

**ANALISIS BEBAN EMISI GAS RUMAH KACA
DAN REDUKSI EMISINYA
DARI PERALIHAN PENGGUNAAN KENDARAAN LISTRIK
STUDI KASUS PULAU JAWA**

Tesis
Untuk memenuhi sebagai persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-2
Program Studi Magister Teknik Lingkungan



Diajukan Oleh:
Surya Adi Wicaksono
21080122410002

**MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
Februari, 2024**

HALAMAN PENGESAHAN
TESIS
Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca
Dan Reduksi Emisinya
Dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik
Studi Kasus Pulau Jawa

Dipersiapkan dan disusun oleh :
Surya Adi Wicaksono
21080122410002

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 6 Februari 2024

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

Ketua Tim Penguji

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T.,
M.T., IPM., ASEAN Eng.
197402141999031002

Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T.,
M.Eng., Ph.D., IPP
198704202014012001

Pembimbing Pendamping

Anggota Tim Penguji

Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T.,
M.Si., IPM., ASEAN Eng.
197805142005011001

Dr. Eng. Bimastyaji Surya Ramadan,
S.T., M.T.
199203242019031016

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar master
Tanggal 12 Februari 2024

Ketua Program Studi Magister Teknik Lingkungan

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.
NIP. 19740214199931002

Mengetahui
Ketua Departemen Teknik Lingkungan

Dr. -Ing. Sudarno, S.T., M.Sc.
NIP. 19740131199903100

PERNYATAAN

Tesis ini belum pernah diusulkan untuk mendapatkan gelar master oleh universitas manapun. Sepengetahuan penulis, tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain selain yang disebutkan secara tertulis dalam laporan ini dan dikutip dalam daftar pustaka.

Semarang, 6 Februari 2024

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis S- 2 yang berjudul “Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca Dan Reduksi Emisinya Dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik Studi Kasus Pulau Jawa“. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penyusunan tesis ini:

1. Bapak Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. dan Bapak Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, dukungan, motivasi, masukan, dan bimbingan sehingga penulisan tesis dapat diselesaikan.
2. Ibu Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., IPP. sebagai dosen penguji 1 dan Bapak Dr. Eng. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T. sebagai dosen penguji 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan tesis.
3. Sahabat penulis lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan motivasi untuk bertahan dan menyelesaikan tesis.
4. Teman-teman Angkatan 8 Magister Teknik Lingkungan yang telah memberikan semangat dan motivasi untuk cepat lulus.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENGANTAR.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Permasalahan Penelitian.....	I-5
1.3 Keaslian Penelitian.....	I-5
1.4 Tujuan Penelitian.....	I-5
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
1.6 Batasan Masalah.....	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	II-1
2.1 Tinjauan Pustaka	II-1
2.2 Landasan Teori.....	II-6
2.2.1 Kendaraan Listrik	II-6
2.2.2 Kendaraan Konvensional.....	II-8
2.2.3 Energi	II-9
2.2.3.1 Energi Terbarukan	II-9
2.2.3.2 Energi Tak Terbarukan	II-9
2.2.3.3 Kebijakan kendaraan listrik di Indonesia	II-9
2.2.4 Emisi.....	II-11
2.2.4.1. Emisi Gas Rumah Kaca	II-11
2.2.4.2 Karbon Dioksida (CO ₂).....	II-12
2.2.4.2 Gas Metan (CH ₄).....	II-12
2.2.4.2 Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	II-13

2.2.4.2 Faktor Emisi	II-13
2.2.5. Nilai Ekonomi Karbon.....	II-14
2.2.6. Sosiodemografi	II-15
2.2.7. Model.....	II-15
2.2.7.1 Permodelan sistem dinamik	II-15
2.2.7.2 <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i>	II-16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	III-1
3.1 Metodologi Pemilihan Lokasi	III-1
3.2 Metode Pengumpulan Data	III-1
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	III-5
3.4 Metode Analisis Data	III-7
3.4.1 Analisis Deskriptif.....	III-7
3.4.2 Analisis Gas Rumah Kaca Dengan Permodelan Dinamik.....	III-9
3.4.3 Validasi Model	III-10
3.5 Metode Penyajian Data	III-11
3.6 Jadwal Penelitian.....	III-11
3.7 Diagram Alir Metode Penelitian	III-12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitan	IV-1
4.1.1 Kondisi Administrasi.....	IV-1
4.1.2 Kondisi Sosiodemografi	IV-1
4.1.2.1 Penduduk	IV-2
4.1.2.1 Kendaraan	IV-4
4.2 Konsep Permodelan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik	IV-5
4.2.1 Konsep Model Dinamik Pada Sistem Permodelan.....	IV-5
4.2.2 Struktur Model Dinamik.....	IV-6
4.2.2.1 Struktur Model Skenario BAU	IV-6
4.2.2.1 Struktur Model Skenario EVP	IV-9
4.2.3 Validasi Model	IV-11
4.3 Hasil Permodelan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik	IV-14
4.3.1 Skenario BAU	IV-14

4.3.1.1	Proyeksi Kendaraan Konvensional	IV-14
4.3.1.2	Proyeksi Kebutuhan Energi Kendaraan Konvensional.....	IV-15
4.3.1.3	Proyeksi Emisi GRK Kendaraan Konvensional	IV-17
4.3.2	Skenario EVP	IV-23
4.3.2.1	Jumlah Kendaraan Listrik.....	IV-24
4.3.2.2	Kebutuhan Energi Kendaraan listrik.....	IV-28
4.3.2.3	Emisi GRK Kendaraan Listrik.....	IV-31
4.3.2	Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik.....	IV-40
4.4	Implikasi Hasil Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik Terhadap Kebijakan Pemerintah	IV-43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA		xiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi Penelitian Terdahulu	II-2
Tabel 2.2 Jenis-jenis Gas Rumah Kaca dan Nilai Potensi Pemanasan Global .	II-12
Tabel 2.3 Range Nilai MAPE	II-17
Tabel 3.1 Provinsi di Pulau Jawa	III-1
Tabel 3.2 Pengumpulan Data dan Ouput yang Dihasilkan	III-2
Tabel 3.3 Rekapitulasi Skenario Model	III-7
Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan dan Variabel yang Digunakan	III-8
Tabel 3.5 Penjelasan Diagram Input pada <i>Analitca 6.1</i>	III-10
Tabel 3.4 Jadwal Penyusunan Tesis.....	III-11
Tabel 4.1 Provinsi dan Ibu Kota Provinsi di Pulau Jawa.....	IV-1
Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Dipulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun	IV-2
Tabel 4.3 Jumlah Penduduk Dipulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun	IV-3
Tabel 4.4 Jumlah Penduduk Dipulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun	IV-4
Tabel 4. 5 Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Mobil.....	IV-12
Tabel 4. 6 Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Motor.....	IV-13
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Data Yang diinput Pada Model.....	IV-16
Tabel 4. 8 Faktor Emisi GRK	IV-18
Tabel 4. 9 Jenis-jenis GRK dan Nilai Potensi Pemanasan Global	IV-22
Tabel 4. 10 Skenario Persentase Pertumbuhan Kendaraan Listrik	IV-27
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Data Pada Model Energi Kendaraan Listrik	IV-28
Tabel 4. 12 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Batu Bara	IV-31
Tabel 4. 13 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Minyak Bumi	IV-31
Tabel 4. 14 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Gas Alam	IV-32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Kendaarn Listrik Jenis BEV	II-7
Gambar 2. 2 Sistem Kendaarn Listrik Jenis PHEV	II-8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	III-12
Gambar 4.1 Grafik Penduduk Pulau Jawa dan Indonesia	IV-2
Gambar 4.2 Grafik Jumlah keluarga di Pulau Jawa	IV-3
Gambar 4.3 Grafik Pertumbuhan Kendaraan di Pulau Jawa.....	IV-4
Gambar 4.4 Diagram Loop Konsep Permodelan	IV-5
Gambar 4.5 Model Keseluruhan Skenario BAU.....	IV-8
Gambar 4.6 Model Keseluruhan Skenario EVP	IV-10
Gambar 4. 7 Visualisasi Grafik Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Mobil.....	IV-12
Gambar 4. 8 Visualisasi Grafik Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Motor	IV-13
Gambar 4. 9 Jumlah Kendaraan Konvensional Mobil Pulau Jawa.....	IV-14
Gambar 4. 10 Jumlah Kendaraan Konvensional Motor Pulau Jawa.....	IV-15
Gambar 4. 11 Total Kebutuhan Energi Kendaraan Pulau Jawa.....	IV-17
Gambar 4. 12 Emisi CO ₂ Kendaraan Mobil Pulau Jawa	IV-18
Gambar 4. 13 Emisi CH ₄ Kendaraan Mobil Pulau Jawa	IV-19
Gambar 4. 14 Emisi N ₂ O Kendaraan Mobil Pulau Jawa	IV-19
Gambar 4. 15 Emisi CO ₂ Kendaraan Motor Pulau Jawa	IV-19
Gambar 4. 16 Emisi CH ₄ Kendaraan Motor Pulau Jawa	IV-20
Gambar 4. 17 Emisi N ₂ O Kendaraan Motor Pulau Jawa	IV-20
Gambar 4. 18 GWP Kendaraan Mobil Dan Motor Pulau Jawa	IV-22
Gambar 4. 19 Persentase Sebaran Kuesioner.....	IV-24
Gambar 4. 20 Persentase Responden Yang Berpotensi Beralih Ke Kendaraan Listrik.....	IV-24
Gambar 4. 21 Jumlah Kendaraan Konvensional Yang Ingin Beralih Ke Kendaraan Listrik.....	IV-25

Gambar 4. 22 Jumlah Kendaraan Konvensional Yang Berpotensi Ingin Beralih Ke Kendaraan Listrik.....	IV-26
Gambar 4. 23 Jumlah Kendaraan Listrik Berdasarkan Data Literatur.....	IV-27
Gambar 4. 24 Penggunaan Energi Kendaraann Listrik.....	IV-29
Gambar 4. 25 Penggunaan Energi Kendaraan Listrik.....	IV-30
Gambar 4. 26 Emisi CO ₂ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting.....	IV-32
Gambar 4. 27 Emisi CH ₄ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting.....	IV-33
Gambar 4. 28 Emisi N ₂ O Kendaraan Listrik Skenario Eksisting	IV-33
Gambar 4. 29 Emisi CO ₂ Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-33
Gambar 4. 30 Emisi CH ₄ Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-34
Gambar 4. 31 Emisi N ₂ O Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-34
Gambar 4. 32 GWP Kendaraan Listrik	IV-35
Gambar 4. 33 Emisi CO ₂ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting.....	IV-36
Gambar 4. 34 Emisi CH ₄ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting.....	IV-37
Gambar 4. 35 Emisi N ₂ O Kendaraan Listrik Skenario Eksisting	IV-37
Gambar 4. 36 Emisi CO ₂ Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-37
Gambar 4. 37 Emisi CH ₄ Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-38
Gambar 4. 38 Emisi N ₂ O Kendaraan Listrik Skenario KEN	IV-38
Gambar 4. 39 GWP Kendaraan Listrik	IV-39
Gambar 4. 40 Reduksi Emisi Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik Berdasarkan Data Primer	IV-40
Gambar 4. 41 Reduksi Emisi Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik Berdasarkan Data Sekunder	IV-41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kuesioner Penelitian.....	xvi
Lampiran 2 Emisi GRK Mobil dan Motor Pulau Jawa.....	xxii
Lampiran 3 Rekapitulasi GWP Mobil dan Motor Pulau Jawa.....	xxiii
Lampiran 4 Representasi Jumlah Kendaraan Listrik	xxiv
Lampiran 5 Emisi GRK Kendaraan Listrik Data Primer	xxv
Lampiran 6 Emisi GRK Kendaraan Listrik Data Sekunder	xxvi
Lampiran 7 Perhitungan Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik dengan data primer	xxvii
Lampiran 8 Perhitungan Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik dengan data sekunder	xxix

ABSTRAK

Untuk mengurangi efek perubahan iklim yang berasal dari emisi Gas Rumah Kaca (GRK) terutama dari sektor transportasi, banyak negara termasuk Indonesia berinisiatif mengembangkan kebijakan untuk mendorong teknologi transportasi yang ramah lingkungan. Salah satu kebijakannya adalah kendaraan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi penurunan emisi GRK dari peralihan penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa. Metode penelitian dilakukan dengan memodelkan kendaraan konvensional hingga tahun 2033, lalu diasumsikan terjadi transisi atau peralihan menuju kendaraan listrik untuk kemudian dianalisis potensi reduksi emisi GRK dengan mengikuti pedoman perhitungan sesuai *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2006. Penelitian ini menggunakan 2 skenario utama yaitu *Business As Usual* (BAU) yang mengasumsikan pertumbuhan kendaraan konvensional tanpa adanya kebijakan peralihan kendaraan listrik dan *Electric Vehicle Plan* (EVP) yang mengasumsikan adanya peralihan kendaraan listrik berdasarkan subsidi pemerintah Indonesia, skenario EVP sendiri dibagi dengan mengkaji 2 skenario penggunaan energi berbeda yaitu eksisting dan Kebijakan Energi Nasional (KEN). Hasil model menunjukkan adanya potensi penurunan emisi GRK sebesar 24,05% (21,44 miliar kg CO_{2eq}) dari skenario EVP eksisting dan 24,94% (22,44 miliar kg CO_{2eq}) dari skenario EVP KEN terhadap skenario BAU karena adanya peralihan penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa.

Kata Kunci: GRK, Kendaraan listrik, Pulau Jawa

ABSTRACT

To reduce the effects of climate change from greenhouse gas (GHG) emissions, especially from the transportation sector, many countries including Indonesia have taken the initiative to develop policies to encourage environmentally friendly transportation technology. One of the policies is electric vehicles. This research aims to assess the potential reduction of GHG emissions from the transition to the used of electric vehicles on the island of Java. The research method is carried out by modeling conventional vehicles until 2033, then assuming a transition or transition to electric vehicles and analyzing the potential reduction of GHG emissions by following the calculation guidelines according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2006. This study uses 2 main scenarios, namely Business As Usual (BAU) which assumes the growth of conventional vehicles without any electric vehicle transition policy and Electric Vehicle Plan (EVP) which assumes the transition of electric vehicles based on Indonesia Government subsidies, the EVP scenario itself is divided by examining 2 different energy use scenarios, namely existing and National Energy Policy (NEP). The model results show a potential reduction in GHG emissions of 24.05% (21.44 billion kg CO_{2eq}) from the existing EVP scenario and 24.94% (22.44 billion kg CO_{2eq}) from the EVP NEP scenario against the BAU scenario due to the shift in the use of electric vehicles on Java Island.

Keyword: GHG, Electric Vehicle, Java Island

BAB I PENGANTAR

1.1 Latar Belakang

Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) dipengaruhi oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, pertanian, dan limbah industri. Dalam beberapa dekade terakhir, pertumbuhan emisi GRK telah mengubah keseimbangan iklim global, menyebabkan peningkatan suhu global, intensifikasi fenomena cuaca ekstrem, dan perubahan signifikan pada lingkungan alam (Solomon *et.al*, 2007). Emisi GRK dari kegiatan manusia menimbulkan empat gas rumah kaca yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), dan halokarbon (kelompok gas yang mengandung fluor, klorin, dan brom). Gas-gas ini terakumulasi di atmosfer, sehingga konsentrasinya meningkat seiring berjalannya waktu (*US EPA National Center For Environmental*, 2009). Emisi GRK umumnya diukur dalam satuan karbon dioksida (CO₂). Untuk melakukan konversi emisi gas menjadi setara CO₂, kemudian emisi tersebut dikalikan dengan *Global Warming Potential (GWP)* dari gas tersebut.

Emisi GRK dari sektor kendaraan merupakan salah satu isu permasalahan lingkungan yang paling signifikan di seluruh dunia, terutama di negara-negara dengan tingkat penggunaan kendaraan yang tinggi. Sebagai contoh, *U.S. Environmental Protection Agency* (US. EPA.) pada tahun 2021 juga memaparkan bahwa emisi GRK yang dihasilkan di negara Amerika adalah 6,34 Juta m³ CO₂ ekuivalen, dengan sektor transportasi menyumbang persentase paling besar yaitu sejumlah 28% dari total emisi yang dihasilkan. Sektor transportasi di Indonesia pada tahun 2021 menyumbang 44,2 % dari total konsumsi energi nasional, jika dibandingkan dengan tahun 2020 konsumsi energi untuk transportasi naik sekitar 6,7% (Dewan Energi Nasional, 2022). Jumlah energi yang tinggi tersebut tentu saja sebanding dengan penggunaan energi yang dibutuhkan serta emisi yang dihasilkan. Salah satu sumber emisi GRK berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara yang melepaskan gas CO₂ dan gas-gas lainnya yang dikenal sebagai gas rumah kaca ke atmosfer (Perera, 2019). Region Jawa-Bali

menjadi daerah dengan konsumsi energi pada sektor transportasi paling banyak (Dewan Energi Nasional, 2022). Berdasarkan data BPS pada tahun 2022 pulau Jawa memiliki kendaraan bermotor sebanyak 11.335.573 atau sekitar 66% dari total jumlah kendaraan yang ada di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa Pulau Jawa memiliki mobilisasi kendaraan paling tinggi di Indonesia dibandingkan dengan daerah lain.

Kebutuhan akan transportasi dalam pemenuhan kebutuhan perpindahan orang dan barang sebagai aktivitas ekonomi menimbulkan tingginya penggunaan minyak dan bahan bakar. Hal ini sekaligus memberikan dampak lingkungan kenaikan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebagaimana dijelaskan berdasarkan data dari Kementerian ESDM bahwa pada tahun 2021 sektor transportasi menghasilkan ± 143 juta ton CO₂ ekuivalen. Oleh karena itu, tantangan bagi sektor transportasi Indonesia adalah mengembangkan kebijakan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang juga mengambil tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, salah satunya adalah kebijakan penggunaan mobil listrik.

Perkembangan kendaraan listrik sebenarnya bukan merupakan teknologi baru dalam bidang transportasi. Teknologi kendaraan listrik tersebut sudah ditemukan dan banyak digunakan sejak abad ke 18. Indonesia saat ini sudah mulai melakukan kebijakan terkait peralihan dari penggunaan bahan bakar fosil ke bahan bakar ke sumber energi terbarukan, antara lain dengan diterbitkannya Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 tahun 2019 tentang “Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) Untuk Transportasi Jalan” dan Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 7 tahun 2022 tentang “penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*) sebagai kendaraan dinas operasional dan/atau kendaraan perorangan dinas instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah”. Adanya peraturan pemerintah dalam penggunaan kendaraan listrik diharapkan dapat mendorong pertumbuhan penggunaan mobil listrik yang diharapkan dapat mengurangi emisi CO₂ dari penggunaan bahan bakar fosil. Penurunan CO₂ dengan mengurangi bahan bakar

fosil dapat mengurangi potensi global warming yang berpengaruh pada perubahan iklim (Ielieveld, 2019).

Penggunaan kendaraan listrik berbasis baterai memiliki keunggulan antara lain paling ramah lingkungan karena hanya menggunakan baterai listrik murni sehingga tidak menghasilkan emisi gas buang (Simbolon, 2022). Penelitian di kota New York menunjukkan bahwa adopsi penggunaan kendaraan listrik dapat menurunkan emisi hingga 1.100 ton/hari (Lokhandwala & Cai, 2020). Hal serupa juga dijelaskan pada penelitian Guo (2023) di negara China yang menjelaskan adopsi kendaraan listrik terbukti efektif untuk mempromosikan penghematan energi dan reduksi emisi. Jika ditelaah lebih dalam, tingginya mobilitas di sektor transportasi di Pulau Jawa yang mencapai sekitar 66% dari total jumlah kendaraan di Indonesia akan memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap penurunan emisi dari sektor transportasi. Sehingga perlu penelitian lebih lanjut untuk mengkaji dampak seperti apa yang timbul dari adanya peralihan penggunaan kendaraan listrik.

Jika dibandingkan berdasarkan gas buang, kendaraan listrik tentu lebih ramah lingkungan dibandingkan kendaraan konvensional, namun dengan menggunakan kendaraan listrik bukan berarti tidak ada emisi CO₂ yang dihasilkan, karena kendaraan listrik membutuhkan energi listrik dari pembangkit listrik. Pembangkit listrik di Indonesia sebagian besar dihasilkan dengan memanfaatkan bahan bakar fosil (bahan bakar yang terbentuk dari proses alamiah organisme yang telah mati jutaan tahun yang lalu seperti batu bara, minyak bumi, atau gas alam). Komposisi Pembangkit Listrik di Indonesia berdasarkan statistik penggunaan energi adalah batu bara sebesar 63,07%, gas alam sebesar 11,01%, gas alam cair sebesar 4,09% bahan bakar minyak sebesar 2,56% sedangkan sisanya sebesar 19,17% bersumber dari energi baru terbarukan (ESDM-RI, 2022). Dengan demikian, pembangkitan listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil (80,73%) dengan batubara masih mendominasi.

Tingginya penggunaan bahan bakar fosil pada pembangkit listrik di Indonesia mendorong pemerintah untuk mencari cara dalam memberi kebijakan penurunan emisi CO₂, selain kebijakan penggunaan mobil listrik pemerintah juga

memiliki kebijakan kebijakan penyelenggaraan instrumen *carbon pricing* atau Nilai Ekonomi Karbon (NEK). Instrumen kebijakan ini akan memberikan nilai ekonomi untuk emisi GRK sehingga perilaku beremisi sembarangan akan bisa diminimalisir termasuk dalam hal ini pembangkit listrik (KLHK, 2020). Pemberlakuan NEK di Indonesia saat ini salah satunya adalah dalam bentuk pajak karbon, pajak karbon adalah pajak yang dikenakan atas emisi karbon yang memberikan dampak negatif bagi lingkungan hidup (Peraturan Pemerintah 50 tahun 2022).

Selain berdasarkan energi yang digunakan dan emisi yang dihasilkan, tantangan penggunaan kendaraan listrik di Indonesia saat ini adalah ketergantungan pada stasiun pengisian daya listrik sangat tinggi, efisiensi waktu pengisian daya kendaraan listrik sangat lama, harga baterai listrik masih sangat mahal sehingga mempengaruhi harga jual kendaraan listrik (Simbolon, 2022). Untuk menanggulangi hal tersebut saat ini pemerintah mendorong pemberian subsidi bagi masyarakat umum yang ingin membeli kendaraan listrik untuk beralih dari kendaraan konvensional. Keterkaitan nilai ekonomis dari kendaraan listrik saat ini tentu saja sangat berpengaruh dengan pertumbuhan kendaraan listrik di Indonesia mengingat mayoritas masyarakat Indonesia sebanyak 29,5 % kelas menengah ke bawah dan 63,4 % kelas bawah (Badan Pusat Statistik, 2020).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, pada penelitian ini akan mengkaji penurunan emisi GRK, serta biaya subsidi dengan parameter rupiah per kg emisi CO₂ yang diperlukan dari peralihan penggunaan kendaraan listrik dengan pendekatan modeling dinamik. Perangkat lunak yang digunakan adalah Analytica 6.1 dengan prinsip matematika dinamis. Studi kasus pada penelitian ini mencakup kendaraan jenis motor dan mobil dengan cakupan daerah di Pulau Jawa dikarenakan mempertimbangkan banyaknya jumlah kendaraan yang dimiliki serta masih terpusatnya roda ekonomi Indonesia di Pulau Jawa. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui memberikan informasi kepada masyarakat bagaimana efisiensi energi dan emisi yang dihasilkan dari kendaraan listrik yang diproyeksikan untuk beberapa tahun kedepan.

1.2 Permasalahan Penelitian

Tingginya mobilitas transportasi di Indonesia berbanding lurus dengan emisi GRK yang dihasilkan. Kendaraan listrik diharapkan dapat lebih hemat energi dan menurunkan emisi GRK yang dihasilkan. Sejalan dengan kebijakan subsidi yang telah ditetapkan pemerintah Indonesia untuk mendorong penggunaan kendaraan listrik, masalah timbul yakni untuk meyakinkan masyarakat Indonesia terhadap potensi reduksi emisi dari penggunaan kendaraan listrik. Berdasarkan identifikasi masalah yang ada maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Berapa jumlah kendaraan listrik di Pulau Jawa yang berpotensi mengurangi emisi GRK?
- b. Berapa besar penggunaan energi yang dibutuhkan pada kendaraan listrik dan konvensional berdasarkan jumlah kendaraannya?
- c. Berapa besar potensi jumlah pengurangan emisi GRK yang dihasilkan dari peralihan penggunaan kendaraan listrik?
- d. Berapa besar jumlah biaya pengurangan emisi CO₂ dari kebijakan subsidi kendaraan listrik di Indonesia?

1.3 Keaslian Penelitian

Penelitian dengan judul Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca dan Reduksi Emisinya Dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik Studi Kasus Pulau Jawa belum pernah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

1.4 Tujuan Penelitian

- a. Menganalisis jumlah kendaraan listrik di pulau Jawa yang berpotensi mengurangi emisi GRK.
- b. Menganalisis jumlah penggunaan energi yang dibutuhkan pada kendaraan listrik dan konvensional berdasarkan jumlah kendaraannya.
- c. Menganalisis potensi jumlah pengurangan emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan kendaraan listrik.
- d. Menganalisis jumlah biaya pengurangan emisi CO₂ dari kebijakan subsidi kendaraan listrik.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Bagi Ilmu Pengetahuan
Diharapkan hasil penelitian ini dapat berguna sebagai bahan masukan bagi ilmu pengetahuan khususnya terkait kajian emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan kendaraan listrik
- b. Bagi Masyarakat
Hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan masyarakat dalam rencana penggunaan kendaraan listrik di masa mendatang
- c. Bagi Pemerintah
Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pemerintah atau jajaran terkait untuk menetapkan kebijakan dalam rangka penggunaan kendaraan listrik

1.6 Batasan Masalah

- a. Jenis kendaraan yang dianalisis adalah kendaraan roda dua (motor) dan roda empat (mobil) mempertimbangkan kendaraan tersebut merupakan jenis kendaraan pribadi yang banyak digunakan masyarakat.
- b. Analisis GRK dari penggunaan kendaraan dilakukan tanpa mempertimbangkan variabel penurunan masa umur kendaraan dan jumlah mobilitas kendaraan yang keluar ataupun masuk ke pulau Jawa, hal tersebut mempertimbangkan terbatasnya data pada sumber literatur yang ada.
- c. Jenis pembangkit listrik sebagai sumber energi kendaraan listrik yang menghasilkan emisi bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil (Batu Bara, Gas Alam, dan Minyak Bumi).
- d. Perhitungan emisi GRK mengikuti pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2006.
- e. Peralihan kendaraan listrik dikaji berdasarkan kebijakan subsidi Pemerintah Indonesia saat ini yang diambil datanya berdasarkan kuesioner.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada sub bab ini akan ditampilkan mengenai beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan dan akan dipergunakan sebagai referensi dalam melakukan analisa dalam penelitian. Dari hasil penelitian terdahulu cukup banyak yang membahas dan menganalisa mengenai emisi GRK dan kendaraan listrik. Beberapa penelitian tersebut disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Deskripsi Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Adventus Managam Simbolon, Budiman Rusli, Candra Dewini (2022)	Kebijakan Kendaraan Listrik dalam Perspektif Pasar dan Infrastruktur: Studi Reviu Komparasi Bilateral Korea Selatan dan Indonesia	Analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi <i>vosviewer</i> untuk memetakan penelitian terdahulu terkait penelitian kebijakan kendaraan listrik dalam publikasi internasional. Analisis data <i>vosviewer</i> menghasilkan keterkaitan topik kendaraan listrik dengan penelitian sebelumnya dan studi perbandingan secara bilateral menghasilkan perbandingan memiliki keunggulan: tidak adopsi kebijakan kendaraan listrik di masing-masing negara.	Penelitian tersebut menghasilkan kajian literatur kebijakan kendaraan listrik yang diadopsi dari perbandingan kebijakan kendaraan listrik di Korea Selatan dan Indonesia. Hasil kajian menunjukkan bahwa terdapat dua alternatif, yaitu kendaraan listrik berbasis teknologi hibrida dan hidrogen, dan kendaraan listrik berbasis teknologi baterai. Berdasarkan hasil perbandingan antara BEV dan kendaraan listrik hibrida, disimpulkan bahwa BEV menghasilkan emisi gas buang, dapat memacu hilirisasi industri baterai kendaraan listrik di Indonesia, dan

No	Nama	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
			Jumlah artikel yang dianalisis berjumlah 31 artikel.	menyokong mobil listrik nasional berbasis baterai.
2.	Annisa Luthfia Ulfa, Haryono Setiyo Huboyo, Budi Prasetyo Samadikun. (2017)	Estimasi emisi gas rumah kaca dari operasional <i>Bus Rapid Transit</i> (BRT) berdasarkan model <i>international vehicle emission</i> serta potensi reduksi emisi dari operasional BRT di kota semarang.	Perhitungan emisi gas rumah kaca dibagi menjadi 2, yaitu perhitungan emisi gas rumah kaca dengan Model IVE dan perhitungan besarnya potensi reduksi emisi gas rumah kaca dari penerapan BRT di Kota Semarang.	Potensi reduksi emisi gas rumah kaca dari operasional BRT Trans Semarang berdasarkan metode Tier 1 yaitu menggunakan data aktivitas dan faktor emisi didapatkan dari selisih emisi BRT per trip per koridor dengan emisi kendaraan pribadi responden yang telah berpindah ke BRT. Hasil potensi reduksi emisi CO ₂ sebesar 958,25 g; N ₂ O 13,59 g; dan CH ₄ 13,90 g untuk koridor I. Sedangkan untuk koridor II, potensi reduksi emisi CO ₂ sebesar 979,78 g; N ₂ O 14,21 g; dan CH ₄ 16,23 g
3.	Ibnu Susanto, Keishiro Hara, Michinori	<i>Application of System Dynamics Model for Energy Policy Analysis at</i>	Penelitian ini mengembangkan model sistem dinamik dengan powersim pada penggunaan	Studi ini memberikan analisis evaluasi manfaat biaya dengan menggunakan pendekatan SD untuk menganalisis

No	Nama	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
	Uwasu, Toyohiko Nakakubo and Akihiro Tokai (2012)	<i>Local Governmental Level: a Review and Case Study</i>	energi residensial di kota Suita, penelitian tersebut mempertimbangkan instalasi sistem solar panel surya (PV) dan pemberian subsidi oleh pemerintah untuk mendorong instalasi yang terkait dengan faktor pendorong sosial ekonomi. Variabel yang digunakan meliputi populasi, jumlah keluarga, PDB per kapita, pengaruh konsumsi energi dari pendapatan keluarga, konsumsi energi residensial, emisi CO ₂ yang dihasilkan, kapasitas instalasi panel surya, tingkat instalasi.	promosi kebijakan energi terbarukan dengan mengambil sektor perumahan di Kota Suita sebagai studi kasus. Dari hasil analisis simulasi yang dilakukan, promosi penggunaan solar PV untuk sektor perumahan dapat menjadi salah satu langkah yang efektif untuk menghemat energi dan mengurangi emisi CO ₂ di Kota Suita.

No	Nama	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian
4.	Muhammad Azmi & Akihiro Tokai (2016)	<i>System dynamic modeling of CO₂ emissions and pollutants from passenger cars in Malaysia, 2040</i>	Penelitian ini menggunakan metode pemodelan sistem dinamik <i>software analityca</i> untuk menganalisis dampak emisi CO ₂ dan polutan lainnya dari kendaraan penumpang di Malaysia pada tahun 2040. Penelitian ini menunjukkan bagaimana faktor-faktor seperti jumlah kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan kebijakan pemerintah dapat mempengaruhi emisi kendaraan dan polusi udara.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar alternatif, seperti biofuel dan gas alam terkompresi (CNG), serta kebijakan Pemerintah yang lebih ketat terhadap emisi kendaraan, dapat mengurangi emisi CO ₂ dan polutan lainnya. Penelitian ini memberikan rekomendasi kebijakan yang berguna bagi Pemerintah dan industri otomotif untuk memperbaiki kualitas udara dan lingkungan di Malaysia.

Berdasarkan Tabel 2.1 terdapat 4 penelitian terdahulu yang dijadikan sumber referensi. Pada penelitian nomor 1 dijelaskan tentang literatur kebijakan kendaraan listrik yang adopsi dari komparasi kebijakan kendaraan listrik di negara Korea Selatan dan Indonesia, disimpulkan bahwa BEV mempunyai kelebihan: tidak menghasilkan emisi gas buang. Hal tersebut mendorong penulis untuk melakukan penelitian untuk membuktikan secara kuantitatif perbandingan emisi dari kendaraan listrik dengan kendaraan konvensional apakah memang benar ramah lingkungan atau tidak. Sedangkan pada peneliti no 2 menjelaskan konsep perhitungan emisi GRK dari sumber kendaraan bergerak, hal tersebut menjadi referensi penulis pada perhitungan emisi kendaraan listrik dikarenakan sama sama sumber emisi bergerak. Peneliti pada no 3 dijadikan sebagai sumber referensi dikarenakan peneliti tersebut menjelaskan tentang penggunaan energi hunian di kota Suita, dengan mempertimbangkan instalasi sistem PV surya dan subsidi pemerintah untuk mempromosikan instalasi yang terkait dengan faktor pendorong sosial ekonomi dengan variabel yang digunakan antara lain populasi, jumlah keluarga, GDP per kapita, pengaruh energi konsumsi dari pendapatan keluarga, konsumsi energi hunian, emisi CO₂ yang dihasilkan, kapasitas instalasi solar panel, *installation rate*. Sedangkan peneliti no 4 menjelaskan emisi dari kendaraan penumpang di Malaysia dan proyeksi nya pada tahun mendatang dengan menggunakan sistem permodelan dinamik. Berdasarkan 4 tinjauan pustaka yang ada penelitian penelitian tersebut sejalan dengan apa yang akan dilakukan oleh penulis pada penelitian ini.

2.2 Landasan Teori

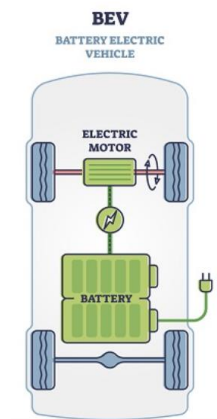
2.2.1 Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang dijalankan oleh satu atau lebih motor listrik, dengan menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai yang dapat diisi ulang atau perangkat penyimpanan energi lainnya. Motor listrik menghasilkan tenaga yang cepat, serta menciptakan akselerasi yang kuat dan halus. Mobil listrik praktis pertama kali diproduksi pada tahun 1880-an. Kendaraan listrik

memiliki beberapa jenis yang beredar di pasaran, antara lain (U.S. Departement Of Transportation, 2023):

a. Kendaraan Listrik Berbahan Bakar Baterai / *Battery Electric Vehicles* (BEV)

Battery Electric Vehicles (BEV) adalah kendaraan yang menggunakan listrik dan diisi ulang dari sumber daya eksternal.

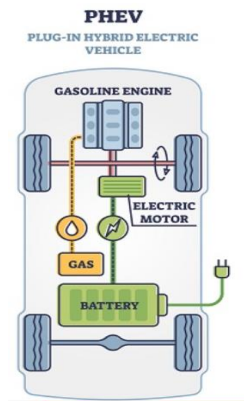


Gambar 2.1 Sistem Kendaraan Listrik Jenis BEV

Jenis kendaraan ini dijalankan oleh satu atau beberapa motor listrik bertenaga baterai yang dapat diisi ulang. Nyaris semua BEV dapat menempuh jarak sekurang-kurangnya 100 mil dengan sekali pengisian daya, dan banyak kendaraan baru yang hadir di pasar memiliki jarak tempuh 200-300 mil atau bahkan lebih.

b. *Plug in Hybrid Electric Vehicles* (PHEV)

Plug in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) menggunakan baterai untuk menyalakan motor listrik dan dapat diisi ulang dari sumber daya eksternal, namun jenis kendaraan ini menggunakan mesin pembakaran internal yang lebih kecil sehingga dapat mengisi ulang baterai (atau pada beberapa model, secara langsung menyalakan roda) untuk memungkinkan jarak tempuh yang lebih jauh.



Gambar 2. 2 Sistem Kendaraan Listrik Jenis PHEV

PHEV umumnya dapat menjangkau jarak yang cukup jauh dalam "mode EV" hanya dengan menggunakan baterai, biasanya sekitar 20 hingga 50 mil. Hal ini secara efektif mengurangi penggunaan bensin dan emisi dalam kondisi mengemudi yang umum, karena sebagian besar perjalanannya pendek. PHEV mengkonsumsi bahan bakar 14 hingga 47 persen lebih sedikit dibandingkan kendaraan konvensional saat baterai terisi penuh. Ketika listrik tidak tersedia, PHEV dapat menggunakan bahan bakar konvensional (seperti bensin atau solar).

c. *Full Cell Electric Vehicles (FCEV)*

Full Cell Electric Vehicles (FCEV) memanfaatkan proses elektrokimia yang sangat efisien untuk mengubah hidrogen menjadi listrik, sehingga dapat menggerakkan mesin listrik. FCEV yang ada di pasaran saat ini tidak dirancang untuk mengisi ulang baterainya dari sumber eksternal. Sebaliknya, mereka berbahan bakar gas hidrogen terkompresi yang disimpan di dalam tangki pada kendaraan.

2.2.2 Kendaraan Konvensional

Kendaraan konvensional memakai mesin pembakaran dalam berbahan bakar bensin atau solar untuk menjalankan roda. Sesuai dengan jenis pembakarannya, kendaraan konvensional juga akan menghasilkan emisi selama digunakan.

2.2.3 Energi

Energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan pekerjaan, yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia, dan elektromagnetik (Undang-undang RI Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), energi didefinisikan sebagai daya atau kekuatan yang diperlukan untuk melakukan berbagai proses kegiatan. Energi merupakan bagian dari suatu benda tetapi tidak terikat pada benda tersebut. Energi bersifat fleksibel artinya dapat berpindah dan berubah.

2.2.3.1 Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bio energi, aliran dan terjunan air serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut (PP RI No 79 Tahun 2014).

2.2.3.2 Energi Tak Terbarukan

Sumber energi tidak terbarukan (*non-renewable*) didefinisikan sebagai sumber energi yang tidak dapat diisi atau dibuat kembali oleh alam dalam waktu yang singkat, seperti bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam, batu bara), uranium, dan gas alam terkompresi). Bahan bakar fosil menjadi sumber energi utama di dunia, namun dalam penggunaannya dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara yang berpengaruh negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Sementara itu, uranium merupakan sumber energi nuklir yang dapat menghasilkan radiasi dan limbah nuklir, yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan jika tidak ditangani dengan baik.

2.2.3.3 Kebijakan kendaraan listrik di Indonesia

Terdapat beberapa kebijakan yang telah dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia dalam rangka penggunaan kendaraan listrik, antara lain :

- a. PERPRES No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan

Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan bertujuan untuk mendorong penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai sebagai sarana transportasi jalan di Indonesia. Peraturan ini mengatur tentang berbagai aspek, seperti dukungan pemerintah untuk produksi, distribusi, dan penjualan kendaraan bermotor listrik, pembangunan infrastruktur untuk mendukung penggunaan kendaraan bermotor listrik, pembentukan regulasi dan standar untuk kendaraan bermotor listrik, dan pengembangan sumber daya manusia yang terkait dengan kendaraan bermotor listrik. Peraturan ini juga mencantumkan target produksi dan penjualan kendaraan bermotor listrik dalam kurun waktu tertentu serta mekanisme insentif bagi pihak-pihak yang terlibat dalam program percepatan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai.

- b. Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) Sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah.

Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) Sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah bertujuan untuk mendorong penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai sebagai sarana transportasi resmi di lingkungan instansi pemerintah. Instruksi ini mengatur tentang berbagai aspek, seperti pengadaan kendaraan bermotor listrik, pengembangan infrastruktur untuk mendukung penggunaan kendaraan bermotor listrik, pengembangan sumber daya manusia, dan pengawasan penggunaan kendaraan bermotor listrik. Instruksi ini juga menetapkan target penggunaan kendaraan bermotor listrik dalam kurun

waktu tertentu serta memberikan sanksi bagi instansi pemerintah yang tidak memenuhi target tersebut. Dalam rangka mempercepat implementasi instruksi ini, pemerintah juga akan memberikan insentif dan fasilitas kepada instansi pemerintah dan masyarakat yang menggunakan kendaraan bermotor listrik.

2.2.4 Emisi

Emisi adalah pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi pencemaran udara (Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021). Emisi lingkungan mengacu pada pelepasan zat atau energi ke lingkungan, baik disengaja maupun tidak disengaja, yang dapat mempengaruhi kualitas ekosistem. Sebagai contoh, ada pelepasan gas buang dari kendaraan, gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, residu industri, atau pelepasan bahan kimia berbahaya dari pabrik dan lain-lain. Semua tindakan tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem, kesehatan manusia, dan lingkungan secara keseluruhan. Oleh karena itu, berbagai cara dilakukan untuk mengurangi emisi dengan tujuan untuk melindungi ekosistem, kesehatan manusia, dan mengatasi dampak perubahan iklim global.

2.2.4.1. Emisi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca (GRK) adalah suatu gas yang menciptakan efek rumah kaca di atmosfer bumi. Fungsi utama gas-gas ini mirip dengan kaca, yaitu membiarkan sinar matahari masuk tetapi menangkap energi panas yang dipancarkannya. Menurut Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC), ada enam jenis gas yang dianggap sebagai GRK, termasuk CO₂ (karbon dioksida), CH₄ (metana), N₂O (dinitrogen oksida), HFC (hidro fluoro karbon), PFC (per fluoro karbon), dan SF₆ (sulfur heksa klorida). Adapun pengelompokan emisi GRK dan nilai potensi pemanasan global / *Global Warming Potential* (GWP) dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis-jenis Gas Rumah Kaca dan Nilai Potensi Pemanasan Global		
Gas Rumah Kaca	Potensi Pemanasan	Potensi Pemanasan
	Global (CO ₂ -eq) dalam 100 tahun ^[1]	Global (CO ₂ -eq) dalam 100 tahun ^[2]
CO ₂	1	1
CH ₄	25	27
N ₂ O	298	273

^[1] Sumber: US EPA National Center For Environmental (2009)

^[2] Sumber: IPCC (2021)

Ketika mengkalkulasi emisi gas rumah kaca, CO₂ sering digunakan sebagai tolak ukur dan dianggap sebagai gas rumah kaca utama yang paling dominan dihasilkan oleh aktivitas manusia. Meskipun begitu, gas rumah kaca lainnya seperti metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O) juga memiliki potensi pemanasan global yang tinggi, meskipun dalam jumlah yang lebih kecil.

2.2.4.2 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak memiliki rasa. CO₂ merupakan hasil dari pembakaran senyawa organik dengan jumlah oksigen yang memadai. Saat terjadi proses pembakaran, sebagian besar karbon dilepaskan dalam bentuk CO₂ (IPCC, 2005). Konsentrasi karbon dioksida di atmosfer berada pada kisaran 350 ppm, di mana pada tingkat konsentrasi tersebut tidak bersifat berbahaya bagi manusia. Selain itu, konsentrasi tersebut juga diperlukan untuk mendukung proses fotosintesis bagi makhluk hidup (De Nevers, 2000).

2.2.4.2 Gas Metan (CH₄)

Metana merupakan komponen utama dalam gas alam yang terbentuk melalui berbagai proses biologi anaerobik. Gas ini menjadi unsur utama dalam "swamp gas" yang muncul dari aktivitas bakteri pembusukan pada materi kayu. Selain itu, metana juga merupakan unsur utama dalam emisi gas dari tempat pembuangan sampah dan fasilitas pengolahan air limbah. Meskipun konsentrasi

metana hanya sekitar 0,5% dari CO₂, konsentrasinya dapat meningkat dengan cepat. Emisi metana disebabkan oleh pembakaran tidak sempurna gas buang dari kendaraan bermotor (sebagai hidrokarbon) dan kegiatan pertanian. Gas metana juga dapat berasal dari kegiatan penambangan batubara, serta proses produksi dan distribusi gas alam (De Nevers, 2000).

2.2.4.2 Dinitrogen Oksida (N₂O)

Dinitrogen Oksida (N₂O) merupakan gas rumah kaca yang memiliki kekuatan tinggi dan berperan sebagai katalisator dalam penipisan lapisan ozon di stratosfer (Ravishankara et al., 2009). N₂O menjadi kontributor terkuat ketiga terhadap pemanasan global setelah karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) (WMO, 2021). Dengan masa hidupnya dalam atmosfer selama 131 tahun, gas ini memiliki potensi pemanasan global (GWP) 265 kali lebih besar daripada CO₂ dalam periode 100 tahun (IPCC, 2014a).

2.2.4.2 Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas. Faktor emisi dibagi menjadi tiga tingkat / *tier* (IPCC, 2006), yaitu :

a. *Tier 1*

Estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi *default IPCC*. Pada *Tier 1*, estimasi tingkat emisi GRK menggunakan sebagian besar data aktivitas dan parameter default IPCC 2006.

b. *Tier 2*

Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi *default IPCC* atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*). Pada *Tier 2*, estimasi tingkat emisi GRK menggunakan beberapa parameter *default*, tetapi membutuhkan data aktivitas dan parameter terkait (faktor emisi, karakteristik limbah, dan lain-lain) dengan kualitas yang lebih baik.

c. *Tier 3*

Estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*). Pada *Tier 3*, estimasi tingkat emisi GRK didasarkan pada data aktivitas spesifik suatu negara (lihat *Tier 2*) dan menggunakan salah satu metoda dengan parameter kunci yang dikembangkan secara nasional atau pengukuran yang diturunkan dari parameter-parameter spesifik-suatu negara.

Perhitungan beban emisi dengan menggunakan faktor emisi diperlukan 3 data masukan yaitu informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi (apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali) (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2013).

2.2.5. Nilai Ekonomi Karbon

Nilai Ekonomi Karbon (NEK) adalah nilai terhadap setiap unit emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan manusia dan kegiatan ekonomi (PERPRES RI No 98 Tahun 2021). NEK memiliki tujuan untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca, mendorong investasi hijau, mengatasi celah pembiayaan perubahan iklim, menjunjung keadilan “*fairness*”, dan mendorong pertumbuhan berkelanjutan. Salah satu cara perhitungan nilai ekonomi karbon atau biasa disebut *carbon pricing* adalah dengan pajak karbon.

Sesuai namanya, pajak karbon adalah pungutan yang dikenakan dengan tujuan untuk mengurangi emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya. Tujuan utama dari pengenaan pajak karbon adalah mengubah perilaku para pelaku ekonomi untuk beralih kepada aktivitas ekonomi hijau yang rendah karbon. Pajak karbon adalah pajak yang dikenakan pada emisi gas rumah kaca. Secara umum, pajak karbon adalah pajak yang dikenakan untuk penggunaan bahan bakar fosil. Harga karbon ditentukan oleh pemerintah, yang akan menetapkan besaran pajak yang harus dibayarkan oleh perusahaan atau masyarakat yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Pajak karbon di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah No 50 tahun 2022 tentang Tata Cara Pelaksanaan Hak dan Pemenuhan Kewajiban

Perpajakan dan Undang Undang RI No 7 Tahun 2021. Tarif karbon di Indonesia sendiri adalah Rp. 30 /kg CO₂-eq.

2.2.6. Sosiodemografi

Sosiodemografi memainkan peran penting dalam mengaitkan keinginan atau minat untuk membeli kendaraan listrik. Faktor sosiodemografi seperti usia, jenis kelamin, tingkat pendidikan, pendapatan keluarga, dan jumlah kendaraan yang dimiliki memainkan peran penting dalam proses adopsi kendaraan listrik (Fei, et al. 2019). Menurut Khoirianti (2016), sosiodemografi ialah hasil penggabungan dari dua kata, yaitu "sosio" yang merujuk pada ilmu yang mempelajari tentang manusia, dan "demografi" yang merupakan sebuah deskripsi tentang kependudukan. Kehadiran sosiodemografi sangat penting karena adanya interaksi yang terus menerus antara penduduk dengan lingkungannya.

Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2013), penduduk mengacu pada semua orang yang berdomisili di suatu wilayah geografis di Negara Republik Indonesia paling singkat 6 bulan dan memiliki tujuan untuk menetap. Dalam lingkup ini, penduduk dapat diartikan sebagai sejumlah orang, baik secara individu maupun kelompok, yang mendiami suatu wilayah atau negara, paling tidak selama satu tahun pada saat dilakukan pendataan atau sensus penduduk. Kriteria penduduk meliputi berbagai aspek seperti usia, jenis kelamin, agama, mata pencaharian, bahasa, tempat tinggal, dan lain-lain. Definisi tersebut menjelaskan bahwa populasi mencakup semua individu yang tinggal di suatu wilayah atau negara. Sementara itu, populasi merujuk pada jumlah total individu yang tinggal di suatu wilayah pada suatu waktu tertentu.

2.2.7. Model

2.2.7.1 Permodelan Sistem Dinamik

Model adalah representasi dari suatu objek, benda, atau ide-ide dalam bentuk yang disederhanakan dari kondisi atau fenomena alam. Model berisi informasi- informasi tentang suatu fenomena yang dibuat dengan tujuan untuk mempelajari fenomena sistem yang sebenarnya. Dengan demikian, model memiliki

sejumlah asumsi yang berkaitan dengan proses/struktur sistem maupun input/output dalam sistem.

Sistem Dinamik pertama kali dibangun dan disusun oleh Jay W. Forrester dalam sebuah proyek di Massachusetts Institute of Technology (MIT) pada tahun 1956. Sistem dinamis menggambarkan sebuah sistem yang selalu berubah sepanjang waktu secara terus menerus (Andhika, 2019). Pendekatan sistem dinamis digunakan untuk mengatasi masalah yang kompleks serta berfokus pada proses umpan balik. Oleh sebab itu, konsep dasar Model Sistem Dinamis terdapat sekitar tujuh tahap dalam mendekati masalah, yaitu *problem identification and definition*, *system conceptualization*, *model formulation*, *analysis of model behavior*, *model evaluation*, *policy analysis*, dan *model use or implementation* (Richardson & Pugh, 1981).

Model sistem dinamis adalah sebuah sistem yang mencoba untuk menjelaskan perilaku dari berbagai tindakan dalam sebagian sistem. Sistem dinamis juga dikenal sebagai sistem yang tidak statis, artinya respons sistem dapat berubah setiap saat sehubungan dengan variabel yang diidentifikasi (waktu, kondisi lingkungan, dan sebagainya). Untuk itu model sistem dinamis adalah model yang mencoba memprediksi atau merespon proses perubahan tersebut. Model dinamis mengasumsikan hubungan dan memprediksi input sebagai fungsi dari berbagai variabel yang teridentifikasi. Selanjutnya model sistem dinamis ini diuji atau divalidasi pada tataran keseimbangan (*equilibrium stage*) atau bisa juga dibandingkan dengan data nyata (*actual*) pada periode *time horizon* yang telah ditetapkan sebelumnya

2.2.7.2 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah perhitungan yang dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada setiap periode dibagi dengan nilai observasi riil untuk periode tersebut. MAPE dapat menjadi pengukuran kesalahan yang menghitung besar kecilnya persentase penyimpangan antara data aktual dan data prediksi. Metode ini dihitung dengan mencari kesalahan absolut dari setiap periode, kemudian membaginya dengan nilai aktual untuk periode tersebut

lalu dapat menghitung akurasi rata-rata dari jumlah persentase absolut (Sungkawa & Megasari, 2011). Nilai MAPE dapat dihitung dengan Persamaan:

$$\text{Mean Absolute Percent Error (MAPE)} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\text{Model Output}(t) - \text{Data Historis}(t)}{\text{Data Historis}(t)} \right| \cdot 100\%$$

Perasamaan perhitungan *MAPE* tersebut nantinya akan menghasilkan suatu hasil dari perhitungan berupa angka persentase. Kemudian dalam hasil *MAPE* tersebut untuk mengetahui kemampuan melakukan prediksi maka perlu diketahui *range* nilai yang sebagai interpretasi kemampuan model. Maka dapat dilihat pada Tabel 2.3 mengenai *range* nilai pada nilai *MAPE*.

Tabel 2.3 Range Nilai MAPE

Range MAPE	Penjelasan
<10%	Kemampuan model dalam peramalan sangat baik
10 -20%	Kemampuan model dalam peramalan baik
20 – 50%	Kemampuan model dalam peramalan layak
>50%	Kemampuan model dalam peramalan buruk

Sumber: Maricar, 2019

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Pemilihan Lokasi

Penetapan lokasi untuk penelitian ini menggunakan metode purposive sampling. Metode purposive sampling dalam pemilihan lokasi penelitian dilakukan dengan memilih lokasi yang dianggap paling sesuai dengan tujuan penelitian dan memiliki karakteristik khusus yang diinginkan (Sugiyono, 2017). Lokasi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah seluruh Provinsi di Pulau Jawa, dengan mempertimbangkan tingginya mobilitas jumlah kendaraan yang berada di Pulau Jawa dan juga masih menjadi pusat roda ekonomi Indonesia di Pulau Jawa.

Tabel 3.1 Provinsi di Pulau Jawa

No	Provinsi
1	Banten
2	Daerah Istimewa Yogyakarta
3	DKI Jakarta
4	Jawa Barat
5	Jawa Tengah
6	Jawa Timur

Sumber : Badan Pusat Statistik. 2022

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan observasi, wawancara, dan penggunaan kuesioner. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari berbagai sumber informasi dan data yang berasal dari berbagai publikasi, termasuk Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Peraturan Pemerintah, Badan Pusat Statistik (BPS), serta sumber lain yang relevan. Secara lengkap tujuan, jenis, sumber, cara dan metode pengumpulan data, metode analisis serta output yang dihasilkan sebagaimana diuraikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Pengumpulan Data dan Ouput yang Dihasilkan

NO	Tujuan	Jenis Data	Bentuk data	Sumber
1	Mengkaji jumlah kendaraan listrik	➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Populasi, jumlah kendaraan	Badan Pusat Statistik
		➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Persentase potensi peralihan kendaraan listrik	Kuesioner
2	Mengkaji jumlah penggunaan energi yang dibutuhkan pada kendaraan listrik jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional	➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Jumlah kendaraan motor dan mobil	Badan Pusat Statistik

NO	Tujuan	Jenis Data	Bentuk data	Sumber
		➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Jarak Tempuh Kendaraan	Narasumber melalui kuesioner
		➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Konsumsi energi bahan bakar konvensional motor dan mobil (L/km)	Literatur jurnal dan kuesioner
		➤ Sekunder ➤ Primer ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Jarak Tempuh Kendaraan	Literatur jurnal dan kuesioner

NO	Tujuan	Jenis Data	Bentuk data	Sumber
		➤ Sekunder ➤ Primer ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit ➤ Berkala	Konsumsi energi kendaraan listrik (KWh/km)	Literatur jurnal /kuesioner
3	Mengkaji potensi jumlah pengurangan emisi GRK yang dihasilkan dari peralihan penggunaan kendaraan listrik?	➤ Sekunder ➤ Eksternal ➤ Kuantitatif ➤ Diskrit	➤ Faktor Emisi kendaraan konvensional ➤ Faktor Emisi kendaraan listrik	IPCC
4	Mengkaji jumlah biaya pengurangan emisi CO ₂ dari kebijakan subsidi kendaraan listrik di Indonesia	Sekunder	Biaya Subsidi	Hasil analisa

3.3 Metode Pengambilan Sampel

Penelitian ini melibatkan pengambilan sampel untuk menjalankan uji statistik terbatas dengan maksud untuk memahami tanggapan masyarakat terhadap dimensi dan atribut kemasyarakatan yang telah dianalisis melalui studi literatur, wawancara mendalam dengan ahli, dan survei. Pengambilan sampel dilakukan dengan menerapkan metode *purposive sampling*, di mana pendekatan ini melibatkan penentuan sampel berdasarkan kriteria-kriteria tertentu (Sugiyono, 2017). Pemilihan narasumber diharapkan memiliki sejumlah karakteristik tertentu, seperti memiliki kompetensi yang sesuai dengan bidang penelitian, mempunyai reputasi yang baik, serta menduduki posisi atau jabatan yang relevan dengan kompetensinya di bidang yang diteliti. Narasumber juga diharapkan telah membuktikan kredibilitasnya sebagai ahli atau pakar pada bidang penelitian tersebut, memiliki komitmen terhadap permasalahan yang sedang diinvestigasi, bersikap netral, serta bersedia menerima pendapat dari responden lain. Selain itu, diharapkan narasumber bersedia memberikan pandangannya terhadap permasalahan yang dibahas.

Kuesioner tentang persentase potensi peralihan kendaraan listrik diambil dengan metode *purposive sampling*. Penentuan kriteria penerima kuesioner dipilih berdasarkan responden yang telah memiliki penghasilan dan memiliki kendaraan bermotor sehingga diasumsikan memiliki potensi untuk beralih ke kendaraan listrik. Responden dipilih berdasarkan tempat tinggal atau tempat bekerja responden sebagaimana Provinsi yang ada di Pulau Jawa. Sebaran kuisisioner diasumsikan berdasarkan persentase banyaknya jumlah kendaraan pada masing masing provinsi di Pulau Jawa. Kelas ekonomi berdasarkan penelitian Deloitte Southeast Asia (2015) menggolongkan pendapatan konsumen sebagai *prox*i kelas sosial ke dalam empat tingkatan yaitu:

1. *Higher income* (> Rp.120 juta per tahun)
2. *Upper middle income* (Rp. 60-120 juta per tahun)
3. *Lower middle income* (Rp. 36-60 juta per tahun)
4. *Lower income* (< Rp. 36 Juta per tahun)

Adapun penentuan jumlah responden dalam penelitian ini menggunakan rumus *Slovin* karena dalam penarikan sampel jumlahnya harus representatif agar hasil penelitian dapat digeneralisasikan dan perhitungannya pun tidak memerlukan tabel jumlah sampel, namun dapat dilakukan dengan rumus dan perhitungan sederhana. Rumus perhitungan sampel menurut rumus Slovin yaitu :

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Keterangan:

- n : banyak sampel minimum
- N : banyak sampel pada populasi
- e : batas toleransi kesalahan (10%)

$$n = \frac{N}{1 + N \cdot e^2}$$

Diketahui N = 151.650.200 (penduduk Pulau Jawa (BPS, 2020))

Nilai N dikalikan dengan persentase usia produktif di Indonesia 15 tahun – 64 tahun, berdasarkan data BPS tahun 2022 persentase usia produktif pada tahun 2020 adalah 69,28 %

N = 106.063.259 penduduk

e = 10 %

1 = nilai mutlak

Ditanyakan n = ?

Jawab : $n = 106.063.259 / (1 + 106.063.259 \cdot (10\%)^2)$

n = 99,9984 = dibulatkan menjadi 100 responden

Dari total populasi sebanyak 151.650.200 penduduk yang ada di Pulau Jawa, selanjutnya jumlah tersebut ditentukan jumlah sampelnya dengan menggunakan rumus *slovin* sebagai cara perhitungannya, kemudian digunakan batas toleransi kesalahan sebesar 10% maka diperoleh jumlah sampel sebanyak 100 sampel yang akan dijadikan sasaran responden sample kuesioner.

3.4 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

3.4.1 Analisis Deskriptif

Analisis pengolahan data yang dilakukan menggunakan bantuan *Microsoft excel* untuk mengolah data, seperti data primer dan data sekunder. Standar perhitungan menggunakan pedoman Panel Internasional tentang Perubahan Iklim (IPCC) tahun 2006 untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, terutama untuk Pembakaran Bergerak dan Tidak Bergerak.

Tabel 3.3 Rekapitulasi Skenario Model

Komponen	BAU	EVP
Definisi	Asumsi pertumbuhan kendaraan tanpa adanya kebijakan peralihan kendaraan listrik	Peralihan kendaraan listrik berdasarkan subsidi pemerintah
Variabel pendorong : Subsidi	Tanpa adanya kebijakan subsidi untuk peralihan kendaraan listrik	Dengan adanya subsidi dari pemerintah, penggunaan kendaraan listrik diasumsikan dapat menggantikan serta mengurangi jumlah kendaraan konvensional.
	Jumlah Kendaraan	
Asumsi : Indikator yang dievaluasi	Tidak adanya peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik	Subsidi akan mempengaruhi masyarakat untuk beralih ke kendaraan listrik
	Emisi CO ₂ Biaya subsidi / <i>policy cost</i>	
Waktu : Cakrawala waktu model (time horizon)	2015 – 2033	
Waktu subsidi	-	2023 – 2033 (10 tahun untuk permodelan)

Tabel 3.3 menjelaskan scenario model penelitian ini menggunakan 2 skenario yaitu *Business As Usual* (BAU) dan *Electric Vehicle Plan* (EVP), akan tetapi

skenario EVP dibagi menjadi 2 yaitu dengan pembangkit listrik skenario eksisting (EKS) dan *Electric Vehicle Plan* (EVP) dengan pembangkit listrik skenario Kebijakan Energi Nasional (KEN). Skenario EVP mengasumsikan adanya kebijakan kendaraan Listrik sehingga pada periode waktu tertentu akan terjadi peralihan kendaraan listrik. Adapun mekanisme perhitungan untuk penelitian ini dijelaskan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Rekapitulasi Perhitungan dan Variabel yang Digunakan

Komponen	Mekanisme perhitungan
Pertumbuhan kendaraan listrik	Persentase peralihan berdasarkan pengolahan data kuesioner
Penggunaan energi	Kendaraan konvensional: - Konsumsi bahan bakar motor dan mobil per km (L/Km) - Jarak tempuh harian rata rata motor dan mobil (Km) - Jumlah kendaraan (unit/periode tahun) - Berat jenis bahan bakar / <i>density</i> (diasumsikan bensin/<i>gasoline</i>) (Kg/m³) - Net Calor Value (Tj/Gg) - Konsumsi bahan bakar per unit (L/hari) : $\text{Jarak tempuh} \left(\frac{\text{km}}{\text{hari}} \right) \times \text{Konsumsi bahan bakar} \left(\frac{\text{L}}{\text{km}} \right)$ - Konsumsi bahan bakar per tahun (L/tahun): $\text{konsumsi bahan bakar} \left(\frac{\text{L}}{\text{hari}} \right) \times \text{jumlah kendaraan} \times 365 \text{ hari}$ - Penggunaan Energi kendaraan (Tera Joule): $\text{konsumsi bahan bakar (L)} \times \text{density} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{NCV} \left(\frac{\text{Tj}}{\text{Gg}} \right)$ Kendaraan Listrik: - Jarak tempuh harian rata rata motor dan mobil (Km) - Konsumsi energi Listrik per kendaraan (Kwh/km) , dikonversi menjadi satuan energi (Tj/km) - Jumlah kendaraan (unit/periode tahun) - Penggunaan energi kendaraan (Tera Joule) $\text{Konsumsi energi} \left(\frac{\text{Tj}}{\text{km}} \right) \times \text{jarak (Km)} \times \text{jumlah kendaraan}$
GRK	Kendaraan konvensional:

Komponen	Mekanisme perhitungan
	Perhitungan emisi GRK kendaraan konvensional menggunakan pedoman “IPCC 2006 <i>chapter 3: mobile combustion</i> ” dengan metode tier 1.
	$Emission(CO_2, CH_4, NO_2) = \sum Fuel (Tj) \times emission\ factor \left(\frac{Kg}{Tj} \right)$
	Kendaraan Listrik
	Perhitungan emisi GRK kendaraan konvensional menggunakan pedoman “IPCC 2006 <i>chapter 2: stationary combustion</i> ” dengan metode tier 1.
	$Emission(CO_2, CH_4, NO_2) = \sum Fuel (Tj) \times emission\ factor \left(\frac{Kg}{Tj} \right)$
Biaya subsidi / Policy cost	$policy\ cost \left(\frac{Rp.}{CO_2\ equivalen} \right) = \frac{Total\ subsidi\ (rupiah)}{reduksi\ emisi\ kg\ CO_2\ equivalen}$

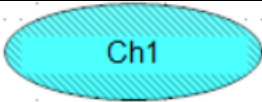
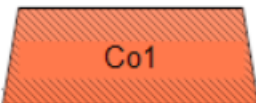
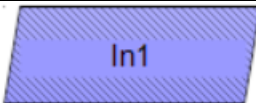
Perhitungan dan variabel pada Tabel 3.3 akan dianalisis untuk pembuatan skenario model pada bantuan aplikasi sistem dinamik yaitu *Analytica 6.1*.

3.4.2 Analisis Gas Rumah Kaca Dengan Permodelan Dinamik

Metode analisis kebijakan yang digunakan adalah simulasi model dinamik dengan menggunakan perangkat lunak *Analytica 6.1*. Pengembangan model dinamik dimulai dengan konseptualisasi terhadap sistem emisi GRK yang dihasilkan menggunakan *causal-loop diagram* atau diagram loop. Diagram loop yang dibuat akan menjelaskan hubungan antara variabel-variabel dalam sistem yang akan menggambarkan *cause and effect* dalam sistem. Struktur model dibuat dan disimulasikan berdasarkan simulasi Monte Carlo, Prediksi menggunakan Monte Carlo mewajibkan pengujian data yang sama dilakukan berulang-ulang dengan menggunakan bilangan acak yang berlainan tapi memiliki keseragaman sehingga informasi dapat dihasilkan lebih efisien.

Struktur model disusun dalam bentuk flow diagram pada perangkat lunak *Abalityca 6.1*. Pembuatan model dengan menggunakan perangkat lunak *Analytica 6.1*, berfungsi untuk memetakan keterkaitan antara variabel-variabel pada diagram model.

Tabel 3.5 Penjelasan Diagram Input pada *Analitica 6.1*

Diagram	Uraian
	<i>Variable node</i> atau simbol variable merupakan diagram dengan warna biru tua. Fungsi dari diagram ini adalah untuk <i>flow</i> dari mekanisme perhitungan dan input persamaan/rumus pada analisis. Setiap perhitungan yang diinput berdasarkan diagram yang ada akan otomatis memberikan tanda panah penghubung.
	<i>Chance node</i> atau simbol kemungkinan merupakan diagram dengan warna biru muda. Fungsi dari diagram ini adalah untuk input data probabilistik yang digunakan sebagai dasar perhitungan pada <i>variable node</i> seperti rata-rata jarak tempuh dan faktor emisi.
	<i>Constant node</i> atau simbol konstan merupakan diagram dengan warna coklat. Fungsi diagram ini adalah untuk input data konstan / tetap yang digunakan sebagai dasar perhitungan pada <i>variable node</i> seperti jumlah hari dan jumlah kendaraan berdasarkan data sekunder.
	<i>Index node</i> atau simbol index merupakan diagram dengan warna ungu. Fungsi diagram ini adalah untuk input data yang memiliki jenis berbeda yang digunakan sebagai dasar perhitungan pada <i>variable node</i>, dalam model variable index node adalah untuk input jenis pembangkit listrik yang berbeda.

3.4.3 Validasi Model

Model dievaluasi dan diuji validasinya dengan membandingkan hasil simulasi sistem dinamik dengan data historis. Validasi model dinamis diuji dengan menghitung *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE dapat menjadi

pengukuran kesalahan yang menghitung besar kecilnya persentase penyimpangan antara data aktual dan data prediksi. Hasil perhitungan MAPE kemudian dibandingkan dengan batas penerimaan error yang telah ditetapkan.

3.5 Metode Penyajian Data

Dalam penelitian ini, akan terdapat berbagai data yang perlu dipaparkan, sehingga dalam penyajian data akan dilakukan dalam dua bentuk yaitu penyajian data dalam bentuk Tabel dan diagram atau grafik. Penyajian data dalam bentuk Tabel diantaranya digunakan untuk memaparkan atribut keberlanjutan. Pemaparannya menggunakan Tabel yang berisi dimensi, atribut atribut yang berhasil diidentifikasi.

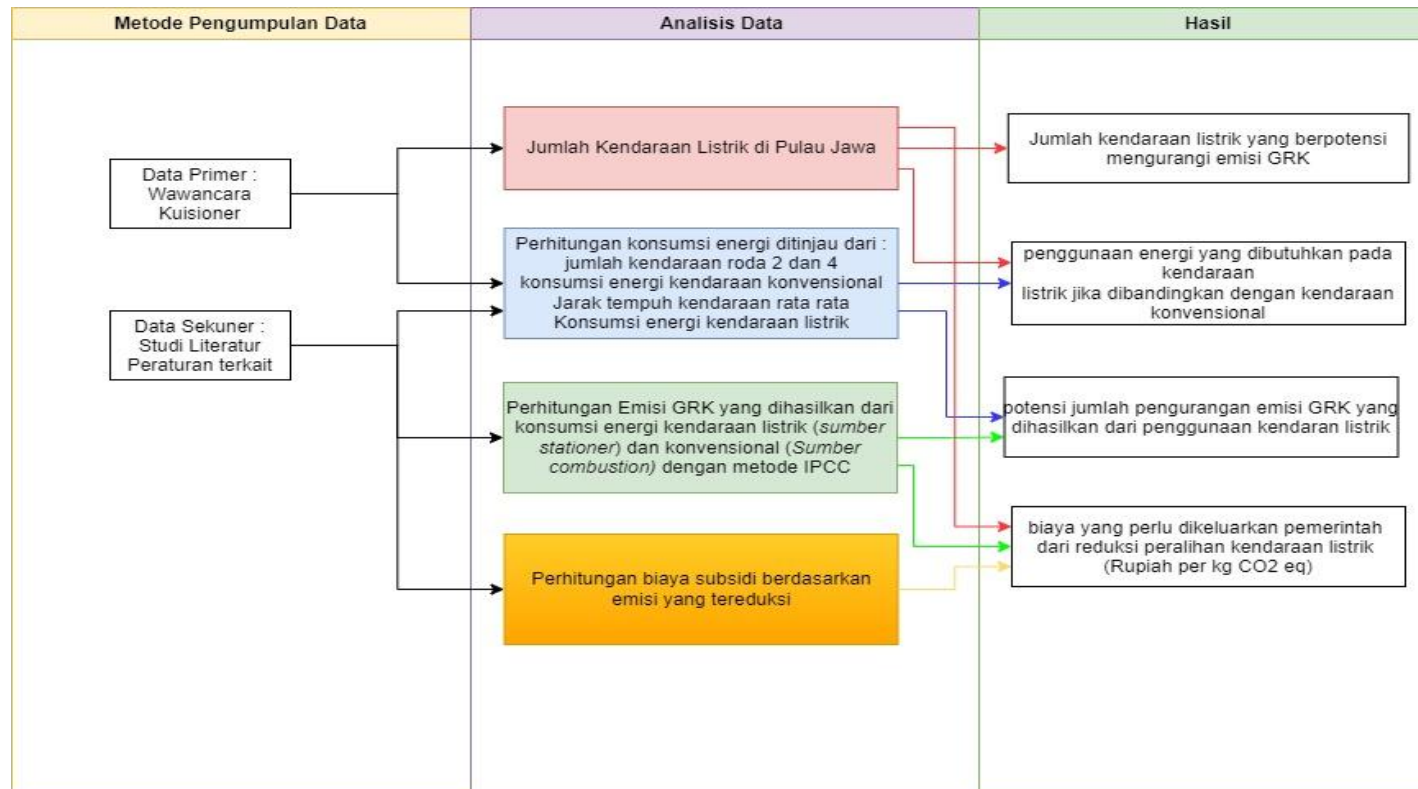
3.6 Jadwal Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan selama 6 bulan dengan jadwal penelitian sebagai berikut:

Tabel 3.6 Jadwal Penyusunan Tesis

No	Kegiatan	2023					
		7	8	9	10	11	12
1	Tahap Persiapan						
2	Pengumpulan Data						
3	Pengolahan Data pada Model						
4	Analisa Data						
5	Kesimpulan						

3.7 Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

4.1.1 Kondisi Administrasi

Pulau Jawa adalah salah satu Pulau di Indonesia. Pulau ini dikelilingi oleh perairan Laut Jawa, Selat Sunda, Samudera Hindia dan Selat Bali. Daratan Pulau Jawa terbujur dari barat ke timur dan diperkirakan memiliki luas wilayah daratan kurang lebih sekitar 128.297 km².

Tabel 4.1 Provinsi dan Ibu Kota Provinsi di Pulau Jawa

No	Provinsi	Ibu Kota
1	Banten	Serang
2	Daerah Istimewa Yogyakarta	Yogyakarta
3	DKI Jakarta	Jakarta
4	Jawa Barat	Bandung
5	Jawa Tengah	Semarang
6	Jawa Timur	Surabaya

Sumber : Badan Pusat Statistik. 2022

Secara administratif Pulau Jawa dibagi atas 6 Provinsi (Tabel 4.1), yaitu Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat, Provinsi Banten, Provinsi Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Timur. Provinsi ini juga meliputi beberapa pulau di sekitar Pulau Jawa diantaranya Pulau Madura, Kepulauan Seribu dan Kepulauan Karimun Jawa serta beberapa pulau kecil lainnya yang tersebar di seluruh garis pantai Pulau Jawa.

4.1.2 Kondisi Sosedemografi

Pulau Jawa merupakan pulau dengan penduduk terpadat di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022 sebanyak 55,95 % penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa. Kepadatan penduduk di Pulau Jawa

memberikan dampak signifikan pada sektor transportasi dan energi, mobilitas penduduk yang tinggi memicu permintaan akan kendaraan bermotor yang tinggi. Kondisi sosiodemografi yang memainkan peran penting dalam peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik antara lain adalah pendapatan dan jumlah kendaraan (Chen, et al. 2020).

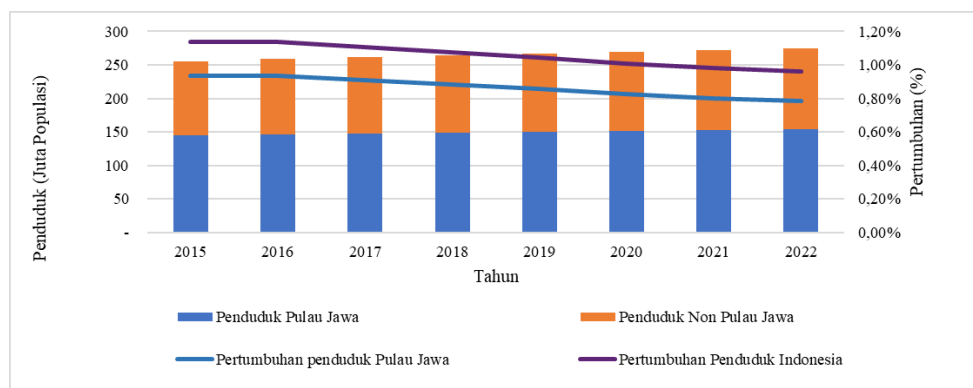
4.1.2.1 Penduduk

Penduduk merupakan salah satu hal yang dibutuhkan pada penelitian ini, jumlah penduduk diambil berdasarkan data historis melalui publikasi dari Badan Pusat Statistik Indonesia. Jumlah penduduk dikaji berdasarkan jumlah penduduk di Pulau Jawa dan Total di Indonesia berdasarkan tahun, mulai dari tahun 2015 sampai 2022.

Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Dipulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun

Tahun	Penduduk Pulau Jawa	Penduduk Indonesia
2015	145.133.800	255.587.900
2016	146.494.300	258.496.500
2017	147.828.400	261.355.500
2018	149.132.900	264.161.600
2019	150.407.400	266.911.900
2020	151.650.800	269.603.400
2021	152.867.200	272.248.500
2022	154.063.200	274.859.100

Sumber :Hasil SUSPAS Badan Pusat Statistik



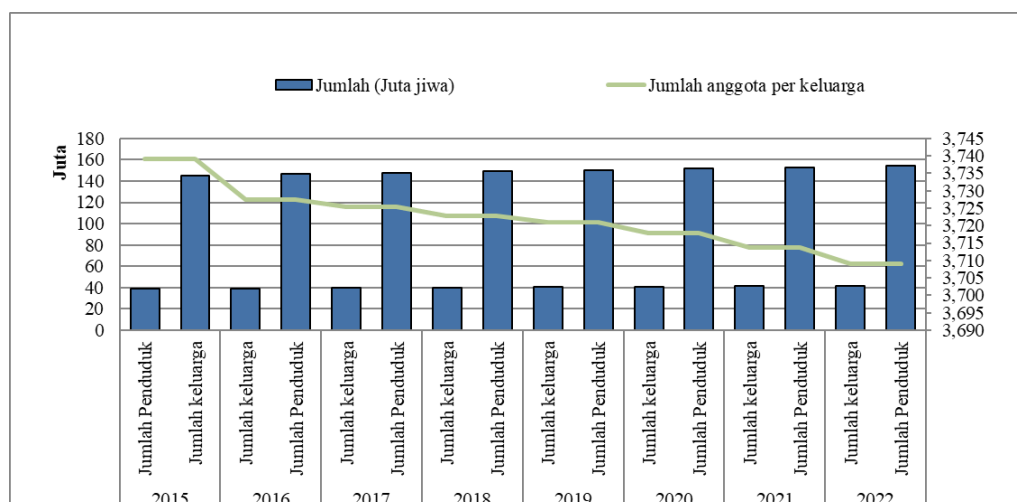
Gambar 4.1 Grafik Penduduk Pulau Jawa dan Indonesia

Kondisi penduduk Pulau Jawa dan Indonesia dijelaskan pada Tabel 4.2 dan divisualisasi pada Gambar 4.1. Jumlah penduduk sepanjang tahun 2015 sampai dengan 2022 cenderung mengalami tren peningkatan akan tetapi secara persentase pertumbuhan penduduk mengalami penurunan. Pada tahun 2015 - 2016 persentase pertumbuhan penduduk Pulau Jawa adalah 0,94% dan terjadi penurunan sampai dengan tahun 2021-2022 menjadi 0,78%. Selain kondisi jumlah penduduk secara perorangan, akan dikaji juga jumlah anggota per keluarga berdasarkan jumlah penduduk yang ada, secara rinci akan dijelaskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jumlah Penduduk Di Pulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun

Tahun	Penduduk Pulau Jawa	Jumlah keluarga di pulau Jawa	Jumlah anggota per keluarga
2015	145.133.800	38.815.700	3,7390489
2016	146.494.300	39.302.200	3,7273817
2017	147.828.400	39.680.650	3,7254531
2018	149.132.900	40.059.100	3,722822
2019	150.407.400	40.422.800	3,7208556
2020	151.650.800	40.790.557	3,7177919
2021	152.867.200	41.162.423	3,7137561
2022	154.063.200	41.538.452	3,7089297

Sumber : Badan Pusat Statistik. 2022



Gambar 4.2 Grafik Jumlah keluarga di Pulau Jawa

Jumlah keluarga di Pulau Jawa sepanjang tahun 2015 sampai dengan 2022 cenderung mengalami tren peningkatan. Selain jumlah keluarga hal yang dikaji

adalah jumlah anggota per keluarga dikarenakan hal tersebut dapat mempengaruhi kepemilikan kendaraan bermotor untuk setiap keluarga. Pada grafik yang di visualisasikan pada Gambar 4.2 jumlah anggota keluarga cenderung mengalami tren penurunan dari tahun 2015 sampai tahun 2022.

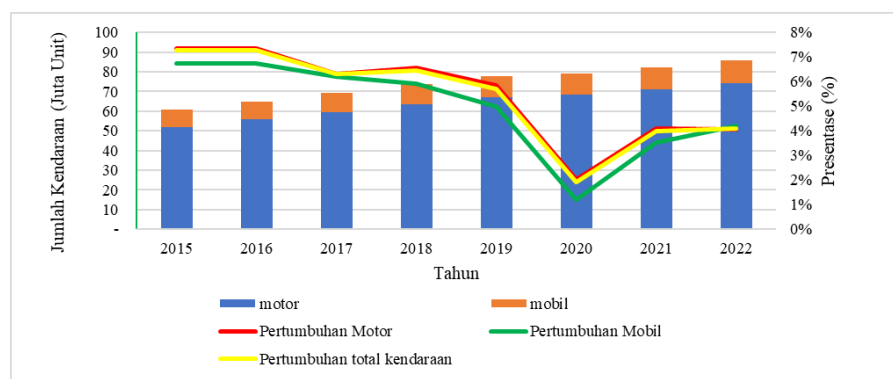
4.1.2.1 Kendaraan

Mengamati kondisi padat penduduk yang ada di Pulau Jawa, peran kendaraan bermotor dalam mobilitas sehari-hari masyarakat tentunya menjadi hal yang tidak terelakkan. Jumlah kendaraan bermotor diambil berdasarkan data publikasi pada laman internet milik Badan Pusat Statistik. Jenis kendaraan yang dianalisis adalah kendaraan bermotor roda dua (motor) dan roda empat (mobil).

Tabel 4.4 Jumlah Penduduk Dipulau Jawa dan Indonesia Dalam Tahun

TAHUN	KENDARAAN		JUMLAH
	MOBIL	MOTOR	
2015	8.509.551	52.074.157	60.583.708
2016	9.084.553	55.904.792	64.989.345
2017	9.649.155	59.436.758	69.085.913
2018	10.221.084	63.334.913	73.555.997
2019	10.730.116	67.033.394	77.763.510
2020	10.858.053	68.387.436	79.245.489
2021	11.240.618	71.177.978	82.418.596
2022	11.714.172	74.078.873	85.793.045

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2022



Gambar 4.3 Grafik Pertumbuhan Kendaraan di Pulau Jawa

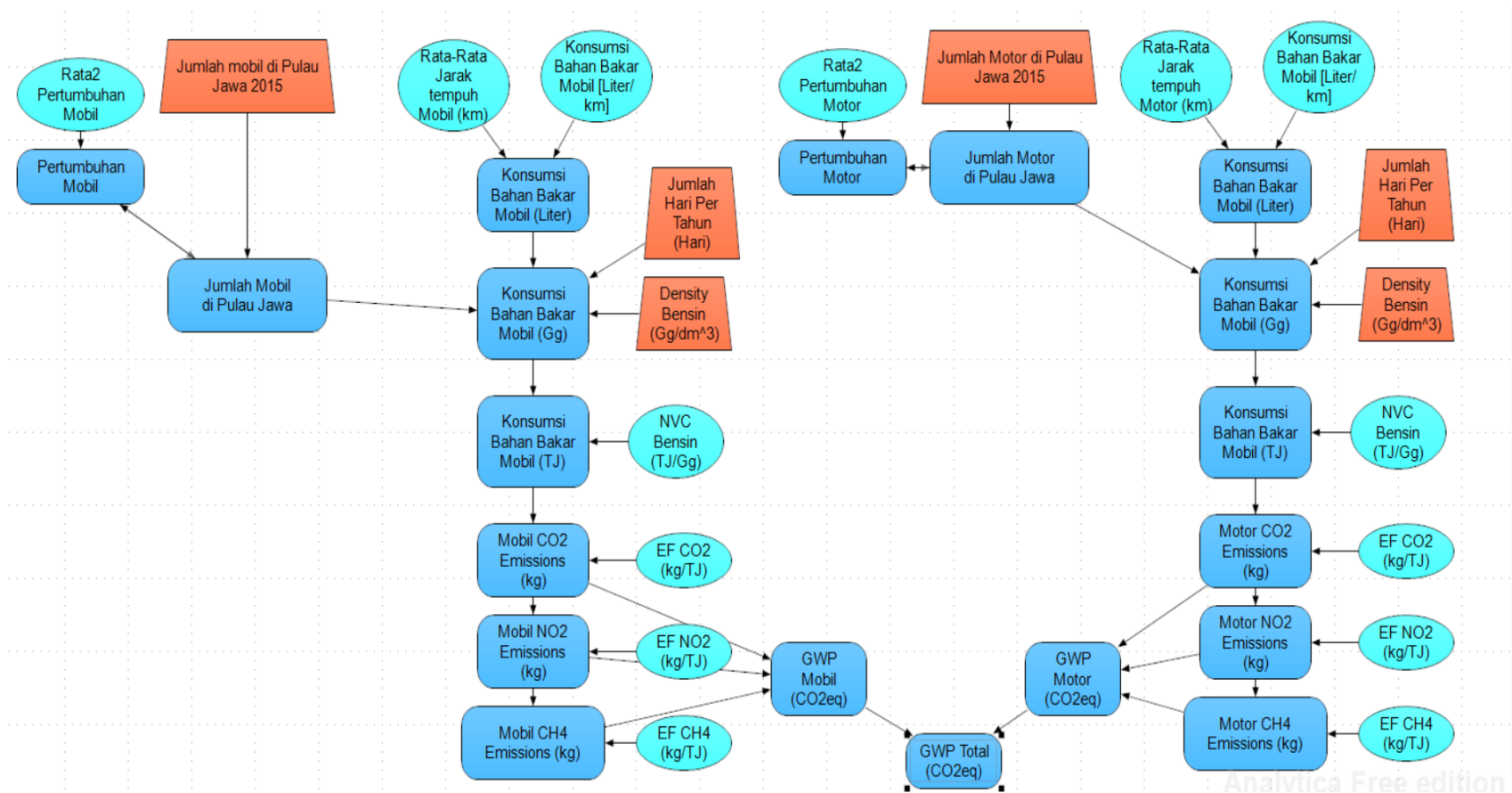
1. Adanya kebijakan Pemerintah Indonesia dalam peralihan kendaraan listrik dengan memberikan insentif berupa subsidi baik untuk kendaraan motor dan mobil.
2. Dengan adanya subsidi dari Pemerintah Indonesia, penggunaan kendaraan listrik diasumsikan dapat menggantikan jumlah kendaraan konvensional. Emisi dihasilkan dari penggunaan energi yang ada berdasarkan jarak tempuh harian pemilik kendaraan bermotor.
3. Adanya peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik berpotensi mengurangi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kendaraan konvensional.
4. Perhitungan emisi GRK dilakukan dengan menganalisis penggunaan energi dari kendaraan konvensional dan kendaraan listrik.
5. Menganalisis potensi reduksi emisi GRK dan biaya subsidi yang perlu dikeluarkan Pemerintah Indonesia untuk reduksi emisi yang terjadi berdasarkan hasil analisis.
6. Hasil analisis dapat digunakan untuk mengkritisi serta memberikan saran atau masukan terhadap kebijakan kendaraan listrik yang ada saat ini untuk dikembangkan dikemudian hari.

4.2.2 Struktur Model Dinamik

4.2.2.1 Struktur Model Skenario BAU

Model BAU mengasumsikan bahwa tren penggunaan kendaraan konvensional akan terus berjalan sepanjang tahun yang dimodelkan dan diasumsikan tidak ada kebijakan subsidi pemerintah atau kebijakan peralihan kendaraan listrik. Permodelan emisi GRK dibuat dengan menghitung laju pertumbuhan dan jumlah kendaraan konvensional sampai dengan tahun 2033. Selanjutnya, menghitung jumlah penggunaan energi yang digunakan setiap tahunnya berdasarkan konsumsi bahan bakar dan jarak tempuh harian. Jumlah penggunaan energi yang telah teridentifikasi kemudian dihitung emisinya dengan mengalikannya pada faktor emisi.

Berdasarkan permodelan emisi yang sudah dilakukan baik untuk kendaraan motor dan mobil selanjutnya adalah menjumlahkan setiap emisi GRK yang dihasilkan dan menjadikannya setara sebagai GWP. GWP adalah indeks yang mengukur seberapa banyak panas (gaya radiasi) yang akan terperangkap oleh satu unit GRK di atmosfer selama periode waktu tertentu apabila dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang akan terperangkap dalam jumlah yang sama (Ajadi et al., 2020). Untuk emisi GRK yang bukan CO₂, ketika diukur dengan menggunakan GWP maka disebut sebagai CO₂ equivalent (CO₂-eq) atau emisi yang setara dengan CO₂. Semakin besar GWP, semakin banyak gas yang menghangatkan bumi selama periode waktu tertentu, periode waktu yang digunakan biasanya adalah untuk umur hidup GRK selama 100 tahun di atmosfer (US EPA, 2022b). Secara keseluruhan model BAU ditampilkan pada Gambar 4.5.

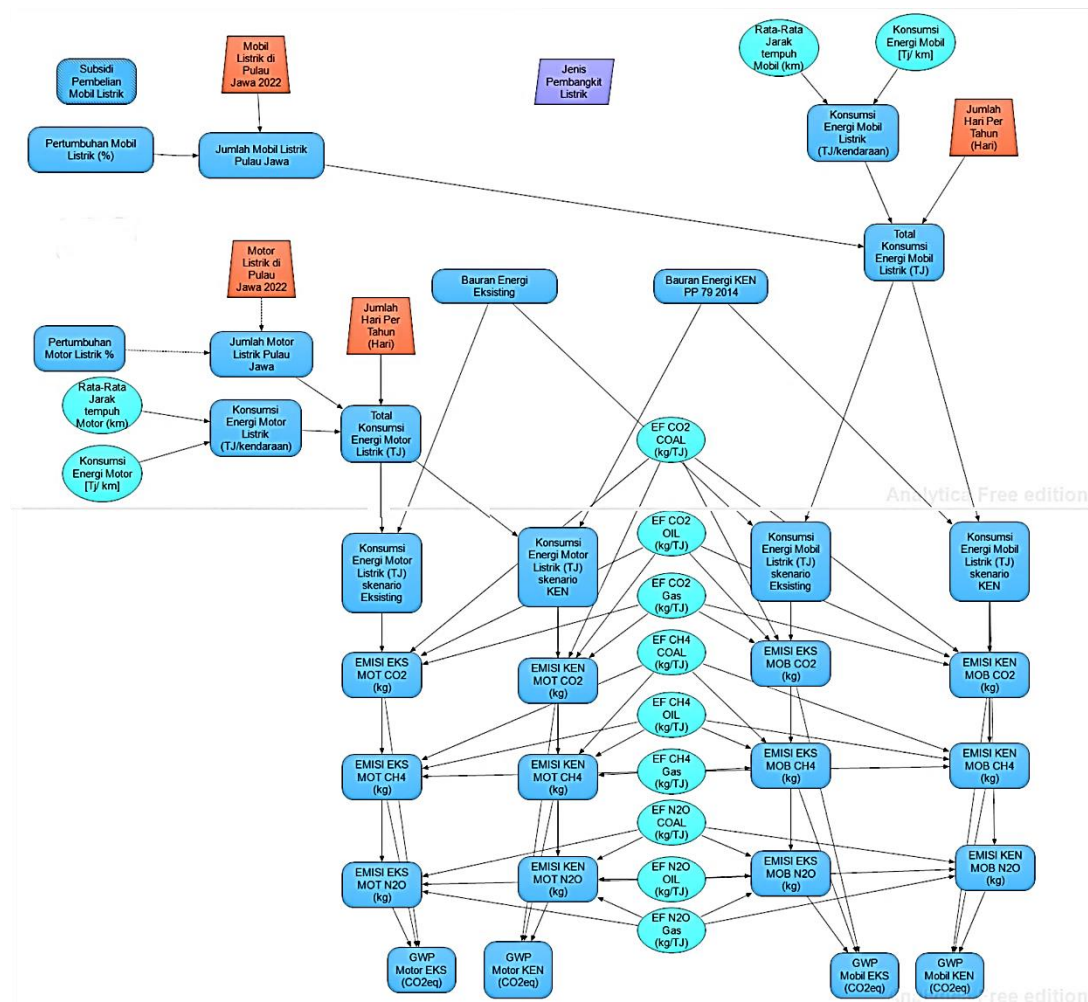


Gambar 4.5 Model Keseluruhan Skenario BAU

4.2.2.1 Struktur Model Skenario EVP

Model EVP mengasumsikan bahwa tren penggunaan kendaraan konvensional akan terus berjalan sepanjang tahun yang dimodelkan akan tetapi akan dipengaruhi peralihan kendaraan listrik akibat adanya kebijakan subsidi Pemerintah Indonesia. Pertumbuhan kendaraan listrik dianalisis berdasarkan data primer (kuesioner) dan data sekunder sebagai pembanding lalu diakumulasikan berdasarkan jumlah eksisting kendaraan listrik pada tahun 2022. Model EVP mengkalkulasikan emisi GRK berdasarkan pembangkit listrik yang merupakan sumber energi pada kendaraan listrik. Pembangkit listrik sendiri dibagi menjadi 2 skenario yaitu dengan pembangkit listrik skenario eksisting (EKS) dan dengan pembangkit listrik skenario Kebijakan Energi Nasional (KEN).

Berdasarkan permodelan emisi yang sudah dilakukan baik untuk kendaraan listrik motor dan mobil selanjutnya adalah menjumlahkan setiap emisi GRK yang dihasilkan dan menjadikannya setara sebagai GWP. GWP adalah indeks yang mengukur seberapa banyak panas (gaya radiasi) yang akan terperangkap oleh satu unit GRK di atmosfer selama periode waktu tertentu apabila dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang akan terperangkap dalam jumlah yang sama (Ajadi et al., 2020). Untuk emisi GRK yang bukan CO₂, ketika diukur dengan menggunakan GWP maka disebut sebagai CO₂ equivalent (CO₂-eq) atau emisi yang setara dengan CO₂. Semakin besar GWP, semakin banyak gas yang menghangatkan bumi selama periode waktu tertentu, periode waktu yang digunakan biasanya adalah untuk umur hidup GRK selama 100 tahun di atmosfer (US EPA, 2022b).



Gambar 4.6 Model Keseluruhan Skenario EVP

4.2.3 Validasi Model

4.2.3.1 Konsistensi Satuan

Pemodelan memerlukan adanya pengukuran variabel dalam unit yang sama dengan variabel nyata lainnya. Konsistensi unit dalam pengukuran pada setiap variabel adalah hal yang paling dasar dalam melakukan validasi model. Kesalahan dalam konsistensi satuan akan mempengaruhi kesalahan dan mengakibatkan hasil model yang dihasilkan tidak baik atau cacat.

Konsistensi satuan yang diterapkan pada pengukuran masing-masing variabel mengikuti satuan yang digunakan dalam sistem nyata. Terdapat 4 jenis satuan dalam pengukuran yang digunakan dalam konsistensi satuan, antara lainnya adalah unit (terkait dengan jumlah kendaraan), Persen (terkait dengan prosentase pertumbuhan), *Tera Joule* (terkait dengan energi) dan kg (terkait dengan massa emisi yang dihasilkan).

Variabel yang digunakan sesuai dengan data aktual yang berasal dari berbagai sumber literatur yaitu Badan Pusat Statistika (BPS), IPCC, dan literatur sejenis yang dipaparkan pada sitasi penelitian ini. Konsistensi dalam pemodelan ini telah di konfirmasi bahwa nilai awal yang digunakan dalam persamaan satuan, yang telah dimasukkan kedalam model telah konsisten secara dimensi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa satuan yang berasal dari data aktual dan yang digunakan pada pemodelan tetap konsisten.

4.2.3.2 Hasil Uji Pencocokan Data Historis

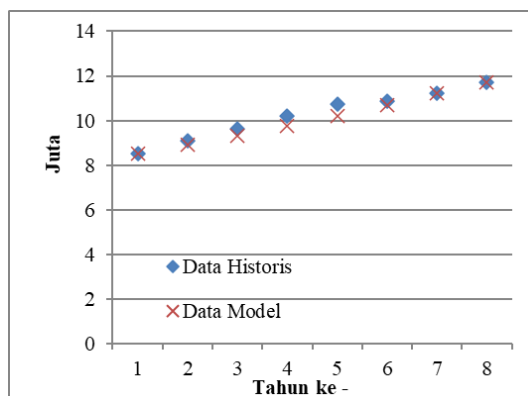
Pencocokan nilai *output* yang dihasilkan dari pemodelan pada *Analytica 6.1* perlu dilakukan dengan uji pencocokan data dengan menggunakan data aktual. Validasi model pada tahap ini berfokus pada variabel bebas yang telah dikumpulkan, di mana variabel bebas memiliki data aktual selama periode 7 tahun ke belakang atau pada tahun 2015 sampai dengan 2022. Pencocokan data historis dengan nilai *output* pemodelan, dibantu menggunakan *Microsoft Excel* dalam memasukan angka dari kedua data, yang selanjutnya dilakukan verifikasi data untuk mengetahui

prakiraan yang telah dihasilkan dari pencocokan nilai *output* pemodelan dan nilai historis.

Pengujian data historis dilakukan dengan menggunakan persamaan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), MAPE adalah perhitungan yang dihitung dengan menggunakan suatu kesalahan yang absolut pada setiap periode yang dibagi dengan nilai observasi nyata untuk periode itu. MAPE dapat pengukuran kesalahan yang menghitung ukuran dari persentase suatu penyimpangan antara data aktual dengan data pradugaan.

Tabel 4. 5 Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Mobil

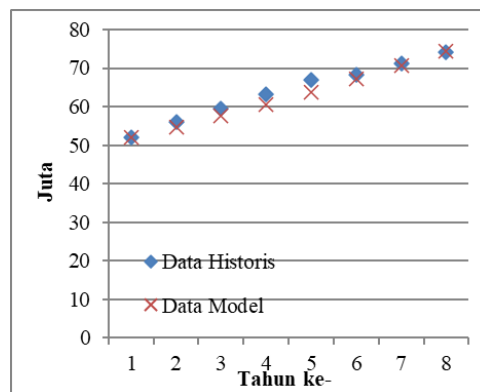
Tahun	Mobil Konvensional (unit)		MAPE [%]
	<i>Historical Data</i>	<i>Model Output</i>	
2015	8.509.551	8.509.551	0,00
2016	9.084.553	8.908.649	1,94
2017	9.649.155	9.326.465	3,34
2018	10.221.084	9.763.876	4,47
2019	10.730.116	10.221.802	4,74
2020	10.858.053	10.701.204	1,44
2021	11.240.618	11.203.091	0,33
2022	11.714.172	11.728.515	0,12
<i>Mean Absolute Percent Error (MAPE)</i>			2,0



Gambar 4. 7 Visualisasi Grafik Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Mobil

Tabel 4. 6 Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Motor

Tahun	Motor Konvensional (Unit)		MAPE [%]
	Data Historis	Model Output	
2015	52.074.157	52.074.157	0,00
2016	55.904.792	54.797.635	1,98
2017	59.436.758	57.663.552	2,98
2018	63.334.913	60.679.355	4,19
2019	67.033.394	63.852.886	4,74
2020	68.387.436	67.192.392	1,75
2021	71.177.978	70.706.554	0,66
2022	74.078.873	74.404.507	0,44
<i>Mean Absolute Percent Error (MAPE)</i>			2,1



Gambar 4. 8 Visualisasi Grafik Pencocokan Data Historis Kendaraan Konvensional Motor

Berdasarkan validasi melalui perhitungan MAPE, didapati pada Tabel 4.13 persentase eror pada permodelan jumlah kendaraan mobil adalah 2% sedangkan pada Tabel 4.14 persentase eror pada permodelan jumlah kendaraan motor adalah 2,1%. Berdasarkan pengolahan data yang telah dipaparkan dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE <10% yang artinya kemampuan model dalam peramalan sangat baik (Maricar, 2019).

4.3 Hasil Permodelan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik

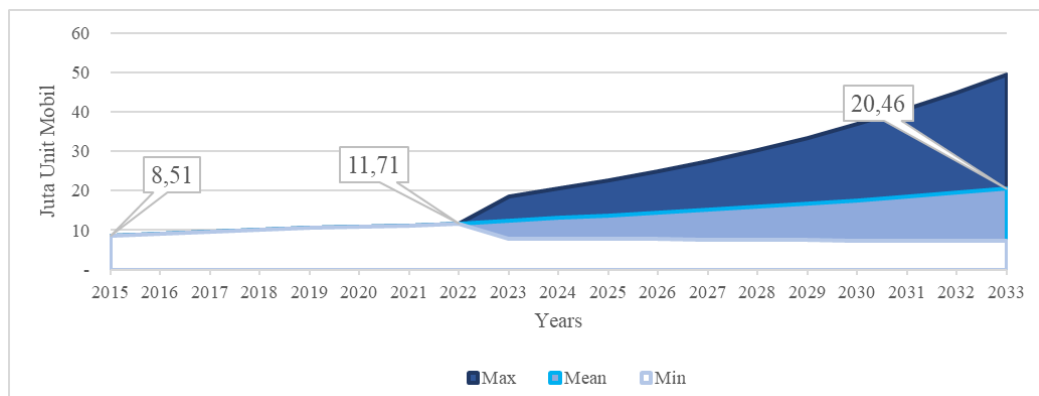
Hasil Permodelan merujuk pada 2 skenario penelitian, yaitu model skenario BAU dan model skenario EVP. Keterkaitan dua Model tersebut adalah *output* utama dalam penelitian untuk kemudian data *output* diolah agar dapat mengetahui potensi reduksi emisinya pada tahun proyeksi permodelan berdasarkan Variabel yang dimodelkan.

4.3.1 Skenario BAU

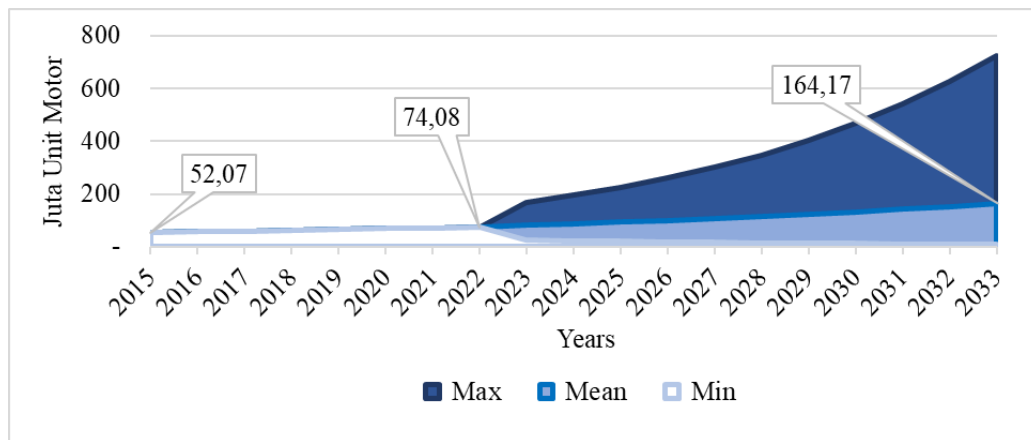
Skenario model BAU mengasumsikan bahwa tren penggunaan kendaraan konvensional akan terus berjalan sepanjang tahun yang dimodelkan yaitu tahun 2023 – 2033, diasumsikan tidak ada kebijakan subsidi pemerintah dan kebijakan peralihan kendaraan listrik.

4.3.1.1 Proyeksi Kendaraan Konvensional

Jumlah kendaraan merupakan variabel utama dalam perhitungan emisi GRK yang akan dilakukan analisis pada sistem permodelan. Kendaraan konvensional pada kasus permodelan penelitian ini dibatasi pada kendaraan roda dua (motor) dan roda empat (mobil). Jumlah kendaraan pada tahun 2015 sampai 2022 menggunakan data historis yang bersumber dari BPS, sedangkan jumlah kendaraan 2023 sampai 2033 menggunakan data proyeksi permodelan.



Gambar 4. 9 Jumlah Kendaraan Konvensional Mobil Pulau Jawa



Gambar 4. 10 Jumlah Kendaraan Konvensional Motor Pulau Jawa

Jumlah kendaraan mobil konvensional di pulau Jawa pada tahun 2015 adalah 8,51 juta unit, jumlah tersebut mengalami peningkatan cukup signifikan menjadi 20,46 juta unit sampai dengan tahun 2033. Sedangkan untuk kendaraan motor konvensional pada tahun 2015 berjumlah 52,07 juta unit dan mengalami peningkatan sampai dengan 3 kali lipat menjadi 164 juta unit pada tahun 2033.

Jumlah kendaraan di proyeksikan berdasarkan tren pertumbuhan sebagaimana Gambar 4.9 dan 4.10 kendaraan yang sudah berjalan, secara statistik hasil model akan menampilkan data berupa nilai *max*, *min*, dan *mean*. Proyeksi kendaraan diperlukan untuk memenuhi analisis permodelan emisi GRK kendaraan konvensional, jumlah kendaraan konvensional yang dimodelkan akan berpengaruh terhadap konsumsi penggunaan energi untuk kemudian dapat dilakukan analisis perhitungan GRK (Azmi, 2016).

4.3.1.2 Proyeksi Kebutuhan Energi Kendaraan Konvensional

Jumlah kendaraan hasil model yang telah didapat kemudian dilakukan pengolahan data lanjutan agar didapatkan jumlah total penggunaan energi, satuan penggunaan energi yang digunakan adalah *terajoule* (TJ). Penggunaan satuan TJ mengikuti pedoman perhitungan GRK dari IPCC 2006. Untuk dapat mengetahui kebutuhan energi dari kendaraan maka perlu diketahui berapa rerata jarak tempuh

kendaraan harian pemilik kendaraan, jumlah penggunaan bahan bakar berdasarkan jarak tempuhnya, jenis bahan bakar, density bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Untuk memudahkan penjabaran, variabel input pada permodelan proyeksi energi dijabarkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Data Yang diinput Pada Model

Variabel	Input data
Rata-rata jarak tempuh kendaraan (km/hari) ^[1]	Mobil = 28,64 km/hari Motor = 17,35 km/hari
Konsumsi bahan bakar motor (L/km) ^[2]	Mobil = 1 liter / 10 km Motor = 1 liter / 59,5 km
Density atau berat jenis bahan bakar diasumsikan sebagai bensin (pertalite) ^[3]	729,63 kg/m ³
Calor Value (CV) / nilai kalor bensin ^[4]	Net Calori Value = 44,3 TJ/Gg Lower Calori Value = 42,5 TJ/Gg Upper Calori Value = 44,8 TJ/Gg

Sumber:

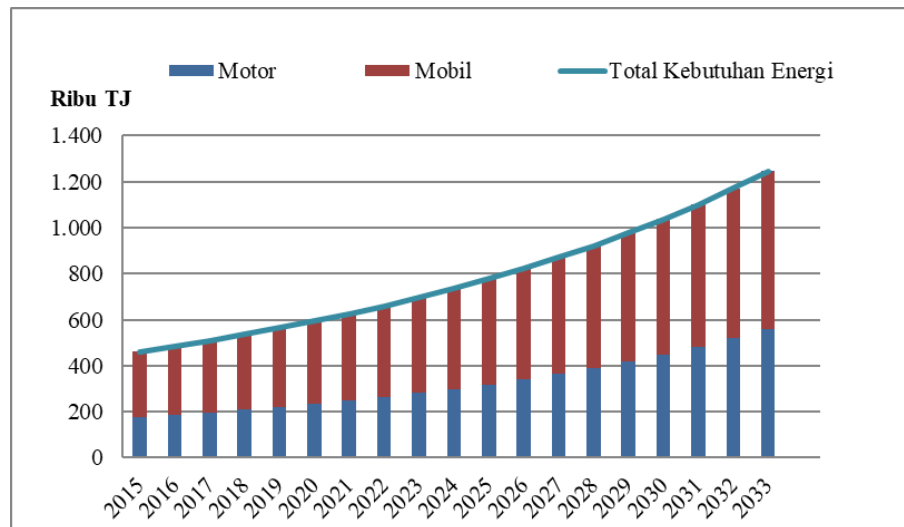
^[1] Pengolahan data kuesioner

^[2] Web distributor kendaraan bermotor

^[3] Yanuar, et. al., 2018

^[4] IPCC 2006 Chapter 1

Variabel input kemudian di aplikasikan pada model sehingga menghasilkan kebutuhan energi dari sektor kendaraan baik dari penggunaan kendaraan motor dan mobil. Hasil permodelan penggunaan energi disajikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Total Kebutuhan Energi Kendaraan Pulau Jawa

Hasil simulasi pada permodelan menunjukkan tren konsumsi energi berdasarkan jenis kendaraannya, sepanjang tahun 2015 sejumlah 462.161 TJ sampai dengan 2033 mengalami peningkatan sampai dengan 1.244.087 TJ. Peningkatan konsumsi energi selaras dengan proyeksi jumlah kendaraan yang juga mengalami peningkatan. Apabila melihat jumlah kendaraan mobil pada tahun 2015 adalah 8.509.551 sedangkan kendaraan motor adalah 52.074.157, secara jumlah kendaraan motor hampir 7 kali lipat lebih tinggi dibanding kendaraan mobil akan tetapi penggunaan energi sebagai mana Gambar 4.11 lebih besar pada mobil daripada motor, setelah diidentifikasi hal tersebut dapat terjadi berdasarkan perbedaan konsumsi bahan bakar setiap km/liter dan jarak tempuh harian yang berbeda. Berdasarkan simulasi model kebutuhan energi yang telah dihasilkan maka selanjutnya adalah menghitung emisi GRK yang dihasilkan menggunakan pedoman IPCC 2006.

4.3.1.3 Proyeksi Emisi GRK Kendaraan Konvensional

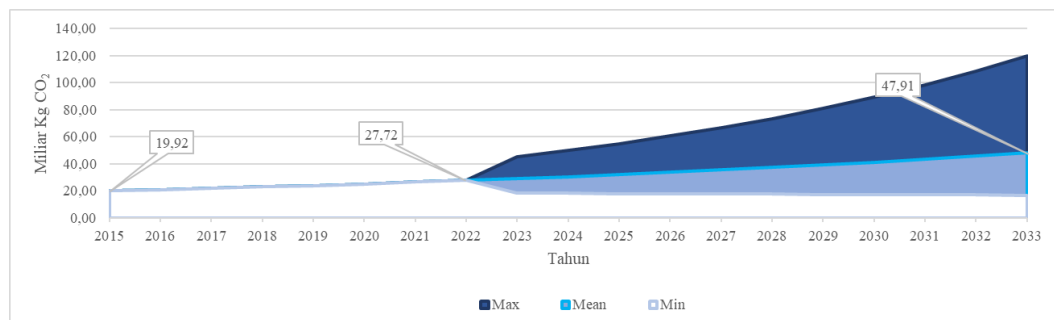
Berdasarkan data kebutuhan energi yang telah diperoleh, untuk mengetahui emisi GRK yang dihasilkan maka dilakukan perhitungan dengan pedoman *Tier 1 IPCC 2006 chapter 3: mobile combustion*. Emisi GRK dihitung untuk parameter CO₂ (karbon dioksida), CH₄ (metana), N₂O (dinitrogen oksida) dari pembakaran

bahan bakar kendaraan konvensional yaitu bensin. Perhitungan dilakukan dengan melakukan *input* data berupa faktor emisi dari masing masing emisi kedalam data model.

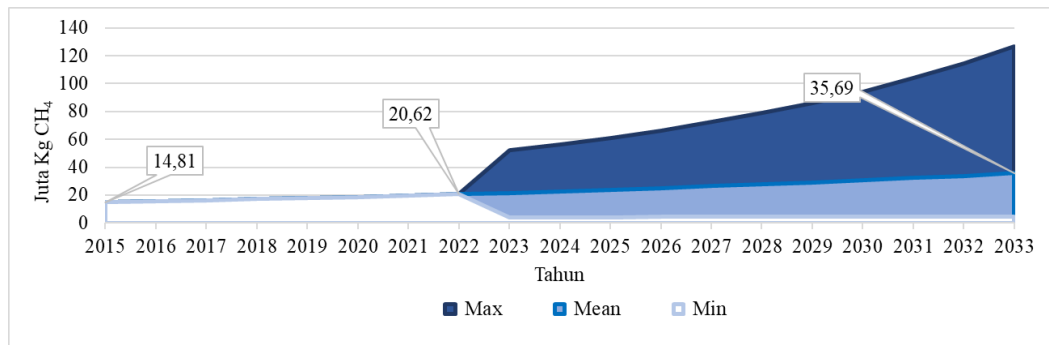
Tabel 4. 8 Faktor Emisi GRK

	Faktor Emisi / FE		
	CO ₂ (kg/Tj)	CH ₄ (kg/Tj)	N ₂ O (kg/Tj)
<i>Lower</i>	67.500	9,6	0,96
<i>Default</i>	69.300	33	3,2
<i>Upper</i>	73.000	110	11

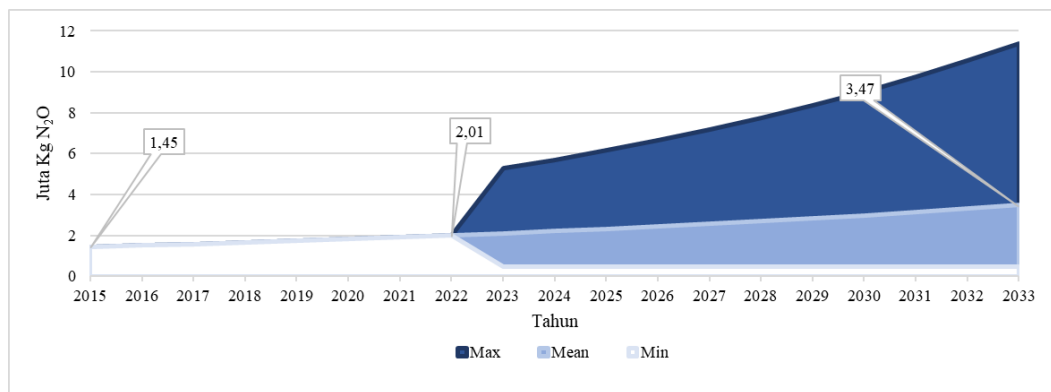
Faktor emisi memiliki nilai *default*, *lower*, dan *upper* sehingga perhitungan emisi menggunakan distribusi triangular, distribusi triangular adalah distribusi probabilitas kontinu yang berbentuk segitiga. Distribusi ini didefinisikan oleh nilai minimum dimana $a \leq c$, nilai puncak (ketinggian segitiga) dimana $a \leq c \leq b$, dan nilai maksimum dimana $b \geq c$. Distribusi triangular dapat dikaitkan dengan penggunaannya dalam pemodelan simulasi Monte Carlo (Kotz, 2004).



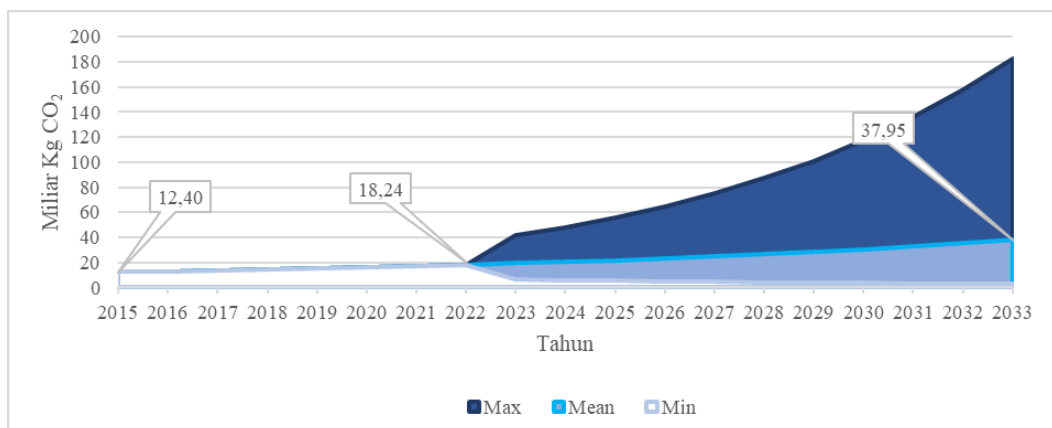
Gambar 4. 12 Emisi CO₂ Kendaraan Mobil Pulau Jawa



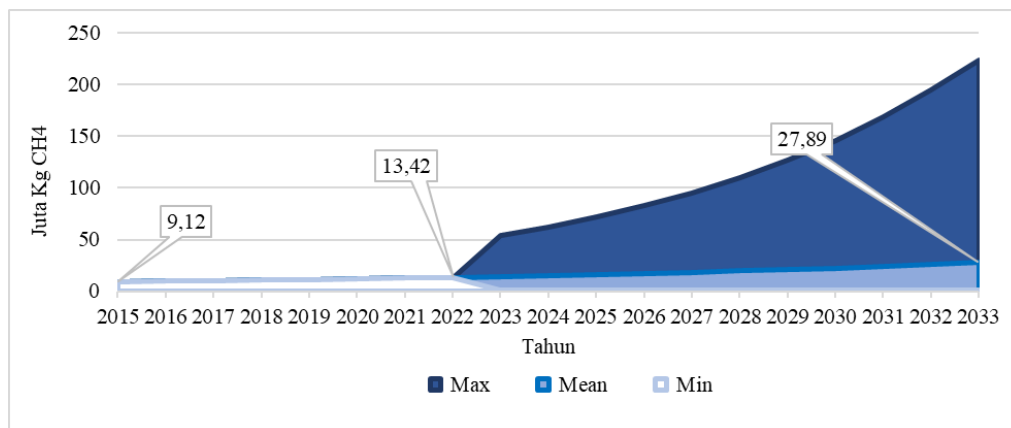
Gambar 4. 13 Emisi CH₄ Kendaraan Mobil Pulau Jawa



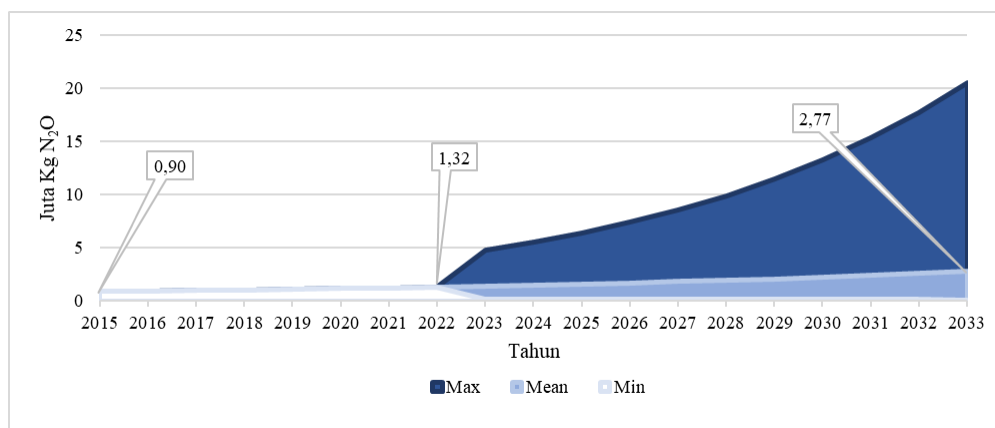
Gambar 4. 14 Emisi N₂O Kendaraan Mobil Pulau Jawa



Gambar 4. 15 Emisi CO₂ Kendaraan Motor Pulau Jawa



Gambar 4. 16 Emisi CH₄ Kendaraan Motor Pulau Jawa



Gambar 4. 17 Emisi N₂O Kendaraan Motor Pulau Jawa

Hasil permodelan divisualisasikan secara terpisah untuk kendaraan mobil dan motor. Proyeksi Emisi GRK kendaraan mobil dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai 4.14 sedangkan untuk kendaraan motor dapat dilihat pada Gambar 4.15 sampai Gambar 4.17. Secara detail emisi GRK kendaraan mobil dan motor di Pulau Jawa di sajikan dalam bentuk tabulasi pada Lampiran 2.

Berdasarkan hasil analisis permodelan, untuk emisi GRK CO₂ yang dihasilkan oleh penggunaan kendaraan mobil pada tahun awal permodelan lebih besar dari kendaraan motor, emisi kendaraan mobil pada tahun 2015 menghasilkan emisi sejumlah 19,92 miliar kg CO₂ sedangkan emisi pada kendaraan motor adalah 12,40 miliar kg CO₂. Emisi CO₂ kendaraan mobil mengalami peningkatan pada tahun 2022 hingga 20,6 juta kg CO₂ dan kendaraan motor mengalami peningkatan

hingga 13,42 juta kg CO₂. Lalu sejalan dengan proyeksi kendaraan konvensional sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CO₂ kendaraan mobil mengalami peningkatan hingga 47,19 miliar kg CO₂ atau sekitar 137% persentase peningkatan sejak tahun 2015 dan kendaraan motor mengalami peningkatan hingga 37,94 miliar kg CO₂ atau sekitar 206% persentase peningkatan sejak tahun 2015.

Untuk emisi GRK CH₄ yang dihasilkan oleh penggunaan kendaraan mobil pada tahun awal permodelan lebih besar dari kendaraan motor, emisi kendaraan mobil pada tahun 2015 menghasilkan emisi sejumlah 14,80 juta kg CH₄ sedangkan emisi pada kendaraan motor adalah 9,12 juta kg CH₄. Emisi CH₄ kendaraan mobil mengalami peningkatan pada tahun 2022 hingga 27,72 juta kg CH₄ dan kendaraan motor mengalami peningkatan hingga 18,23 juta kg CH₄. Lalu sejalan dengan proyeksi kendaraan konvensional sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CH₄ kendaraan mobil mengalami peningkatan hingga 35,69 juta kg CH₄ atau sekitar 141% persentase peningkatan sejak tahun 2015 dan kendaraan motor mengalami peningkatan hingga 27,89 juta kg CH₄ atau sekitar 204% persentase peningkatan sejak tahun 2015.

Untuk emisi GRK yang terakhir yaitu N₂O yang dihasilkan oleh penggunaan kendaraan mobil pada tahun awal permodelan lebih besar dari kendaraan motor, emisi kendaraan mobil pada tahun 2015 menghasilkan emisi sejumlah 1,44 juta kg N₂O sedangkan emisi pada kendaraan motor adalah 898.786 kg N₂O. Emisi N₂O kendaraan mobil mengalami peningkatan pada tahun 2022 hingga 2,01 juta kg N₂O dan kendaraan motor mengalami peningkatan hingga 1,32 juta kg N₂O. Lalu sejalan dengan proyeksi kendaraan konvensional sampai tahun 2033 maka emisi Emisi N₂O kendaraan mobil mengalami peningkatan hingga 3,47 juta kg N₂O atau sekitar 141% persentase peningkatan sejak tahun 2015 dan kendaraan motor mengalami peningkatan hingga 2,76 juta kg N₂O atau sekitar 206% persentase peningkatan sejak tahun 2015.

Berdasarkan emisi GRK yang telah dianalisis apabila melihat jumlah kendaraan berdasarkan data kendaraan, jumlah kendaraan mobil pada tahun 2015 adalah 8.509.551 sedangkan kendaraan motor adalah 52.074.157, secara jumlah kendaraan motor hampir 7 kali lipat lebih tinggi dibanding kendaraan mobil akan

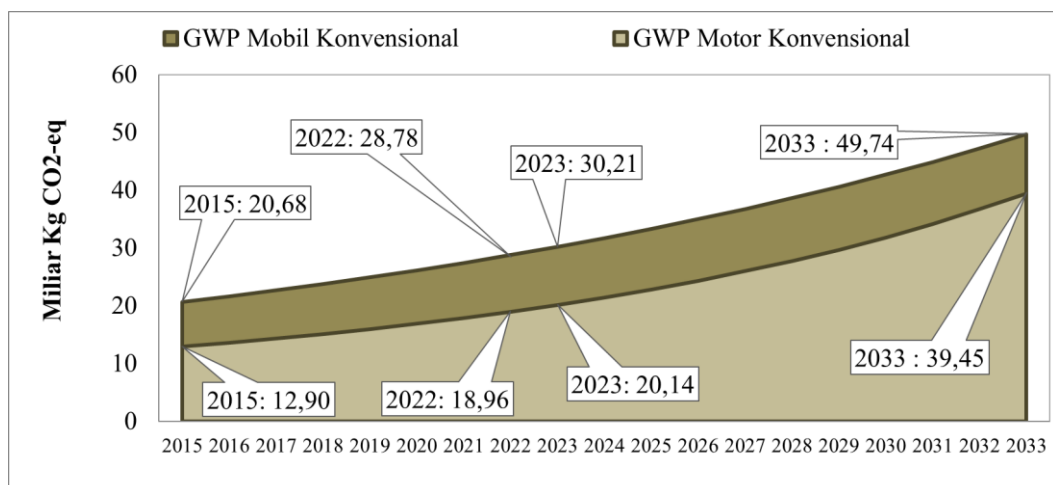
tetapi emisi yang dihasilkan lebih besar kendaraan mobil. Tingginya emisi mobil dibanding motor memungkinkan terjadi dikarenakan perbedaan konsumsi energi yang dipengaruhi oleh perbedaan jarak rata rata harian dan konsumsi bahan bakar setiap kilometer nya.

Dari emisi GRK yang telah dianalisis pada permodelan emisi baik untuk kendaraan motor dan mobil, selanjutnya adalah menjumlahkan setiap emisi GRK yang dihasilkan dan menjadikannya setara sebagai GWP. GWP adalah indeks yang mengukur seberapa banyak panas (gaya radiasi) yang akan terperangkap oleh satu unit GRK di atmosfer selama periode waktu tertentu apabila dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang akan terperangkap dalam jumlah yang sama (Ajadi et al., 2020).

Tabel 4. 9 Jenis-jenis GRK dan Nilai Potensi Pemanasan Global

Gas Rumah Kaca	Potensi Pemanasan Global (CO ₂ -eq) dalam 100 tahun ^[1]
CO ₂	1
CH ₄	27
N ₂ O	273

^[1] Sumber: IPCC ASSESMENT REPORT 6 (2021)



Gambar 4. 18 GWP Kendaraan Mobil Dan Motor Pulau Jawa

Hasil simulasi BAU pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa emisi GRK dari penggunaan kendaraan konvensional di Pulau Jawa pada tahun 2015 untuk kendaraan mobil mencapai 20,68 miliar kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan sesuai jumlah kendaraannya hingga tahun 2022 mencapai 28,78 miliar kg CO_{2eq} dan sebagaimana proyeksi permodelan jumlah kendaraan konvensional emisi GRK pada tahun 2023 mencapai 30,21 miliar kg CO_{2eq} yang terus mengalami tren peningkatan hingga 2033 hingga mencapai 49,74 miliar kg CO_{2eq}. Sedangkan untuk kendaraan motor mencapai 12,90 miliar kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan sesuai jumlah kendaraannya hingga tahun 2022 mencapai 18,96 miliar kg CO_{2eq} dan sebagaimana proyeksi permodelan jumlah kendaraan konvensional emisi GRK pada tahun 2023 mencapai 20,14 miliar Kg CO_{2eq} yang terus mengalami tren peningkatan hingga 2033 hingga mencapai 39,45 miliar kg CO_{2eq}. Rekapitulasi perhitungan GRK dari kendaraan konvensional terlampir pada Lampiran 3.

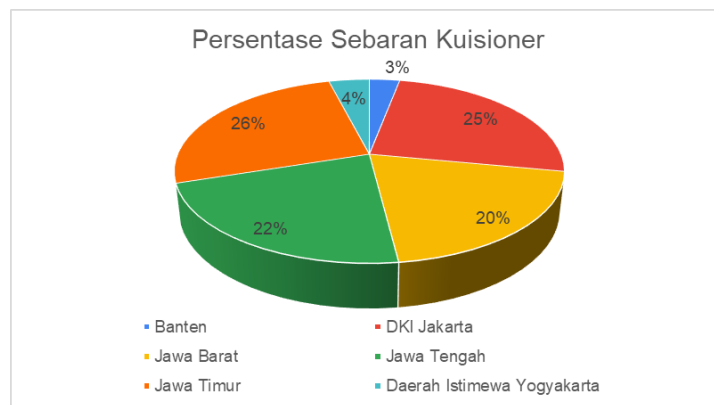
4.3.2 Skenario EVP

Model EVP mengasumsikan bahwa tren penggunaan kendaraan konvensional akan terus berjalan sepanjang tahun yang dimodelkan akan tetapi akan dipengaruhi peralihan kendaraan listrik akibat adanya kebijakan subsidi Pemerintah Indonesia. Jumlah kendaraan listrik dihitung berdasarkan persentase yang didapatkan dari representasi hasil kuesioner untuk responden yang ingin beralih ke kendaraan listrik, serta sebagai pembanding menggunakan data sekunder untuk kemudian diakumulasikan berdasarkan jumlah eksisting kendaraan listrik pada tahun 2022. Model EVP mengkalkulasikan emisi GRK berdasarkan pembangkit listrik yang merupakan sumber energi pada kendaraan listrik.

4.3.2.1 Jumlah Kendaraan Listrik

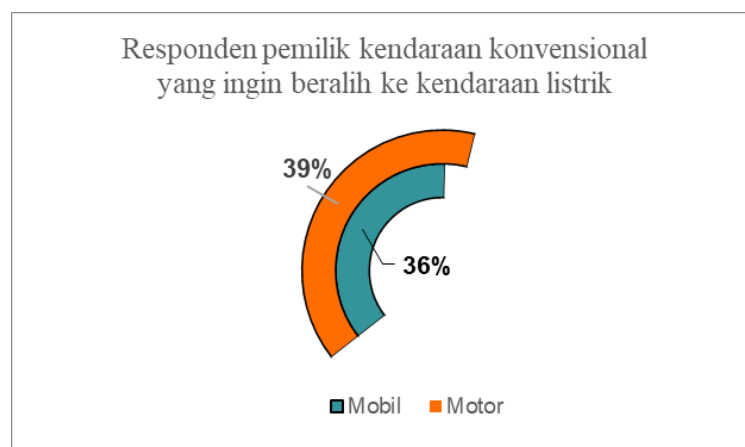
Data Primer

Jumlah kendaraan listrik didapat berdasarkan hasil pengolahan data kuesioner. Kuesioner disebar sebanyak 100 responden di seluruh Provinsi Pulau Jawa. Secara detail diagram persentase sebaran kuisisioner dijelaskan pada Gambar 4.19.



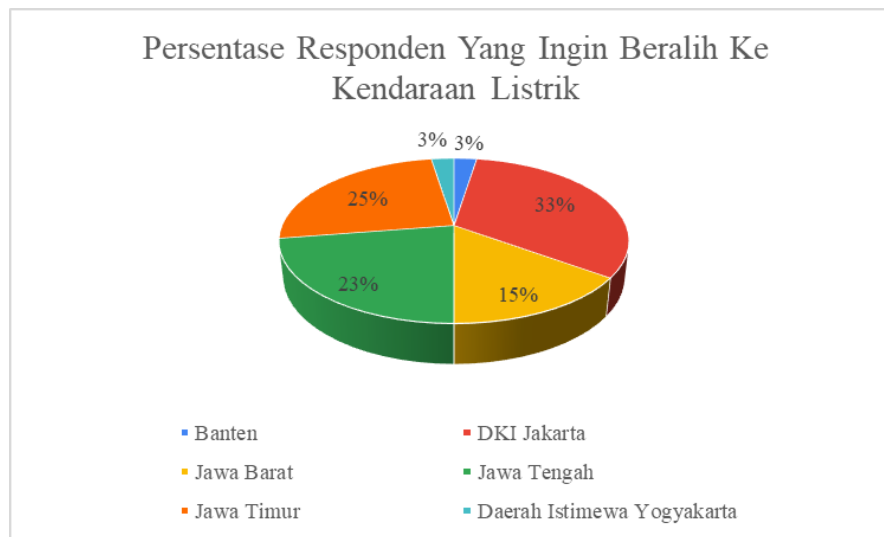
Gambar 4. 19 Persentase Sebaran Kuesioner

Berdasarkan Gambar 4.19 menunjukkan bahwa sebaran hasil kuesioner pada responden paling tinggi berada di Jawa Timur sebesar 26%, lalu DKI Jakarta 25%, Jawa Tengah 22%, Jawa Barat 20%, Daerah Istimewa Yogyakarta 4%, dan Banten 3%.



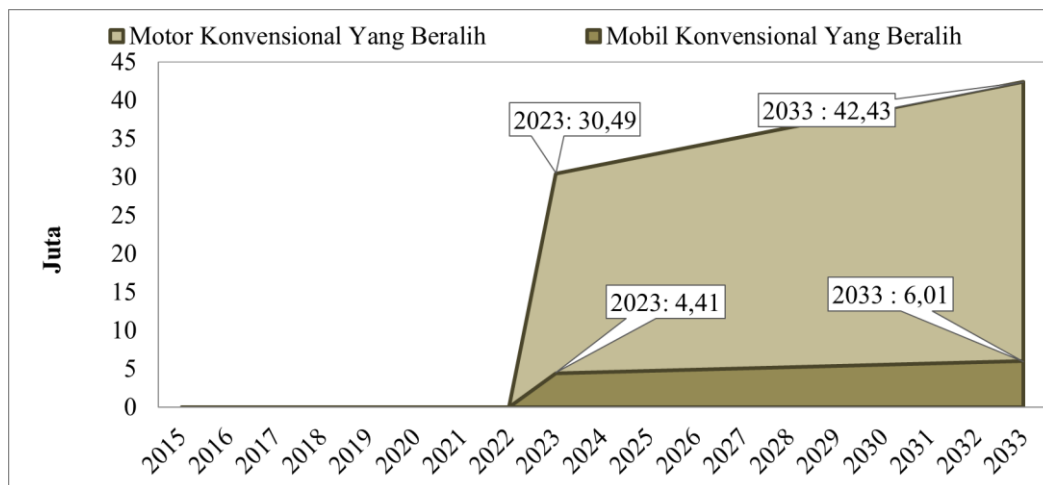
Gambar 4. 20 Persentase Responden Yang Berpotensi Beralih Ke Kendaraan Listrik

Jumlah kendaraan listrik berdasarkan hasil kuesioner dengan 100 responden menghasilkan data yaitu 39% responden yang memiliki kendaraan motor dan 36% responden yang memiliki mobil ingin beralih ke kendaraan listrik sebagaimana Gambar 4.20. Berdasarkan responden yang beralih apabila dijabarkan setiap provinsi maka persentase responden yang ingin beralih ke kendaraan listrik dijelaskan pada Gambar 4.21



Gambar 4. 21 Jumlah Kendaraan Konvensional Yang Ingin Beralih Ke Kendaraan Listrik

Berdasarkan gambar 4.21 menunjukkan bahwa dari persentase responden yang ingin beralih ke kendaraan listrik, 33% berasal dari Provinsi DKI Jakarta, 25% berasal dari Provinsi Jawa Barat, 23% berasal dari Provinsi Jawa Tengah, 25% berasal dari Provinsi Jawa Barat, 3% berasal dari Provinsi Banten dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Tingginya responden yang ingin beralih di DKI Jakarta dimungkinkan terjadi karena tingginya mobilitas kendaraan yang ada di DKI Jakarta serta mudahnya akses infrastruktur pada kendaraan listrik dibanding dengan provinsi lainnya.



Gambar 4. 22 Jumlah Kendaraan Konvensional Yang Berpotensi Ingin Beralih Ke Kendaraan Listrik

Persentase pada Gambar 4.20. kemudian akan dikalikan dengan jumlah kendaraan yang ada sehingga ada potensi terjadinya peralihan 39 % kendaraan motor konvensional menuju kendaraan motor listrik dan 36 % kendaraan mobil konvensional menjadi kendaraan mobil listrik. Berdasarkan hasil analisis kuesioner kemudian dikalikan rasio kepemilikan kendaraan mobil dan motor sehingga didapatkan data potensi peralihan sebesar 30,4 juta unit kendaraan samapai 42,4 juta unit kendaraan motor konvensional yang beralih ke kendaraan listrik, begitu pula pada mobil konvensional terdapat potensi sebesar 4,4 juta sampai 6 juta mobil konvensional yang beralih ke kendaraan listrik. Adapun potensi peralihan kendaraan listrik dijelaskan pada Gambar 4.22 dan secara detail perhitungan terlanmpir pada Lampiran 4.

Data Literatur

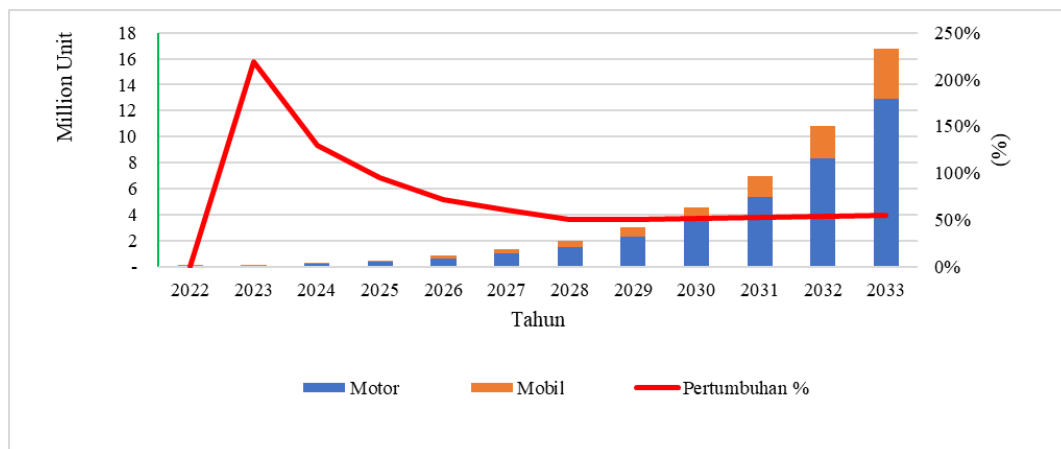
Selain berdasarkan data kuesioner dalam mengetahui jumlah kendaraan listrik, untuk perbandingan jumlah kendaraan listrik akan di hitung berdasarkan literatur data sekunder. Literatur data sekunder berasal dari penelitian yang dilakukan oleh *Asian Development Bank* (ADB, 2022), pada penelitian tersebut mengkalkulasikan persentase pertumbuhan kendaraan listrik berdasarkan aspek ekonomi berupa pertumbuhan penduduk dan subsidi pemerintah di salah satu daerah Pulau Jawa sehingga penulis pada penelitian ini mengadopsi persentase pada

literatur tersebut sebagai pembanding jumlah kendaraan listrik yang secara detail dijelaskan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Skenario Persentase Pertumbuhan Kendaraan Listrik

Tahun	Persentase ¹	Motor	Mobil
2023	219%	82.257	24.500
2024	130%	189.068	56.313
2025	95%	369.542	110.066
2026	72%	34.728	189.050
2027	60%	1.017.775	303.138
2028	51%	1.534.643	457.083
2029	51%	2.316.697	690.013
2030	52%	3.522.312	1.049.098
2031	53%	5.391.994	1.605.970
2032	54%	8.311.365	2.475.486
2033	55%	12.901.362	3.842.586

Sumber: ADB, 2022



Gambar 4. 23 Jumlah Kendaraan Listrik Berdasarkan Data Literatur

Jumlah kendaraan listrik pada tahun 2022 untuk kendaraan motor berjumlah 25.782 dan mobil 7.679 unit kemudian berdasarkan hasil kalkulasi dengan persentase pertumbuhan. Jumlah kendaraan listrik baik motor dan mobil mengalami tren peningkatan setiap tahunnya hingga berjumlah 12.901.362 unit motor listrik dan 3.842.586 unit mobil listrik pada tahun 2033.

4.3.2.2 Kebutuhan Energi Kendaraan listrik

Jumlah kendaraan hasil model yang telah didapat kemudian dilakukan pengolahan data lanjutan agar didapatkan jumlah total penggunaan energi, satuan penggunaan energi yang digunakan adalah *terajoule* (TJ). Penggunaan satuan TJ mengikuti pedoman perhitungan GRK dari IPCC 2006. Untuk dapat mengetahui kebutuhan energi dari kendaraan maka perlu diketahui berapa rerata jarak tempuh kendaraan harian pemilik kendaraan, jumlah penggunaan bahan bakar berdasarkan jarak tempuhnya, jenis bahan bakar, densitas bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Untuk memudahkan penjabaran, Variabel input pada permodelan proyeksi energi dijabarkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Data Pada Model Energi Kendaraan Listrik

Variabel	Input data
Rata-rata jarak tempuh kendaraan (km/hari) ^[1]	Mobil = 28,64 km/hari Motor = 17,35 km/hari
Konsumsi energi motor (Kwh/km) ^[2]	Mobil = 0,0000004224075 Motor = 0,0000000954

Sumber:

^[1] Pengolahan data kuesioner

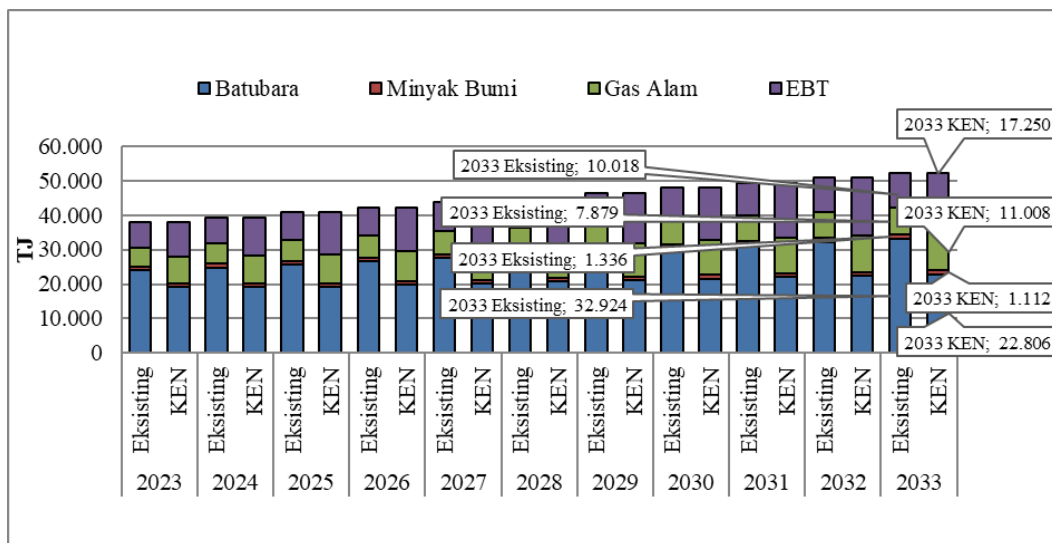
^[2] Pengolahan data beberapa distributor kendaraan Listrik

Kebutuhan energi kendaraan listrik bersumber pada pembangkit listrik. Pada penelitian ini kebutuhan energi dihitung menggunakan 2 skenario yaitu skenario “Eksisting (EKS)” berdasarkan persentase pembangkit listrik yang didapatkan dari statistik penggunaan energi Indonesia 2022 untuk kemudian diasumsikan akan terus sama sampai dengan 2033 dan skenario “Kebijakan Energi Nasional (KEN)” yang merupakan target Pemerintah Indonesia berdasarkan Peraturan Pemerintah No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Emisi dihasilkan bersumber dari pembangkit listrik batu bara, minyak bumi, dan gas alam.

Kebutuhan energi dijumlah berdasarkan jarak tempuh dan konsumsi energi (Tj/km) kendaraan baik motor ataupun mobil.

Data Primer

Berdasarkan hasil analisis perhitungan melalui jumlah kendaraan listrik dari data primer, maka kebutuhan energi yang dibutuhkan dijelaskan pada Gambar 4.24.



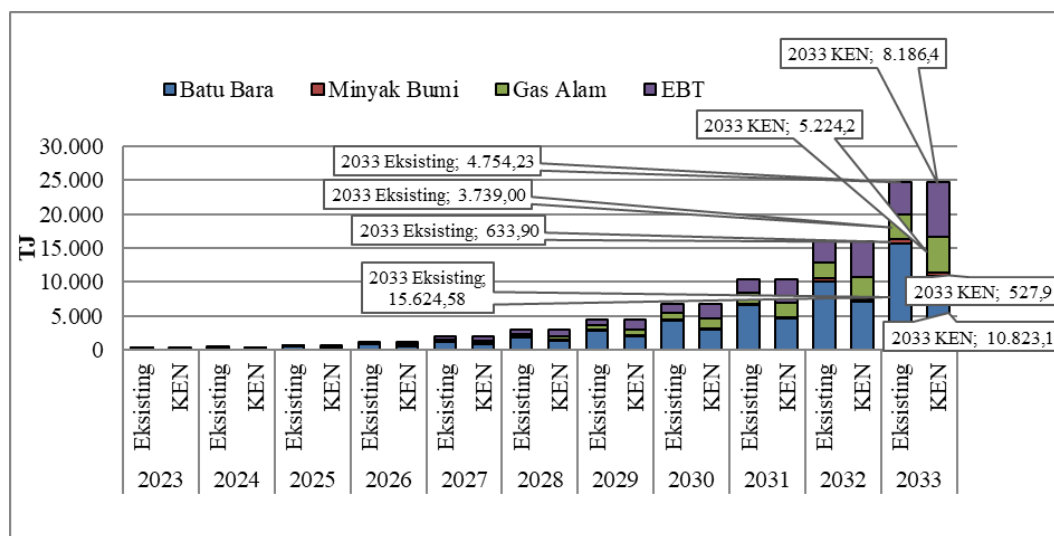
Gambar 4. 24 Penggunaan Energi Kendaraann Listrik

Penggunaan energi pada 2 skenario yang berbeda telah dijelaskan pada Gambar 4.22, bisa dilihat bahwa tren penggunaan energi terus meningkat setiap tahunnya sejalan dengan jumlah kendaraan listrik yang terus meningkat sampai dengan tahun 2033. Berdasarkan grafik terdapat perbedaan antara penggunaan energi berdasarkan kondisi aktual dan target pemerintah. Sebagai contoh adalah penggunaan energi pembangkit batubara pada tahun 2033 dengan kondisi aktual akan membutuhkan 32.924 Tj sedangkan jika persentase baruan energi pada pembangkit listrik bisa sesuai target pemerintah maka penggunaan energi pembangkit batu bara hanya 22.806 Tj. Perbedaan penggunaan energi ini akan berpengaruh pada emisi GRK yang dihasilkan dikarenakan setiap jenis pembangkit memiliki faktor emisi yang berbeda. Secara keseluruhan penggunaan energi pada skenario EVP mengalami tren peningkatan sebagaimana jumlah kendaraan listrik yang ada yaitu 37.800 TJ pada tahun 2022 dan mengalami peningkatan sebanyak

52.157 TJ pada tahun 2033, perbedaan antara EVP Eksisting dan EVP KEN adalah pada persentase setiap pembangkit listriknya.

Data Literatur

Berdasarkan hasil analisis perhitungan melalui jumlah kendaraan listrik dari data primer, maka kebutuhan energi yang dibutuhkan dijelaskan pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Penggunaan Energi Kendaraan Listrik

Penggunaan energi pada 2 skenario yang berbeda telah dijelaskan pada Gambar 4.25, bisa dilihat bahwa tren penggunaan energi terus meningkat setiap tahunnya sejalan dengan jumlah kendaraan listrik yang terus meningkat sampai dengan tahun 2033. Berdasarkan grafik terdapat perbedaan antara penggunaan energi berdasarkan kondisi aktual dan target pemerintah. Sebagai contoh adalah penggunaan energi pembangkit batubara pada tahun 2033 dengan kondisi aktual akan membutuhkan 15.624 TJ sedangkan jika persentase baruan energi pada pembangkit listrik bisa sesuai target pemerintah maka penggunaan energi pembangkit batubara hanya 10.823 TJ. Perbedaan penggunaan energi ini akan berpengaruh pada emisi yang dihasilkan dikarenakan setiap jenis pembangkit memiliki faktor emisi yang berbeda. Secara keseluruhan penggunaan energi baik skenario EVP mengalami tren peningkatan sebagaimana jumlah kendaraan listrik

yang ada yaitu 157 TJ pada tahun 2022 dan mengalami peningkatan sebanyak 24.751 TJ pada tahun 2033, perbedaan antara EVP Eksisting dan EVP KEN adalah pada persentase setiap pembangkit listriknya.

4.3.2.3 Emisi GRK Kendaraan Listrik

Berdasarkan data kebutuhan energi yang telah diperoleh, untuk mengetahui emisi GRK yang dihasilkan maka dilakukan perhitungan dengan pedoman *Tier 1 IPCC 2006 chapter 2: stationary combustion*. Emisi GRK dihitung untuk parameter CO₂ (karbon dioksida), CH₄ (metana), N₂O (dinitrogen oksida) dari pembangkit listrik sebagai sumber energi kendaraan listrik. Perhitungan dilakukan dengan melakukan *input* data berupa faktor emisi dari masing masing emisi kedalam data model.

Tabel 4. 12 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Batu Bara

	Faktor Emisi		
	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Lower	87.300	0,3	0,5
Default	94.600	1	1,5
Upper	101.000	3	5

Tabel 4. 13 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Minyak Bumi

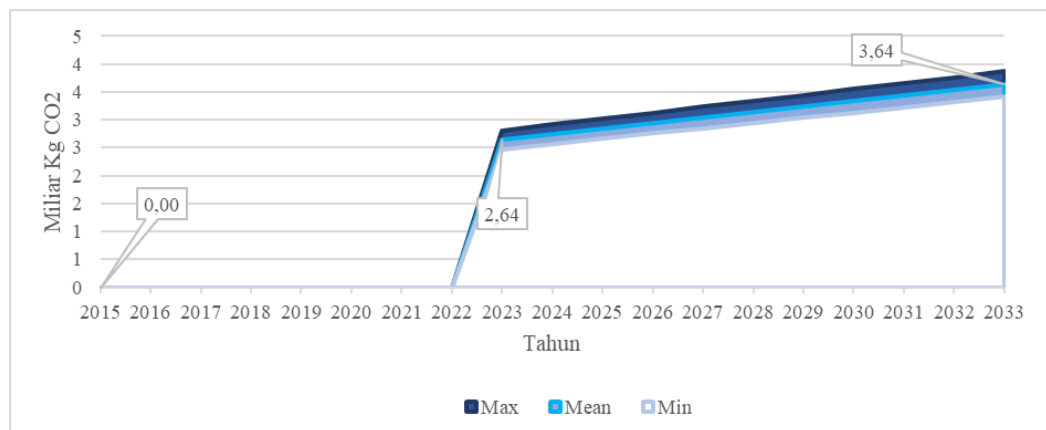
	Faktor Emisi		
	CO ₂ (kg/TJ)	CO ₂ (kg/TJ)	CO ₂ (kg/TJ)
Lower	67.500	1	0,2
Default	69.300	3	0,6
Upper	73.000	10	2

Tabel 4. 14 Faktor Emisi Pembangkit Listrik Bahan Bakar Gas Alam

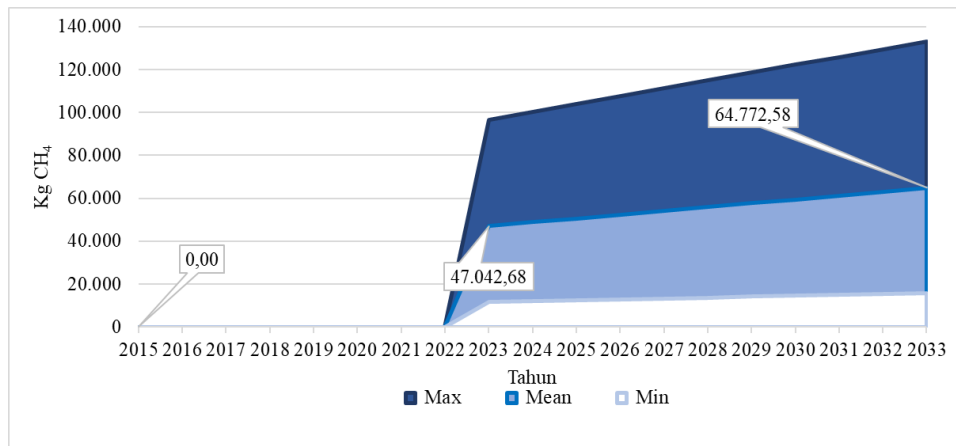
	Faktor Emisi		
	CO ₂ (kg/TJ)	CO ₂ (kg/TJ)	CO ₂ (kg/TJ)
Lower	54.300	0,3	0,03
Default	56.100	1	0,1
Upper	58.300	3	0,3

Faktor emisi memiliki nilai *default*, *lower*, dan *upper* sehingga perhitungan emisi menggunakan distribusi triangular, distribusi triangular adalah distribusi probabilitas kontinu yang berbentuk segitiga. Distribusi ini didefinisikan oleh nilai minimum dimana $a \leq c$, nilai puncak (ketinggian segitiga) dimana $a \leq c \leq b$, dan nilai maksimum dimana $b \geq c$. Distribusi triangular dapat dikaitkan dengan penggunaannya dalam pemodelan simulasi Monte Carlo (Kotz, 2004).

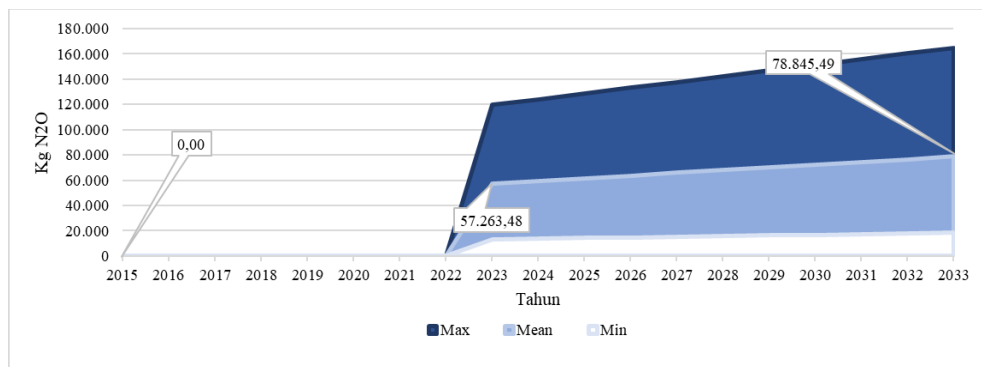
Data Primer



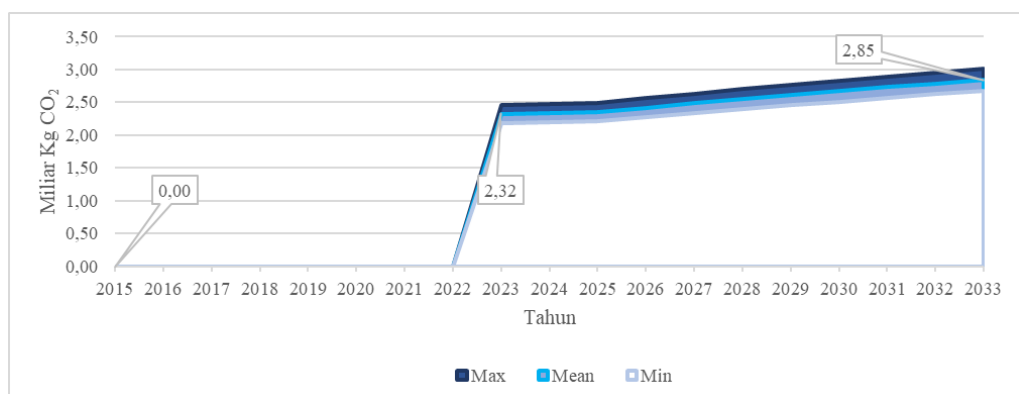
Gambar 4. 26 Emisi CO₂ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



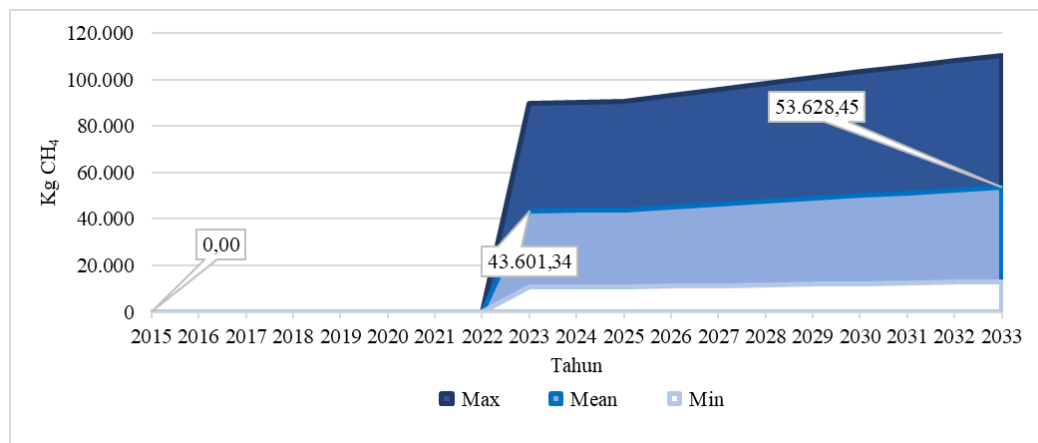
Gambar 4. 27 Emisi CH₄ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



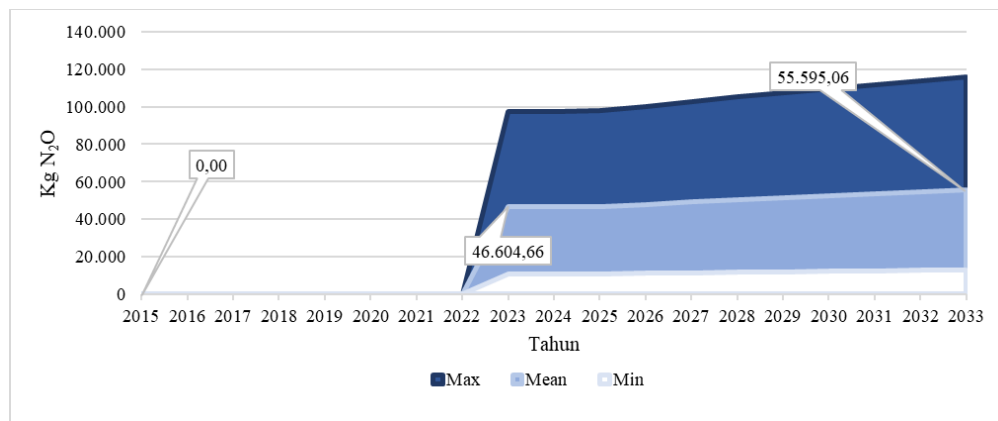
Gambar 4. 28 Emisi N₂O Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



Gambar 4. 29 Emisi CO₂ Kendaraan Listrik Skenario KEN



Gambar 4. 30 Emisi CH₄ Kendaraan Listrik Skenario KEN



Gambar 4. 31 Emisi N₂O Kendaraan Listrik Skenario KEN

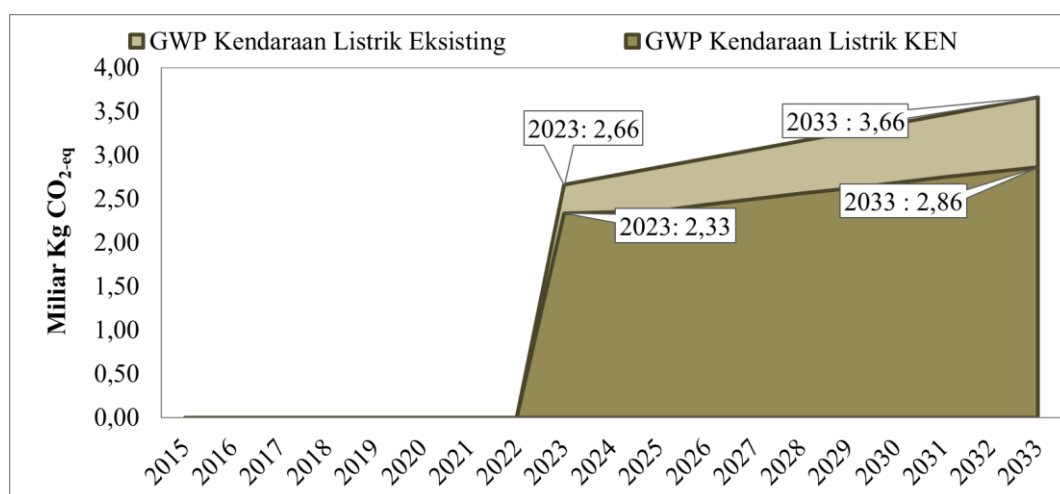
Berdasarkan hasil analisis permodelan, emisi CO₂ kendaraan listrik skenario eksisting pada tahun 2023 adalah sejumlah 2,6 miliar kg CO₂ dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 2,32 miliar kg CO₂. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CO₂ kendaraan listrik skenario eksisting mengalami peningkatan hingga 3,64 miliar kg CO₂ atau sekitar 40% persentase peningkatan sejak tahun 2023 dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 2,85 miliar kg CO₂ atau sekitar 23% persentase peningkatan sejak tahun 2023.

Emisi GRK CH₄ kendaraan listrik skenario eksisting pada tahun 2023 adalah sejumlah 47.042 kg CH₄ dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 43.601 kg CH₄. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik

sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CH₄ kendaraan listrik skenario eksisting mengalami peningkatan hingga 64.772 kg CH₄ atau sekitar 38% persentase peningkatan sejak tahun 2023 dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 53.628 kg CH₄ atau sekitar 23% persentase peningkatan sejak tahun 2023.

Untuk emisi GRK yang terakhir yaitu N₂O pada kendaraan listrik skenario eksisting tahun 2023 adalah sejumlah 57.263 kg N₂O dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 46.604 kg N₂O. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik sampai tahun 2033 maka emisi Emisi N₂O kendaraan listrik skenario eksisting mengalami peningkatan hingga 78.845 kg N₂O atau sekitar 38% persentase peningkatan sejak tahun 2023 dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 55.595 kg N₂O atau sekitar 19% persentase peningkatan sejak tahun 2023. Hasil perhitungan emisi GRK secara detail terlampir pada Lampiran 5.

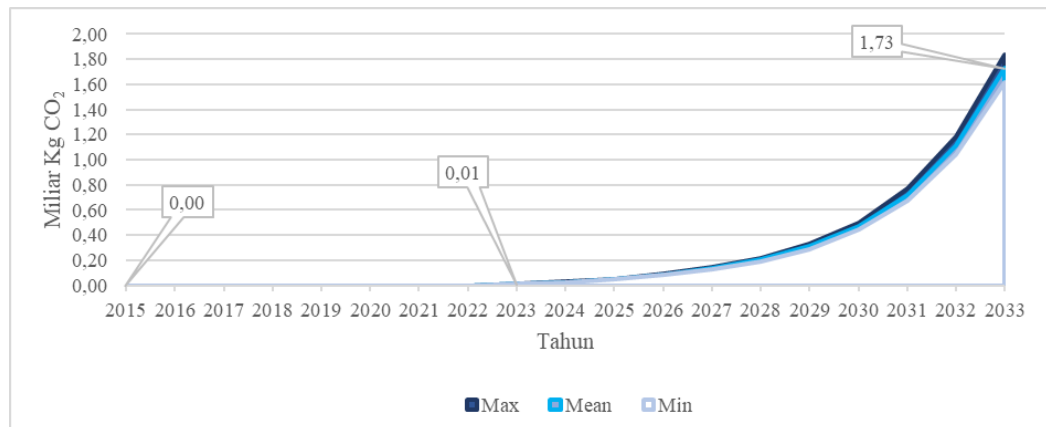
Permodelan setiap emisi GRK yang sudah dilakukan baik untuk kendaraan motor dan mobil selanjutnya adalah menjumlahkan setiap emisi GRK yang dihasilkan dan menjadikannya setara sebagai GWP. GWP adalah indeks yang mengukur seberapa banyak panas (gaya radiasi) yang akan terperangkap oleh satu unit GRK di atmosfer selama periode waktu tertentu apabila dibandingkan dengan jumlah CO₂ yang akan terperangkap dalam jumlah yang sama (Ajadi et al., 2020).



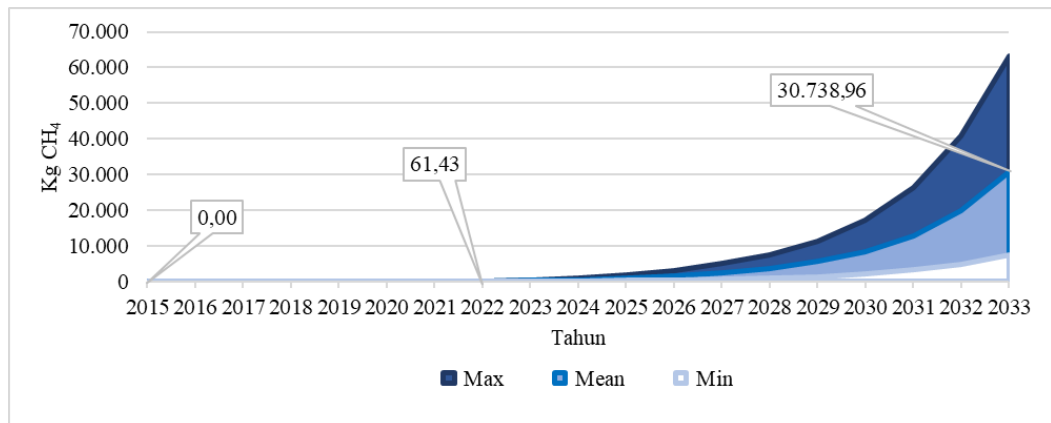
Gambar 4. 32 GWP Kendaraan Listrik

Hasil analisis skenario EVP pada Gambar 4.32 menunjukkan bahwa emisi dari penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa pada tahun 2023 berdasarkan skenario pembangkit listrik eksisting yaitu 2,66 miliar kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan selama 10 tahun berdasarkan proyeksi permodelan yang dibuat dengan jumlah emisi pada tahun 2033 mencapai 3,66 miliar kg CO_{2eq}. sedangkan emisi dari penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa pada tahun 2023 berdasarkan skenario KEN yaitu 2,33 miliar kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan selama 10 tahun berdasarkan proyeksi permodelan yang dibuat dengan jumlah emisi pada tahun mencapai 2,86 miliar kg CO_{2eq}. Apabila ditelaah lebih lanjut bisa dilihat bahwa apabila peralihan kendaraan listrik dengan skenario KEN maka akan menghasilkan emisi CO_{2eq} dari pembangkit listrik 800 juta kg CO_{2eq} lebih rendah dari pada skenario eksisting.

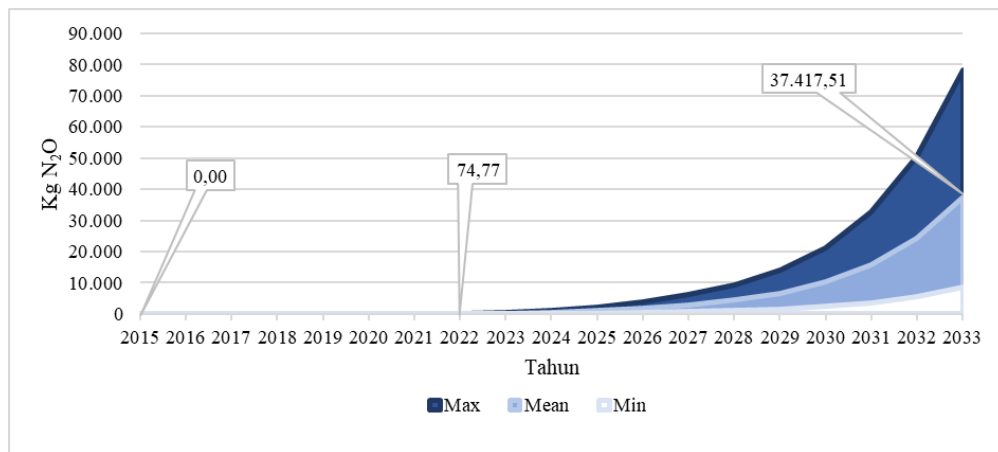
Data Literatur



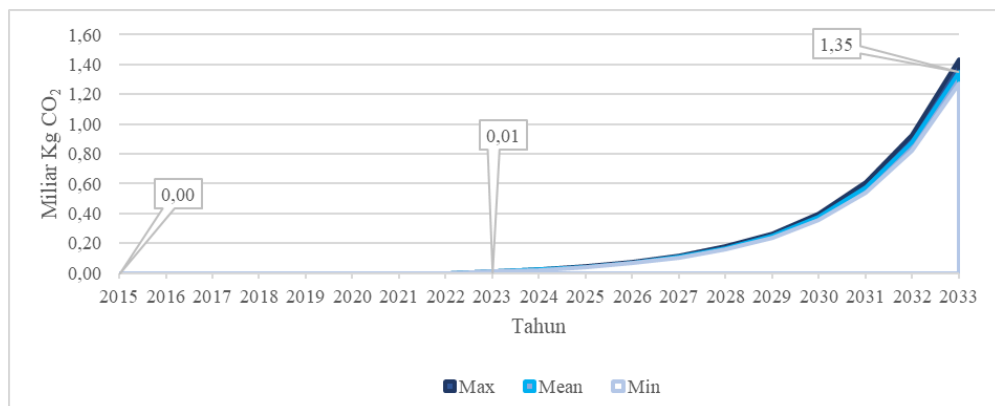
Gambar 4. 33 Emisi CO₂ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



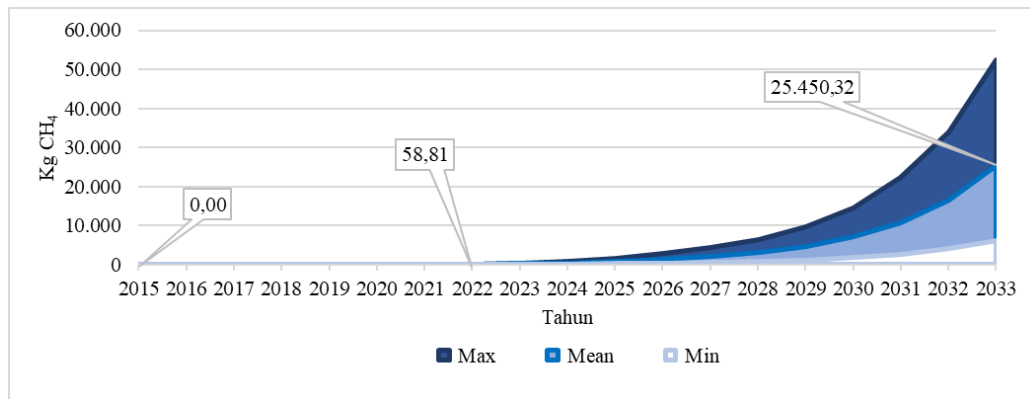
Gambar 4. 34 Emisi CH₄ Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



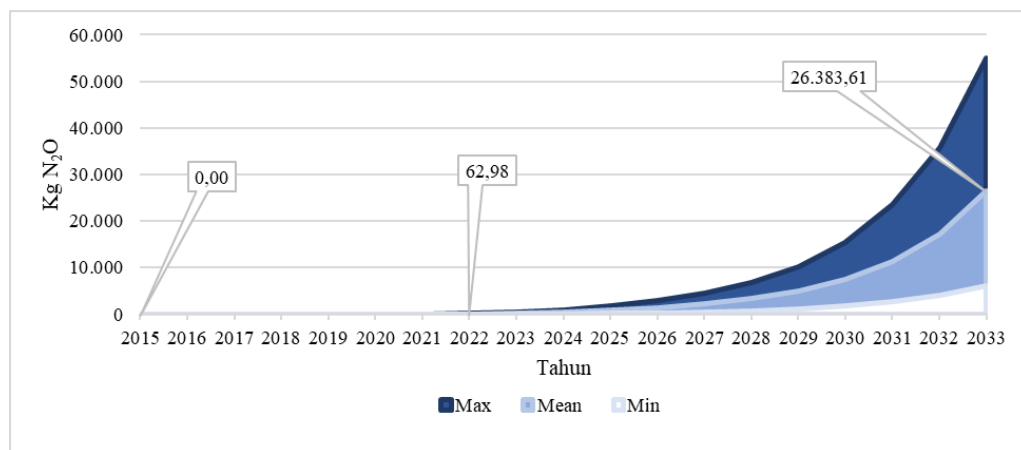
Gambar 4. 35 Emisi N₂O Kendaraan Listrik Skenario Eksisting



Gambar 4. 36 Emisi CO₂ Kendaraan Listrik Skenario KEN



Gambar 4. 37 Emisi CH₄ Kendaraan Listrik Skenario KEN



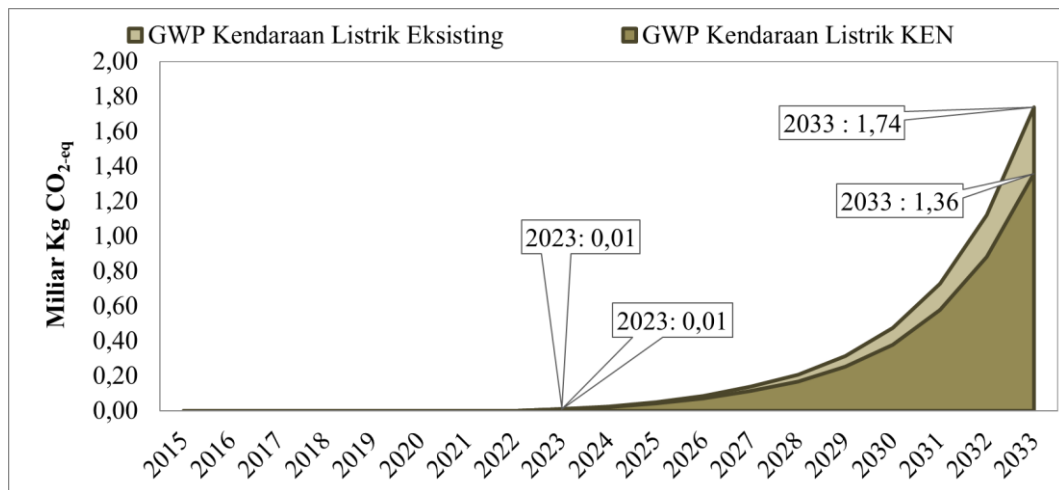
Gambar 4. 38 Emisi N₂O Kendaraan Listrik Skenario KEN

Berdasarkan hasil analisis permodelan, emisi CO₂ kendaraan listrik skenario eksisting pada tahun 2023 adalah sejumlah 11.014.239 kg CO₂ dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 9.669.517 kg CO₂. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik berdasarkan data literatur sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CO₂ kendaraan listrik skenario eksisting mengalami peningkatan hingga 1,73 miliar kg CO₂ dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 1,35 miliar kg CO₂.

Emisi GRK CH₄ kendaraan listrik skenario eksisting pada tahun 2023 adalah sejumlah 61,43 kg CH₄ dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 58,81 kg CH₄. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik berdasarkan data literatur sampai tahun 2033 maka emisi Emisi CH₄ kendaraan listrik skenario

eksisting mengalami peningkatan hingga 30.738 kg CH₄ dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 25.450 kg CH₄.

Untuk emisi GRK yang terakhir yaitu N₂O pada kendaraan listrik skenario eksisting tahun 2023 adalah sejumlah 74,77 kg N₂O dan kendaraan listrik skenario KEN adalah sejumlah 62,98 kg N₂O. Lalu sejalan dengan potensi peralihan kendaraan listrik berdasarkan data literatur sampai tahun 2033 maka emisi N₂O kendaraan listrik skenario eksisting mengalami peningkatan hingga 37.417 kg N₂O dan kendaraan listrik skenario KEN mengalami peningkatan hingga 26.383 kg N₂O. Hasil perhitungan emisi GRK secara detail terlampir pada Lampiran 6.



Gambar 4. 39 GWP Kendaraan Listrik

Hasil simulasi EVP pada Gambar 4.39 menunjukkan bahwa emisi dari penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa pada tahun 2023 berdasarkan skenario pembangkit listrik eksisting yaitu 11.084.659 kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan selama 10 tahun berdasarkan proyeksi permodelan yang dibuat dengan jumlah emisi pada tahun mencapai 1,73 miliar kg CO_{2eq}. Emisi dari penggunaan kendaraan listrik di Pulau Jawa pada tahun 2023 berdasarkan skenario KEN yaitu 9.727.428 kg CO_{2eq}, jumlah tersebut mengalami tren peningkatan selama 10 tahun berdasarkan proyeksi permodelan yang dibuat dengan jumlah emisi pada tahun mencapai 1,35 miliar kg CO_{2eq}. Apabila ditelaah lebih lanjut bisa dilihat bahwa apabila peralihan kendaraan listrik berdasarkan data literatur dengan

skenario KEN maka akan menghasilkan emisi CO_{2eq} dari pembangkit listrik ±400 juta kg CO_{2eq} lebih rendah dari pada skenario eksisting.

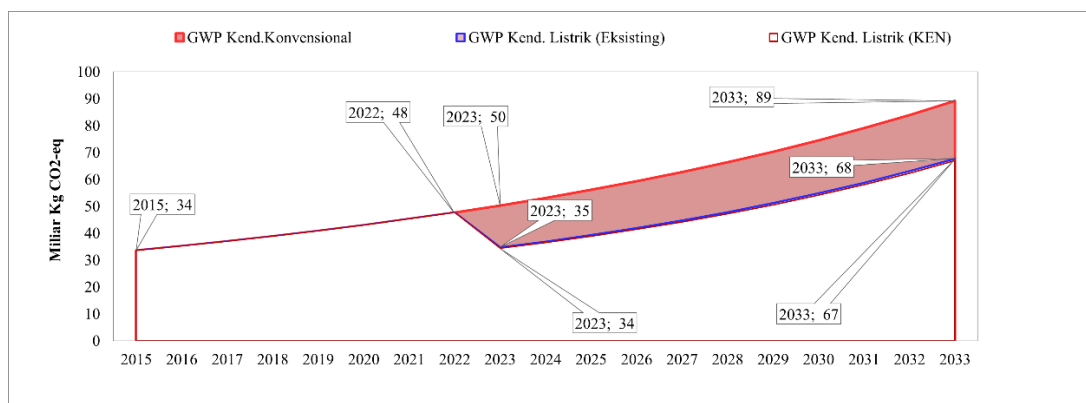
4.3.2 Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik

Emisi kendaraan berdasarkan 2 skenario yaitu BAU dan EVP yang telah di analisis untuk masing masing skenario kemudian dilakukan kalkulasi untuk mengetahui berapa potensi reduksinya. Sehubungan terdapat 2 jenis data kendaraan listrik yaitu primer dan literatur maka reduksi emisi akan dijelaskan untuk 2 kondisi tersebut.

Untuk mengetahui reduksi emisi yang terjadi dari peralihan kendaraan listrik perlu dilakukan penyetaraan, dikarenakan tidak bisa serta merta langsung membandingkan antara kedua hasil emisi karena jumlah kendaraan yang berbeda. Penyetaraan dilakukan dengan mengurangi jumlah kendaraan konvensional sepanjang tahun permodelan dengan jumlah kendaraan listrik sepanjang tahun permodelan.

Data Primer

Berdasarkan data primer potensi peralihan kendaraan listrik yang telah dianalisis melalui pertumbuhan jumlah kendaraan listrik, penggunaan energi, dan emisi GRK yang dihasilkan, maka reduksi emisi dari peralihan kendaraan listrik dijelaskan pada Gambar 4.40.

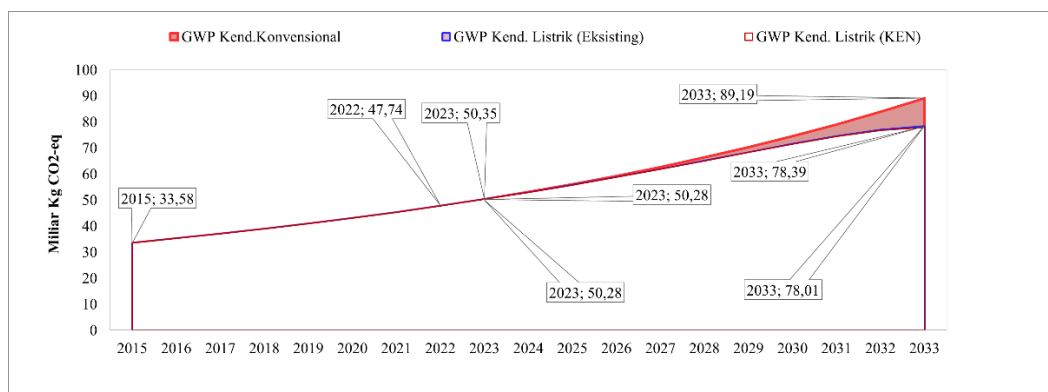


Gambar 4. 40 Reduksi Emisi Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik Berdasarkan Data Primer

Hasil pemodelan dengan kendaraan listrik berdasarkan literatur menunjukkan bahwa emisi dari penggunaan kendaraan konvensional mengalami reduksi akibat dari peralihan menuju kendaraan listrik. Dengan dua jenis pembangkit listrik yang dimodelkan pada skenario EVP mampu menurunkan hingga 24,05% (21,44 miliar kg CO_{2eq}) emisi GRK kendaraan konvensional pada tahun 2033 apabila menggunakan pembangkit listrik eksisting sedangkan apabila menggunakan pembangkit listrik sebagai mana target pemerintah (KEN) mampu menurunkan emisi GRK hingga 24,94% (22,44 miliar kg CO_{2eq}) emisi GRK pada tahun 2033. Secara detail perhitungan reduksi emisi terlampir pada Lampiran 7.

Data Literatur

Berdasarkan data literatur potensi peralihan kendaraan listrik yang telah dianalisis melalui pertumbuhan jumlah kendaraan listrik, penggunaan energi, dan emisi GRK yang dihasilkan, maka reduksi emisi dari peralihan kendaraan listrik dijelaskan pada Gambar 4.41.



Gambar 4. 41 Reduksi Emisi Dari Peralihan Menuju Kendaraan Listrik
Berdasarkan Data Sekunder

Hasil permodelan dengan kendaraan listrik berdasarkan literatur menunjukkan bahwa emisi dari penggunaan kendaraan konvensional mengalami reduksi akibat dari peralihan menuju kendaraan listrik. Dengan dua jenis pembangkit listrik yang dimodelkan pada skenario EVP mampu menurunkan

hingga 12,11% emisi GRK kendaraan konvensional pada tahun 2033 apabila menggunakan pembangkit listrik eksisting sedangkan apabila menggunakan pembangkit listrik sebagai mana target pemerintah (KEN) mampu menurunkan emisi hingga 12,54% emisi GRK pada tahun 2033. Secara detail perhitungan reduksi emisi terlampir pada Lampiran 8.

Berdasarkan analisis reduksi emisi skenario EVP eksisting dan skenario EVP KEN baik yang menggunakan data primer maupun literatur. Hasil analisis menunjukkan adanya potensi reduksi emisi yang dihasilkan apabila terjadi peralihan penggunaan kendaraan konvensional menjadi kendaraan listrik di Pulau Jawa, yang membedakan antara data primer dan literatur hanyalah besarnya persentase reduksi yang terjadi. Dikarenakan data literatur hanya sebagai pembandingan maka pembahasan selanjutnya lebih terfokus pada data primer yang telah dianalisis.

Mengacu pada hasil analisis, sampai dengan tahun 2033 berdasarkan skenario model EVP mampu menurunkan emisi hingga ± 11 miliar kg CO_{2eq} atau sekitar 24% dari skenario BAU. Jika melihat pada dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) Republik Indonesia tahun 2022 emisi GRK sebagaimana skenario eksisting Indonesia di tahun 2030 adalah 2.869 Mega Ton (MT) untuk seluruh sektor dan 1.669 Mega Ton (MT) untuk sektor energi. NDC sendiri adalah dokumen yang memuat komitmen dan aksi iklim sebuah negara yang dikomunikasikan kepada dunia melalui *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Jika dibandingkan dengan hasil analisis reduksi emisi pada tahun 2030 maka adanya peralihan menuju kendaraan listrik dapat menyumbang dekarbonasi GRK di Indonesia sejumlah 0,766% berdasarkan jumlah GRK pada seluruh sektor dan 1,318% berdasarkan jumlah GRK pada sektor energi. Dibandingkan dengan target yang ditetapkan pemerintah pada dokumen ENDC untuk sektor energi yaitu sekitar 12,5%, reduksi emisi yang dikaji pada penelitian ini cukup berdampak positif dalam memenuhi target yang ditetapkan. Akan tetapi penelitian ini memiliki batasan hanya pada sektor transportasi dengan skala Pulau Jawa, apabila dikaji dalam skala negara Indonesia serta dengan adanya improvisasi

kebijakan kendaraan listrik bukan tidak mungkin persentase dekarbonasi dari peralihan kendaraan listrik dapat meningkat persentasenya.

4.4 Implikasi Hasil Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik Terhadap Kebijakan Pemerintah

Reduksi emisi terjadi dengan asumsi adanya peralihan menuju kendaraan akibat subsidi kendaraan listrik pada skenario EVP, pada saat ini kebijakan subsidi kendaraan listrik adalah berupa potongan harga Rp. 7.000.000 untuk kendaraan motor listrik dan penghapusan PPnBM sebesar 11% dari harga kendaraan untuk kendaraan mobil listrik (diasumsikan harga mobil setara Rp. 250.000.000). Berdasarkan jumlah reduksi emisi yang dimodelkan maka biaya subsidi yang perlu dikeluarkan pemerintah untuk keseluruhan kendaraan listrik adalah Rp. 23.000 per kg CO_{2eq}.

Indonesia memiliki kebijakan pajak karbon yang diatur pada Peraturan Pemerintah no. 50 Tahun 2022. Harga pajak karbon di Indonesia dihargai Rp. 30/kg CO_{2eq}, pajak karbon sendiri adalah pajak yang dikenakan untuk penggunaan bahan bakar fosil yang saat ini sudah mulai diterapkan pada pembangkit listrik. Pemberian pajak karbon sendiri akan masuk kedalam APBN negara, akan tetapi tujuan utama pengenaan pajak karbon adalah bukan hanya menambah penerimaan APBN semata, melainkan sebagai instrumen pengendalian iklim dalam mencapai pertumbuhan ekonomi berkelanjutan sesuai prinsip pencemar membayar (*polluter pays principle*). Sehingga, bila melihat hasil analisis permodelan yang dilakukan pada skenario EVP maka bisa dikaji berapa jumlah pajak karbon yang berpotensi diterima negara. Selain dari pajak karbon, peralihan kendaraan konvensional menuju kendaraan listrik tentu saja dapat meringankan beban pemerintah dalam subsidi bahan bakar minyak. Apabila diasumsikan penggunaan BBM adalah pertalite dengan harga subsidi pertalite saat ini sejumlah Rp.10.000 serta melihat harga yang beredar pada BBM sejenis pertalite dengan RON 90 atau setara dengan harga rata rata adalah Rp.14.000, sehingga dapat dilihat perkiraan beban pemerintah untuk setiap liter pertalite yang digunakan adalah Rp. 4.000.

Adanya peralihan kendaraan listrik berpotensi adanya penambahan APBN dan berkurangnya beban subsidi jika kedua hal tersebut dikalkulasikan dan dialihkan untuk subsidi kendaraan listrik, maka berdasarkan permodelan setiap reduksi emisi Pemerintah Indonesia mendapatkan penerimaan negara dari pajak karbon dan pengurangan beban subsidi BBM kurang lebih sebesar Rp. 9.108 per kgCO_{2eq}, sehingga beban subsidi atau biaya subsidi yang perlu dikeluarkan Pemerintah Indonesia berdasarkan hasil analisis adalah sebesar Rp. 13.892. Jika dibandingkan dengan rekomendasi biaya penurunan emisi pada seluruh sektor berdasarkan IPCC 2006 berkisar antara 20\$ - 80\$ untuk setiap ton CO_{2eq} yang direduksi yang artinya masih di bawah standar yang ada. Kebijakan subsidi saat ini dirasa masih bisa ditingkatkan untuk mendorong pertumbuhan kendaraan listrik yang signifikan dengan benefit yang bisa didapat oleh pemerintah adalah berkurangnya beban subsidi BBM yang secara tren harga tidak stabil dan apabila terjadi perubahan harga BBM dapat sangat signifikan merubah pola kebijakan ekonomi pasar yang ada. Selain kebijakan subsidi kendaraan listrik pemerintah juga dirasa perlu membatasi pembelian kendaraan konvensional serta meningkatkan penggunaan energi terbarukan guna mengurangi pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit listrik yang merupakan sumber emisi dari kendaraan listrik.

Adanya peralihan menuju kendaraan listrik juga memberikan dampak pada perdagangan karbon di Indonesia. Perdagangan karbon atau Nilai Ekonomi Karbon (NEK) di Indonesia secara detail diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021. Pada peraturan tersebut dijelaskan bahwa setelah Indonesia menetapkan target NDC dan dapat memenuhi target maka Indonesia berhak menerima penerimaan pembayaran atas kinerja penurunan emisi yang dilakukan berdasarkan usulan kepada negara maju dan/atau lembaga donor internasional. Keterkaitan antara NEK dengan simulasi pada penelitian ini yaitu peralihan dari kendaraan konvensional menuju kendaraan listrik berdampak positif untuk penurunan emisi GRK dalam rangka memenuhi target ENDC pada 2030 sehingga kebijakan tersebut bisa dikembangkan lebih lanjut.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah ditemukan diharapkan bisa menjadi masukan bagi Pemerintah Indonesia terkait dengan kebijakan subsidi peralihan kendaraan listrik dalam rangka penurunan emisi GRK. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menganalisis potensi penurunan GRK bukan hanya berdasarkan subsidi yang diterima tetapi berdasarkan infrastruktur yang ada.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan data kendaraan konvensional yang berpotensi beralih ke kendaraan listrik sampai dengan tahun 2033 yaitu sebesar 42,4 juta unit kendaraan motor konvensional dan 6 juta mobil konvensional.
2. Berdasarkan hasil analisis, penggunaan energi kendaraan konvensional bersumber pada pembakaran bahan bakar (bensin). Hasil analisis menunjukkan berdasarkan jumlah kendaraan sampai dengan tahun 2033 yaitu 20,46 juta kendaraan mobil konvensional dan 164,17 juta kendaraan motor konvensional membutuhkan total penggunaan energi sampai dengan 1.244.087 TJ. Sedangkan penggunaan energi kendaraan listrik bersumber pada pembangkit listrik, berdasarkan potensi jumlah kendaraan listrik sampai dengan tahun 2033 yaitu 42,4 juta kendaraan motor listrik dan 6,01 juta kendaraan mobil listrik membutuhkan penggunaan energi 52.157 TJ pada setiap skenario pembangkit listrik eksisting dan KEN.
3. Reduksi emisi dari peralihan kendaraan listrik berdasarkan data primer pada tahun 2033 mampu mengurangi emisi GRK sebesar 24,05% (21,44 miliar kg CO_{2eq}) jika persentase pembangkit listrik mengikuti keadaan eksisting dan 24,94% (22,44 miliar kg CO_{2eq}) jika pembangkit listrik mengikuti target Pemerintah Indonesia.
4. Berdasarkan penurunan emisi yang dianalisis dapat diketahui biaya subsidi yang perlu dikeluarkan Pemerintah Indonesia adalah sebesar Rp. 13.892 per kgCO_{2eq} emisi yang direduksi. Hal tersebut masih dibawah standar jika dibandingkan dengan rekomendasi biaya penurunan emisi pada seluruh sektor berdasarkan IPCC 2006 yang berkisar antara 20\$ - 80\$ untuk setiap ton CO_{2eq} sehingga masih memungkinkan untuk ditingkatkan.

5.2 Saran

1. Hasil penelitian yang dilakukan penulis adalah berdasarkan permodelan matematis dari beberapa variabel yang mempengaruhi terjadinya emisi seperti jumlah kendaraan dan energi yang dibutuhkan, saran untuk penelitian selanjutnya adalah menganalisis potensi penurunan GRK bukan hanya berdasarkan subsidi yang diterima tetapi berdasarkan infrastruktur yang ada.
2. Saran untuk Pemerintah Indonesia adalah dengan melakukan peningkatan kebijakan subsidi kendaraan listrik yang berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini berpotensi meningkatkan reduksi emisi GRK.

DAFTAR PUSTAKA

- Andhika, L. R. (2019). Model Sistem Dinamis: Simulasi Formulasi Kebijakan Publik. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik*, 10(1), 73–86. <https://doi.org/10.22212/jekp.v10i1.1242>
- Artika, I., & Chaerul, M. (2020). Model Sistem Dinamik untuk Evaluasi Skenario Pengelolaan Sampah di Kota Depok. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 261–279. <https://doi.org/10.14710/jwl.8.3.261-279>.
- Asian Development Bank. (2022). *Electric Motorcycle Charging Infrastructure Road Map for Indonesia* (Issue October). www.adb.org
- Assessment, U. E. N. C. for E. (2009). *Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing*. http://hero.epa.gov/index.cfm?action=reference.details&reference_id=92936
- Azmi, M., Tokai, A. (2016). System dynamic modeling of CO₂ emissions and pollutants from passenger cars in Malaysia, 2040. *Environ Syst Decis* 36, 335–350 <https://doi.org/10.1007/s10669-016-9612-7>
- BPS. (2020). Statistik Indonesia 2020. Jakarta: BPS
- De Never, Noel. 2000. Air Pollution Control Enginnering. McGraw-Hill, Inc. Singapura.
- DEN. (2021). *Energi Outlook Indonesia 2022*. 23(January), 2022.
- Deloitte Southeast Asia. (2015). Deloitte Consumer Insight Capturing Indonesia's Latent Market. Deloitte Southeast Asia
- Chen, C. fei, Zarazua de Rubens, G., Noel, L., Kester, J., & Sovacool, B. K. (2020). Assessing the socio-demographic, technical, economic and behavioral factors of Nordic electric vehicle adoption and the influence of vehicle-to-grid preferences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109692>
- Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) Sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah
- IPCC, 2014a, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- IPCC. (2006). IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management National Greenhouse Gas Inventories, Vol.5, Intergovernmental Panel on Climate Change
- IPCC. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. In Future Global Climate: Scenario-42 Based Projections and Near-Term Information; Cambridge University Press: Cambridge, UK. Cambridge University Press

- Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. **Pedoman teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan**. Jakarta
- Kementrian Lingkungan Hidup. 2012. Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 3: Metodologi Penghitungan Tingkat Penyebaran Emisi dan Penyerapan Gas Rumah Kaca, Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya. Jakarta
- Khoiriati, R. (2016). Hubungan Antara Faktor Sosiodemografi Dan Sikap Dalam Menghadapi Kejadian Dismenorea Pada Remaja Putri Di Sma Negeri 1 Suboh Situbondo. *Program Studi Pendidikan Bidan Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga Surabaya*, Hal.
- Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, R. T., Haines, A., & Ramanathan, V. (2019). *Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate*. 0. <https://doi.org/10.1073/pnas.1819989116>
- Maricar, A. M. (2019). Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem dan Informatika (JSI)*, 13(2), 36–45. <https://www.jsi.stikom-bali.ac.id/index.php/jsi/article/view/193>
- Newby, E, John. 2007. Perubahan Iklim Sedang Terjadi Saat ini. Jakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Peraturan Pemerintah Nomor 50 tahun 2022 Tentang Tata Cara Pelaksanaan Hak dan Pemenuhan Kewajiban Perpajakan.
- PERPRES No. 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan
- Peraturan Presiden RI Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional
- Perera, L., Jubb, C., & Gopalan, S. (2019). A Comparison of Voluntary and Mandated Climate Change-. *Journal of Contemporary Accounting & Economics*.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., 2009. Nitrous Oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 326, 123–125. <https://doi.org/10.1126/science.1176985>.
- Richardson, G.P. & Pugh, A.L. (1981). Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO. Massachusetts: The Massachusetts Institute of Technology.
- Simbolon, A. M., Rusli, B., & -, C.-. (2022). Kebijakan Kendaraan Listrik dalam Perspektif Pasar dan Infrastruktur: Studi Reviu Komparasi Bilateral Korea Selatan dan Indonesia. *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 24(2), 83–91. <https://doi.org/10.25104/jptd.v24i2.1943>
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B.,... & Miller, H. L. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge University Press.

- Sonnemann, G., Castells, F., and Schuhmacher, M. Integrated Life-Cycle And Risk Assessment For Industrial Processes. Florida, the United States of America: CRC Press LLC, 2004.
- Sugiyono. (2017). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung : Alfabeta, CV
- Sulistiyono, S. (2012) “PEMANASAN GLOBAL (GLOBAL WARMING) DAN HUBUNGANNYA DENGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR FOSIL”, Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas, 2(2)
- Sungkawa, I., & Megasari, R. T. (2011). NILAI RAMALAN DATA DERET WAKTU DALAM SELEKSI MODEL PERAMALAN VOLUME PENJUALAN PT SATRIAMANDIRI CITRAMULIA Iwa Sungkawa ; Ries Tri Megasari. *ComTech*, 2(2), 636–645.
- Susanto, I., Hara, K., Uwasu, M., Nakakubo, T., & Tokai, A. (2012). *Application of System Dynamics Model for Energy Policy Analysis at Local Governmental Level : a Review and Case Study*. 339–348.
- Țarcă, V., Țarcă, E., & Luca, F. A. (2022). The Impact of the Main Negative Socio-Economic Faktors on Female Fertility. *Healthcare* (Basel, Switzerland), 10(4), 734. <https://doi.org/10.3390/healthcare10040734>
- Ulfa, A. L., Huboyo, H. S., & Samadikun, B. P. (2017). Tersedia online di : <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan> ESTIMASI EMISI GAS Rumah Kaca Dari Operasional Bus Rapid Transit (Brt) Berdasarkan Model International Vehicle Emission Serta Potensi Reduksi Emisi Dari Operasional Brt Di Tersedia online di : <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan> Jurnal Teknik Lingkungan , Vol . 6 , No . 3 (2017). 6(3), 1–9.
- U.S. Departement Of Transportation. (2023). Electric Vehicle Types. <https://www.transportation.gov/rural/ev/toolkit/ev-basics/vehicle-types>
- U.S. Environmental Protection Agency. 2023. Sources of Greenhouse Gas Emissions
- US EPA. (2022b). Undertanding Global Warming Potential. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Undang Undang RI No 7 Tahun 2021 Harmonisasi Peraturan Perpajakan
- WMO, 2021, State of the Global Climate 2020. World Meteorological Organization (WMO). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618 .
- Xiao, F., Mei, L., & Jiang, Q. (2022). Urban-rural differences in China’s crude death rate changes. *BMC Public Health*, 22(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12717-9>
- Yanuar, S., Ro'uf, A., & Supardi, T.W. (2018). Karakterisasi Jenis Bahan Bakar Minyak Dengan Gelombang Ultrasonik 40 KHz Berdasarkan Parameter Massa Jenis.

Lampiran 1 Kuesioner Penelitian

Surya Adi Wicaksono - 21080122410002

Bapak/Ibu yang saya hormati,

Saya mahasiswa Program Studi Magister Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Dalam hal ini saya sedang melaksanakan penelitian Tesis dengan judul “Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca Dan Reduksi Emisinya Dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik Studi Kasus Pulau Jawa”. Kuesioner ini berhubungan dengan keputusan peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik.

Saya sangat menghargai partisipasi anda dalam menjawab kuesioner ini. Atas kesediaannya dalam meluangkan waktu untuk mengisi kuesioner ini, saya ucapkan terima kasih.

Bagian 1 Data Demografi

1. Jenis Kelamin :
 - a. Laki Laki
 - b. Perempuan
2. Asal (Provinsi):
 - a. Banten
 - b. DKI Jakarta
 - c. Jawa Barat
 - d. Jawa Tengah
 - e. Jawa Timur
 - f. Daerah Istimewa Yogyakarta
3. Pekerjaan :
 - a. Mahasiswa
 - b. Pegawai
 - c. Wiraswasta
 - d. Lainnya (sebutkan).....

4. Umur :
- a. 15-30 tahun
 - b. 31-45 tahun
 - c. 46-64 tahun
 - d. >65 tahun
5. Pendidikan Terakhir:
- a. Sekolah Dasar / Sederajat
 - b. Sekolah Menengah Pertama/ Sederajat
 - c. Sekolah Menengah Atas/ Sederajat
 - d. Perguruan Tinggi
6. Untuk kegiatan sehari-hari kendaraan bermotor apa yang anda miliki?
- a. Motor
 - b. Mobil
 - c. Motor dan mobil
7. Seberapa jauh jarak rata rata penggunaan harian berdasarkan kendaraan yang anda miliki? (motor)
- a. 0-10 km
 - b. 10-20 km
 - c. 20-30 km
 - d. 30-40 km
 - e. >40 km
8. Seberapa jauh jarak rata rata penggunaan harian berdasarkan kendaraan yang anda miliki? (mobil)
- *jika memiliki motor dan mobil harap diisi juga pertanyaan sebelumnya**
- a. 0-10 km
 - b. 10-20 km
 - c. 20-30 km
 - d. 30-40 km
 - e. >40 km

Bagian 2 Pengetahuan atau Kesadaran Lingkungan

1. Seberapa setuju anda bahwa kendaraan yang anda miliki dan gunakan setiap harinya menyumbang Emisi Gas Rumah Kaca?
 - a. Sangat tidak setuju
 - b. Tidak setuju
 - c. Netral
 - d. Setuju
 - e. Sangat setuju
2. Seberapa setuju anda dengan Gas Rumah Kaca yang berpotensi menjadi penyebab pemanasan global?
 - a. Sangat tidak setuju
 - b. Tidak setuju
 - c. Netral
 - d. Setuju
 - e. Sangat setuju
3. Apakah anda mengetahui sumber emisi dari kendaraan konvensional berasal dari pembakaran bahan bakar pada mesin dan kendaraan listrik berasal dari pembakaran bahan bakar pada pembangkit listrik?
 - a. Sangat tidak mengetahui
 - b. Tidak mengetahui
 - c. Netral
 - d. Mengetahui
 - e. Sangat mengetahui
4. Apakah anda setuju dengan peralihan dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik bisa mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan?
 - a. Sangat tidak setuju
 - b. Tidak setuju
 - c. Netral
 - d. Setuju
 - e. Sangat setuju

Bagian 3 Pengaruh Atribut Finansial

1. Berapa penghasilan anda?
 - a. <Rp. 2 juta per bulan
 - b. Rp. 2 - 4 juta per bulan
 - c. Rp. 4 - 7 juta per bulan
 - d. Rp. 7 – 10 juta per bulan
 - e. >Rp. 10 juta per bulan
2. Berapa penghasilan keluarga anda jika sudah berkeluarga? **(jika belum, harap diisi dengan Jawaban yang sama dengan pertanyaan sebelumnya).**
 - a. <Rp. 2 juta per bulan
 - b. Rp. 2 - 4 juta per bulan
 - c. Rp. 4 - 7 juta per bulan
 - d. Rp. 7 – 10 juta per bulan
 - e. >Rp. 10 juta per bulan
3. Berdasarkan kendaraan yang anda miliki saat ini serta dengan pendapatan anda yang sudah diisi pada poin 1 dan/atau 2, apakah harga kendaraan listrik berupa motor yang saat ini ada pada kisaran 10.000.000 – 35.000.000 bisa menjadi pertimbangan anda dalam beralih ke kendaraan listrik?
 - a. Sangat tidak bisa
 - b. Tidak bisa
 - c. Netral
 - d. Bisa
 - e. Sangat bisa

4. Berdasarkan kendaraan yang anda miliki saat ini serta dengan pendapatan anda yang sudah diisi pada poin 1 dan/atau 2, apakah harga kendaraan listrik berupa mobil yang saat ini ada pada kisaran 200.000.000 – 750.000.000 bisa menjadi pertimbangan anda dalam beralih ke kendaraan listrik?
 - a. Sangat tidak bisa
 - b. Tidak bisa
 - c. Netral
 - d. Bisa
 - e. Sangat bisa
5. Seberapa besar pengaruh pendapatan anda dan/atau keluarga anda terhadap keputusan peralihan ke kendaraan listrik?
 - a. Sangat tidak berpengaruh
 - b. Tidak berpengaruh
 - c. Netral
 - d. Berpengaruh
 - e. Sangat berpengaruh

Bagian 4 Pengaruh Subsidi atau Kebijakan Pemerintah

1. Saat ini pemerintah telah menetapkan subsidi untuk konversi dari kendaraan bermotor BBM roda 2 ke kendaraan listrik roda 2 (S & K berlaku), dengan jumlah subsidi Rp. 7.000.000. seberapa besar pengaruh subsidi yang diberikan Pemerintah?
 - a. Sangat tidak berpengaruh
 - b. Tidak berpengaruh
 - c. Netral
 - d. Berpengaruh
 - e. Sangat berpengaruh

2. Saat ini pemerintah telah menetapkan subsidi untuk kendaraan bermotor BBM roda 4 ke kendaraan listrik roda 4 (S & K berlaku), dengan subsidi berupa penghapusan PPnBM sekitar 11% dari harga (berdasarkan sumber-sumber di internet). Seberapa besar pengaruh subsidi yang diberikan Pemerintah?
 - a. Sangat tidak berpengaruh
 - b. Tidak berpengaruh
 - c. Netral
 - d. Berpengaruh
 - e. Sangat berpengaruh
3. Apakah jumlah subsidi yang diberikan pemerintah saat ini sudah cukup untuk anda beralih dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik?
 - a. Sangat tidak cukup
 - b. Tidak cukup
 - c. Netral
 - d. Cukup
 - e. Sangat cukup
4. Berdasarkan beberapa pertanyaan sebelumnya, apakah anda berminat atau ingin beralih dari kendaraan konvensional ke kendaraan listrik?
 - a. Ya
 - b. Tidak

Lampiran 2 Emisi GRK Mobil dan Motor Pulau Jawa

Tahun	Motor			Mobil		
	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
2015	12.403.407.994	9.121.160	898.787	19.922.603.483	14.805.422	1.445.833
2016	13.052.628.217	9.600.722	946.189	20.867.921.799	15.509.393	1.514.490
2017	13.754.650.161	10.118.954	997.446	21.864.335.018	16.251.544	1.586.846
2018	14.514.112.120	10.679.248	1.052.896	22.914.848.733	17.034.131	1.663.117
2019	15.336.119.326	11.285.340	1.112.915	24.022.657.699	17.859.551	1.743.533
2020	16.226.294.138	11.941.340	1.177.914	25.191.158.426	18.730.354	1.828.338
2021	17.190.832.049	12.651.777	1.248.348	26.423.962.646	19.649.255	1.917.793
2022	18.236.564.191	13.421.642	1.324.719	27.724.911.730	20.619.139	2.012.173
2023	19.371.027.151	14.256.441	1.407.578	29.098.092.117	21.643.077	2.111.772
2024	20.602.540.994	15.162.248	1.497.538	30.547.851.820	22.724.340	2.216.903
2025	21.940.296.488	16.145.774	1.595.272	32.078.818.111	23.866.407	2.327.897
2026	23.394.452.688	17.214.434	1.701.527	33.695.916.450	25.072.984	2.445.108
2027	24.976.246.160	18.376.426	1.817.127	35.404.390.763	26.348.019	2.568.913
2028	26.698.113.295	19.640.822	1.942.985	37.209.825.156	27.695.716	2.699.711
2029	28.573.827.365	21.017.667	2.080.112	39.118.167.192	29.120.556	2.837.928
2030	30.618.652.173	22.518.090	2.229.630	41.135.752.822	30.627.312	2.984.019
2031	32.849.514.400	24.154.430	2.392.781	43.269.333.115	32.221.076	3.138.467
2032	35.285.197.023	25.940.376	2.570.944	45.526.102.905	33.907.271	3.301.786
2033	37.946.556.508	27.891.124	2.765.651	47.913.731.513	35.691.686	3.474.524

Lampiran 3 Rekapitulasi GWP Mobil dan Motor Pulau Jawa

Tahun	Mobil (kg CO _{2eq})	Motor (kg CO _{2eq})	Total CO _{2eq}
2015	20.684.259.152	12.895.048.050	33.579.307.203
2016	21.665.622.801	13.570.157.399	35.235.780.200
2017	22.700.015.157	14.300.164.626	37.000.179.783
2018	23.790.554.276	15.089.892.494	38.880.446.770
2019	24.940.554.354	15.944.649.257	40.885.203.611
2020	26.153.538.776	16.870.280.847	43.023.819.623
2021	27.433.254.076	17.873.229.096	45.306.483.172
2022	28.783.684.874	18.960.596.732	47.744.281.606
2023	30.209.069.859	20.140.219.965	50.349.289.824
2024	31.713.918.898	21.420.749.604	53.134.668.502
2025	33.303.031.358	22.811.741.745	56.114.773.103
2026	34.981.515.714	24.323.759.230	59.305.274.944
2027	36.754.810.559	25.968.485.199	62.723.295.758
2028	38.628.707.103	27.758.850.256	66.387.557.359
2029	40.609.373.278	29.709.174.959	70.318.548.238
2030	42.703.379.573	31.835.329.559	74.538.709.132
2031	44.917.726.712	34.154.913.175	79.072.639.887
2032	47.259.875.338	36.687.454.876	83.947.330.214
2033	49.737.777.822	39.454.639.469	89.192.417.291

Lampiran 4 Representasi Jumlah Kendaraan Listrik

Tahun	Rasio Kendaraan motor berdasarkan jumlah penduduk	Motor Konvensional yang Beralih (Unit)	Rasio Kendaraan mobil berdasarka n jumlah penduduk	Mobil Konvensional yang beralih (Unit)
2023	0,5036	30.488.496	0,0789	4.410.620
2024	0,5195	31.682.650	0,0812	4.570.685
2025	0,5352	32.876.803	0,0834	4.730.749
2026	0,5508	34.070.957	0,0857	4.890.814
2027	0,5663	35.265.110	0,0879	5.050.878
2028	0,5817	36.459.264	0,0901	5.210.943
2029	0,6008	37.653.417	0,0928	5.371.008
2030	0,6124	38.847.571	0,0945	5.531.072
2031	0,6277	40.041.724	0,0967	5.691.137
2032	0,6430	41.235.878	0,0988	5.851.202
2033	0,6583	42.430.031	0,1010	6.011.266

Lampiran 5 Emisi GRK Kendaraan Listrik Data Primer

TAHUN	Skenario Eksisting			Skenario KEN		
	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
2023	2.643.752.658	47.043	57.263	2.320.978.553	43.601	46.605
2024	2.743.392.937	48.816	59.422	2.337.878.608	43.813	46.739
2025	2.843.033.217	50.589	61.580	2.352.487.608	43.978	46.820
2026	2.942.673.497	52.362	63.738	2.418.118.805	45.247	48.018
2027	3.042.313.776	54.135	65.896	2.482.651.399	46.497	49.186
2028	3.141.954.056	55.908	68.054	2.546.089.199	47.730	50.326
2029	3.241.594.336	57.681	70.213	2.608.435.998	48.945	51.437
2030	3.341.234.616	59.454	72.371	2.669.695.571	50.142	52.519
2031	3.440.874.895	61.227	74.529	2.729.871.676	51.322	53.573
2032	3.540.515.175	63.000	76.687	2.788.968.055	52.484	54.598
2033	3.640.155.455	64.773	78.845	2.846.988.429	53.628	55.595

Lampiran 6 Emisi GRK Kendaraan Listrik Data Sekunder

TAHUN	Skenario Eksisting			Skenario KEN		
	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O	kg CO ₂	kg CH ₄	kg N ₂ O
2022	3.452.224	61	75	3.123.210	59	63
2023	11.014.239	196	239	9.669.517	182	194
2024	25.316.310	450	548	21.574.182	404	431
2025	49.481.879	880	1.072	40.944.125	765	815
2026	84.990.469	1.512	1.841	69.840.250	1.307	1.387
2027	136.280.656	2.425	2.952	111.210.541	2.083	2.203
2028	205.489.530	3.656	4.451	166.518.881	3.122	3.291
2029	310.206.994	5.520	6.719	249.616.394	4.684	4.922
2030	471.639.569	8.392	10.216	376.846.948	7.078	7.413
2031	721.990.950	12.847	15.638	572.802.763	10.769	11.241
2032	1.112.896.364	19.803	24.105	876.661.236	16.497	17.162
2033	1.727.499.578	30.739	37.418	1.351.088.263	25.450	26.384

Lampiran 7 Perhitungan Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik dengan data primer

Tahun	Emisi kg CO ₂ eq BAU	Jumlah Emisi kg CO ₂ eq EVP Pembangkit Eksisting		
	Total CO ₂ eq	Total CO ₂ eq	Selisih	Persentase
2015	33.579.307.203	33.579.307.203	-	0%
2016	35.235.780.200	35.235.780.200	-	0%
2017	37.000.179.783	37.000.179.783	-	0%
2018	38.880.446.770	38.880.446.770	-	0%
2019	40.885.203.611	40.885.203.611	-	0%
2020	43.023.819.623	43.023.819.623	-	0%
2021	45.306.483.172	45.306.483.172	-	0%
2022	47.744.281.606	47.744.281.606	-	0,00%
2023	50.349.289.824	34.744.413.212	15.604.876.612	30,99%
2024	53.134.668.502	36.945.495.517	16.189.172.985	30,47%
2025	56.114.773.103	39.341.303.745	16.773.469.358	29,89%
2026	59.305.274.944	41.947.509.214	17.357.765.730	29,27%
2027	62.723.295.758	44.781.233.655	17.942.062.103	28,61%
2028	66.387.557.359	47.861.198.883	18.526.358.476	27,91%
2029	70.318.548.238	51.207.893.389	19.110.654.849	27,18%
2030	74.538.709.132	54.843.757.910	19.694.951.222	26,42%
2031	79.072.639.887	58.793.392.292	20.279.247.595	25,65%
2032	83.947.330.214	63.083.786.246	20.863.543.968	24,85%
2033	89.192.417.291	67.744.576.950	21.447.840.341	24,05%

Tabel Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik Pembangkit KEN

Tahun	Emisi kg CO ₂ eq BAU	Jumlah Emisi kg CO ₂ eq EVP Pembangkit KEN		
	Total CO ₂ eq	Total CO ₂ eq	Selisih	Persentase
2015	33.579.307.203	33.579.307.203	-	0%
2016	35.235.780.200	35.235.780.200	-	0%
2017	37.000.179.783	37.000.179.783	-	0%
2018	38.880.446.770	38.880.446.770	-	0%
2019	40.885.203.611	40.885.203.611	-	0%
2020	43.023.819.623	43.023.819.623	-	0%
2021	45.306.483.172	45.306.483.172	-	0%
2022	47.744.281.606	47.744.281.606	-	0,00%
2023	50.349.289.824	34.418.636.333	15.930.653.491	31,64%
2024	53.134.668.502	36.536.383.712	16.598.284.790	31,24%
2025	56.114.773.103	38.846.550.328	17.268.222.775	30,77%

Emisi kg CO2 eq BAU		Jumlah Emisi kg CO2 eq EVP Pembangkit KEN		
Tahun	Total CO2eq	Total CO2eq	Selisih	Persentase
2026	59.305.274.944	41.418.470.819	17.886.804.126	30,16%
2027	62.723.295.758	44.216.803.289	18.506.492.470	29,50%
2028	66.387.557.359	47.260.273.391	19.127.283.968	28,81%
2029	70.318.548.238	50.569.373.439	19.749.174.799	28,09%
2030	74.538.709.132	54.166.547.975	20.372.161.158	27,33%
2031	79.072.639.887	58.076.400.629	20.996.239.258	26,55%
2032	83.947.330.214	62.325.924.882	21.621.405.332	25,76%
2033	89.192.417.291	66.944.761.665	22.247.655.626	24,94%

Lampiran 8 Perhitungan Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik dengan data sekunder

Tabel Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik Pembangkit Eksisting

Emisi Kg CO ₂ eq BAU		Jumlah Emisi Kg CO ₂ eq EVP Pembangkit Eksisting		
Tahun	Total CO ₂ eq	Total CO ₂ eq	Selisih	Persentase
2015	33.579.307.203	33.579.307.203	-	0%
2016	35.235.780.200	35.235.780.200	-	0%
2017	37.000.179.783	37.000.179.783	-	0%
2018	38.880.446.770	38.880.446.770	-	0%
2019	40.885.203.611	40.885.203.611	-	0%
2020	43.023.819.623	43.023.819.623	-	0%
2021	45.306.483.172	45.306.483.172	-	0%
2022	47.744.281.606	47.722.692.736	21.588.870	0,05%
2023	50.349.289.824	50.280.411.047	68.878.777	0,14%
2024	53.134.668.502	52.976.350.119	158.318.383	0,30%
2025	56.114.773.103	55.805.332.627	309.440.476	0,55%
2026	59.305.274.944	58.773.777.516	531.497.429	0,90%
2027	62.723.295.758	61.871.049.398	852.246.360	1,36%
2028	66.387.557.359	65.102.505.550	1.285.051.810	1,94%
2029	70.318.548.238	68.378.634.026	1.939.914.212	2,76%
2030	74.538.709.132	71.589.258.218	2.949.450.914	3,96%
2031	79.072.639.887	74.557.588.542	4.515.051.345	5,71%
2032	83.947.330.214	76.987.708.042	6.959.622.171	8,29%
2033	89.192.417.291	78.389.305.027	10.803.112.263	12,11%

Tabel Reduksi Emisi Peralihan Kendaraan Listrik Pembangkit KEN

Emisi kg CO ₂ eq BAU		Jumlah Emisi kg CO ₂ eq EVP Pembangkit KEN		
Tahun	Total CO ₂ eq	Total CO ₂ eq	Selisih	Persentase
2015	33.579.307.203	33.579.307.203	-	0%
2016	35.235.780.200	35.235.780.200	-	0%
2017	37.000.179.783	37.000.179.783	-	0%
2018	38.880.446.770	38.880.446.770	-	0%
2019	40.885.203.611	40.885.203.611	-	0%
2020	43.023.819.623	43.023.819.623	-	0%
2021	45.306.483.172	45.306.483.172	-	0%
2022	47.744.281.606	47.722.360.432	21.921.174	0,05%
2023	50.349.289.824	50.279.053.816	70.236.008	0,14%
2024	53.134.668.502	52.972.574.793	162.093.708	0,31%
2025	56.114.773.103	55.796.721.638	318.051.465	0,57%

Emisi kg CO ₂ eq BAU		Jumlah Emisi kg CO ₂ eq EVP Pembangkit KEN		
Tahun	Total CO _{2eq}	Total CO _{2eq}	Selisih	Presnetase
2026	59.305.274.944	58.758.497.798	546.777.147	0,92%
2027	62.723.295.758	61.845.765.701	877.530.058	1,40%
2028	66.387.557.359	65.063.203.926	1.324.353.434	1,99%
2029	70.318.548.238	68.317.530.342	2.001.017.895	2,85%
2030	74.538.709.132	71.493.665.110	3.045.044.022	4,09%
2031	79.072.639.887	74.407.143.813	4.665.496.074	5,90%
2032	83.947.330.214	76.749.488.146	7.197.842.067	8,57%
2033	89.192.417.291	78.009.738.664	11.182.678.627	12,54%

Lampiran 9 Dokumentasi Pengisian Kuisioner



Lampiran 10 Administrasi Penyusunan Tesis



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Prof. Sudarto, 3, H
Tembalang Semarang Kode Pos 50275
Telp. (024) 7460305, (024) 7460353, Faks. (024) 7460363
www.undip.ac.id | email: teknika@undip.ac.id

**SURAT TUGAS
PEMBIMBING TESIS**
Nomor : 002/UN7.F3.5.8.MTL/DL/II/2023

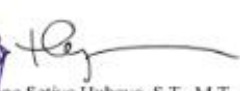
Ketua Program Studi Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang,
dengan ini menugaskan kepada :

NO	NAMA	NIP	TUGAS
1	Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng	197402141999031002	Pembimbing I
2	Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPM., ASEAN Eng	197805142005011001	Pembimbing II

Untuk melaksanakan tugas sebagai Dosen Pembimbing Tesis Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro pada Semester Genap Tahun Akademik 2022/2023, berlaku sejak tanggal 13 Februari 2023 bagi mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : Surya Adi Wicaksono
NIM : 21080122410002
Program Studi : Magister Teknik Lingkungan
Judul Tesis : Analisis Beban Emisi Lingkungan dan Potensi Efisiensi Penggunaan Energi yang Dihasilkan dari Penggunaan Mobil Listrik Serta Dampaknya Secara Ekonomi di Indonesia

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan dengan baik.

Semarang, 13 FEB 2023
Program Studi Magister Teknik Lingkungan
Ketua

 Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng
 NIP. 197402141999031002





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Prof. Sudarto, S.H.
Tembalang Semarang Kode Pos 50275
Tel. (024) 75400675, Faks: (024) 7480053
www.f.undp.ac.id | email:
lingkungan@undp.ac.id

**SURAT TUGAS
SEMINAR HASIL PENELITIAN
TESIS**

No. 005B/UN7.F3.6.8.S2.TL/AK/XII/2023

Ketua Program Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang dengan ini memberikan tugas kepada :

NO	NAMA	NIP	TUGAS
1.	Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng	197402141999031002	Pembimbing I
2.	Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPM., ASEAN Eng	197805142005011001	Pembimbing II
3.	Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., IPP	198704202014012001	Penguji

Untuk melaksanakan Seminar Hasil Penelitian Tesis mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : Surya Adi Wicaksono
NIM : 21080122410002
Judul Tesis : Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca dan Reduksi Emisinya dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik Studi Kasus Pulau Jawa
Dokumen : https://bit.ly/Dokumen_SEMHAS_Surya

Seminar Hasil Penelitian Tesis akan dilaksanakan pada :

Hari/Tanggal : Jum'at/ 22 Desember 2023
Waktu : 09:00 s.d 10:00 WIB
Tempat : dilaksanakan secara luring di ruang C. 101

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan dengan baik.



Program Magister Teknik Lingkungan
Ketua,

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng
NIP. 197402141999031002

*) Difotokopi untuk masing-masing pembimbing dan penguji



LETTER OF ACCEPTANCE

Kepada Yth,
Sdr Surya Adi Wicaksono
Di Tempat

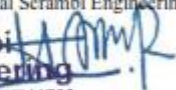
Bersama ini kami sampaikan bahwa artikel yang saudara/i kirimkan:

Judul : **Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Kendaraan Listrik di Pulau Jawa sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca**
Penulis : Surya Adi Wicaksono, Haryono Setiyo Huboyo, Budi Prasetyo Samadikun
Afiliasi : Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Dinyatakan telah **DISETUJUI** oleh tim editor Jurnal Serambi Engineering, Fakultas Teknik Universitas Serambi Mekkah. Artikel ini akan dimuat pada Jurnal Serambi Engineering Vol. IX, No. 1, Januari 2024.

Demikian surat persetujuan (*Letter of Acceptance*) ini kami sampaikan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Banda Aceh, 16 Januari 2024
Jurnal Serambi Engineering

**Journal
Serambi
Engineering**

FT-USM
Dr. Muhammad Nizar, ST, MT
Editor in Chief



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Prof. Sudarto, S.H.
Tembalang Semarang Kode Pos 50275
Tel. (024) 75480678, Faks. (024) 7480053
www.diponegoro.ac.id | email:
teknik@undip.ac.id

**SURAT TUGAS
SIDANG TESIS**

No. 008C/UN7.F3.6.8.S2.TL/AK/II/2024

Ketua Program Magister Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang dengan ini memberikan tugas kepada :

NO	NAMA	NIP	TUGAS
1.	Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng	197402141999031002	Pembimbing I
2.	Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPM., ASEAN Eng	197805142005011001	Pembimbing II
3.	Ir. Pertiwi Andarani, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D., IPP	198704202014012001	(Ketua) Penguji I
4.	Dr.Eng. Bimastyaji Surya Ramadan, S.T., M.T.	199203242019031016	Penguji II

Untuk melaksanakan Sidang Tesis mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : Surya Adi Wicaksono
NIM : 21080122410002
Judul Tesis : Analisis Beban Emisi Gas Rumah Kaca dan Reduksi Emisinya Dari Peralihan Penggunaan Kendaraan Listrik Studi Kasus Pulau Jawa
Dokumen : https://bit.ly/Dokumen_SidangTesis_Surya

Sidang Tesis akan dilaksanakan pada :

Hari/tgl : Selasa/ 6 Februari 2024
Waktu : 09:00 s.d 11:00 WIB
Tempat : Ruang Sidang Lantai I Departemen Teknik Lingkungan

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dapat dilaksanakan dengan baik.



Program Magister Teknik Lingkungan
Ketua,

Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng
NIP. 197402141999031002

*) Difotokopi untuk masing-masing pembimbing dan penguji