasarkan hasil proyeksi dan perhitungan menggunakan metode *Bottom-Up*, peningkatan penggunaan kendaraan alternatif mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menurunkan kebutuhan energi total dibandingkan skenario BaU pada akhir periode analisis. Pada skenario BaU, kebutuhan energi meningkat dari 256,11 ribu TJ/tahun pada tahun 2026 menjadi sekitar 8,4 juta TJ/tahun pada tahun 2050, sedangkan pada skenario NZE kebutuhan energi meningkat dari sekitar 272 ribu TJ/tahun menjadi sekitar 3,8 juta TJ/tahun.

Dari sisi emisi CO₂, skenario NZE menunjukkan emisi yang lebih rendah dibandingkan BaU pada periode 2026–2044. Namun, pada periode 2045–2050, emisi CO₂ pada skenario NZE sedikit lebih tinggi dibandingkan BaU. Kondisi tersebut disebabkan oleh meningkatnya konsumsi energi listrik seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan listrik, sementara listrik yang digunakan masih

memiliki faktor emisi dari sistem ketenagalistrikan. Dengan demikian, meskipun penggunaan kendaraan alternatif dapat mengurangi emisi langsung dari kendaraan berbahan bakar fosil, peningkatan emisi tidak langsung dari pembangkitan listrik dapat mengurangi manfaat tersebut.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa transisi menuju kendaraan alternatif dapat memperlambat peningkatan emisi CO₂ dan mengurangi kebutuhan energi berbasis bahan bakar fosil. Namun, efektivitas transisi tersebut sangat dipengaruhi oleh tingkat emisi dari sumber listrik. Oleh karena itu, peningkatan penggunaan kendaraan alternatif perlu diikuti dengan dekarbonisasi sektor ketenagalistrikan melalui peningkatan pemanfaatan sumber energi rendah karbon agar pengurangan emisi CO₂ dapat berlangsung secara lebih optimal.