



PROYEKSI PENURUNAN EMISI CO₂ MELALUI KONVERSI KENDARAAN KONVENSIONAL KE KENDARAAN LISTRIK DI JAWA BARAT

PROJECTED REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS THROUGH CONVERSION OF CONVENTIONAL VEHICLES TO ELECTRIC VEHICLES IN WEST JAVA

Mochmad Dinar¹, Saska Shafira Rizkia², dan Israyanti³

¹Magister Perencanaan Wilayah dan Kota SAPPK ITB
email : mochamaddinar9@gmail.com

²Magister Perencanaan Wilayah dan Kota SAPPK ITB
email : saskashariz9@gmail.com

³Magister Perencanaan Wilayah dan Kota SAPPK ITB
email : israyanti.tanti@gmail.com

INFO ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci: Teknik Kendaraan konvensional, Kendaraan listrik, Emisi CO₂, Jawa Barat

Semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi akan berdampak pada semakin meningkatnya mobilitas penduduk. Adanya peningkatan mobilitas penduduk yang umumnya masih menggunakan kendaraan pribadi baik mobil maupun motor mengakibatkan terjadinya peningkatan emisi CO₂ secara global. Pada tahun 2022, Provinsi Jawa Barat memiliki populasi penduduk sebesar 49,41 juta jiwa. Berkaitan dengan kepemilikan kendaraan bermotor konvensional, mobil penumpang memiliki jumlah sebanyak 3.803.808 unit dan termasuk kedalam jumlah tertinggi di Indonesia versi Badan Pusat Statistik Indonesia pada tahun 2022. Hal ini berdampak pada perubahan iklim yang berpotensi menimbulkan eksternalitas negatif yang perlu segera ditindaklanjuti. Terdapat beberapa upaya penurunan emisi CO₂

pada sektor transportasi mulai dari pembatasan kendaraan, peningkatan fasilitas transportasi publik, dan elektrifikasi kendaraan konvensional. Berdasarkan beberapa studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa elektrifikasi kendaraan merupakan langkah yang paling tepat saat ini untuk dapat segera menurunkan emisi CO₂. Adanya upaya konversi kendaraan konvensional menjadi kendaraan listrik atau Electric Vehicle (EV) menjadi salah satu strategi untuk mengatasi Gas Rumah Kaca (GRK), emisi CO₂, dan tantangan lain yang dihadapi sektor transportasi. Kendaraan listrik telah terbukti mampu menghasilkan emisi CO₂ yang lebih rendah dibandingkan kendaraan konvensional. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan perhitungan emisi CO₂ melalui konversi kendaraan konvensional ke kendaraan listrik di Provinsi Jawa Barat yang merupakan Provinsi dengan jumlah populasi penduduk dan kendaraan terbesar di Indonesia. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan metode IPCC 2006, didapatkan hasil penurunan emisi yang lebih rendah mencapai sekitar 50% melalui konversi kendaraan konvensional ke kendaraan listrik.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords: *Conventional Vehicles, Electric Vehicles, CO₂ Emissions, Jawa Barat*

The increasing economic growth will have an impact on increasing population mobility. The increase in population mobility, which generally still uses private vehicles both cars and motorcycles, results in an increase in CO₂ emissions globally. In 2022, West Java Province has a population of 49.41 million people. Regarding conventional motor vehicle ownership, passenger cars have a total of 3,803,808 units and are among the highest in Indonesia according to the Central Bureau of Statistics Indonesia in 2022. This has an impact on climate change which has the potential to cause negative externalities that need to be followed up immediately. There are several efforts to reduce CO₂ emissions in the transportation sector ranging from vehicle restrictions, improving public transportation facilities, and

electrifying conventional vehicles. Based on several studies that have been conducted, it shows that vehicle electrification is the most appropriate step at this time to be able to immediately reduce CO₂ emissions. The effort to convert conventional vehicles into electric vehicles (EVs) is one of the strategies to overcome greenhouse gasses (GHG), CO₂ emissions, and other challenges facing the transportation sector. Electric vehicles have been proven to produce lower CO₂ emissions than conventional vehicles. Therefore, this study calculates CO₂ emissions through the conversion of conventional vehicles to electric vehicles in West Java Province, which is the province with the largest population and vehicle population in Indonesia. Based on the calculations carried out in this study using the 2006 IPCC method approach, the results showed a lower emission reduction of around 50% through the conversion of conventional vehicles to electric vehicles. Keyword: Conventional Vehicles, Electric Vehicles, CO₂ Emissions, Jawa Barat.

PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya permasalahan lingkungan, pemerintah federal dan lokal di seluruh dunia telah mulai mengidentifikasi cara-cara potensial untuk mencapai target pengurangan emisi CO₂ yang dipromosikan oleh *United Nations Sustainable Development* [36]. Dengan tidak adanya langkah-langkah kebijakan mitigasi yang agresif, emisi CO₂ transportasi akan meningkat pada tingkat yang lebih cepat dibandingkan sektor lainnya akibat adanya pertumbuhan ekonomi dan peningkatan populasi [33]. Meskipun ada beberapa kemajuan teknologi, kemajuan dalam mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan

konvensional (kendaraan mesin pembakaran internal bertenaga bensin dan diesel) belum mampu mengimbangi permintaan mobilitas yang terus meningkat [32].

Tidak dapat dipungkiri, mengendalikan ketergantungan kendaraan terhadap bahan bakar fosil menjadi alternatif yang paling tepat untuk dapat menekan secara signifikan emisi CO₂ dari sektor transportasi [38]. Hal tersebut dikarenakan, kendaraan listrik ketika dioperasikan tidak menghasilkan emisi gas buang langsung seperti CO₂, NO_x, dan partikel lainnya yang berkontribusi pada pencemaran udara. Ini karena kendaraan listrik menggunakan motor listrik yang ditenagai oleh

baterai lithium-ion, tanpa proses pembakaran bahan bakar fosil sehingga hasil emisi CO₂ dihasilkan dari sumber pembangkit listrik seperti PLTU yang digunakan sebagai sumber energi untuk mengisi baterai pada kendaraan listrik [41]. Apabila sumber pembangkit listrik yang digunakan berasal dari energi baru dan terbarukan atau *renewable energy* maka emisi CO₂ yang dihasilkan baik dari kendaraan listrik maupun sumber pembangkit listriknya relatif kecil [7]. Konversi kendaraan konvensional menjadi kendaraan listrik atau *Electric Vehicle* (EV) menjadi salah satu strategi untuk mengatasi Gas Rumah Kaca (GRK), emisi CO₂, dan tantangan lain yang dihadapi sektor transportasi. Hal ini juga secara otomatis berdampak pada perubahan iklim dan penurunan konsumsi bahan bakar fosil. Selain itu, *Electric Vehicle* (EV) memiliki keunggulan lain, yaitu andal dan efisien [34].

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan adanya potensi signifikan dalam penurunan emisi CO₂ melalui konversi kendaraan konvensional menjadi EV. Menurut studi yang dilakukan oleh Shen et al., di wilayah perkotaan yang padat, konversi kendaraan konvensional ke EV mampu menurunkan emisi hingga 40-50%, khususnya pada jalur lalu lintas tinggi [35]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Li dan Zhang di kawasan Asia Tenggara menunjukkan bahwa peralihan ke EV dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 45%

per kendaraan dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar fosil [39]. Di Indonesia sendiri, hasil penelitian dari Anas dan Prihatmojo menyatakan bahwa konversi kendaraan pribadi di perkotaan mampu mengurangi emisi CO₂ hingga 35% [40].

Jawa Barat merupakan provinsi dengan jumlah penduduk terbesar di Indonesia. Pada tahun 2022 penduduk Jawa Barat sudah mencapai 49,41 juta jiwa atau bertambah sebanyak 623 ribu jiwa dibandingkan tahun sebelumnya. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan pun diprediksi akan terus meningkat. Dengan luas daratan Jawa Barat sebesar 37,04 ribu km² pada tahun 2022, maka kepadatan penduduk Jawa Barat sebanyak 1.344 jiwa per km² pada tahun 2022. Jumlah kendaraan di Jawa Barat pada tahun 2022 sebanyak 16.397.591 unit yang terdiri dari kendaraan pribadi dan umum dengan jenis mobil penumpang, bus, truk, dan sepeda motor [37]. Mobil penumpang di Jawa Barat merupakan jumlah terbesar se Indonesia pada tahun 2022 [15].

Tingginya populasi penduduk dan kendaraan di Jawa Barat akan sangat berdampak terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan ke atmosfer. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis estimasi penurunan emisi CO₂ yang dihasilkan ketika dilakukan konversi dari kendaraan konvensional ke EV sebagai salah satu bentuk upaya mitigasi perubahan

iklim melalui pengendalian emisi CO₂ dari sektor transportasi. Namun, penelitian ini memiliki aspek kebaruan dalam memfokuskan pada estimasi penurunan emisi CO₂ pada skala provinsi dengan menggunakan data kendaraan beberapa waktu ke belakang di Jawa Barat. Di samping itu, penelitian ini akan mengkaji proyeksi penurunan emisi CO₂ dengan membandingkan hasil emisi CO₂ yang dihasilkan dari kendaraan konvensional dan EV. Adapun kendaraan konvensional yang digunakan sebagai dasar perhitungan proyeksi dari penurunan emisi CO₂ pada penelitian ini menggunakan data kendaraan sepeda motor atau sejenisnya dan kendaraan mobil roda empat atau sejenisnya untuk mewakili total kendaraan konvensional yang ada di Jawa Barat. Hal ini dikarenakan, berdasarkan data yang tersedia total populasi dari dua jenis kendaraan tersebut mencapai lebih dari 95% dari total populasi kendaraan di Jawa Barat.

TINJAUAN PUSTAKA

Penurunan emisi CO₂ sektor transportasi

Pada tahun 2022 terjadi peningkatan emisi CO₂ secara global sebesar 1,3% atau 423 Mt dengan sektor transportasi menjadi penyumbang terbesar ketiga di dunia [4]. Oleh karena itu penurunan emisi CO₂ telah menjadi agenda global dalam beberapa dekade terakhir dalam rangka melakukan mitigasi perubahan iklim yang dampaknya sulit untuk dipulihkan

[2]. Banyak negara di dunia telah menyusun strategi sebagai upaya di dalam penurunan emisi CO₂ dari sektor transportasi diantaranya adalah dengan melakukan elektrifikasi kendaraan konvensional serta mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dengan mengalihkannya dengan menggunakan transportasi publik [3].

Penerapan pembatasan aktivitas akibat covid-19 pada tahun 2020 di Jakarta mengakibatkan mobilitas yang menurun telah menghasilkan penurunan emisi CO₂ sekitar 39,9 % dari kondisi normal, hal ini menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara tingkat mobilitas kendaraan dengan emisi CO₂ yang dihasilkan [5]. Saat ini, peralihan ke kendaraan listrik telah menjadi strategi utama di dalam menurunkan emisi CO₂ dari sektor transportasi jalan raya yang secara paralel dapat mendorong percepatan konversi sumber pembangkit listrik ke energi terbarukan karena akan adanya peningkatan permintaan listrik [6]. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan baik untuk kendaraan mobil maupun motor, kendaraan listrik mampu mereduksi emisi CO₂ yang yaitu mobil 2,8 kali lebih rendah [7] dan motor 2,2 kali lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan konvensional [8].

Jenis kendaraan konvensional

Jenis kendaraan konvensional di Jawa Barat terdiri dari alat berat, bus, microbus, sedan,

Tabel 1. Jenis Kendaraan Konvensional di Provinsi Jawa Barat Tahun 2022

No	Jenis Kendaraan	Dinas	Pribadi	Umum
1	Alat Berat	02	40	08
2	Bus, Microbus	1.525	7.963	17.645
3	Sedan, Jeep, Station Wagon	22.179	2.124.536	50.937
4	Sepeda Motor, Scooter	64.778	13.720.861	136
5	Truck, Pick Up	7.697	477.792	78.200
	Total	96.181	16.331.192	146.926

(Sumber: Badan Pendapatan Daerah Jawa Barat)

jeep, station wagon, sepeda motor, *scooter*, *truck*, dan pick up.

Berdasarkan tabel. 1 diatas, semua jenis kendaraan merupakan kendaraan konvensional dengan jumlah terbanyak jenis kendaraan konvensional yang ada di Provinsi Jawa Barat yaitu sepeda motor dan *scooter* sebanyak 13.785.775 unit dan kendaraan mobil atau roda empat jenis sedan, jeep, dan sejenisnya sebanyak 2.197.652, dimana jumlah dari dua jenis kendaraan tersebut adalah 15.983.427 unit atau setara dengan 96,43% dari total populasi kendaraan di Jawa Barat [37].

Jenis Kendaraan EV

Ada beberapa jenis *Electric Vehicles* (EV) yang diklasifikasikan berdasarkan teknologi mesin dan pengaturannya [31], jenis mobil listrik dikategorikan secara rinci sebagai berikut:

a. *Battery Electric Vehicle* (BEV)

BEV adalah mobil listrik yang digerakkan oleh baterai. Baterai ini harus diisi ulang, sehingga BEV memiliki jarak tempuh yang terbatas. Namun, BEV tidak menghasilkan emisi gas buang, sehingga lebih ramah lingkungan daripada mobil listrik jenis lain [16]. Contoh mobil listrik berteknologi BEV adalah Volkswagen e-Golf, Tesla Model 3, BMW i3, Chevy Bolt, Chevy Spark, Nissan LEAF, Ford Focus Electric, Hyundai Ioniq, Karma Revera, Kia Soul, Mitsubishi i-MiEV, Tesla X, dan Toyota Rav4 [14].

b. *Hybrid Electric Vehicle* (HEV)

HEV adalah mobil listrik yang menggabungkan mesin bensin dan motor listrik. Motor listrik menggerakkan mobil pada kecepatan rendah dan saat berakselerasi, sedangkan mesin bensin mengambil alih pada kecepatan yang lebih tinggi. HEV menggunakan pengereman regeneratif untuk mengisi ulang baterainya, sehingga tidak perlu dicolokkan. Meskipun HEV lebih hemat bahan bakar daripada mobil bensin konvensional, tetapi emisi gas buangnya masih cukup tinggi [16]. Contoh jenis mobil HEV yaitu, Honda Civic Hybrid, Toyota Prius Hybrid, dan Toyota Camry Hybrid [14].

c. *Plug-In Hybrid Electric Vehicle* (PHEV)

PHEV adalah kendaraan listrik yang memiliki baterai lebih besar dan dapat

diisi ulang dengan kabel pengisian daya. PHEV juga memiliki mesin pembakaran internal, yang digunakan untuk mengisi daya baterai saat baterai habis atau untuk memberikan dorongan tambahan saat dibutuhkan. PHEV menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan kendaraan listrik murni dan kendaraan hybrid konvensional. PHEV memiliki jangkauan listrik yang lebih lama, sehingga dapat digunakan untuk perjalanan sehari-hari tanpa perlu mengisi daya. PHEV juga lebih efisien dalam hal bahan bakar daripada kendaraan *hybrid* konvensional, karena baterai dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan mesin pembakaran internal [11]. Jenis mobil listrik PHEV termasuk Porsche Cayenne S E-Hybrid, Chevy Volt, Chrysler Pacifica, Ford C-Max Energi, Ford Fusion Energi, Mercedes C350e, Mercedes S550e, Mercedes GLE550e, Mini Cooper SE Countryman, Audi A3 E-Tron, BMW 330e, BMW i8, BMW X5 xdrive40e, Fiat 500e, Hyundai Sonata, Kia Optima, Porsche Panamera S E-hybrid, dan Volvo XC 90 T8 [14].

d. *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV)

FCEV adalah kendaraan yang menggunakan hidrogen sebagai sumber energinya. Hidrogen dikombinasikan dengan oksigen di udara untuk menghasilkan listrik, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan

kendaraan. FCEV memiliki beberapa keunggulan dibandingkan BEV, yaitu waktu pengisian bahan bakar yang lebih cepat dan jarak tempuh yang lebih jauh. Namun, FCEV juga memiliki kelemahan, yaitu infrastruktur pengisian bahan bakar hidrogen yang masih terbatas dan biaya produksi yang lebih mahal [13]. Contoh mobil listrik FCEV yaitu Toyota Mirai, Hyundai Tucson FCEV, Riversimple Rasa, Honda Clarity Fuel Cell, Hyundai Nexo [14].

e. *Extended Range Electric Vehicles* (EREV)

ER-EV adalah jenis kendaraan listrik yang memiliki kombinasi fitur dari BEV dan PHEV. ER-EV memiliki baterai yang lebih besar daripada PHEV, sehingga dapat menempuh jarak yang lebih jauh dengan tenaga listrik saja. Jika baterai habis, mesin bensin kecil akan menyala untuk menghasilkan listrik dan memperpanjang jangkauan kendaraan. ER-EV menjadi semakin populer karena menawarkan manfaat dari BEV dan PHEV. ER-EV dapat digunakan hanya dengan tenaga listrik untuk perjalanan yang lebih pendek, dan dapat digunakan untuk perjalanan jarak jauh tanpa harus berhenti untuk mengisi ulang baterai. Salah satu contoh ER-EV adalah Chevrolet Volt, yang memiliki jarak tempuh baterai sekitar 53 mil sebelum mesin bensin bekerja [12].

Perbandingan Kendaraan Konvensional dan Kendaraan Listrik

Kualitas atau performa kendaraan dapat diketahui melalui perbandingan harga kendaraan, jangkauan perjalanan, efisiensi energi, biaya pengoperasian, biaya

pemeliharaan, dan garansi yang bisa ditawarkan [9]. Untuk lebih lebih jelasnya mengenai perbandingan kendaraan pribadi dan kendaraan konvensional berdasarkan beberapa aspek dalam penelitian [1] dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. Perbandingan Kendaraan Konvensional dan Kendaraan Listrik

Pembanding	Hasil Perbandingan
Harga Kendaraan	Harga kendaraan menjadi salah satu pertimbangan dalam memilih kendaraan. Pembeli akan cenderung memilih kendaraan listrik jika harganya dapat bersaing dengan kendaraan konvensional. Pada negara-negara seperti Tiongkok, Eropa, Amerika Serikat, dan Jepang harga kendaraan listrik memiliki harga yang bersaing, sedangkan di negara-negara seperti Korea Selatan, India, Thailand, Indonesia, dan Malaysia memiliki kesenjangan harga yang cukup signifikan. Namun, secara umum kendaraan konvensional lebih murah dibandingkan kendaraan listrik
Jangkauan Kendaraan	Jangkauan perjalanan merupakan faktor yang paling mempengaruhi dalam memilih kendaraan listrik maupun kendaraan konvensional dengan salah satu tantangan dari pemilihan kendaraan listrik yaitu ketika fasilitas pengisian daya kendaraan listrik tidak berfungsi dengan baik Perbandingan menunjukkan bahwa kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang lebih pendek dibandingkan dengan kendaraan konvensional.
Biaya Energi	Untuk membandingkan biaya kendaraan listrik dengan kendaraan konvensional menggunakan beberapa informasi seperti harga listrik, harga bensin, dan konsumsi energi. Hasilnya menunjukkan bahwa kendaraan konvensional memiliki biaya yang lebih besar dibandingkan kendaraan listrik di sebagian negara. Namun terdapat pertimbangan lain yang bergantung pada model kendaraan yang pengisiannya cepat sehingga biaya yang dikeluarkan hampir sama dengan biaya bahan bakar.
Biaya Perawatan	Perawatan kendaraan diperlukan untuk dapat mengoptimalkan performa kendaraan, kekuatan, daya tahan, keamanan dan nilai jual kendaraan. Kendaraan listrik memerlukan lebih sedikit perawatan dan umumnya biaya perbaikannya lebih murah dari kendaraan konvensional.
Garansi Baterai	Baterai kendaraan listrik menjadi salah satu komponen yang harganya mahal. Siklus pengisian dan pengosongan baterai secara berulang kali dapat menurunkan kapasitas baterai dan pada akhirnya mengharuskan untuk adanya penggantian baterai. Adapun cara untuk dapat memperpanjang umur baterai yaitu meminimalkan paparan kendaraan listrik dari suhu tinggi, pengisian baterai dilakukan antara 25%-75%, dan dapat menghindari penggunaan pengisian cepat baterai yang menghabiskan banyak daya baterai dalam waktu yang singkat. Pada saat ini produsen dari kendaraan listrik bersedia untuk dapat memberikan jaminan baterai. Jaminan baterai atau asuransi baterai dapat meningkatkan kepercayaan pembeli kendaraan listrik.

(Sumber: Hasil Interpretasi, 2024)

Emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan listrik lebih rendah dibandingkan kendaraan konvensional karena perbedaan mendasar dalam mekanisme pembangkit tenaga dan efisiensi energinya. Kendaraan konvensional dengan mesin pembakaran internal menghasilkan tenaga melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti bensin atau diesel, yang menghasilkan emisi gas buang yang mengandung CO₂, CO, NO_x, dan partikel lainnya [29]. Pembakaran ini juga hanya memiliki efisiensi termal sekitar 20-30%, yang berarti sebagian besar energi dari bahan bakar hilang sebagai panas [31]. Sebaliknya, kendaraan listrik menggunakan motor listrik yang ditenagai oleh baterai, yang memiliki efisiensi konversi energi listrik menjadi tenaga mekanik mencapai 85-90% [27]. Dengan kata lain, kendaraan listrik membutuhkan lebih sedikit energi untuk menghasilkan output tenaga yang sama, sehingga menurunkan emisi secara signifikan jika sumber energi listriknya berasal dari pembangkit rendah karbon [7].

Selain itu, EV tidak menghasilkan emisi gas buang langsung karena tidak ada proses pembakaran pada motor listriknya. Walaupun listrik yang digunakan untuk mengisi daya baterai EV juga dapat menghasilkan emisi CO₂, terutama bila listrik tersebut berasal dari pembangkit berbahan bakar fosil, penelitian menunjukkan bahwa total emisi "well-to-wheel" EV tetap lebih rendah dibandingkan kendaraan

konvensional dalam banyak skenario [30]. Di kawasan yang memiliki porsi energi terbarukan yang besar dalam bauran listriknya, manfaat pengurangan emisi CO₂ dari EV semakin besar. Bahkan di wilayah dengan pembangkit listrik fosil dominan, EV masih menghasilkan emisi lebih rendah karena tingginya efisiensi motor listrik dan tidak adanya emisi gas buang langsung [28]. Oleh karena itu, peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik menjadi langkah penting dalam mengurangi emisi CO₂ dan polusi udara dari sektor transportasi.

Perhitungan emisi CO₂ kendaraan

The International Panel on Climate Change (IPCC) merupakan suatu badan internasional yang dibentuk tahun 1988 yang diinisiasi oleh *World Meteorological Organization* (WMO) dan *United Nations Environment Programme* (UNEP) sebagai langkah strategi untuk menghadapi urgensi perubahan iklim di dunia [17]. Pada tahun 2006, IPCC menerbitkan *The 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC 2006) yang menyediakan metodologi untuk melakukan estimasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Berdasarkan IPCC 2006, perhitungan estimasi GRK dibagi ke dalam 3 tingkat ketelitian yang disebut *tier* [18]. Adapun 3 tingkatan tersebut ialah sebagai berikut:

1) Tier 1 : Estimasi GRK berdasarkan

data aktivitas dan faktor emisi berdasarkan IPCC 2006.

- 2) Tier 2 : Estimasi GRK berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dengan faktor emisi berdasarkan IPCC 2006 atau faktor emisi sesuai ketentuan yang berlaku di masing-masing negara.
- 3) Tier 3 : Estimasi GRK berdasarkan metode spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat berdasarkan pengukuran langsung dan faktor emisi sesuai ketentuan yang berlaku di masing-masing negara.

Di dalam penentuan tingkatan perhitungan estimasi GRK sangat bergantung pada ketersediaan data serta tingkat kemajuan suatu negara di dalam penyediaan data dengan mengikuti prosedur yang telah ditentukan (lihat gambar 1).

GRK yang diemisikan dari hasil pembakaran bahan bakar adalah berupa CO₂, CH₄, dan N₂O, adapun estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi darat dapat dihitung menggunakan persamaan tier 1 (IPCC, 2006):

$$Emisi\ CO_2 = \sum [Konsumsi\ Bahan\ Bakar\ x\ Faktor\ Emisi\ CO_2] \dots\dots\dots(1)$$

Pendekatan perhitungan untuk tier 2 dan tier 3 sama seperti tier 1, hanya untuk tier 2 menyesuaikan pada bagian faktor emisi sedangkan untuk tier 3 selain menyesuaikan



Gambar 1. Prosedur Penentuan Tier Dalam Metode IPCC 2006

(Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

pada bagian faktor emisi sesuai kondisi negara masing-masing, perhitungan konsumsi bahan bakar menggunakan pengukuran langsung dengan mempertimbangkan komponen-komponen ketidakpastian [19].

METODE PENELITIAN

Data

Dalam rangka mencapai tujuan penelitian, digunakan data sekunder berupa volume kendaraan, panjang ruas jalan, faktor emisi CO₂ tingkat konsumsi BBM, dan lainnya yang bersumber dari instansi pemerintah, penelitian-

atau $\text{kg CO}_2/\text{kWh}$)

N = Jumlah kendaraan (unit/hari)

PJ = Panjang ruas jalan (km)

TK = Tingkat konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) (L/km)

BJ = Berat Jenis BBM (kg/L)

TKL = Tingkat Konsumsi Listrik (km/kWh)

Faktor Emisi

Di dalam perhitungan faktor emisi kendaraan konvensional digunakan data sesuai ketentuan yang berlaku di sektor lingkungan hidup dan kehutanan yaitu untuk motor $3.180 \text{ g CO}_2/\text{kg BBM}$ dan mobil $3.178 \text{ g CO}_2/\text{kg}$ [20]. Adapun faktor emisi yang digunakan di dalam perhitungan kendaraan EV didapatkan dari hasil pembagian dari tingkat konsumsi listrik dengan faktor emisi CO_2 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang nilainya adalah $0,84 \text{ kg/kWh}$ [21]. Adapun tingkat konsumsi listrik untuk kendaraan mobil sebesar 7 km/kWh [22] sedangkan untuk kendaraan motor sebesar 40 km/kWh [23].

Jumlah Kendaraan

Jumlah kendaraan yang digunakan adalah data jumlah kendaraan per hari yang diproyeksi dari persentase jumlah kendaraan yang terdapat di jalan setiap harinya. Berdasarkan data Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang (BMPR) Provinsi Jawa Barat pada tahun 2013, persentase kendaraan mobil di jalan setiap

harinya sebesar 85% dari total kendaraan dan kendaraan motor di jalan setiap harinya sebesar 48% dari total kendaraan [24]. Dalam perhitungan ini digunakan data total kendaraan pada tahun 2022 yang dianggap persentase jumlah kendaraan yang terdapat di jalan adalah konstan.

Jumlah kendaraan yang digunakan adalah data jumlah kendaraan per hari yang diproyeksi dari persentase jumlah kendaraan yang terdapat di jalan setiap harinya. Berdasarkan data Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang (BMPR) Provinsi Jawa Barat pada tahun 2013, persentase kendaraan mobil di jalan setiap harinya sebesar 85% dari total kendaraan dan kendaraan motor di jalan setiap harinya sebesar 48% dari total kendaraan [2]. Dalam perhitungan ini digunakan data total kendaraan

Tabel 3. Jumlah Kendaraan Konvensional Per Hari

Tahun	Jumlah Total Mobil	Jumlah Mobil Di Jalan Per Hari	Jumlah Total Motor	Jumlah Motor Di Jalan Per Hari
2013	1.170.983	996.260	9.672.160	4.681.244
2014	1.480.108	1.259.260	11.750.875	5.687.325
2015	1.627.971	1.385.061	12.582.954	6.090.044
2016	1.794.479	1.526.724	13.525.511	6.546.233
2017	1.944.955	1.654.747	14.807.500	7.166.705
2018	2.047.602	1.742.078	14.126.300	6.837.010
2019	2.144.808	1.824.780	14.425.556	6.981.848
2020	2.073.499	1.764.111	13.718.798	6.639.783
2021	2.116.139	1.800.389	13.703.168	6.632.218
2022	2.197.652	1.869.739	13.781.775	6.670.263

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

pada tahun 2022 yang dianggap persentase jumlah kendaraan yang terdapat di jalan adalah konstan.

Panjang Ruas Jalan

Panjang ruas jalan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah panjang ruas jalan provinsi Jawa Barat pada tahun 2022 yaitu 2.360,58 km [25].



Gambar 4. Panjang Ruas Jalan di Provinsi Jawa Barat (Sumber: Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang)

Tabel 4. Perhitungan Total Penggunaan BBM Per Hari

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (unit/hari)	Panjang Ruas Jalan (km)	Tingkat Konsumsi BBM (L/km)	Berat Jenis BBM (kg/L)	Total Penggunaan BBM (kg/hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6 = 1 x 2 x 3 x 4 x 5)
Motor	6.670.263,06	2.360,58	0,02	0,77	242.483.619,33
Mobil	1.869.739,17	2.360,58	0,09	0,77	305.867.253,93

(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

Tingkat Konsumsi BBM

Tingkat konsumsi BBM untuk kendaraan konvensional di Jawa Barat diasumsikan sama seperti data yang disampaikan oleh Dinas BMPR Provinsi Jawa Barat tahun 2013 yaitu mobil sebesar 0,09 L/km dan motor sebesar 0,02 L/km [24].

Berat jenis BBM

Berat jenis BBM untuk kendaraan konvensional di Jawa Barat diasumsikan menggunakan bahan bakar pertalite dengan berat jenis 0,77 kg/L [26].

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan emisi CO₂ kendaraan konvensional

Tahap awal di dalam perhitungan estimasi emisi CO₂ yang dihasilkan dari kendaraan konvensional ialah dilakukan perhitungan estimasi total penggunaan BBM.

Setelah didapat total penggunaan BBM per hari, dilakukan perhitungan emisi CO₂ menggunakan persamaan (2) sehingga didapat total emisi CO₂ untuk masing-masing jenis

Tabel 5. Perhitungan Total Emisi CO₂ Per Hari Kendaraan Konvensional

Jenis Kendaraan	Total Penggunaan BBM (kg/hari)	Faktor Emisi (g CO ₂ /Kg)	Total Emisi (ton CO ₂ /hari)
(1)	(2)	(3)	(4) = (2 x 3 / 1.000.000)
Motor	242.483.619,33	3.180	771.097,91
Mobil	305.867.253,93	3.178	972.046,13

(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

kendaraan yaitu motor sebesar 771.097,91 ton CO₂ per hari dan mobil 972.046,13 ton CO₂ per hari.

Perhitungan emisi CO₂ kendaraan EV

Di dalam perhitungan emisi CO₂ kendaraan EV, pertama perlu dihitung terlebih dahulu

faktor emisi CO₂, untuk selanjutnya dilakukan perhitungan emisi CO₂ menggunakan persamaan (3) sehingga didapat total emisi CO₂ untuk masing-masing jenis kendaraan yaitu motor sebesar 330.659,48 ton CO₂ per hari dan mobil 529.640,27 ton CO₂ per hari.

Tabel 6. Perhitungan Faktor Emisi CO₂ Kendaraan EV

Jenis Kendaraan	Tingkat Konsumsi Listrik (km/kWh)	Faktor Emisi PLTU (kg CO ₂ /kWh)	Faktor Emisi CO ₂ (g CO ₂ /km)
(1)	(2)	(3)	(4) = (3/2) x 1.000
Motor	40,00	0,84	21,00
Mobil	7,00	0,84	120,00

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Tabel 7. Perhitungan Total Emisi CO₂ Kendaraan EV

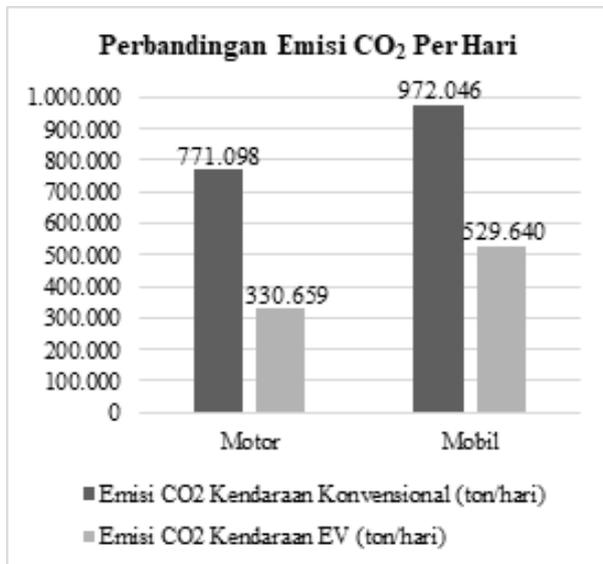
Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (unit/hari)	Panjang Ruas Jalan (km)	Faktor Emisi CO ₂ (g CO ₂ /km)	Total Emisi (ton CO ₂ /hari)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (2 x 3 x 4) / 1.000.000
Motor	6.670.263,06	2.360,58	21,00	330.659,48
Mobil	1.869.739,17	2.360,58	120,00	529.640,27

(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

Perbandingan Hasil Emisi CO₂

Berdasarkan perhitungan emisi CO₂ yang telah dilakukan menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan yaitu emisi yang dihasilkan oleh kendaraan EV memiliki nilai lebih kecil dibandingkan kendaraan konvensional untuk seluruh jenis kendaraan. Hasil perhitungan ini tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan sebelumnya [8], yang menunjukkan hasil emisi CO₂ kendaraan listrik memiliki nilai sekitar 2 kali lebih rendah dibandingkan hasil emisi kendaraan konvensional. Pada gambar 5 ditunjukkan perbandingan emisi CO₂ per hari antara kendaraan konvensional dan kendaraan listrik (EV) untuk dua jenis kendaraan, yaitu motor dan mobil. Emisi CO₂ dari motor konvensional adalah 771.098 ton per hari, sedangkan emisi dari motor listrik hanya sebesar 330.659 ton per hari. Ini menunjukkan penurunan emisi sekitar 57% saat beralih dari motor konvensional ke motor listrik. Sedangkan emisi CO₂ dari mobil konvensional tercatat sebesar 972.046 ton per hari. Jika menggunakan mobil listrik, emisi berkurang menjadi 529.640 ton per hari, menghasilkan pengurangan emisi sekitar 46%.

Secara keseluruhan, kendaraan listrik (baik motor maupun mobil) memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi emisi CO₂ harian dibandingkan kendaraan konvensional, dengan pengurangan emisi yang mencapai 57% untuk motor dan 46% untuk mobil.



Gambar 5. Perbandingan Emisi CO₂
(Sumber: Hasil Analisis, 2024)

KESIMPULAN DAN SARAN

Seiring dengan semakin bertambahnya aktivitas perekonomian manusia mengakibatkan semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk dan kendaraan. Hal tersebut berdampak pada meningkatnya mobilitas manusia dengan menggunakan kendaraan yang mengakibatkan peningkatan emisi CO₂ di muka bumi. Apabila hal tersebut tidak segera dikendalikan maka dampak perubahan iklim akan semakin menghasilkan dampak negatif bagi kehidupan manusia. Salah satu solusi yang dapat segera diimplementasikan dalam rangka mengurangi emisi CO₂ adalah dengan melakukan konversi kendaraan konvensional ke kendaraan EV. Banyak studi dan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan perkembangan teknologi saat ini telah mampu menghasilkan kendaraan EV yang

memadai dan mampu untuk menurunkan emisi CO₂. Berdasarkan hasil perhitungan di dalam penelitian ini, didapatkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan EV jauh lebih rendah dibandingkan kendaraan konvensional yaitu untuk jenis kendaraan mobil 46% lebih rendah sedangkan untuk jenis kendaraan motor 57% lebih rendah. Penggunaan kendaraan EV dapat lebih optimal menurunkan emisi CO₂ apabila listrik yang digunakan untuk mengisi daya baterai menggunakan sumber listrik berbasis energi baru terbarukan seperti panas bumi, angin, air, dan sejenisnya.

Meskipun telah terbukti kendaraan EV mampu menghasilkan emisi CO₂ yang lebih rendah, terdapat beberapa hambatan di Indonesia yang mengakibatkan proses konversi ini belum berjalan optimal diantaranya harga yang mahal, pilihan yang masih terbatas, infrastruktur penunjang yang belum memadai, serta belum optimalnya kebijakan dan insentif pemerintah. Mempertimbangkan beberapa negara yang telah berhasil melakukan percepatan proses konversi ini, pemerintah diharapkan untuk dapat melakukan lokalisasi dan kolaborasi pengembangan industri manufaktur kendaraan EV di Indonesia dalam rangka menekan biaya produksi, mempercepat pengembangan pembangunan infrastruktur penunjang kendaraan EV seperti Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU), memberikan subsidi dan insentif dalam rangka

percepatan penggunaan kendaraan EV, dan mengevaluasi serta melakukan percepatan pembangunan sumber pembangkit listrik berbasis energi baru terbarukan.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, ruang lingkup analisis dalam penelitian ini hanya berfokus pada data perbandingan dalam skala harian, sehingga belum dapat menggambarkan fluktuasi emisi dalam rentang waktu yang lebih panjang. Selain itu, perhitungan emisi CO₂ hanya berfokus pada jenis kendaraan mobil dan motor sebagai populasi kendaraan terbesar, tanpa mempertimbangkan jenis kendaraan lain yang juga berkontribusi signifikan terhadap emisi CO₂, seperti truk dan bus. Keterbatasan ini diharapkan dapat diperbaiki dalam penelitian-penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas ruang lingkup analisis dengan menggunakan data dalam skala waktu yang lebih panjang, seperti mingguan, bulanan, atau tahunan, untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh terkait fluktuasi emisi CO₂ dari konversi kendaraan konvensional ke EV. Selain itu, penelitian di masa depan diharapkan untuk mencakup jenis kendaraan lain, seperti truk, bus, dan kendaraan niaga lainnya, yang berkontribusi signifikan terhadap total emisi CO₂ di sektor transportasi. Hal ini penting untuk menghasilkan estimasi penurunan emisi

yang lebih komprehensif dan representatif. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan lebih lengkap bagi perumusan kebijakan pengurangan emisi di sektor transportasi di Jawa Barat maupun di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency, “CO2 Emissions in 2022,” 2022. [Online]. Available: www.iea.org
- [2] P. Arias et al., “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary,” Cambridge University Press, 2021.
- [3] Wang, S., & Ge, M. (2019). *Everything You Need to Know About the Fastest-Growing Source of Global Emissions: Transport*
- [4] International Energy Agency, “CO2 Emissions in 2022,” 2022. [Online]. Available: www.iea.org
- [5] A. R. Anugerah, P. S. Muttaqin, and D. A. Purnama, “Effect of large-scale social restriction (PSBB) during COVID-19 on outdoor air quality: Evidence from five cities in DKI Jakarta Province, Indonesia,” *Environ Res*, vol. 197, p. 111164, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.111164.
- [6] F. , A. Padhilah et al., “Indonesia Electric Vehicle Outlook 2023 Electrifying Transport Sector: Tracking Indonesia EV Industries and Ecosystem Readiness,” 2023.
- [7] W. Achariyaviriya, P. Suttakul, S. Phuphisith, Y. Mona, R. Wanison, and P. Phermkorn, “Potential reductions of CO2 emissions from the transition to electric vehicles: Thailand’s scenarios towards 2030,” *Energy Reports*, vol. 9, pp. 124–130, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.08.073.
- [8] T. Koossalapeerom, T. Satiennam, W. Satiennam, W. Leelapatra, A. Seedam, and T. Rakpukdee, “Comparative study of real-world driving cycles, energy consumption, and CO2 emissions of electric and gasoline motorcycles driving in a congested urban corridor,” *Sustain Cities Soc*, vol. 45, pp. 619–627, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.12.031.
- [9] M. Coffman, P. Bernstein, and S. Wee, “Electric vehicles revisited: a review of factors that affect adoption,” *Transp Rev*, vol. 37, no. 1, pp. 79–93, Jan. 2017, doi: 10.1080/01441647.2016.1217282.
- [11] Daina, N., Sivakumar, A., & Polak, J.

- W. (2017). Electric vehicle charging choices: Modelling and implications for smart charging services. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 81, 36-56. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.05.006>
- [12] Zhao, Y., Wang, Z., Shen, Z.-J. M., Zhang, L., Dorrell, D. G., & Sun, F. (2022). Big data-driven decoupling framework enabling quantitative assessments of electric vehicle performance degradation. *Applied Energy*, 327, 120083. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120083>
- [13] Govardhan, O. M. (2017). Fundamentals and classification of hybrid electric vehicles. *International Journal of Engineering and Techniques*, 3(5),
- [14] PT. Omazaki, 2019. Jenis Mobil Listrik dan Prinsip Kerjanya. <https://www.omazaki.co.id/jenis-mobil-listrik-dan-prinsip-kerjanya/>
- [15] Badan Pusat Statistik. (2024). Jumlah kendaraan bermotor menurut provinsi dan jenis kendaraan (unit), 2022.
- [16] Alanazi, F. 2023. Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Appl. Sci.* 2023, 13, 6016. <https://doi.org/10.3390/app13106016>
- [17] IPCC, “IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories,” <https://www.ipcc.ch/2019/05/13/ipcc-2019-refinement/>.
- [18] Kementerian Lingkungan Hidup, “Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku Ii-Volume 1 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca,” 2012.
- [19] IPCC, “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,” <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- [20] KLHK, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Jakarta: KLHK, 2010.
- [21] Kementerian ESDM, “Faktor Emisi Grk Sistem Ketenagalistrikan Tahun 2019,” https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/96d7c-nilai-fe-grk-sistem-ketenagalistrikan-tahun-2019.pdf.
- [22] PLN, “Rasakan Hematnya Pakai Mobil Listrik, Fitra Eri: Isi Daya Rp 70 Ribu Bisa Tempuh Jarak 300 Km,” <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2022/07/rasakan-hematnya-pakai-mobil-listrik-fitra-eri-isi-daya-rp-70-ribu-bisa-tempuh-jarak-300-km/>.

- [23] Kementerian ESDM, “Adu Irit Motor Listrik vs Bensin, Ternyata Ini Pemenangnya!,” <https://www.cnbcindonesia.com/money/20230531051849-72-441984/adu-irit-motor-listrik-vs-bensin-ternyata-ini-pemenangnya#:~:text=Perkiraan%20biaya%20berkendara%20motor%20listrik,rata%2Drata%20sebesar%201%20kWh>.
- [24] Y. Sekaryadi and W. Santosa, “Emisi Kendaraan Pada Ruas Jalan Provinsi Di Jawa Barat,” 2017.
- [25] Pemprov Jawa Barat, “Panjang Ruas Jalan Berdasarkan Kabupaten/Kota di Jawa Barat,” <https://opendata.jabarprov.go.id/id/dataset/panjang-ruas-jalan-berdasarkan-kabupatenkota-di-jawa-barat>.
- [26] Pertamina, “Spesifikasi Produk BBM, BBN, dan LPG,” 2020.
- [27] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
- [28] Helmers, E., & Marx, P. (2012). Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 14. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14>
- [29] Sovacool, B. K. (2017). The precarious political economy of electric vehicles: A review of government policies for EV manufacturing and consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 167-180. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.043>
- [30] Tessum, C. W., Hill, J. D., & Marshall, J. D. (2014). Life cycle air quality impacts of conventional and alternative light-duty transportation in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(52), 18490-18495. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406853111>
- [31] Yang, Z., Slowik, P., Lutsey, N., & Searle, S. (2018). Principles for effective electric vehicle incentive design. International Council on Clean Transportation (ICCT).
- [32] Kihm, A., & Trommer, S. (2014). The new car market for electric vehicles and the potential for fuel substitution. *Energy Policy*, 73, 147-157. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.021>
- [33] Intergovernmental Panel On Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press.
- [34] Lutsey, N., & Sperling, D. (2012).

- Regulatory adaptation: Accommodating electric vehicles in a petroleum world. *Energy Policy*, 45, 308-316.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.038>
- [35] Shen, W., Han, L., & Chen, Z. (2020). Evaluating the Impact of Electric Vehicle Adoption on Urban CO₂ Emissions: A Case Study of a High-Density Traffic Area. *Applied Energy*, 275, 115363. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115363>
- [36] United Nations. (2023). Sustainable Development Goals Report 2023. United Nations.
- [37] Badan Pusat Statistika Provinsi Jawa Barat. (2023). Statistik Kendaraan Jawa Barat 2022.
- [38] Rolim, C., Baptista, P., Duarte, G., & Farias, T. (2012). Impacts of Electric Vehicle Adoption on Urban Air Quality and CO₂ Emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(3), 291-297.
- [39] Li, X., & Zhang, Y. (2021). Carbon Emissions Reduction in Southeast Asia Through the Adoption of Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, 55(5), 3323-3333. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07945>
- [40] Anas, M., & Prihatmojo, A. (2022). Potensi Pengurangan Emisi CO₂ Melalui Konversi Kendaraan Pribadi ke Kendaraan Listrik di Perkotaan Indonesia. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 10(2), 145-155.
- [41] Ferlita, S. A., Sudarti, & Yushardi. (2023). Analisis efisiensi kendaraan listrik sebagai salah satu transportasi ramah lingkungan pengurang emisi karbon. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 356-365