ABSTRAK

Kajian Emisi Gas Rumah Kaca Dan Kelayakan Finansial Operasional Kendaraan Terhadap Keberlanjutan Lingkungan (Studi Kasus Angkutan Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) Dan Angkutan Lintas Batas Negara (ALBN)

Simeon Rhiti[1]; Alfred O. M Dima[2]; Roddialek Pollo[3]
Email : simeonndona@gmail.com

1. Mahasiswa S2 ilmu Lingkungan PPs Undana; 2:Pembimbing 1 ; 3: Pembimbing 2

Transportasi jalan merupakan salah satu sektor yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) sekaligus berperan penting dalam mendukung mobilitas masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis emisi GRK kendaraan Angkutan Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) dan Angkutan Lintas Batas Negara (ALBN), mengevaluasi kelayakan finansial operasional kendaraan, serta menilai tingkat keberlanjutan transportasi menggunakan metode Rap Green Bus berbasis Multidimensional Scaling (MDS). Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui survei lapangan. Pengukuran emisi dilakukan menggunakan gas analyzer dan opacimeter, sedangkan analisis keberlanjutan menggunakan 67 atribut yang dikelompokkan ke dalam tujuh dimensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO_2 kendaraan AKDP sebesar 0,8672–0,8961 kg/km lebih tinggi dibandingkan ALBN sebesar 0,7866 kg/km. Seluruh nilai CO, HC, dan opasitas masih berada di bawah baku mutu emisi yang berlaku. Biaya pemeliharaan kendaraan AKDP berkisar Rp2.000.000,00–Rp2.200.000,00/bulan, sedangkan ALBN sekitar Rp5.000.000,00/bulan. Analisis keberlanjutan menunjukkan bahwa AKDP memperoleh indeks multidimensi sebesar 42,16 dengan kategori kurang berkelanjutan, sedangkan ALBN memperoleh indeks 62,33 dengan kategori cukup berkelanjutan. Dimensi lingkungan, teknologi, dan manajemen masih menjadi faktor pembatas utama pada AKDP, sedangkan ALBN menunjukkan kinerja yang lebih baik pada sebagian besar dimensi keberlanjutan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa AKDP memiliki emisi CO_2 yang lebih tinggi dibandingkan ALBN, namun tingkat keberlanjutannya masih berada di bawah ALBN. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi operasional, peremajaan armada, penerapan teknologi rendah emisi, serta penguatan tata kelola dan kebijakan transportasi diperlukan untuk meningkatkan keberlanjutan sistem angkutan umum.

Kata kunci : analisis *Rap-Green Bus*, gas rumah kaca, keberlanjutan transportasi angkutan umum, kelayakan finansial

ABSTRACT

Greenhouse Gas Emissions and Operational Financial Feasibility of Vehicles on Environmental Sustainability: A Case Study of Intercity Transportation Within the Province (AKDP) and Cross-Border Transportation (ALBN)

Simeon Rhiti[1], Alfred O. M. Dima[2], Roddialek Pollo[3]

[1]Master's Student of Environmental Science, Graduate Program, Universitas Nusa Cendana
[2]Supervisor I
[3]Supervisor II

Road transportation is one of the major contributors to greenhouse gas (GHG) emissions while playing an essential role in supporting regional mobility. This study aimed to analyze GHG emissions from Intercity Transport within the Province (AKDP) and Cross-Border Transport (ALBN), evaluate their operational financial feasibility, and assess transportation sustainability using the Multidimensional Scaling (MDS)-based Rap Green Bus method. A quantitative descriptive approach with field surveys was employed. Emissions were measured using a gas analyzer and an opacimeter, while sustainability was assessed using 67 attributes grouped into seven sustainability dimensions.The results showed that AKDP vehicles produced higher CO_2 emissions (0.8672–0.8961 kg/km) than ALBN vehicles (0.7866 kg/km). All measured CO, HC, and opacity values remained below the applicable emission standards. The monthly maintenance cost of AKDP vehicles ranged from IDR 2.0–2.2 million, whereas ALBN vehicles required approximately IDR 5.0 million. The multidimensional sustainability analysis indicated that AKDP achieved a sustainability index of 42.16, categorized as less sustainable, while ALBN achieved an index of 62.33, categorized as moderately sustainable. Environmental, technological, and management dimensions remained the main limiting factors for AKDP, whereas ALBN demonstrated better performance across most sustainability dimensions.This study concludes that AKDP exhibits higher CO_2 emissions than ALBN, but its overall sustainabiliy level remains lower than that of ALBN. Therefore, improving operational efficiency, fleet renewal, adoption of low-emission technologies, and strengthening transportation governance and policy are required to enhance the sustainability of public transportation systems.

Keywords : Rap Green Bus analysis, greenhouse gases, public transportation sustainability, financial feasibility,

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah memberikan berkat, hikmat, dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul: "Kajian Emisi Gas Rumah Kaca Dan Kelayakan Finansial Operasional Kendaraan Terhadap Keberlanjutan Lingkungan (Studi Kasus Angkutan Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) Dan Angkutan Lintas Batas Negara (ALBN))" yang dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Magister Ilmu Lingkungan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa keberhasilan dalam penulisan proposal penelitian ini semata-mata karena uluran tangan dari berbagai pihak, oleh karena itu patut penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jefri S Bale, ST.,M.Eng, selaku Rektor Universitas Nusa Cendana Kupang.
2. Bapak Dr. Hamzah Huri Wulakada, SP, M.Si selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Nusa Cendana Kupang
3. Bapak Prof. Dr. rer.nat Antonius R. Bassa Ola, S.Si.,M.Sc selaku Koordinator Program Studi S2 Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Nusa Cendana Kupang.
4. Bapak Dr. Ir. Alfred O. M. Dima, M.Si, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu dengan penuh kesabaran dalam membimbing, mengarahkan dan memotivasi selama menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak Dr. Ir. Roddialek Pollo, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan, saran dan bimbingannya dalam proses penyelesaian tesis ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Jefri S Bale, ST.,M.Eng, selaku dosen penguji I yang telah memberikan saran dan bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.
7. Ibu Dr. Ir. Ida Nurwiana, M.Si, selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran dan bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.
8. Seluruh Dosen S2 Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Nusa

Cendana Kupang, Program Studi Ilmu Lingkungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas ilmu yang telah diberikan selama masa studi.

9. Staf akademik Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana, atas bantuannya dalam mengurus akademik dan administrasi selama penulis melaksanakan studi.
10. Bapak Robert N.I. Tail, S.SiT. M.M, selaku Kepala BPTD Kelas II NTT, sekaligus Senior atas dukungan dalam menyelesaikan studi ini.
11. Isteri tercinta, anak-anak tersayang (Ghabra, Gavriil, dan Gino), Anna, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus atas segala doa, kasih sayang, pengertian, kesabaran, serta dukungan yang tiada henti selama penulis menempuh pendidikan hingga penyelesaian tesis ini.
12. Teman-teman seperjuangan Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana angkatan 2023 : Novi, Agnes, Cecilia, Emanuel, Chendy, Meihizkia, Yosualdus, Satria, dan Fatahur untuk kebersamaan, kenangan dan motivasi serta telah menjadi bagian dalam perjalanan pendidikan penulis.
13. Tim **SARANA PRIDE** yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan agar penulis bisa menyelesaikan penelitian ini.
14. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.

Setiap bantuan dan dukungan semua pihak kepada penulis, semoga diberkati oleh Tuhan Yang Maha Kuasa dalam menjalankan tugasnya masing-masing. Tiada yang lebih baik yang dapat penulis berikan selain doa dan ucapan terima kasih.

Kupang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBARAN PENGESAHAN ..... **ii**

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH ..... **iii**

ABSTRAK ..... **iv**

KATA PENGANTAR ..... **vi**

DAFTAR ISI ..... **viii**

DAFTAR TABEL ..... **x**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xiv**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 6

1.3 Tujuan Penelitian 7

1.4 Kegunaan Penelitian 7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **9**

2.1 Deskripsi Teoritis 9

2.1.1 Emisi Gas Rumah Kaca 9

2.1.2 Efek/Dampak Gas Rumah Kaca 11

2.1.3 Pemilihan Metodologi Menurut Tingkat Ketelitian (Tier) 12

2.1.4 Pengukuran emisi aktual di lapangan 14

2.1.5 Perkembangan Karakteristik Kendaraan Diesel Berdasarkan Standar Emisi Euro 15

2.1.6 Biaya Operasional Kendaraan 19

2.1.7 Subsidi 20

2.1.8 Angkutan Umum 22

2.1.9 Pendekatan Revenue-Cost Ratio (R/C) 24

2.1.10 Analisis Keberlanjutan dengan metode RADFISH 25

2.2 Hasil Penelitian Yang Relevan 26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **42**
3.1 Kerangka Pikir Penelitian 42
3.2 Ruang Lingkup Penelitian 43
3.2.1 Tempat Penelitian 43
3.2.2 Waktu Penelitian 44
3.2.3 Batasan masalah 44
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 45
3.4 Desain Penelitian 46
BAB IV HASIL PENELITIAN PEMBAHASAN **68**
4.1 Gambaran Umum Kendaraan Angkutan ALBN dan AKDP 68
4.2 Analisis emisi GRK dari kendaraan AKDP dan ALBN berbahan bakar fosil 75
4.3 Analisis Kelayakan Finansial Operasional Kendaraan AKDP dan ALBN 116
4.4 Analisis Keberlanjutan Rap Green_Bus Angkutan Umum ALBN dan AKDP 123
BAB V PENUTUP **196**
5.1 Kesimpulan 196
5.2 Saran 198
DAFTAR PUSTAKA **200**
LAMPIRAN **215**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Total Emisi Kota Kupang tahun 2021 - 2023 9
Tabel 2. 2 Profil Emisi Kota Kupang Sektor Energi Tahun 2021-2023 10
Tabel 2. 3 Jenis – Jenis Gas Rumah Kaca & Nilai Potensi Pemanasan Global (IPCC, 2026) 11
Tabel 2. 4 Faktor Emisi 14
Tabel 2. 5 Perkembangan Standar Emisi Kendaraan Diesel dan Implementasinya di Indonesia 18
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu 27
Tabel 3. 1 Karakteristik Kendaraan Uji Emisi 52
Tabel 3. 2 Karakteristik Armada Analisis Keberlanjutan 53
Tabel 3. 3 Prosedur Penelitian dan Sumber Daya 59
Tabel 3. 4 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel 62
Tabel 3. 5 Rencana Analisis Data 64
Tabel 3. 6 Kriteria keberlanjutan 66
Tabel 4. 1 Perhitungan Tarif Angkutan AKDP Trayek Kupang–Atambua Eksisting 72
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Tarif Perjalanan Kupang–Dili 75
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Hasil Uji Emisi ALBN dan AKDP Trans Timor 78
Tabel 4. 4 Perbandingan Emisi CO_2 Kendaraan AKDP dan ALBN dengan Hasil Penelitian Terdahulu 88
Tabel 4. 5 Perbandingan Emisi Hidrokarbon (HC) Kendaraan AKDP dan ALBN dengan Penelitian Terdahulu 96
Tabel 4. 6 Perbandingan Nilai Opasitas Kendaraan AKDP dan ALBN dengan Hasil Penelitian Terdahulu 102
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Mann–Whitney U Konsentrasi CO_2 Kendaraan AKDP dan ALBN 108
Tabel 4. 8 Sintesis Keterkaitan Perkembangan Teknologi Kendaraan Diesel, Hasil Penelitian, dan Implikasi terhadap Emisi 114

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Analisis Kelayakan Finansial Operasional ALBN Trayek Kupang–Dili 119
Tabel 4. 10 Tabel Nilai Indeks 174
Tabel 4. 11 Tabel Nilai Indeks Multidimensi 183
Tabel 4. 12 Tabel Nilai Indeks Multidimensi (RMS < 2,5%) 186
Tabel 4. 13 Sintesis Hasil Penelitian 193

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kerangka Pikir Penelitian 42
Gambar 3. 2 Rute Trayek AKDP 43
Gambar 3. 3 Rute Trayek ALBN 43
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Pengukuran CO_2 dengan alat (%) 86
Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Opasitas (%) 99
Gambar 4. 3 Ordinasi pada Dimensi Hukum 125
Gambar 4. 4 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Hukum 128
Gambar 4. 5 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Hukum 129
Gambar 4. 6 Ordinari pada Dimensi Ekonomi 135
Gambar 4. 7 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Ekonomi 137
Gambar 4. 8 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Ekonomi yang berpengaruh 139
Gambar 4. 9 Ordinari pada Dimensi Ekologi 142
Gambar 4. 10 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Ekonomi 144
Gambar 4. 11 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Ekonomi yang berpengaruh 145
Gambar 4. 12 Ordinari pada Dimensi Sosial 149
Gambar 4. 13 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Sosial 151
Gambar 4. 14 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Sosial 152
Gambar 4. 15 Ordinari pada Dimensi Lingkungan 155
Gambar 4. 16 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Lingkungan 157
Gambar 4. 17 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Lingkungan yang berpengaruh 159
Gambar 4. 18 Ordinari pada Dimensi Manajemen dan Kelembagaan 162
Gambar 4. 19 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Manajemen dan Kelembagaan 164
Gambar 4. 20 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Manajemen dan Kelembagaan yang berpengaruh 165

Gambar 4. 21 Ordinari pada Dimensi Teknologi 168
Gambar 4. 22 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Teknologi 169
Gambar 4. 23 Sensifitas Setiap Atribut Pada Dimensi Teknologi yang berpengaruh 171
Gambar 4. 24 Diagram Layang-Layang (Kite Diagram) Nilai Keberlanjutan Multi Dimensi 175

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Skor Atribut Dimensi Sosial AKDP 216
Lampiran 2 Tabel Skor Atribut Dimensi Ekonomi AKDP 218
Lampiran 3 Tabel Skor Atribut Dimensi Lingkungan AKDP 220
Lampiran 4 Tabel Skor Atribut Dimensi Kelembagaan AKDP 222
Lampiran 5 Tabel Skor Atribut Dimensi Teknologi AKDP 224
Lampiran 6 Tabel Skor Atribut Dimensi Hukum AKDP 226
Lampiran 7 Tabel Skor Atribur Dimensi Ekologi AKDP 228
Lampiran 8 Tabel Skor Atribut Dimensi Sosial ALBN 230
Lampiran 9 Tabel Skor Atribut Dimensi Ekonomi ALBN 230
Lampiran 10 Tabel Skor Atribut Dimensi Lingkungan ALBN 230
Lampiran 11 Skor Atribut Dimensi Kelembagaan ALBN 230
Lampiran 12 Skor Atribut Dimensi Teknologi ALBN 230
Lampiran 13 Tabel Skor Atribut Dimensi Hukum ALBN 230
Lampiran 14 Skor Atribut Dimensi Ekologi ALBN 230
Lampiran 15 perhitungan Uji Mann–Whitney U AKDP dan ALBN 230
Lampiran 16 Perhitungan Uji Mann-Whitney U 233
Lampiran 17 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi 234

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penduduk dunia saat ini sedang menghadapi ancaman serius akibat perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) menyebabkan efek rumah kaca, yang berujung pada kenaikan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi (Rahayuningsih *et al*. 2021). Dampak negatif dari meningkatnya GRK meliputi suhu udara menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya sehingga mengakibatkan perubahan iklim dan pemanasan global (Mikhaylov *et al*. 2020), meningkatnya polusi dan berdampak pada kerusakan lingkungan hidup (Kurnia 2021), menurunnya kualitas udara sehingga berdampak pada kesehatan masyarakat seperti menimbulkan penyakit asma, tekanan darah tinggi, kanker paru-paru, demensia dan kematian dini (Rianawati *et al*. 2022) dan emisi GRK juga berkontribusi terhadap krisis iklim yang meningkatkan potensi cuaca ekstrem hingga risiko banjir (Rianawati *et al*. 2022).

Menurut Mikhaylov *et al*. (2020), bahan bakar dari transportasi berkontribusi terhadap emisi GRK sebesar 13,2%. Gas CO_2 mempunyai kontribusi sebesar 72% terhadap total emisi GRK, gas metan sebesar 20%, sedangkan gas N_2O sebesar 5%. Berbagai upaya dan kebijakan ditempuh beberapa negara untuk mengurangi dampak pemanasan global tersebut (Malihah 2022). Komitmen Pemerintah Indonesia dalam mengurangi emisi GRK melalui

upaya sendiri pada tahun 2020 ialah sebesar 29% dan sebesar 41% melalui dukungan internasional (Sya'rawie *et al*, 2024). Berdasarkan laporan *Sustainable Development Report* 2024 yang dikeluarkan oleh *United Nations*, peringkat skor dan indeks SDGs Tahun 2024 negara Indonesia berada pada peringkat ke-78 dengan skor 69,4 dan persentase potensi penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) tahun 2022 sebesar 27,65% (Siregar dkk, 2024). Di Indonesia, pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor, terutama di kota-kota besar, memberikan dampak signifikan terhadap kualitas udara dan lingkungan. Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat, dengan pertumbuhan tahunan mencapai 5,69% (BPS, 2024). Pertumbuhan ini tidak hanya terjadi pada kendaraan pribadi, tetapi juga pada kendaraan umum seperti bus. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 20 Tahun 2017, sejak tahun 2018, standar emisi gas buang bagi kendaraan bermotor di Indonesia adalah Euro 4 (Donowati & Kholmi, 2024) dan penerapan baku mutu emisi kendaraan bermotor kategori M, kategori N, kategori O, Dan kategori L diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2023.

Sektor transportasi darat di Indonesia, termasuk Kota Kupang, menyumbang sekitar 91% dari total emisi GRK nasional, menjadikannya sebagai salah satu kontributor utama polusi udara dan perubahan iklim. Emisi ini tidak hanya berdampak pada kualitas udara, tetapi juga pada kesehatan

masyarakat dan keberlanjutan lingkungan secara kescluruhan (Media Indonesia, 2024).

Kota Kupang, sebagai Ibukota Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dan kota perbatasan, mengalami perkembangan pesat (Liem dan Purwanto 2022). Pertumbuhan penduduk karena migrasi dan percepatan pembangunan infrastruktur memenuhi kebutuhan masyarakat akan layanan yang lebih baik. Kota Kupang memiliki luasan ruang terbuka hijau aktif yang masih dibawah 20%, hal ini menunjukan bahwa Kota Kupang belum memenuhi syarat dalam menuju *greencity* (Nait, Mahayasa, dan Effendi 2023). Salah satu program pengembangan kota hijau yang dicanangkan pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum adalah pengembangan transportasi berbasis jaringan dan penggunaan transportasi bukan kendaraan bermotor (jalan kaki, sepeda) dan transportasi masal (*green transportation*). Disamping itu juga, perlu adanya upya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendukung keberlanjutan global adalah dengan strategi tiga langkah yang disebut dengan strategi ASI, yaitu strategi *Avoid* (hindari), *shift* (ubah/mengalihkan), dan *Improve* (tingkatkan) (Shah *et al.*,2021). Implementasi dari strategi *shift* adalah mendorong efisiensi pergerakan individu melalui perpindahan ke moda transportasi (moda *shift*) yang lebih hemat energi, massal, dan rendah emisi. Sementara strategi Improve dilakukan dengan meningkatkan efisiensi pergerakan moda transportasi melalui perbaikan teknologi kendaraan, mendorong sumber energi (bahan bakar) terbarukan, dan optimalisasi operasi

angkutan umum (Sofaniadi dkk 2022). Menurut laporan akhir inventarisasi emisi gas rumah kaca Kota Kupang tahun 2021–2023 Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Kota Kupang, dijelaskan terjadi peningkatan emisi pada sektor energi khususnya sub sektor transportasi yang memiliki kontribusi yang cukup besar dalam menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Kupang yang mengalami peningkatan yakni tahun 2021 – 2022 sebesar 1,6% dan tahun 2022 – 2023 yaitu 0,02%. Secara keseluruhan, total emisi GRK kota Kupang meningkat dari 506,02 Gg CO_2eq pada tahun 2021 menjadi 556,14 Gg CO_2eq pada tahun 2022, kemudian mencapai 560,33 Gg CO_2eq pada tahun 2023. Peningkatan ini menunjukkan bahwa aktivitas transportasi berbahan bakar fosil masih menjadi faktor penting yang berkontribusi terhadap bertambahnya emisi GRK di Kota Kupang. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh meningkatnya aktivitas ekonomi dan jumlah kendaraan yang beroperasi. Inventarisasi emisi yang dilakukan DLHK Kota Kupang masih menggunakan pendekatan data aktivitas (*activity data*) berdasarkan konsumsi bahan bakar dan faktor emisi sehingga menghasilkan emisi pada Tingkat sektoral. Pendekatan ini belum mampu menggambarkan kondisi emisi aktual dari masing-masing jenis kendaraan, khususnya angkutan Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) dan Angkutan Lintas Batas Negara (ALBN) yang beroperasi pada koridor utama Pulau Timor.

Kota Kupang, sebagai ibu kota Provinsi NTT, menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan transportasi umum yang berkelanjutan. Meskipun terdapat berbagai operator angkutan umum seperti Perusahaan Umum DAMRI

Cabang Kupang, PT. Bagong Dekada Makmur, PT. Paris Indah Jaya, PT. Sinar Gemilang, serta koperasi-koperasi seperti KOP. Jasa Kupang Kasih Sejahtera, KOP. Kangen One, KOP. Jasa Mana And Friends, KOP. Jasa C.S. Transport, KOP. Jasa Syalom Kasih Indah, KOP. Jasa Angkutan A. Jaya (AM KENI), PT. Cahaya Baru Kupang, PT. Nusa Indah Trans, dan PT. Kangen Predator Transportasi, data spesifik mengenai jumlah armada dan rute yang mereka operasikan di Pulau Timor masih terbatas. Namun, diketahui bahwa sebagian besar armada ini menggunakan bahan bakar fosil seperti solar, yang berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) (Aswad dan C. 2018).

Penelitian Bolla dkk. (2019) menunjukkan bahwa biaya operasional kendaraan (BOK) untuk angkutan umum di Kota Kupang bervariasi antara Rp 884,41 hingga Rp 2.677,32 per penumpang, bergantung pada karakteristik trayek dan kondisi operasional kendaraan. Namun, tarif yang dikenakan kepada penumpang seringkali tidak mencerminkan biaya operasional yang sebenarnya, sehingga menimbulkan tantangan dalam keberlanjutan ekonomi operator angkutan umum (Bolla dkk, 2019).

Kajian mengenai emisi GRK dan biaya operasional kendaraan pada angkutan umum di Kota Kupang perlu dilakukan untuk memperoleh informasi yang komprehensif mengenai keterkaitan antara aspek lingkungan dan aspek ekonomi. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi strategis dalam pengelolaan transportasi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

serta mendukung upaya dekarbonisasi sektor transportasi di Kota Kupang (Aswad & C., 2018).

Fokus Penelitian :

1. Mengidentifikasi dan menganalisis besaran emisi GRK (CO_2) yang dihasilkan oleh kendaraan berbahan bakar fosil pada trayek AKDP dan ALBN.
2. Mengevaluasi kelayakan finansial operasional kendaraan berbahan bakar fosil dalam sistem transportasi AKDP dan ALBN, termasuk biaya operasional, perawatan, bahan bakar, dan umur kendaraan.
3. Menganalisis keterkaitan antara emisi GRK, aspek finansial, dan keberlanjutan lingkungan dari penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil dalam konteks transportasi regional dan lintas batas negara.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Berapa besar emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh kendaraan AKDP dan ALBN berbahan bakar fosil?
2. Bagaimana kelayakan finansial operasional kendaraan AKDP dan ALBN?
3. Bagaimana keterkaitan emisi GRK, kelayakan finansial operasional dan keberlanjutan lingkungan pada AKDP dan ALBN?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengukur emisi GRK dari kendaraan AKDP dan ALBN berbahan bakar fosil.
2. Menganalisis kelayakan finansial operasional kendaraan AKDP dan ALBN.
3. Menganalisis keterkaitan emisi GRK, kelayakan finansial operasional dan tingkat keberlanjutan lingkungan sebagai dasar perumusan strategi transportasi angkutan umum berkelanjutan.

1.4 Kegunaan Penelitian

Penilitian ini diharapkan dapat memberikan kegunaan sebagai berikut :

1. Kegunaan Teoritis
   a. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan ilmu lingkungan, khususnya dalam kajian emisi gas rumah kaca (GRK) dan analisis kelayakan finansial operasional kendaraan berbahan bakar fosil.
   b. Menjadi referensi akademik bagi penelitian sejenis yang membahas hubungan antara transportasi, energi fosil, dan keberlanjutan lingkungan, terutama di kawasan Indonesia Timur.
2. Kegunaan Praktis
   a. Memberikan informasi dan data aktual bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam menyusun kebijakan transportasi yang ramah lingkungan dan efisien di Kota Kupang.

b. Menjadi dasar pertimbangan bagi operator angkutan umum dalam pengambilan keputusan terkait efisiensi operasional, peremajaan armada, dan potensi transisi ke bahan bakar alternatif (misalnya BBG atau listrik).

c. Mendorong peningkatan kesadaran masyarakat dan pelaku transportasi tentang dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil serta pentingnya transportasi berkelanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teoritis

2.1.1 Emisi Gas Rumah Kaca

Permintaan transportasi disebut sebagai *derived demand* atau atau permintaan yang diderivasi atau diturunkan dari permintaan lain yang melatar belakanginya, artinya permintaan jasa transportasi akan bertambah apabila tingkat pemenuhan kebutuhan masyarakat juga bertambah. Namun dilain pihak proses transportasi memberikan dampak signifikan terhadap timbulnya gas rumah kaca (Rahmawati, 2023). Tren peningkatan emisi Gas Rumah Kaca dari sektor energi pada 3 tahun terakhir di Kota Kupang dapat dilihat pada Tabel 2.1 :

Tabel 2. 1 Total Emisi Kota Kupang tahun 2021 - 2023

NO	ITEM	2021	%	2022	%	2023	%
1	ENERGI	445.55	**88.05**	486.11	**87.41**	485.42	**86.63**
2	IPPU	31.75	**6.27**	25.52	**4.59**	39.13	**6.98**
3	PERTANIAN	20.07	**3.97**	20.58	**3.70**	20.89	**3.73**
4	KEHUTANAN	-9.62	**-1.90**	6.37	**1.15**	-2.7	**-0.48**
5	LIMBAH	18.27	**3.61**	17.56	**3.16**	17.59	**3.14**
	TOTAL	**506.02**	**100.00**	**556.14**	**100.00**	**560.33**	**100.00**

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup & Kehutanan (DLHK) Kota Kupang, 2024

Berdasarkan laporan IGRK Kota Kupang yang disampaikan dalam Tabel 2.2, sektor transportasi memberikan kontribusi emisi terbesar melalui asap knalpot kendaraan yang dihasilkan.

Tabel 2. 2 Profil Emisi Kota Kupang Sektor Energi Tahun 2021-2023

No	Item	2021	%	2022	%	2023	%	Pertumbuhan 2021--2023 (%)
1	Industri Energi	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	–
2	Manufaktur & Konstruksi	1.49	0.3	1.11	0.2	1.02	0.2	**-31.54**
3	Transportasi	329.46	73.9	366.89	75.5	366.49	75.5	**11.24**
4	Perkantoran & Perakitran	110.06	24.7	113.56	23.4	113.36	73.4	**3.00**
5	Industri Lainnya	4.54	1.0	4.54	0.9	4.54	0.9	**0.00**
6	Industri Batu Bara	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	–
7	Minyak & Gas Bumi	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	–
Total		**445.55**	**100.0**	**486.11**	**100.0**	**485.42**	**100.0**	**8.95**

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup & Kehutanan (DLHK) Kota Kupang, 2024

Menurut Perpres No 98 Tahun 2021 Tentang Ekonomi Karbon, Gas Rumah Kaca yang selanjutnya disingkat GRK adalah gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Emisi GRK adalah lepasnya GRK ke atmosfer pada suatu area tertentu dalam jangka waktu tertentu (Peraturan Presiden, 2021). Istilah gas rumah kaca mengemuka seiring dengan isu 8 pemanasan global dan perubahan iklim yang dampaknya telah dirasakan di berbagai wilayah Indonesia (Nugroho & Fazzry, 2016). Berdasarkan Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change*-UNFCCC), ada 6 jenis gas yang digolongkan sebagai GRK, yaitu: CO_2 (karbon dioksida), CH4 (metana), N2O (dinitrogen

oksida), HFC (hidro fluoro karbon), PFC (perfluorokarbon), dan SF6 (sulfur heksa florida). Terdapat tiga gas rumah kaca utama yang teridentifikasi di atmosfer yaitu CO_2, CH4, dan N2O. Gas yang berperan secara signifkan adalah karbon dioksida (CO_2) yang memicu terjadinya global warming dengan penyumbang sekitar 9 – 26% dari jumlah keseluruhan yang bersirkulasi kurang lebih sekitar 75 tahun karena gas tersebut merupakan salah satu gas yang mempunyai ketahanan paling lama berada dalam atmosfer (Alfi & Sudarti, 2021).

Tabel 2. 3 Jenis – Jenis Gas Rumah Kaca & Nilai Potensi Pemanasan Global (IPCC, 2026)

Gas Rumah Kaca	Rumus Kimia	Nilai Potensi Pemanasan Global
Karbon Dioksida	CO_2	1
Metana	CH_4	25
Dinitrogen Oksida	N_2O	298

2.1.2 Efek/Dampak Gas Rumah Kaca

Efek rumah kaca terjadi karena naiknya konsentrasi gas Karbondioksida (CO_2) dan gas gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO_2 ini terjadi akibat kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara, dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan- tumbuhan, laut dan hutan untuk mengabsorsinya (Pratama, 2019). Akibat keterbatasan untuk mengahsorsi maka konsentrasi gas CO_2 dan gas gas lain di atmosfer semakin meningkat sehingga semakin banyak pula

gelombang panas yang dipantulkan bumi dan diserap atmosfir dan semakin banyak pula panas matahari yang terperangkap di permukaan bumi. Dampak memanisme tersebut suhu permukaan bumi akan naik dan terjadi pemanasan global. Adapun efek rumah kaca dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Suhu udara menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya sehingga tidak bisa dihindari konsekuensi atas perubahan iklim dan pemanasan global (Mikhaylov *et al.*, 2020).
2. Kenaikan permukaan air laut mengakibatkan lahan- lahan subur di pesisir pantai terendam air. Jika banjir terjadi dalam jumlah besar maka tanaman akan tenggelam, area padang rumput berurang dan sumber air bersih menghilang (Mittenzwei, 2020).
3. Membahayakan kesehatan manusia, antara lain menyebabkan penyakit jantung, gangguan pernafasan akut, penyakit menular, malnutrisi (Nordahl *et al.*, 2020).

2.1.3 Pemilihan Metodologi Menurut Tingkat Ketelitian (Tier)

IPCC (*Intergovernmental Panel On Climate Change*) membagi metode perhitungan emisi gas rumah kaca dikelompokkan dalam 3 tingkat kompleksitas yakni Tier 1, Tier 2 dan Tier 3. (Aritenang, 2023). Tier dalam inventarisasi Gas Rumah Kaca adalah tingkat kompleksitas. Semakin tinggi angka Tier, semakin kompleks perhitungan emisinya dan semakin spesifik data yang diperlukan, serta semakin akurat emisinya (Kementerian Lingkungan Hidup, 2013).

Konsep tersebut didukung oleh penelitian Nasution, Martin, dkk. (2025) yang menjelaskan bahwa besarnya emisi CO_2 pada kendaraan bus berbahan bakar diesel terutama ditentukan oleh jumlah bahan bakar yang dibakar dan kandungan karbon di dalamnya. Melalui pendekatan reaksi pembakaran stoikiometri, penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar diesel menghasilkan faktor emisi sekitar 2,62 kg CO_2/L, sedangkan peningkatan proporsi Compressed Natural Gas (CNG) mampu menurunkan emisi CO_2 secara signifikan hingga sekitar 99,9%. Temuan tersebut menegaskan bahwa konsumsi bahan bakar merupakan variabel utama dalam pembentukan emisi CO_2 sehingga metode Tier 1 masih relevan digunakan untuk inventarisasi emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi. Metode perhitungan emisi (KLHK, 2017):

1. Tier 1 : menghitung emisi berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar dikali dengan faktor emisi (EF) dari bahan bakar yang dipakai tersebut;
2. Tier 2 : menghitung emisi berdasarkan jumlah konsumsi bahan bakar dikali dengan faktor emisi (EF) dan juga data aktivitas berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah,;
3. Tier 3 : menghitung emisi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktifitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara specific/plant specific).

Perhitungan Emisi ada 2 (dua) pendekatan yaitu *Top Down* dengan rumus : Emisi = Konsumsi Bahan Bakar × Faktor Emisi atau suatu pabrik Konsumsi

Bahan bakar dalam praktiknya untuk tier 1, bisa diambil dengan pendekatan dari penjualan bahan bakar (*fuel sold*), dan *Bottom Up* dengan rumus : Emisi = Jarak Tempuh × Konsumsi Bahan Bakar per Satuan Jarak × Faktor Emisi, Emisi = Jarak Tempuh dalam km × Efisiensi penggunaan bahan bakar liter atau kg per km dari kendaraan × Faktor Emisi ($kgCO_2e$/liter atau kg CO_2e/kg). (Aritenang, 2022)

Tabel 2. 4 Faktor Emisi

No	Jenis	*Emission Factor*		
		CO_2	CH_4	N_2O
1	Gasoline (bensin)	2,36 kg/l	0,00013 kg/l	0,000195 kg/l
2	Diesel	2,64 kg/l	0,00015 kg/l	0,00022 kg/l

Sumber: Metode Perhitungan Emisi GRK pada Transportasi Darat, Kereta Api, Laut, Udara. Aritenang, 2022

2.1.4 Pengukuran emisi aktual di lapangan

Pengukuran emisi aktual di lapangan menjadi pendekatan krusial dalam mengevaluasi kontribusi langsung kendaraan bermotor terhadap pencemaran udara, khususnya pada moda transportasi AKDP dan ALBN yang umumnya masih menggunakan mesin diesel. Pengujian ini biasanya dilakukan menggunakan smoke tester untuk mengukur tingkat kepekatan asap (opasitas), serta gas analyzer untuk mendeteksi kandungan gas buang seperti CO, CO_2, dan HC. Studi oleh Setiawan *et al.* (2021) menunjukkan bahwa lebih dari 60% kendaraan AKDP diesel yang diuji di wilayah Jawa Tengah menghasilkan opasitas melebihi ambang batas 50% yang ditetapkan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2006, menunjukkan pembakaran bahan bakar

yang tidak sempurna dan potensi tinggi emisi partikulat. Hasil ini konsisten dengan temuan Prati *et al.* (2020) dalam *Atmospheric Environment*, yang menyatakan bahwa kendaraan diesel tanpa sistem filtrasi modern dapat menghasilkan emisi partikulat hingga sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan yang memenuhi standar Euro 6. Lebih lanjut, Sari & Nugroho (2022) menemukan bahwa usia kendaraan, kondisi mesin, serta mutu bahan bakar sangat memengaruhi hasil uji emisi di lapangan, dimana kendaraan berusia lebih dari satu dekade cenderung memiliki tingkat opasitas di atas 60%. Oleh karena itu, studi emisi aktual di lapangan tidak hanya menjadi alat verifikasi teknis, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menilai keberlanjutan operasional kendaraan diesel. Integrasi antara hasil uji emisi lapangan dengan analisis biaya kepemilikan total (TCO) dan penilaian daur hidup (LCA) sangat diperlukan dalam upaya mendorong transisi menuju sistem transportasi yang lebih ramah lingkungan.

2.1.5 Perkembangan Karakteristik Kendaraan Diesel Berdasarkan Standar Emisi Euro

Penerapan standar emisi kendaraan bermotor di Indonesia mengacu pada perkembangan European Emission Standards (Euro Standards) yang diadopsi secara bertahap melalui berbagai regulasi pemerintah. Standar emisi ini bertujuan untuk menekan emisi pencemar udara dari sektor transportasi, terutama karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NOx),

dan partikulat (PM), melalui peningkatan teknologi mesin dan sistem pengendalian emisi kendaraan.

Indonesia mulai menerapkan standar Euro II untuk kendaraan bermotor baru sejak pertengahan tahun 2000-an sebagai dasar pengendalian emisi kendaraan. Selanjutnya, melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, N, dan O, pemerintah menetapkan penerapan standar emisi Euro IV bagi kendaraan bermotor berbahan bakar bensin maupun diesel. Penerapan standar Euro IV untuk kendaraan diesel kategori M, N, dan O mulai diberlakukan secara efektif pada April 2022 setelah mengalami beberapa kali penyesuaian jadwal implementasi. Regulasi tersebut menjadi tonggak penting dalam upaya pengendalian pencemaran udara dan peningkatan kualitas lingkungan di sektor transportasi.

Penerapan standar Euro IV mendorong produsen kendaraan untuk menggunakan teknologi mesin diesel yang lebih efisien, seperti sistem common rail bertekanan tinggi dengan *electronic control unit* (ECU), *exhaust gas recirculation* (EGR), *diesel oxidation catalyst* (DOC), dan *diesel particulate filter* (DPF). Teknologi tersebut memungkinkan proses pembakaran berlangsung lebih sempurna sehingga mampu menurunkan emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NOx),

partikulat (PM), dan opasitas asap dibandingkan kendaraan diesel berteknologi pra-Euro IV (Fontaras *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2024).

Penerapan standar Euro IV tidak secara langsung menjamin penurunan emisi karbon dioksida (CO_2). Berbeda dengan CO, HC, NOx, maupun partikulat yang menjadi parameter utama dalam regulasi Euro, emisi CO_2 lebih dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, kapasitas mesin, beban kendaraan, karakteristik rute, dan pola pengemudian. Oleh karena itu, kendaraan yang telah memenuhi standar Euro IV tetap dapat menghasilkan emisi CO_2 yang tinggi apabila konsumsi bahan bakarnya besar selama beroperasi (Fontaras *et al.*, 2022; Nasution & Martin, 2025).

Penelitian ini, kendaraan AKDP yang diproduksi pada tahun 2012 dan 2016 merepresentasikan armada yang masih menggunakan karakteristik teknologi diesel sebelum implementasi penuh standar Euro IV di Indonesia, sedangkan kendaraan ALBN tahun 2022 merepresentasikan armada yang telah diproduksi pada periode penerapan standar Euro IV. Perbedaan karakteristik teknologi tersebut menjadi dasar dalam menganalisis variasi emisi CO_2, CO, HC, dan opasitas pada kedua kelompok kendaraan.

Tabel 2. 5 Perkembangan Standar Emisi Kendaraan Diesel dan Implementasinya di Indonesia

Standar Emisi	Periode Implementasi Global	Implementasi di Indonesia	Karakteristik Teknologi
Euro I	1992	Tidak diterapkan secara nasional	Injeksi mekanis, tanpa teknologi pengendalian emisi
Euro II	1996	Mulai diterapkan pada kendaraan baru sejak pertengahan 2000-an	*Electronic Diesel Control* (EDC), peningkatan efisiensi pembakaran
Euro III	2000	Terbatas, sebagai masa transisi	*Common rail* mulai berkembang, EGR mulai digunakan
Euro IV	2005	**Wajib untuk kendaraan tipe baru kategori M, N, dan O berbahan bakar diesel mulai April 2022 berdasarkan Permen LHK No. P.20 Tahun 2017. Selanjutnya, penerapan baku mutu emisi dan uji emisi kendaraan yang telah beroperasi diperkuat melalui Permen LHK No. 8 Tahun 2023.**	*Common rail*, ECU, EGR, DOC, DPF
Euro V	2009	Belum diterapkan secara nasional	Peningkatan efisiensi DPF dan sistem *after-treatment*
Euro VI	2014	Belum diterapkan secara nasional	DPF, SCR, AdBlue, kontrol elektronik penuh

Sumber : PERMENLHK P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017; Fontaras *et al.* (2022); Yang *et al.* (2024).

Meskipun standar emisi Euro IV yang diterapkan di Indonesia berfokus pada pengendalian emisi pencemar udara lokal seperti CO, HC, NOx, dan partikulat, regulasi tersebut belum secara langsung mengendalikan emisi gas rumah kaca (CO_2). Oleh karena itu, evaluasi kinerja lingkungan kendaraan diesel memerlukan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengombinasikan pengukuran emisi CO_2 sebagai indikator perubahan iklim dan pengukuran opasitas sebagai indikator pencemaran partikulat. Pendekatan inilah yang menjadi landasan konseptual penelitian ini dalam menilai keberlanjutan lingkungan pada operasional kendaraan AKDP dan ALBN.

2.1.6 Biaya Operasional Kendaraan

Kajian biaya operasional kendaraan (BOK) pada angkutan umum seperti Angkutan Lintas Batas Negara (ALBN) dan Angkutan Kota Dalam Provinsi (AKDP) di Kota Kupang, Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 251 Tahun 2022 menjadi acuan penting. Peraturan ini mengklasifikasikan komponen BOK ke dalam dua kategori utama: biaya tetap dan biaya tidak tetap. Biaya tetap mencakup penyusutan kendaraan, biaya modal, administrasi dan perizinan, asuransi, serta biaya overhead. Sementara itu, biaya tidak tetap terdiri atas biaya bahan bakar, pelumas, pemeliharaan dan perawatan rutin, penggantian ban, serta upah awak kendaraan. Setiap komponen dihitung berdasarkan satuan waktu atau jarak

tempuh tertentu dan menjadi dasar dalam menentukan tarif yang berkeadilan serta mendukung keberlanjutan operasional.

Beberapa studi relevan dalam lima tahun terakhir memberikan wawasan tambahan. Humaira *et al.* (2021) menyatakan biaya pokok kendaraan sebesar Rp 3.790,24/km dan tarif berdasarkan BOK sebesar Rp 8.800/penumpang. Selanjutnya Pristyawati dan Firdausi (2024) di Kabupaten Wonogiri mengamati bahwa setelah kenaikan harga BBM, tarif angkutan umum meningkat dari Rp 3.371,47 menjadi Rp 3.751,09, mencerminkan dampak langsung terhadap BOK. Sejalan dengan pernyataan di atas, Karimuddin *et al.* (2022) menyatakan adanya perbedaan yang signifikan antara tarif teoritis berdasarkan BOK dengan tarif yang berlaku di lapangan (Humaira *et al*, 2022).

Pertimbangan terhadap Keputusan Menteri Perhubungan KM 251 Tahun 2022 dan hasil penelitian terkini, kajian BOK pada A1.BN dan AKDP di Kota Kupang dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai efisiensi operasional dan dampak lingkungan dari sistem transportasi yang ada. Hal ini penting untuk merancang kebijakan transportasi yang tidak hanya efisien secara ekonomi tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan di Kota Kupang.

2.1.7 Subsidi

Subsidi angkutan jalan di Indonesia merupakan instrumen penting dalam memastikan aksesibilitas transportasi publik yang terjangkau,

khususnya di wilayah 3TP (terdepan, terpencil, terluar, dan perbatasan). Pada tahun 2024, Kementerian Perhubungan (Kemenhub) mengalokasikan anggaran sebesar Rp12,2 triliun untuk subsidi angkutan perintis dan Public Service Obligation (PSO) di seluruh moda transportasi, meningkat dibandingkan dengan tahun sebelumnya yang sebesar Rp9,1 triliun. Peningkatan anggaran ini mencerminkan komitmen pemerintah untuk menyediakan layanan transportasi publik yang terjangkau dan merata Ferdiansyah, B. (2024, 13 Februari).

Subsidi ini diberikan untuk menekan biaya transportasi, sehingga masyarakat di daerah 3TP dapat mengakses layanan transportasi dengan harga yang terjangkau dan membuka aksesibilitas ke berbagai wilayah. Selain itu, subsidi angkutan barang perintis juga mengalami peningkatan sebesar 46% pada 2024, dari Rp15 miliar di 2023 menjadi Rp22 miliar. Hal ini menunjukkan bahwa subsidi tidak hanya difokuskan pada angkutan penumpang, tetapi juga pada angkutan barang untuk mendukung perekonomian masyarakat di daerah terpencil Khoirunnisaa, J. (2024, 13 Februari).

Implementasi program subsidi angkutan umum masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam aspek pengelolaan dan keberlanjutan pendanaan di daerah. Kondisi tersebut berdampak pada keberlanjutan penyelenggaraan layanan angkutan umum. Salah satu indikatornya terlihat dari penurunan anggaran Program Pembelian Layanan (*Buy the Service*/BTS)

pada tahun 2025 menjadi Rp177,5 miliar. Program ini hanya dilaksanakan di delapan kota, yaitu Palembang, Surakarta, Makassar, Banyumas, Surabaya, Balikpapan, Manado, dan Pontianak. Penurunan alokasi anggaran tersebut mencerminkan adanya keterbatasan fiskal serta perubahan prioritas belanja pemerintah yang berpotensi memengaruhi keberlanjutan program subsidi angkutan jalan.

Dengan demikian, meskipun subsidi angkutan jalan di Indonesia telah memberikan dampak positif dalam meningkatkan aksesibilitas transportasi publik, tantangan dalam pengelolaan dan alokasi anggaran tetap menjadi perhatian. Kedepannya, diperlukan strategi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam implementasi subsidi untuk memastikan layanan transportasi publik yang terjangkau dan berkualitas bagi seluruh lapisan masyarakat.

2.1.8 Angkutan Umum

Angkutan Kota Dalam Provinsi (AKDP) di Nusa Tenggara Timur (NTT) memainkan peran krusial dalam mendukung mobilitas masyarakat antar kota dan kabupaten. Sebagai moda transportasi darat utama, AKDP menghubungkan berbagai wilayah di provinsi kepulauan ini, yang memiliki tantangan geografis dan infrastruktur. Pada tahun 2022, Pemerintah Provinsi NTT melalui Peraturan Gubernur Nomor 93 Tahun 2022 menetapkan tarif batas atas dan bawah untuk angkutan umum antar wilayah, dengan tarif per penumpang per kilometer bervariasi tergantung pada jenis kendaraan dan

kapasitasnya. Misalnya, untuk bus kapasitas 24 penumpang, tarif ditetapkan sebesar Rp252,1 per penumpang per kilometer, sementara untuk minibus kapasitas 12 penumpang, tarifnya mencapai Rp320,2 per penumpang per kilometer Jahang, B. S. S. (2022, 8 September).

Namun, implementasi tarif tersebut menghadapi tantangan, seperti kesenjangan antara tarif yang ditetapkan dan kemampuan daya beli masyarakat, serta fluktuasi harga bahan bakar yang mempengaruhi biaya operasional. Sebagai respons terhadap dinamika ini, Pemerintah Kota Kupang pada September 2022 menaikkan tarif angkutan kota dalam kota menjadi Rp5.000 per penumpang dewasa dan Rp3.500 per pelajar, sebagai penyesuaian terhadap kenaikan harga BBM Jahang, B. S. S. (2022, 9 September).

Selain itu, pada Maret 2023, Pemerintah Provinsi NTT melalui Peraturan Gubernur Nomor 6 Tahun 2023 menetapkan tarif angkutan penyeberangan lintas kabupaten/kota dalam provinsi, yang juga menjadi bagian integral dari sistem transportasi AKDP di NTT . Kebijakan ini bertujuan untuk menjaga keterjangkauan layanan transportasi bagi masyarakat, sekaligus memastikan keberlanjutan operasional angkutan umum antar kota dalam provinsi Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur. (2024).

Dengan demikian, meskipun AKDP di NTT menghadapi berbagai tantangan, kebijakan tarif yang adaptif dan responsif terhadap kondisi

ekonomi dan sosial masyarakat menjadi kunci dalam menjaga keberlanjutan layanan transportasi ini.

2.1.9 Pendekatan Revenue-Cost Ratio (R/C)

Analisis kelayakan finansial operasional kendaraan berbahan bakar fosil, khususnya pada moda transportasi AKDP dan ALBN, dapat dilakukan menggunakan pendekatan *Revenue-Cost Ratio* (R/C) yang membandingkan antara total pendapatan operasional dengan total biaya yang dikeluarkan. Pendekatan ini menjadi semakin relevan ketika dikombinasikan dengan pertimbangan lingkungan, terutama emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan selama operasional kendaraan. Studi oleh Sun *et al.* (2024) menunjukkan bahwa model Total *Cost of Ownership* (TCO) yang mencakup biaya lingkungan dapat memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap kelayakan ekonomi suatu sistem transportasi. Penelitian lain oleh Zhang *et al.* (2024) menegaskan bahwa kendaraan berbahan bakar alternatif seperti CNG atau LNG tidak hanya mampu menurunkan emisi GRK, tetapi juga menunjukkan efisiensi biaya yang lebih baik dibanding kendaraan konvensional jika dimasukkan ke dalam skenario *carbon pricing*. Kuyumcu (2024) menambahkan bahwa kendaraan listrik dalam jangka panjang cenderung lebih hemat biaya dan ramah lingkungan dibandingkan bus diesel atau hidrogen, jika dilihat dari perspektif siklus hidup. Oleh karena itu, penting untuk menyusun dua skenario analisis R/C satu dengan pendekatan konvensional, dan satu lagi yang memperhitungkan biaya eksternalitas emisi

GRK agar dapat menilai apakah moda transportasi berbahan bakar fosil seperti AKDP dan ALBN masih layak secara ekonomi dalam kerangka keberlanjutan lingkungan.

2.1.10 Analisis Keberlanjutan dengan metode RADFISH

Metode *Rapid Appraisal for Fisheries Sustainability* (RADFISH) awalnya dirancang untuk mengevaluasi keberlanjutan dalam bidang perikanan, namun kini telah berkembang penggunaannya untuk menganalisis keberlanjutan lingkungan di berbagai sektor, termasuk transportasi. Pendekatan ini mencakup tiga aspek utama meliputi lingkungan, ekonomi, dan teknis operasional yang dinilai secara terpadu melalui kombinasi indikator yang bersifat kuantitatif dan kualitatif. Dalam aspek lingkungan, RADFISH dapat diperkaya dengan pendekatan *life cycle assessment* (LCA) menggunakan skema *Well-to-Wheel* (WtW), untuk menghitung emisi gas rumah kaca (GRK) dari awal hingga akhir proses operasional kendaraan. Yılmaz *et al.* (2023) mengembangkan metode evaluasi berbasis LCA multi-parametrik untuk menilai keberlanjutan berbagai jenis bahan bakar, termasuk diesel dan bahan bakar alternatif, yang dapat diterapkan pada moda transportasi darat maupun laut. Dari sisi ekonomi, Damlin *et al.* (2023) menekankan pentingnya menganalisis biaya jangka panjang dan mempertimbangkan intervensi kebijakan, seperti subsidi atau pajak karbon, dalam upaya dekarbonisasi transportasi. Sementara itu, aspek teknis dan operasional dianalisis melalui efisiensi penggunaan energi, strategi perawatan

kendaraan, dan pengaturan kecepatan operasional. Pemanfaatan teknologi prediktif seperti machine learning dalam memodelkan konsumsi energi, sebagaimana ditunjukkan oleh Agand *et al.* (2023), memberikan nilai tambah dalam meningkatkan ketepatan penilaian keberlanjutan. Studi dari Pursula *et al.* (2024) juga mendukung pendekatan ini, dengan menunjukkan bahwa optimalisasi operasional berdasarkan prinsip *life cycle thinking* mampu menurunkan emisi GRK dan beban biaya secara signifikan dalam sistem transportasi kapal. Dengan menggabungkan kerangka LCA, pemodelan ekonomi, dan pendekatan prediktif ke dalam RADFISH, penilaian keberlanjutan lingkungan menjadi lebih menyeluruh dan adaptif terhadap berbagai konteks penggunaan.

2.2 Hasil Penelitian Yang Relevan

Ada beberapa hasil penelitian terdahulu yang relevan atau berhubungan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti, yaitu sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
1	RPJP sektor transportasi terkait energi dan lingkungan dalam Menghadapi tantangan global 2045	2024	Agung Wahyudi	• Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) • Konsumsi Energi (Minyak Bumi, Listrik, Gas, Batubara) • Moda Transportasi (Darat, Laut, Udara, Kereta Api) • Kebijakan Energi dan Transportasi • Model Simulasi Sistem Transportasi Berkelanjutan	Sektor transportasi Indonesia dalam skenario pembangunan jangka panjang 2025–2045 dengan pendekatan keberlanjutan lingkungan dan transisi energi	• Transportasi darat menjadi sektor paling terdampak dalam skenario pengurangan minyak bumi dan emisi GRK. • Simulasi pengurangan minyak bumi sebesar 30% menurunkan aktivitas transportasi darat sebesar 5,6% dan emisi GRK sebesar 14,6%. • Simulasi penurunan emisi GRK sebesar 30% menunjukkan penurunan konsumsi energi pada hampir semua sektor transportasi, kecuali listrik yang meningkat. • Sistem transportasi berkelanjutan memerlukan integrasi antara teknologi hemat energi, moda massal, dan bahan bakar rendah karbon.	• Fokus literatur masih pada kendaraan kota/pribadi • Emisi kendaraan diesel konvensional kurang terukur • Evaluasi kelayakan energi alternatif terbatas

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				• Mitigasi dan adaptasi perubahan iklim			
2.	Potensi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Aktivitas Angkutan Umum di Terminal Tamanan Kota Kediri	2021	Gabriella Aswad, Okik Hendriyanto C	• Variabel utama: Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) khususnya CO_2 • Variabel bebas: Jenis kendaraan (Bus Besar, Bus Sedang, MPU) • Variabel terikat: Beban emisi CO_2 saat kendaraan bergerak dan saat waktu menunggu (idling)	• Bus Besar • Bus Sedang • Mobil Penumpang Umum (MPU)	a. Emisi saat kendaraan bergerak (Running Emissions): • Bus Besar menghasilkan emisi tertinggi: 9,11 kg/jam • Bus Sedang: 2,01 kg/jam • MPU: 0,07 kg/jam b. Emisi saat kendaraan menunggu (Idle Emissions): • Bus Sedang menghasilkan emisi tertinggi: 39,30 kg/jam • Bus Besar: 34,94 kg/jam • MPU: 0,86 kg/jam c. Faktor emisi berdasarkan bahan bakar: • Solar (diesel): 2,2 kg CO_2/L • Fuel Oil: 2,6 kg CO_2/L	• Keterbatasan pada Ruang Lingkup Transportasi • Belum Tersentuhnya Aspek Kelayakan Finansial • Belum Adanya Evaluasi terhadap Kontribusi terhadap Keberlanjutan Lingkungan secara Holistik • Kurangnya Pendekatan Komparatif dan Skala Lebih Luas

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				• Variabel kontrol: Kapasitas mesin, waktu tempuh, idle time, konsumsi bahan bakar			
3	Tinjauan: Metode Pengukuran, Analisis, dan Kebijakan Implementasi Emisi Karbondioksida dari Transportasi	2020	Nur Fatma Fadilah Yaacob, dkk	• Emisi CO_2 Dari Transportasi • Metode Pengukuran Emisi • Analisis Emisi • Kebijakan Pembangungan Berkelanjutan Sustainable Development Goals atau Tujuan Pembangunan Berkelanjutan	Objek penelitian meliputi emisi CO_2 dari sektor transportasi, kebijakan pembangunan berkelanjutan di berbagai negara termasuk Malaysia, serta teknologi dan model analisis emisi	• Metode Pengukuran Emisi CO_2 : Alat pengukur kualitas udara (air quality sensors) dianggap paling akurat dan efisien untuk pengukuran emisi CO_2 secara real-time, meskipun biaya awalnya lebih tinggi. • Peran Transportasi dalam Emisi CO_2 : Transportasi merupakan kontributor utama polusi udara dan pemanasan global, sehingga pengurangan emisi dari sektor ini sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan. • Kebijakan dan Strategi Pengurangan Emisi : Kebijakan seperti pelarangan	• Belum ada metode standar terpadu (PEMS + LCA + emission factor) untuk armada diesel solar antarkota. • Tidak ada studi implementasi kebijakan yang mensyaratkan emisi rendah untuk armada solar diesel antarkota. • Kurangnya data granular dan model ML khusus kendaraan AKDP/ALBN.

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
						kendaraan berbahan bakar fosil internal (misalnya di UK, Taiwan, Eropa) dan insentif untuk kendaraan ramah lingkungan (hybrid, listrik) sangat berpengaruh, meskipun efeknya membutuhkan waktu bertahun-tahun. Pengembangan teknologi kendaraan yang lebih efisien dan ringan juga menjadi bagian dari strategi pengurangan emisi. ●Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan dan SDGs : Pentingnya integrasi kebijakan pembangunan berkelanjutan dan SDGs dalam upaya pengurangan emisi, terutama di negara seperti Malaysia yang berfokus pada pembangunan kota rendah karbon dan transportasi hijau.	
4	Analisis Pengaruh Konsentrasi	2017	Ardhitama.,A, Siregar., Y.I, Nofrizal	●Variabel Bebas: Konsentrasi gas	Kotu Pekanbaru dan Kota Padang	●Peningkatan konsentrasi CO_2 berpengaruh signifikan	●Keterbatasan Identifikasi Sumber Emisi GRK

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
	Gas Rumah Kaca terhadap Kenaikan Suhu Udara di Kota Pekanbaru dan Padang			rumah kaca (CO_2 dan CH_4), jumlah kendaraan, hotspot, industri • Variabel Terikat: Kenaikan suhu udara		terhadap kenaikan suhu di kedua kota, dengan korelasi sekitar 10,2% di Pekanbaru dan 3,8% di Padang • Pengaruh CH_4 terhadap suhu relatif lemah dan tidak signifikan • Kenaikan suhu di Pekanbaru lebih tinggi dibandingkan Padang, diperkirakan akan meningkat lebih jauh jika tren ini berlanjut • Faktor utama yang mempengaruhi kenaikan suhu di Pekanbaru adalah jumlah kendaraan dan hotspot • Di Padang, faktor utama adalah kendaraan dan industri • Emisi gas rumah kaca dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dan kebakaran hutan berkontribusi besar terhadap pemanasan lokal dan global	• Keterbatasan Identifikasi Sumber Emisi GRK • Belum Tersedia Evaluasi terhadap Keberlanjutan Transportasi

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
5	Interpreting INDCs: Assessing Transparency of Post-2020 Greenhouse Gas Emissions Targets	2016	Thomas Damassa, Taryn Fransen, Barbara Haya, Mengpin Ge, Krisztina Pjeczka, dan Katherine Ros	• Transparansi target emisi gas rumah kaca dalam INDC (misalnya, titik referensi, kerangka waktu, jenis target, sektor ekonomi, dan jenis gas yang dipethitungkan). • Kesenjangan transparansi antar negara penyumbang emisi terbesar (Brazil, Tiongkok, Uni Eropa, India, Indonesia, Jepang, Mexico, dan Amerika Serikat)	INDC dari 8 negara penyumbang emisi terbesar yang berkontribusi terhadap dua pertiga emisi global	• Ditemukan adanya kesenjangan dalam transparansi target emisi yang dipresentasikan dalam INDC masing-masing negara. • Penggunaan kerangka kerja Open Book dari World Resources Institute membantu mengidentifikasi kekurangan dalam pelaporan dan transparansi target emisi negara-negara tersebut	• Kurangnya studi sektoral yang spesifik dan berbasis lokal mengenai kontribusi transportasi AKDP dan ALBN terhadap emisi GRK dalam kerangka INDC nasional. • Ketiadaan integrasi antara evaluasi lingkungan dan kelayakan finansial pada moda transportasi berbasis solar • Minimnya kajian berbasis data aktual dan lokal yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menyempurnakan kebijakan

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
6	Kajian emisi gas rumah kaca (CO_2, CH_4, dan N_2O) akibat aktivitas kendaraan di area tertentu	2016	Riska Andria Lina, dkk	• Emisi gas rumah kaca (CO_2, CH_4, N_2O) • Konsumsi bahan bakar kendaraan • Volume kenderaan dan aktivitas kendaraan • Idle time (waktu menunggu kendaraan)	Aktivitas kendaraan di area Sukun dan Terminal Terboyo, Semarang	• Tingginya volume kendaraan menyebabkan emisi gas rumah kaca yang signifikan di area tersebut. • Konsumsi bahan bakar rata-rata kendaraan di area tersebut telah dihitung dan disajikan dalam tabel. • Emisi gas rumah kaca selama waktu menunggu (idle time) juga diukur dan dilaporkan. • Disarankan adanya kebijakan pemeriksaan dan pemeliharaan kendaraan secara rutin untuk mengurangi emisi	• Minimnya studi yang secara khusus mengkaji emisi GRK dari kenderaan AKDP dan ALBN • Keterbatasan data lokal dan konteks geografis spesifik dalam studi-studi sebelumnya • Kurangnya penilaian berbasis kebijakan atau implikasi regulasi
7	Analisis Biaya Operasional Kendaraan Perencanaan Angkutan Bus di Rute Terminal Entrop Koya	2024	Prasetyo Alifathur Rachmattullah dan J. Dwijoko Ansusanto	• Biaya operasional kendaraan (BOK) • Tarif angkutan bus • Potensi muatan penumpang	Rute angkutan bus dari Terminal Entrop ke Koya di Jayapura	• Rute Entrop–Koya belum dilayani angkutan umum yang memadai, membuat masyarakat bergantung pada kendaraan pribadi • Tarif yang diusulkan bervariasi sesuai potensi muatan, antara Rp 17.000 hingga Rp 19.000 per penumpang	• Perhitungan dan evaluasi biaya operasional kendaraan (BOK) pada trayek tertentu. • Analisis efisiensi trayek berdasarkan kebutuhan transportasi lokal. • Fokus geografis terbatas pada satu rute perkotaan (Entrop–Koya) dan

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				(70%, 50%, 30%) • Kapasitas bus (30 penumpang)		• Diperlukan bus dengan kapasitas 30 penumpang agar layanan lebih efisien dan optimal • Pengembangan angkutan umum di rute ini dapat meningkatkan kualitas hidup 8masyarakat, mendukung pertumbuhan ekonomi, dan mengurangi kemacetan serta polusi udara	satu jenis layanan angkutan (bus perkotaan).
8	Estimasi Beban Pencemar dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru	2013	Nurhadi Hodijah, Bintal Amin, Mubarak	• Volume kendaraan dan kecepatan lalu lintas di tiga ruas jalan (Sudirman, Tuanku Tambusai, Diponegoro) • Konsentrasi gas polutan: CO, HC, NO2, SO2, dan PM10 • Beban emisi kendaraan	Kendaraan bermotor di jalan umum kota Pekanbaru, khususnya di ruas Jalan Sudirman, Jalan Tuanku Tambusai, dan Jalan Diponegoro	• Volume kendaraan tertinggi di Jalan Sudirman dan terendah di Jalan Diponegoro • Sepeda motor menyumbang terbesar terhadap beban pencemar PM10 dan gas HC (65-70%) • Truk dan bus berkontribusi tinggi terhadap emisi PM10 (faktor emisi 1,4 gram/km) • Gas CO paling dominan, diikuti HC, NO2, SO2, dan PM10	• Fokus utama penelitian tersebut umumnya terbatas pada pengukuran dan pemetaan kualitas udara serta beban polutan secara umum tanpa mempertimbangkan secara rinci aspek emisi Gas Rumah Kaca (GRK) • Penelitian-penelitian terdahulu kurang memberikan perhatian pada analisis kelayakan finansial penggunaan kendaraan berbahan bakar solar, terutama dalam konteks kendaraan angkutan

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				bermotor, dikalkulasi berdasarkan jenis kendaraan dan faktor emisi • Hasil uji emisi kendaraan berbahan bakar bensin dan solar Kualitas udara ambien di ruas jalan		•Kualitas udara ambien di ketiga ruas jalan masuk dalam kategori sedang, dan gas HC melewati standar kualitas udara •Hubungan positif antara konsentrasi polutan dan beban emisi kendaraan, dengan pengaruh sebesar 37,37% dari beban pencemar gas CO terhadap konsentrasi udara ambien •Kendaraan berbahan bakar bensin yang tidak lulus uji emisi lebih banyak berasal dari kendaraan produksi sebelum 2007 •Kendaraan berbahan solar yang tidak lulus lebih banyak dari tahun produksi setelah 2010	penumpang AKDP dan angkutan logistik ALBN
9	Pemilihan Moda Transportasi Antara Bus	2022	Rezi Kurniawan, Ani Tjitra Handayani,	• Faktor keamanan	Pengguna moda transportasi dari Jogja menuju Yogyakarta	•Sekitar 62% responden memilih kereta api sebagai moda transportasi utama,	•Fokus Studi Sebelumnya Terbatas pada Preferensi Pengguna

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
	Damri atau Kereta Api Pada Jalur Jogja-Yogyakarta International Airport.		dan Herna Puji Astutik.	• Faktor kenyamanan • Faktor kemudahan • Faktor headway (frekuensi keberangkatan) • Faktor waktu perjalanan • Faktor biaya	International Airport, yang menggunakan dua moda utama yaitu Kereta Api dan Bus DAMRI.	sedangkan 38% memilih Bus DAMRI. • Faktor keamanan adalah yang paling berpengaruh dalam pemilihan moda, diikuti oleh kenyamanan, kemudahan, headway, waktu perjalanan, dan biaya. • Penelitian ini menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk analisis prioritas faktor dan preferensi moda.	• Minimnya Kajian Kelayakan Finansial pada Kendaraan Berbahan Bakar Solar • Kebutuhan Studi Kasus pada Moda Transportasi AKDP dan ALBN
10	Perubahan Iklim dan Pemanasan Global	2022	Silfia Ainurrohmah, Sudarti Sudarti	• Perubahan iklim • Pemanasan global • Temperatur	Pengaruh perubahan iklim dan pemanasan global terhadap kehidupan manusia dan lingkungan, termasuk kesehatan, pertanian, hutan, infrastruktur, transportasi,	• Perubahan iklim diakibatkan oleh aktivitas manusia, termasuk penggunaan teknologi dan bahan bakar fosil. • Pemanasan global berdampak pada peningkatan suhu atmosfer, laut, dan daratan bumi. • Akibat dari perubahan iklim dan pemanasan global termasuk gangguan terhadap	• Keterbatasan Studi pada Sektor AKDP dan ALBN • Kurangnya Integrasi Analisis Emisi GRK dan Kelayakan Finansial • Kebutuhan Rekomendasi Kebijakan Berbasis Data • Minimnya Kajian pada Kendaraan Berbahan Bakar Solar

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
					pariwisata, dan sosial.	kesehatan, pertanian, dan ekosistem. • Penelitian menunjukkan bahwa saat ini manusia telah memasuki fase kritis pemanasan global. • Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, dengan analisis data dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal, dan website. • Hasil penelitian menegaskan hubungan erat antara aktivitas manusia dan dampak negatif terhadap lingkungan, serta perlunya tindakan mitigasi untuk mengatasi masalah ini.	
11	Prediksi dan evaluasi emisi gas rumah kaca untuk transportasi jalan yang berkelanjutan di Eropa	2021	Yigit Kazancoglu, dkk	• Keberlanjutan kota • Emisi gas rumah kaca Dan faktor-faktor yang mempengaruhi	Kota-kota berkelanjutan dan aspek transportasi serta emisi di dalamnya	• Penelitian ini membahas strategi dan model untuk meningkatkan keberlanjutan kota dan mengurangi emisi dari transportasi, serta menunjukkan pentingnya pengelolaan transportasi untuk mencapai tujuan keberlanjutan	• Konteks Geografis dan Sosioekonomi yang Berbeda • Kendaraan Berbahan Bakar Solar dan Keberlanjutan Finansial • Prediksi Emisi GRK Spesifik untuk Moda Transportasi AKDP dan ALBN

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				Emini dari sektor transportasi		• Penelitian ini menunjukan menunjukkan bahwa pengelolaan transportasi yang efektif dapat meningkatkan keberlanjutan kota dan mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi • Studi lain mengungkapkan bahwa strategi dan model yang diterapkan dapat membantu dalam pengurangan emisi CO_2 dan mencapai tujuan keberlanjutan perkotaan • Beberapa hasil spesifik dari studi terkait emisi dan transportasi meliputi: prediksi emisi CO_2 menggunakan model support vector regression dan GIS, serta analisis dampak ekonomi dari kemacetan lalu lintas phantom yang mempengaruhi emisi. • penerapan kebijakan berbasis tol dan pengoptimalan rute pengumpulan sampah dapat	• Integrasi Evaluasi Emisi dan Kelayakan Finansial untuk Kebijakan Berkelanjutan Terdapat kesenjangan dalam penelitian yang mengintegrasikan analisis teknis em

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
						mengurangi emisi dan biaya operasional • penelitian menunjukkan bahwa inovasi teknologi dan perencanaan transportasi yang berkelanjutan dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan	
12	Pengembangan Kebijakan Transportasi Berkelanjutan dan Upaya Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca di Amerika Serikat	2020	Deborah L. Blevlss	• Kebijakan standar efisiensi bahan bukar kendaraan (*fuel economy standards*) • Penggunaan bahan bakar alternatif (biofuel, hidrogen, listrik) • Teknologi kendaraan (hybrid, EV, fuel cell)	• Kendaraan bermotor di Amerika Serikat • Kebijakan dan regulasi terkait efisiensi bahan bakar dan emisi • Sistem transportasi perkotaan dan suburban • Pengembangan transportasi umum dan	• Kebijakan standar efisiensi bahan bakar mengalami fluktuasi dan penyesuaian sesuai dengan pemerintahan yang berkuasa, dari standar tinggi di era Obama hingga penurunan di era Trump. • Upaya promosi bahan bakar alternatif seperti biofuel dan fuel cell menghadapi tantangan ekonomi, infrastruktur, dan keberlanjutan. • Kendaraan listrik semakin diminati dan didukung oleh penurunan biaya dan peningkatan infrastruktur,	• Konteks Studi yang Berbeda • Kurangnya Kajian Emisi GRK pada AKDP dan ALBN • Keterbatasan Analisis Kelayakan Finansial • Perbedaan Kondisi Operasional dan Regulasi • Kebutuhan Studi Integratif di Konteks Lokal

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
				• Infrastruktur kendaraan listrik • Strategi pengurangan emisi dari transportasi (transit-oriented development, micro-transit, layanan on-demand) • Faktor ekonomi dan insentif (pajak karbon, feebates, subsidi) • Perilaku pengguna dan tren perjalanan (jumlah perjalanan, preferensi kendaraan besar)	layanan berbasis teknologi • Perbandingan kebijakan internasional (EU, Jepang, China)	terutama di kota-kota besar dan di negara seperti China. • Transportasi umum dan pengembangan transit-oriented development (TOD) penting untuk mengurangi ketergantungan kendaraan pribadi dan emisi. • Strategi kebijakan seperti subsidi, tarif parkir, dan biaya kemacetan efektif untuk mendorong penggunaan transportasi berkelanjutan. • Perubahan tren perjalanan dan preferensi pengguna mempengaruhi keberhasilan kebijakan, dan diperlukan inovasi serta investasi besar untuk mencapai target emisi nol bersih pada 2050.	

No	Judul Penelitian	Tahun	Peneliti	Variabel Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian	Celah Penelitian / *Research Gap*
13	Implementasi Kebijakan Kawasan Rendah Emisi (KRE) untuk Meningkatkan Kualitas Udara dan Kesehatan Masyarakat	2022	Retno Wihanesta, dkk	• Emisi kendaraan bermotor yang tidak memenuhi standar emisi, • kualitas udara, • kesehatan masyarakat, • partisipasi masyarakat, • dan penggunaan transportasi ramah lingkungan (angkutan umum, sepeda, berjalan kaki). Variable pendukung : Perencanaan kebijakan, komunikasi efektif, dan keberhasilan implementasi	Kebijakan Kawasan Rendah Emisi di kota-kota besar seperti Stockholm, London, Beijing, dan Jakarta.	• Penerapan KRE berhasil mengurangi emisi kendaraan dan kemacetan. • Keberhasilan bergantung pada perencanaan yang tepat, komunikasi yang efektif, dan partisipasi masyarakat. • KRE mendukung penggunaan transportasi ramah lingkungan, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dan kesehatan masyarakat	• Fokus Studi yang Terbatas pada Kawasan Urban Besar • Kurangnya Kajian Khusus pada Emisi GRK dari Kendaraan Solar di Sektor AKDP dan ALBN • Aspek Kelayakan Finansial dalam Adopsi Kendaraan Solar Rendah Emisi yang Kurang Diteliti • Integrasi Antara Emisi GRK dan Kelayakan Finansial untuk Keberlanjutan Lingkungan Belum Optimal