

TANTANGAN DAN PELUANG DEKARBONISASI TRANSPORTASI ANGKUTAN BARANG DI INDONESIA

Annisa^{1*}, dan Budi Arief²

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan, Kota Bogor
e-mail: annisa@unpak.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pakuan, Jl. Pakuan, Kota Bogor
e-mail: budiarief@unpak.ac.id

ABSTRAK

Dekarbonisasi angkutan barang di Indonesia penuh dengan tantangan dan peluang untuk mencapai tujuan perkembangan berkelanjutan yang sejalan dengan visi Indonesia emas 2045. Salah satu sektor penting dalam ekonomi Indonesia adalah perpindahan barang, dimana saat ini didominasi oleh ketergantungan akan sistem berbahan fosil yang signifikan berkontribusi terhadap gas emisi karbon dioksida (CO₂). Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan tantangan dalam mencapai sistem transportasi angkutan barang yang rendah karbon dan peluang yang didapatkan dengan menerapkan dekarbonisasi pada sistem transportasi angkutan barang. Kajian literatur digunakan untuk mengidentifikasi tantangan dengan melihat kondisi eksisting Indonesia saat ini dan memberikan gambaran peluang dengan melihat perkembangan dekarbonisasi sistem transportasi angkutan barang secara global. Hasil dari penelitian ini, tantangan berupa biaya investasi yang tinggi, ketersediaan infrastruktur yang memadai, kesenjangan teknologi, dan integrasi dari kebijakan dan peraturan. Adapun peluang yang didapat dengan dekarbonisasi adalah meningkatkan ekonomi dengan investasi teknologi ramah lingkungan, peningkatan kesehatan masyarakat dengan mengurangi polusi udara. Selain itu, beberapa strategi untuk mengatasi hambatan adalah dengan mengintegrasikan teknologi tinggi dengan menjadikan pilihan kendaraan listrik dan kendaraan hidrogen untuk mendapatkan dukungan finansial dan kerjasama dalam skala internasional. Analisis ini menitik beratkan pada pendekatan menyeluruh antara pemerintah, industri dan masyarakat untuk menavigasi perubahan menuju keberlanjutan sistem angkutan barang yang rendah karbon di Indonesia, sesuai dengan tujuan jangka panjang lingkungan dan ekonomi di Indonesia.

Kata kunci: angkutan barang, dekarbonisasi, emisi karbon, indonesia emas 2045, transportasi berkelanjutan

1. PENDAHULUAN

Dekarbonisasi adalah segala usaha untuk mengurangi atau mengganti karbon dioksida yang dilepas ke atmosfer (Wimbadi & Djalante, 2020). Karbon dioksida yang di lepas ke atmosfer dan terperangkap akan menyebabkan bumi bertambah panas dan mengakibatkan perubahan iklim, dampak ini disebut sebagai efek rumah kaca. Indonesia ikut mendukung kesepakatan penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sesuai dengan kesepakatan di Paris (*Paris Agreement* (PA)) pada tahun 2015 sebagai bentuk nyata perlawanan terhadap perubahan iklim (Wimbadi & Djalante, 2020). Untuk mendukung hal itu pemerintah telah menetapkan strategi jangka panjang rendah karbon dan ketahanan iklim di tahun 2050 dan target *net zero emission* pada tahun 2060 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Fokus dalam jangka waktu terdekat, ambisi perlawanan Indonesia terhadap iklim tercermin dari prioritas yang tergambar dari *Enhanced Nationally Determined Contribution* (NDC) dengan target pengurangan emisi sebesar 31,89 % di tahun 2030 (World Resources Institute Indonesia, 2024)

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui siaran pers nomor 287.Pers/04/SJI/2024 menilai bahwa sektor transportasi pada tahun 2024 dinilai sebagai penyumbang emisi GRK terbesar. Sektor transportasi secara keseluruhan menyumbang satu pertiga emisi di skala lingkup global dengan transportasi darat seperenam emisi global. Di Indonesia transportasi menyumbang sepertiga energi final, salah satunya adalah kendaraan angkutan barang. Angkutan barang di Indonesia menggunakan beberapa moda diantaranya: truk, kereta, pesawat, dan kapal laut yang memfasilitasi perpindahan barang ke seluruh kepulauan di Indonesia. Moda angkutan barang tersebut masih banyak bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya truk mengeluarkan lebih dari 50 juta ton emisi CO₂ (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Hal ini berdampak pada lingkungan yaitu kualitas udara yang buruk dapat memberikan dampak kesehatan secara langsung. Isu berkaitan dengan GRK ini adalah salah satu penyebab terjadinya penurunan kualitas udara yang sudah mulai diperhatikan sejak tahun 2014. Enam kota besar di Indonesia tercatat menjadi kota dengan indeks kualitas udara tidak sehat dengan kualitas udara buruk adalah: Palembang, Tangerang Selatan, Bandung, Cileungsi, Jakarta, dan Surabaya (IQAir, 2023). Melihat hal itu pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional yang menjadi acuan untuk melakukan transisi energi (CNBC Indonesia, 2022).

Sektor penyumbang emisi karbon tertinggi salah satunya adalah transportasi. Melihat pertumbuhan armada di tahun mendatang, pencapaian dekarbonisasi dipandang sangat penting sebagai urat nadi angkutan barang agar dapat mencapai tujuan emisi nol bersih di tahun 2060. Sebanyak enam puluh lima persen karbon dioksida yang menyebabkan GRK berasal dari bahan bakar fosil dan proses industri (Ezinna et al., 2021). Langkah mitigasi

perubahan iklim dan pemanasan global di tekankan kembali di COP 26 Glasgow pada tahun 2021 dimana pemerintah Indonesia memberikan kontribusi baru yang ditetapkan secara nasional dan merupakan strategi jangka panjang untuk ketahanan karbon dan iklim 2050. *Updated Nationally Determined Contribution* (UNDC) disampaikan kepada sekretariat *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCC). Dalam update tersebut, sektor energi dan transportasi merupakan target penurunan emisi terbanyak setelah limbah dan pertanian, yaitu penurunan emisi sebanyak 314 Mton CO_{2e} dengan usaha mandiri dan 446 Mton CO_{2e} dengan bantuan dari luar negeri (Pupuk Indonesia, 2021).

Komitmen pemerintah untuk menerapkan dekarbonisasi sejalan dengan visi Indonesia Emas tentang pengembangan berkelanjutan. Peta jalan strategi pilar ke empat Indonesia Emas adalah mengedepankan keberlanjutan dengan tujuan nol emisi di tahun 2060 dimana target nya 50% dari kendaraan roda empat, roda tiga, roda dua, dan bus beralih ke kendaraan listrik (Indonesian Chamber of Commerce and Industry, 2024). Untuk menjalankan dekarbonisasi angkutan barang di Indonesia memiliki tantangan seperti kesiapan infrastruktur, biaya yang tinggi, dan dukungan peraturan yang terintegrasi antara pemerintah, sektor swasta, BUMN, asosiasi, akademisi, dan masyarakat. Selain itu sistem logistik dan teknologi terkait diperlukan untuk mendukung transisi emisi yang direncanakan sukses. Adapun untuk peluang dekarbonisasi angkutan barang adalah peluang pertumbuhan ekonomi melalui teknologi hijau, meningkatkan kesehatan masyarakat dengan opsi transportasi ramah lingkungan, dan potensi Indonesia di bidang transportasi berkelanjutan di kawasan *Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN). Penelitian ini akan menganalisis peluang dan tantangan dekarbonisasi angkutan barang di Indonesia dan memberikan usulan berupa strategi untuk menghadapi tantangan dan memaksimalkan keuntungan yang bisa didapat dengan transisi emisi ini untuk mencapai nol emisi di tahun 2060 dan sesuai dengan visi Indonesia Emas 2045.

2. STUDI PUSTAKA DAN METODE

Fokus utama Indonesia untuk mencapai *net zero emission* 2060 adalah sistem tenaga listrik. Kunci keberhasilan Indonesia untuk melakukan dekarbonisasi adalah dengan secara bertahap melakukan transisi energi hingga akhirnya secara terukur dapat menghentikan ketergantungan akan pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang nanti nya akan membuka peluang untuk sektor transportasi angkutan barang dengan bahan bakar energi terbarukan. Pada tahun 2023, melalui salah satu program pengembangan kendaraan listrik Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tercatat bahwa kendaraan listrik di Indonesia yang beroperasi sudah mencapai 63.105 unit didominasi dengan mobil penumpang, sedangkan untuk mobil barang jumlah nya tercatat 10 unit (Kompas, 2023). Upaya lain yaitu meningkatkan jumlah Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang hingga akhir 2023 berjumlah 842 unit dengan sebaran masih berfokus di kota besar.

Selain SPKLU, program dekarbonisasi sektor transportasi di Indonesia saat ini berada pada fase pemaksimalan moda transit berupa pembangunan MRT, pembangunan LRT, kereta cepat, dan fasilitas pejalan kaki (Retno Utami, 2023). Dekarbonisasi pada transportasi angkutan barang sangat krusial perannya untuk memitigasi perubahan iklim, hal ini dikarenakan buangan emisi dari sektor ini akan terus meningkat secara global (Liimatainen, 2021). Pertumbuhan pada sektor ini perlu diimbangi dengan pendekatan yang bisa memahami interaksi kompleks dan potensi efek *rebound* yang ditimbulkan dari upaya dekarbonisasi (Ghisolfi et al., 2024). Biaya dekarbonisasi di industri pelayaran, merupakan salah satu sektor utama untuk mitigasi perubahan iklim (Cullinane & Yang, 2022). Untuk mempercepat dekarbonisasi teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (*Carbon Capture and Storage* (CCS)) berperan sangat penting. Kebijakan CCS di Indonesia dipayungi oleh regulasi yang telah disahkan oleh Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, dan Peraturan Otoritas Jasa Keuangan (POJK) Nomor 14 Tahun 2023.

Dekarbonisasi sektor transportasi barang di Indonesia menghadirkan peluang sekaligus tantangan. Indonesia memiliki tujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 50% pada tahun 2050. Saat ini tahapan yang sedang dilakukan untuk memangkas emisi transportasi, ditargetkan melalui investasi dalam angkutan massal rendah karbon dan peralihan bahan bakar (Siagian & Dewi, 2021). Terdapat juga peralihan moda dari angkutan barang jalan raya ke angkutan barang kereta api di Jawa dapat secara signifikan mengurangi emisi CO₂, dengan skenario ini diharapkan dapat berpotensi hingga 21,6% pada tahun 2030 dalam asumsi skenario yang ambisius (Halim, 2023). Langkah-langkah utama untuk meningkatkan pasar angkutan barang kereta api meliputi peningkatan kualitas layanan, perluasan kapasitas infrastruktur, dan pembentukan program pendanaan khusus (Halim, 2023). Namun, upaya dekarbonisasi menghadapi tantangan, karena permintaan energi Indonesia diproyeksikan meningkat sebesar 300% dari tahun 2010 hingga 2050 (Siagian & Dewi, 2021). Sektor kelistrikan, yang penting untuk elektrifikasi transportasi, memerlukan transisi dari batubara ke sumber energi terbarukan (Triani, 2023). Secara global, penelitian tentang dekarbonisasi angkutan jalan raya saat ini berfokus pada optimalisasi rute, solusi jarak jauh, dan bahan bakar alternatif (Meyer, 2020).

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi literatur untuk mengidentifikasi peluang dan tantangan dalam dekarbonisasi transportasi angkutan barang di Indonesia. Data dikumpulkan melalui tinjauan literatur dari berbagai sumber, termasuk jurnal ilmiah, laporan pemerintah, dan dokumen kebijakan yang relevan. Pendekatan ini digunakan untuk memahami kondisi eksisting transportasi angkutan barang di Indonesia, tantangan yang dihadapi, dan peluang yang dapat dimanfaatkan dalam penerapan dekarbonisasi. Proses pengumpulan data mencakup identifikasi hambatan utama seperti biaya investasi yang tinggi, keterbatasan infrastruktur, kesenjangan teknologi, serta integrasi kebijakan dan regulasi. Selanjutnya, analisis peluang dilakukan dengan melihat perkembangan dekarbonisasi transportasi angkutan barang di tingkat global, termasuk penerapan teknologi ramah lingkungan,

potensi peningkatan kesehatan masyarakat melalui pengurangan polusi udara, dan peluang ekonomi melalui investasi di sektor teknologi hijau. Penelitian ini juga mengkaji strategi-strategi yang dapat diadopsi untuk mengatasi hambatan tersebut, seperti integrasi teknologi tinggi, penggunaan kendaraan listrik dan hidrogen, serta dukungan finansial dan kerja sama internasional. Analisis dalam penelitian ini menitikberatkan pada pendekatan kolaboratif yang melibatkan pemerintah, industri, dan masyarakat dalam navigasi menuju sistem angkutan barang yang rendah karbon di Indonesia. Pendekatan holistik ini diharapkan dapat memberikan solusi yang komprehensif untuk mendukung target jangka panjang dekarbonisasi transportasi sesuai dengan visi Indonesia Emas 2045 dan target *net zero emission* pada tahun 2060.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dekarbonisasi di transportasi mode kendaraan angkutan barang adalah hal yang krusial untuk memitigasi perubahan iklim, sebagai mana kita ketahui bahwa sektor ini secara signifikan berpengaruh terhadap emisi gas karbon dioksida yang dilepas ke udara (Demiridis & Pyrgidis, 2022). Dekarbonisasi transportasi barang, khususnya logistik jalan raya, menghadirkan tantangan yang signifikan. Meningkatnya emisi dari sektor ini memerlukan tindakan segera (Liimatainen, 2021). Penelitian dibidang transportasi angkutan barang sangat beragam dan bertumbuh dengan cepat, diantaranya fokus kepada optimisasi rute, solusi *last-mile* dan alternatif penggunaan bahan bakar (Meyer, 2020). Strategi utama dari dekarbonisasi yang banyak diterapkan adalah meningkatkan muatan kendaraan melalui optimalisasi dan kolaborasi, strategi ini dianggap sebagai salah satu langkah yang paling hemat (Liimatainen, 2021). Terdapat konsep yang menarik dalam pengiriman barang, yaitu konsep *despeeding*. Konsep perlambatan dalam pengiriman barang merupakan opsi yang menjanjikan, konsep ini berpotensi menawarkan penghematan karbon secara langsung, tidak langsung dan konsekuensial (McKinnon, 2016). Konsep *despeeding* ini bertolak belakang dengan pendekatan konvensional yaitu tentang percepatan pergerakan barang secara terus menerus melalui sistem rantai pasok. Pendekatan secara holistik juga diperlukan untuk mengurangi emisi secara efektif yaitu dengan mempertimbangkan berbagai faktor dalam pengiriman barang seperti kepadatan nilai barang, kandungan karbon dioksida pada bahan bakar yang digunakan untuk pengiriman barang, pembagian moda pengiriman barang, dan konsumsi energi yang digunakan kendaraan angkutan barang (Liimatainen, 2021). Strategi-strategi ini jika diterapkan secara keseluruhan, maka dapat berkontribusi dalam upaya global untuk mengurangi emisi karbon terkait angkutan barang.

Tantangan

Beberapa peneliti berpendapat bahwa untuk mencapai pengurangan emisi gas rumah kaca secara signifikan membutuhkan perubahan paradigma tentang penurunan pertumbuhan, yaitu dengan cara menggabungkan dua langkah sekaligus, pertama dengan meningkatkan penggunaan kendaraan listrik yang disertai langkah kedua yaitu pengurangan drastis dalam permintaan transportasi secara keseluruhan (de Blas et al., 2020). Penerapan dekarbonisasi pada sektor transportasi angkutan barang, khususnya untuk mode angkutan jalan raya, langkah mitigasinya perlu diutamakan karena melihat buruknya efek emisi yang ditimbulkan akibat penggunaan bahan bakar fosil (Liimatainen, 2021). Tantangan pada upaya perubahan paradigma saat ini akan menimbulkan efek *rebound*, dimana penerapan dekarbonisasi yang dimaksudkan untuk menuju penerapan energi hijau dan ekonomi berkelanjutan dapat menciptakan efek timbal balik yang nantinya dapat bertolak belakang dari manfaat peningkatan teknologi yang dilakukan (de Blas et al., 2020). Oleh karena itu dekarbonisasi di sektor angkutan barang dipandang sebagai prioritas penting sebagai tantangan yang perlu dihadapi dalam mitigasi perubahan iklim (Liimatainen, 2021).

Disatu sisi, meskipun peningkatan teknologi kendaraan dan bahan bakar merupakan salah satu strategi penting dalam dekarbonisasi transportasi angkutan barang, tetapi berdasarkan hasil penelitian dengan strategi optimalisasi pemuatan kendaraan angkutan barang melalui kolaborasi dapat menawarkan langkah-langkah yang paling hemat biaya yang diterapkan untuk mengurangi emisi GRK (Liimatainen, 2021). Studi lain menekankan bahwa tinjauan sistematis model dinamika sistem yang ada saat ini menunjukkan gap bahwa studi yang ada tidak memiliki pandangan komprehensif tentang bagaimana penerapan strategi dekarbonisasi akan menimbulkan efek di setiap tahapan penerapannya (Ghisolfi et al., 2024). Adapun pada tahapan dekarbonisasi Indonesia saat ini yang berada dalam tahap transisi ke kendaraan bahan bakar alternatif menghadirkan tantangan signifikan bagi operator logistik jalan raya, termasuk kendala sosial-teknis, ekonomi, dan lingkungan (Neagoe et al., 2024).

Tantangan-tantangan lainnya ini mencakup masalah yang terkait dengan kendaraan dan kendaraan bahan bakar alternatif, infrastruktur distribusi bahan bakar, dan pembangkitan listrik energi terbarukan (Neagoe et al., 2024). Untuk mengatasi tantangan yang kompleks ini, diperlukan pendekatan secara holistik dengan mempertimbangkan berbagai faktor penentu yang dapat mempengaruhi intensitas karbon dioksida yang dilepas ke udara (Liimatainen, 2021). Aksi dekarbonisasi ini jika dilakukan bersama dengan kerangka kerja yang terintegrasi antara analisis akademis, industri dan pemerintah, maka transisi menuju masa depan yang bebas karbon bisa tercapai (Neagoe et al., 2024). Meskipun solusi teknologi seperti kendaraan bahan bakar alternatif dan teknologi baterai menjanjikan, implementasinya tetap mahal dan berisiko (Neagoe et al., 2024).

Peluang

Peluang kerjasama Indonesia untuk bergabung dengan AZEC sebagai forum terobosan dalam mengatasi emisi dan

perubahan iklim di Kawasan Asia Tenggara. AZEC merupakan bukti nyata dari kerjasama dan keberanian para negara di Asia tenggara yang berkomitmen dalam perubahan iklim. AZEC fokus pada sektor energi terbarukan dan sektor energi lainnya, untuk sektro transportasi AZEC melingkupi bahan bakar penerbangan berkelanjutan yang bisa dikembangkan untuk transportasi angkutan barang (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024). Komitmen kuat Indonesia untuk mengatasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi karbon salah satunya adalah penerapan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS). Kondisi Indonesia diuntungkan denengan formasi geologi yang dapat dimanfaatkan untuk menyimpan emisi karbon secara permanen dan lokasi Indonesia yang strategis di kawasan Asia Pasifik dapat menjadikan Indonesia sebagai regional hub CCS yang nanti kedepannya akan menarik peluang investasi, membuka lapangan pekerjaan dan mendukung pertumbuhan ekonomi dengan muncul nya proyek proyek CCS (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi RI, 2022). Peluang pembentukan asosiasi baru seperti Asosiasi Ahli Karbon Indonesia (ACEXI), Kolaborasi Indonesia *Carbon Care Initiatives* (ICCI) yang merupakan kolaborasi lima sektor utama yaitu akademik, bisnis, komunitas, pemerintah, komunitas dan media.

Para ahli berpendapat bahwa untuk menerapkan dekarbonisasi secara sukses di industri logistik membutuhkan penangan beberapa faktor pendorong yang saling terkait (Miklautsch & Woschank, 2022). Diantaranya, beberapa faktor penting yang menjadi kunci untuk memperbesar peluang kesuksesan dekarbonisasi, anatar lain: (1) dimulai dari sisi moda angkutan barang yaitu dengan melakukan upaya peningkatan daya muat kendaraan melalui proses optimasi dan kolaborasi; (2) peningkatan teknologi kendaraan dan bahan bakar; dan (3) peningkatan kepadatan nilai barang (Liimatainen, 2021).

Dekarbonisasi transportasi barang menghadirkan banyak peluang di berbagai moda. Dalam angkutan barang melalui jalan darat, berbagai strategi berkisar dari peningkatan teknologi kendaraan dan bahan bakar hingga pengoptimalan pemuatan kendaraan melalui kolaborasi (Liimatainen, 2021). Hidrogen bersih muncul sebagai solusi pelengkap elektrifikasi untuk angkutan barang melalui jalan darat, udara, air, dan kereta api, meskipun setiap segmen menghadapi tantangan yang unik (Feldmann et al., 2023). Dalam pengiriman peti kemas, digitalisasi dan dekarbonisasi merupakan tantangan penting, dengan peluang untuk menerapkan teknologi digital di seluruh segmen logistik dan mengeksplorasi berbagai jalur untuk sistem bahan bakar dan energi (Qiu et al., 2019). Secara keseluruhan, upaya dekarbonisasi dalam transportasi barang memerlukan pendekatan holistik, yang mengatasi hambatan teknologi, operasional, dan organisasi. Bidang ini beragam dan berkembang pesat, menawarkan banyak peluang penelitian untuk lebih mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan efisiensi di sektor angkutan barang. Tantangan dan peluang dekarbonisasi sektor angkutan barang dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Tantangan dan peluang dekarbonisasi angkutan barang (Qiu et al., 2019)(de Blas et al., 2020; Feldmann et al., 2023; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024; Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi RI, 2022; Liimatainen, 2021; Neagoe et al., 2024; Qiu et al., 2019)

Aspek	Tantangan	Peluang
Teknologi	- Kesenjangan teknologi dan infrastruktur kendaraan bahan bakar alternatif - Biaya tinggi untuk implementasi teknologi seperti kendaraan listrik dan baterai	- Peningkatan teknologi kendaraan ramah lingkungan, seperti kendaraan listrik dan hidrogen, dapat mengurangi emisi karbon - Digitalisasi dan penerapan teknologi baru dalam logistik dapat meningkatkan efisiensi
Ekonomi	- Investasi awal yang tinggi dan risiko ekonomi terkait transisi ke energi rendah karbon - Efek <i>rebound</i> yang mungkin mengurangi manfaat dari dekarbonisasi	- Peluang investasi di teknologi hijau dapat membuka lapangan kerja dan mendukung pertumbuhan ekonomi - Kerjasama internasional, seperti dengan Jepang dan AZEC, mendukung pengembangan energi terbarukan dan bahan bakar penerbangan berkelanjutan
Kebijakan	- Kurangnya integrasi kebijakan dan regulasi yang mendukung transisi energi di sektor logistik	- Dukungan dari kebijakan internasional, seperti CCS dan forum AZEC, yang berfokus pada pengurangan emisi karbon di sektor transportasi - Pembentukan asosiasi seperti ACEXI dan ICCI yang dapat mendorong kolaborasi antara berbagai sektor.
Infrastruktur	- Ketersediaan infrastruktur yang memadai untuk mendukung kendaraan bahan bakar alternatif masih terbatas - Ketergantungan pada bahan bakar fosil di sistem distribusi dan pembangkit listrik.	- Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan infrastruktur penyimpanan emisi karbon (CCS) yang dapat menarik investasi asing - Infrastruktur baru dapat dikembangkan melalui kolaborasi dan dukungan finansial internasional.
Operasional	- Tantangan operasional dalam transisi ke teknologi baru dan dampaknya pada logistik jalan raya - Optimalisasi pemuatan masih menghadapi kendala kolaborasi	- Optimalisasi pemuatan kendaraan dan kolaborasi dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya - Penggunaan hidrogen dan teknologi bahan bakar alternatif lainnya menciptakan peluang diversifikasi energi di transportasi

Aspek	Tantangan	Peluang
antar pemangku kepentingan.		

4. KESIMPULAN

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa dekarbonisasi transportasi barang di Indonesia sangat penting dalam upaya menjadikan negara ini sebagai penghasil emisi gas rumah kaca *net zero emission* pada tahun 2060 dan mendukung visi Indonesia Emas 2045. Tinjauan pustaka menunjukkan bahwa meskipun ada hambatan seperti biaya investasi yang tinggi, kurangnya infrastruktur, kesenjangan teknologi, ada peluang besar untuk menjadi ramah lingkungan melalui kendaraan listrik dan hidrogen serta memperluas kolaborasi internasional. Pendekatan kolaboratif seperti itu perlu melibatkan pemerintah, industri, dan masyarakat merupakan hal yang sangat penting dalam mengatasi kendala dan memanfaatkan peluang dekarbonisasi. Oleh karena itu, tujuan dekarbonisasi dapat dicapai dengan mengadaptasi strategi saat ini untuk mengelola transformasi sistem transportasi barang dan mendorong menjadi lebih berkelanjutan di masa depan. Upaya ini tidak hanya terkait dengan dampak positif terhadap lingkungan tetapi juga menciptakan peluang ekonomi dan meningkatkan standar hidup masyarakat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Universitas Pakuan yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- CNBC Indonesia. (2022, February 24). *Dekarbonisasi & Jurus Transisi Energi Pertamina Hulu Energi*. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220224105637-8-317914/dekarbonisasi-jurus-transisi-energi-pertamina-hulu-energi>
- Cullinane, K., & Yang, J. (2022). Evaluating the Costs of Decarbonizing the Shipping Industry: A Review of the Literature. In *Journal of Marine Science and Engineering* (Vol. 10, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/jmse10070946>
- de Blas, I., Mediavilla, M., Capellán-Pérez, I., & Duce, C. (2020). The limits of transport decarbonization under the current growth paradigm. *Energy Strategy Reviews*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100543>
- Demiridis, N., & Pyrgidis, C. (2022). Getting freight trains back on track—How railway undertakings, infrastructure owners and regulators can navigate the main dilemmas in freight business to drive sustainable growth. In *Frontiers in Sustainability* (Vol. 3). <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.903945>
- Ezinna, P. C., Nwanmuoh, E., & Ozumba, B. U. I. (2021). Decarbonization and sustainable development goal 13: a reflection of the maritime sector. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(2). <https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1949136>
- Feldmann, J., Byrum, Z., & Cyrs, T. (2023). Clean Hydrogen: Outlook for Freight Transport in the United States. *World Resources Institute*. <https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00155>
- Ghisolfi, V., Tavasszy, L. A., Rodriguez Correia, G. H. de A., Diniz Chaves, G. de L., & Ribeiro, G. M. (2024). Dynamics of freight transport decarbonisation: a conceptual model. *Journal of Simulation*, 18(2). <https://doi.org/10.1080/17477778.2022.2145243>
- Halim, R. A. (2023). Boosting intermodal rail for decarbonizing freight transport on Java, Indonesia: A model-based policy impact assessment. *Research in Transportation Business and Management*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100909>
- Indonesian Chamber of Commerce and Industry. (2024, August 12). *Industry's Role in Accelerating Decarbonisation*. <https://kadin.id/en/info-advokasi/peran-industri-dalam-mengakselerasi-dekarbonisasi/>
- IQAir. (2023). *Live most polluted major city ranking*. <https://www.iqair.com/id/>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024, May 22). *Indonesia Tekankan Urgensi Dekarbonisasi Sektor Transportasi*. <https://esdm.go.id/en/media-center/news-archives/indonesia-tekanan-urgensi-dekarbonisasi-sektor-transportasi>
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi RI. (2022, October 27). *Indonesia Bersama Denmark dan IMO Perkuat Kerja Sama Implementasikan Dekarbonisasi di Sektor Maritim*. <https://www.maritim.go.id/detail/indonesia-bersama-denmark-dan-imo-perkuat-kerja-sama-implementasikan-dekarbonisasi-di-sektor-maritim>
- Kompas. (2023, August 1). *Dekarbonisasi dan Perubahan Iklim*. https://t.search.yahoo.com/_ylt=AwrjYFmhjdFmmtADwxAL5gt.;_ylu=Y29sbwNncTEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1725038113/RO=10/RU=https%3a%2f%2flestari.kompas.com%2fread%2f2023%2f08%2f01%2f101842586%2fdekarbonisasi-dan-perubahan-iklim/RK=2/RS=ABq501JhnywSK7OYD.fJs4OQpjm-
- Liimatainen, H. (2021). Decarbonizing Road Freight Transport. In *International Encyclopedia of Transportation: Volume 1-7* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10277-5>
- Retno Utami. (2023, September 29). *Progres Dekarbonisasi Indonesia Sektor Transportasi*. <https://magister-sipil.teknik.unej.ac.id/progres-dekarbonisasi-indonesia-sektor-transportasi/>
- McKinnon, A. C. (2016). Freight Transport Deceleration: Its Possible Contribution to the Decarbonisation of Logistics. *Transport Reviews*, 36(4). <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1137992>
- Meyer, T. (2020). Decarbonizing road freight transportation – A bibliometric and network analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102619>
- Miklatsch, P., & Woschank, M. (2022). A framework of measures to mitigate greenhouse gas emissions in freight transport: Systematic literature review from a Manufacturer's perspective. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 366). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132883>
- Neagoe, M., Hvolby, H. H., Turner, P., Steger-Jensen, K., & Svensson, C. (2024). Road logistics decarbonization challenges. *Journal of Cleaner Production*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139979>
- Pupuk Indonesia. (2021, August). *Program Dekarbonisasi Pupuk Indonesia Group*. https://www.pupuk-indonesia.com/storage/660/6375a3fbc18ee_633a64401c0b8_Artikel-APPI_Program-Dekarbonisasi-PI_rev5.pdf
- Qiu, G., Song, R., & He, S. (2019). The aggravation of urban air quality deterioration due to urbanization, transportation and economic development – Panel models with marginal effect analyses across China. *Science of the Total Environment*, 651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.219>
- Siagian, U. W. R., & Dewi, R. G. (2021). Decarbonisation Strategies and Economic Opportunities in Indonesia. In *Transitioning to a Prosperous, Resilient and Carbon-Free Economy*. <https://doi.org/10.1017/9781316389553.014>
- Triani, M. (2023). Overview of the Decarbonization Options for the Electricity Sector: Opportunities and

- Challenges. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1248(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1248/1/012004>
- Wimbadi, R. W., & Djalante, R. (2020). From decarbonization to low carbon development and transition: A systematic literature review of the conceptualization of moving toward net-zero carbon dioxide emission (1995–2019). In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 256). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120307>
- World Resources Institute Indonesia. (2024, April 22). *Peran Penting Industri dan Faktor Pendorong dalam Upaya Bersama Menuju Nol Bersih* . <https://wri-indonesia.org/id/wawasan/dekarbonisasi-industri-katalisator-pencapaian-target-nol-bersih-indonesia>