



EFISIENSI ENERGI DAN EMISI KARBON TRANSPORTASI: STUDI KASUS RUTE JAKARTA–BANDUNG

ENERGY EFFICIENCY AND CARBON EMISSIONS OF TRANSPORTATION: A CASE STUDY OF THE JAKARTA–BANDUNG ROUTE

Dimas Pebri Kurniawan¹, Gamaliel K Jarek², Juandana Kawuladini Putra³

Universitas Doktor Nugroho Magetan

Email: gamalielkarek@udn.ac.id

Article Info

Article history :

Received : 24-09-2025

Revised : 25-09-2025

Accepted : 27-09-2025

Published : 29-09-2025

Abstract

Transportation plays a crucial role in socio-economic development, but it also contributes to high energy consumption and carbon emissions, particularly on the Jakarta–Bandung route. This quantitative study compares the energy efficiency and carbon emissions of the Jakarta–Bandung High-Speed Rail (WHOOSH), conventional trains, intercity buses, and private cars. Results show WHOOSH to be the most efficient, with energy consumption of approximately 27.5 kWh/km, a load factor of 65%, and emissions of 0.45–0.48 kWh/passenger-km. Despite its technical superiority, only 15–30% of users switch to traditional modes due to ticket prices, station locations, and limited connectivity. Recommendations include ticket subsidies, integration of intermediate modes, renewable energy transition, public education, and HSR network expansion to support sustainable transportation.

Keywords: *Sustainable Transportation, High-Speed Rail, Energy Efficiency*

Abstrak

Transportasi memegang peran penting dalam pembangunan sosial-ekonomi, namun juga menyumbang konsumsi energi dan emisi karbon tinggi, terutama pada rute Jakarta–Bandung. Penelitian kuantitatif ini membandingkan efisiensi energi dan emisi karbon Kereta Cepat Jakarta–Bandung (WHOOSH), kereta konvensional, bus AKAP, dan mobil pribadi. Hasil menunjukkan WHOOSH paling efisien, dengan konsumsi energi ±27,5 kWh/km, load factor 65%, dan emisi 0,45–0,48 kWh/penumpang-km. Meski teknis unggul, hanya 15–30% pengguna moda lama beralih karena harga tiket, lokasi stasiun, dan keterbatasan konektivitas. Rekomendasi mencakup subsidi tiket, integrasi moda lanjutan, transisi energi terbarukan, edukasi publik, dan ekspansi jaringan HSR untuk mendukung transportasi berkelanjutan.

Kata Kunci: *Transportasi Berkelanjutan, Kereta Cepat, Efisiensi Energi*

PENDAHULUAN

Transportasi adalah sektor yang sangat vital dalam mendukung pembangunan sosial dan ekonomi. Selain berfungsi sebagai penghubung antara berbagai wilayah, transportasi juga mempengaruhi aktivitas ekonomi, mobilitas manusia, distribusi barang, serta kualitas hidup masyarakat. Dalam banyak hal, sektor transportasi menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi karena memungkinkan efisiensi distribusi barang, jasa, dan tenaga kerja. Namun, di sisi lain, sektor ini juga berkontribusi besar terhadap konsumsi energi global dan emisi karbon, yang semakin memperburuk masalah perubahan iklim (Aneta et al., 2018). Fenomena ini semakin jelas di Indonesia, di mana pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat telah memicu peningkatan jumlah kendaraan pribadi serta penggunaan transportasi jalan raya yang lebih intensif, yang pada gilirannya menambah konsumsi energi fosil dan meningkatkan polusi udara (Sugianto, 2020; Salim,



2000). Meskipun transportasi tetap menjadi kebutuhan dasar untuk mendukung mobilitas dan perekonomian, tantangan besar muncul terkait dengan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh moda transportasi yang ada.

Indonesia, sebagai negara dengan populasi yang terus berkembang, menghadapi tantangan besar dalam menyediakan sistem transportasi yang efisien dan ramah lingkungan. Peningkatan jumlah kendaraan pribadi dan pengguna transportasi umum yang berjumlah besar memunculkan masalah kemacetan, peningkatan konsumsi energi, dan pencemaran udara. Dampak ini semakin terasa di daerah urban yang padat, di mana transportasi jalan raya menjadi salah satu kontributor utama terhadap emisi karbon dan polusi udara. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan transportasi yang berkelanjutan yang dapat menanggulangi masalah ini tanpa mengorbankan kebutuhan ekonomi dan sosial (Indra Satria, Mukri, & Djamil, 2022). Transportasi berkelanjutan bertujuan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui solusi yang efisien, terjangkau, dan ramah lingkungan.

Seiring dengan kebutuhan akan transportasi yang lebih berkelanjutan, teknologi dan inovasi baru di sektor transportasi mulai dikembangkan. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah transportasi berbasis rel, seperti kereta api, yang telah terbukti lebih efisien dalam hal konsumsi energi dan emisi karbon dibandingkan dengan moda transportasi lainnya (Santos, 2014; Aplonia Lau, 2023). Kereta api listrik, khususnya, mengandalkan sumber daya energi yang lebih terbarukan, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya pengurangan jejak karbon, penggunaan kereta api berbasis listrik sebagai moda transportasi utama di kota-kota besar menjadi semakin relevan. Hal ini juga berhubungan dengan upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, yang menjadi salah satu penyebab utama pemanasan global (Santos, 2014).

Efisiensi energi dalam transportasi menjadi aspek kunci dalam upaya mencapainya. Efisiensi energi transportasi tidak hanya berkaitan dengan pengurangan konsumsi bahan bakar, tetapi juga dengan pengoptimalan penggunaan energi yang dapat mengurangi emisi karbon. Misalnya, kereta api listrik menggunakan energi yang lebih terbarukan dan efisien dibandingkan dengan kendaraan bermotor yang mengandalkan bahan bakar fosil. Kereta api juga memiliki keunggulan dalam kapasitas angkut yang lebih besar, yang memungkinkan lebih banyak orang atau barang untuk dipindahkan dengan jumlah energi yang lebih sedikit per orang atau per barang yang diangkut (Santos, 2014; Pradhan & Mohanty, 2018). Ini menjadikannya sebagai pilihan transportasi yang lebih ramah lingkungan, terutama di kota-kota besar dengan tingkat mobilitas yang sangat tinggi.

Namun, meskipun transportasi berbasis rel menawarkan banyak keunggulan, penting juga untuk mempertimbangkan emisi karbon yang ditimbulkan oleh moda transportasi tersebut. Pembakaran bahan bakar fosil dalam kendaraan bermotor, termasuk bus dan mobil pribadi, menghasilkan CO₂, yang menjadi salah satu kontributor terbesar terhadap perubahan iklim global. Misalnya, perjalanan Jakarta-Bandung dengan menggunakan mobil pribadi menghasilkan sekitar 140 gram CO₂ per penumpang-kilometer, sedangkan kereta listrik hanya menghasilkan 40 hingga 50 gram CO₂ per penumpang-kilometer. Ini menunjukkan bahwa peralihan ke moda transportasi



berbasis rel dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon (Creutzig et al., 2015; Nugroho et al., 2022).

Rute Jakarta–Bandung menjadi contoh yang relevan dalam membahas tantangan dan solusi transportasi berkelanjutan di Indonesia. Jalur ini merupakan salah satu rute transportasi darat tersibuk di Indonesia, menghubungkan dua kota metropolitan dengan tingkat mobilitas yang tinggi. Dengan waktu tempuh yang lama menggunakan mobil pribadi atau bus, pengembangan Kereta Cepat Jakarta–Bandung (WHOOSH) bertujuan untuk mempersingkat waktu perjalanan secara signifikan. Meski demikian, selain kecepatan, harga tiket juga menjadi pertimbangan penting bagi penumpang dalam memilih moda transportasi. Survei yang dilakukan menunjukkan bahwa meskipun kereta cepat dapat menghemat waktu perjalanan, harga tiket tetap menjadi faktor yang mempengaruhi keputusan penumpang untuk berpindah moda (Rahmatunnisa, Utami, & Nurhidayat, 2021). Hal ini menggarisbawahi pentingnya kebijakan harga yang kompetitif untuk mendorong peralihan ke transportasi massal seperti kereta cepat.

Dibandingkan dengan bus AKAP dan mobil pribadi, Kereta Cepat Jakarta–Bandung terbukti lebih efisien dalam konsumsi energi dan lebih rendah emisinya (Isra, 2022). Preferensi masyarakat terhadap moda transportasi ini juga menunjukkan adanya pertimbangan kuat terhadap efisiensi waktu. Meskipun harga tiket lebih mahal, kecepatan yang lebih tinggi menjadi daya tarik utama, apalagi jika dibandingkan dengan moda transportasi lain yang lebih lambat. Sebagai contoh, meskipun harga tiket kereta cepat lebih tinggi, mayoritas penumpang bersedia untuk berpindah jika waktu perjalanan lebih singkat, yang mencerminkan pentingnya kecepatan dalam memilih moda transportasi, meskipun faktor biaya tetap menjadi pertimbangan utama (Isra, 2022).

Pemerintah Indonesia juga telah mengimplementasikan kebijakan untuk mendukung pengembangan transportasi berkelanjutan melalui regulasi yang mendorong penggunaan moda transportasi massal rendah emisi, seperti kereta api. Kebijakan ini bertujuan untuk mengurangi emisi karbon, melindungi lingkungan, dan mendukung penggunaan energi terbarukan (Hakim & Hanif, 2023). Transportasi berkelanjutan tidak hanya akan berkontribusi pada pengurangan polusi udara tetapi juga membantu dalam mencapai target net-zero emission yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam upaya mitigasi perubahan iklim (Silaban, 2023; Astuti et al., 2024). Dalam konteks ini, penerapan teknologi bersih, energi terbarukan, dan pengembangan transportasi umum yang ramah lingkungan menjadi kunci utama dalam mengurangi jejak karbon dan menciptakan kota yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini berfokus pada potensi kereta api—terutama yang berbasis listrik dengan dukungan energi terbarukan—sebagai moda transportasi efisien dan rendah emisi. Dengan mengacu pada studi kasus rute Jakarta–Bandung, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan efisiensi energi dan emisi karbon antara Kereta Cepat WHOOSH, kereta konvensional, bus AKAP, dan mobil pribadi. Penelitian ini berharap dapat memberikan masukan yang konstruktif untuk kebijakan transportasi berkelanjutan di Indonesia, yang tidak hanya mendukung efisiensi transportasi tetapi juga berperan aktif dalam upaya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif dan komparatif untuk menganalisis efisiensi energi dan emisi karbon moda transportasi rute Jakarta–Bandung,



meliputi Kereta Cepat WHOOSH, Kereta Argo Parahyangan, Bus AKAP, dan kendaraan pribadi. Data diperoleh secara primer dan sekunder melalui dokumen resmi dari PT KCIC, PT KAI, Kemenhub, BPS, ESDM, serta kajian akademik terkait. Analisis dilakukan dengan menghitung konsumsi energi per kilometer dan per penumpang-kilometer serta emisi CO₂/CO_{2e}, menggunakan instrumen seperti kalkulator emisi karbon, lembar coding data sekunder, dan model analisis Life Cycle (LCA) sederhana untuk menilai dampak langsung maupun tidak langsung dari tiap moda transportasi. Validasi data dilakukan dengan membandingkan berbagai sumber, memastikan akurasi, konsistensi, dan kredibilitas data yang digunakan.

Pengolahan data dilakukan secara kuantitatif melalui klasifikasi, tabulasi, dan konversi satuan energi dan emisi untuk menghitung efisiensi energi (MJ/penumpang-km) dan emisi karbon (g CO₂/penumpang-km). Analisis komparatif menilai perbandingan performa antar moda, termasuk simulasi pengalihan moda (mode shift) untuk memperkirakan potensi pengurangan emisi jika pengguna beralih ke moda lebih efisien. Hasil penelitian disajikan secara deskriptif dan grafis untuk mempermudah interpretasi, sekaligus menjadi dasar rekomendasi kebijakan transportasi rendah karbon dan pengembangan sistem transportasi berkelanjutan di Indonesia.

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa **Kereta Cepat Jakarta–Bandung (WHOOSH)** menempati posisi unggul dalam hal **efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon** dibandingkan dengan moda transportasi darat lainnya pada koridor strategis Jakarta–Bandung. Berdasarkan perhitungan teknis, WHOOSH mencatat konsumsi energi rata-rata ±27,5 kWh/km dengan kapasitas 601 penumpang dan *load factor* sekitar 65%, sehingga menghasilkan efisiensi energi per penumpang-km pada kisaran 0,45–0,48 kWh. Keunggulan ini diperkuat oleh waktu tempuh yang hanya 40 menit serta basis energi listrik, yang walaupun masih bergantung pada bauran PLN, tetap memberikan performa rendah emisi. Dengan proyeksi transisi energi ke sumber terbarukan, WHOOSH memiliki potensi untuk menjadi moda paling ramah lingkungan di Indonesia (Sugianto, 2020; Nugroho et al., 2022).

TABEL 1 : ASPEL PEMBANING KERETA API CEPAT-MODA LAINNYA

Aspek	Kereta Cepat Jakarta–Bandung (WHOOSH)	Moda Transportasi Darat Lainnya
Konsumsi Energi Rata-rata	±27,5 kWh/km	Lebih tinggi (tergantung moda: bus, mobil pribadi)
Kapasitas Penumpang	601 penumpang	Bervariasi; umumnya lebih rendah per unit kendaraan
Load Factor	±65%	Umumnya lebih rendah; fluktuatif
Efisiensi Energi per Penumpang-km	0,45–0,48 kWh	Lebih tinggi (lebih boros energi)
Waktu Tempuh Jakarta–Bandung	±40 menit	2–3 jam (tergantung lalu lintas)
Basis Energi	Listrik (PLN, dengan potensi transisi ke energi terbarukan)	Bahan bakar fosil (BBM)
Emisi Karbon	Rendah; berpotensi lebih rendah lagi dengan energi terbarukan	Tinggi; tergantung jenis kendaraan dan bahan bakar



Keunggulan Utama	Efisiensi energi tinggi, cepat, rendah emisi	Fleksibilitas rute, tersebar luas, namun boros energi dan tinggi emisi
-------------------------	----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

Sebaliknya, moda konvensional seperti **KA Argo Parahyangan** yang masih berbasis diesel-elektrik membutuhkan konsumsi energi $\pm 2,5$ liter/km (setara ± 355 liter per perjalanan), dengan efisiensi energi per penumpang-km sebesar 0,58–0,62 liter, serta waktu tempuh sekitar 3 jam. Bus AKAP dan mobil pribadi bahkan menunjukkan kinerja yang lebih rendah, baik dari sisi konsumsi energi maupun emisi karbon, karena keterbatasan kapasitas, *load factor* yang cenderung rendah, serta ketergantungan penuh pada bahan bakar fosil (Isra, 2022; Zahir, 2023).

TABEL 2 Moda Konvensional KA Argo Parahyangan

Moda Transportasi	Konsumsi Energi	Efisiensi Energi (per penumpang-km)	Waktu Tempuh	Emisi Karbon	Keterangan
Kereta Cepat (WHOOSH)	$\sim 0,35-0,5$ MJ/penumpang-km	20–40 g CO ₂ /penumpang-km	$\sim 36-44$ menit	Rendah (jika menggunakan listrik bersih)	Moda transportasi paling efisien dan ramah lingkungan
Kereta Api Konvensional (Argo Parahyangan)	$\pm 2,5$ liter/km ($\sim 0,58-0,62$ liter/penumpang-km)	0,58–0,62 liter/penumpang-km	~ 3 jam	Sedang (masih berbasis diesel-elektrik)	Lebih rendah efisiensinya dibanding kereta cepat
Bus AKAP	$\pm 1,2-1,5$ MJ/penumpang-km	80–100 g CO ₂ /penumpang-km	$\sim 3-4$ jam	Sedang (tergantung kapasitas dan jenis bahan bakar)	Memiliki kapasitas besar, namun efisiensi rendah
Mobil Pribadi	$\sim 2,0-3,0$ MJ/penumpang-km	140–200 g CO ₂ /penumpang-km	$\sim 2,5-3$ jam	Tinggi (tergantung jenis bahan bakar)	Konsumsi energi dan emisi tertinggi per penumpang

Keterangan:

1. **Konsumsi Energi** mengacu pada jumlah energi yang digunakan per kilometer untuk mengangkut penumpang atau barang.
2. **Efisiensi Energi** menunjukkan jumlah energi yang digunakan per penumpang per kilometer dan menggambarkan efisiensi moda transportasi.
3. **Emisi Karbon** diukur dalam gram CO₂ per penumpang per kilometer, yang mencerminkan dampak lingkungan dari masing-masing moda transportasi.



4. **Waktu Tempuh** adalah estimasi waktu perjalanan antar Jakarta dan Bandung untuk masing-masing moda transportasi.

Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa **Kereta Cepat (WHOOSH)** memiliki konsumsi energi dan emisi karbon yang paling rendah, menjadikannya moda transportasi yang paling efisien dan ramah lingkungan. Sebaliknya, **mobil pribadi** dan **bus AKAP** menunjukkan kinerja yang lebih rendah, baik dalam efisiensi energi maupun dalam emisi karbon, karena ketergantungan pada bahan bakar fosil dan kapasitas yang lebih rendah. **Kereta Api Konvensional (Argo Parahyangan)**, meskipun lebih efisien dibandingkan bus dan mobil pribadi, masih memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan kereta cepat.

Analisis **konteks makro** memperkuat temuan ini. Data Kemenhub, ESDM, dan BPS menunjukkan bahwa transportasi darat menyumbang sekitar **89% dari total emisi sektor transportasi nasional**, sedangkan kontribusi moda rel masih relatif kecil namun strategis dalam peralihan menuju sistem transportasi rendah karbon (Hakim & Hanif, 2023; Astuti et al., 2024). Variabel *load factor* terbukti menjadi faktor penentu utama efisiensi energi, di mana moda massal seperti WHOOSH dan Argo Parahyangan secara konsisten menunjukkan performa lebih baik dibandingkan moda individual seperti mobil pribadi (Madonna, 2016; Pradhan & Mohanty, 2018).

Berikut adalah **tabel analisis sumbangan emisi** berdasarkan data dari Kementerian Perhubungan (Kemenhub), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), dan Badan Pusat Statistik (BPS), yang menggambarkan kontribusi masing-masing moda transportasi terhadap emisi sektor transportasi nasional:

TABEL 3 Sumbangan Emisi

Moda Transportasi	Sumbangan Emisi (%)	Keterangan
Transportasi Darat (Secara Total)	89%	Dominasi transportasi darat dalam sektor transportasi nasional, sebagian besar disumbang oleh kendaraan pribadi, bus, dan truk. (Hakim & Hanif, 2023)
Moda Rel (Kereta Api)	Relatif kecil (Namun Strategis)	Kontribusi moda rel terhadap emisi sektor transportasi masih kecil, tetapi sangat strategis dalam peralihan menuju sistem transportasi rendah karbon. (Astuti et al., 2024)
Kereta Cepat (WHOOSH)	Rendah	Dengan efisiensi energi yang tinggi dan emisi karbon rendah, WHOOSH berpotensi mengurangi total emisi sektor transportasi di masa depan.
Kereta Api Konvensional (Argo Parahyangan)	Sedang	Meskipun berbasis diesel-elektrik, kereta api konvensional seperti Argo Parahyangan lebih efisien dibandingkan dengan kendaraan pribadi atau bus dalam hal konsumsi energi dan emisi karbon.
Mobil Pribadi	Tinggi	Sebagai moda transportasi individual, mobil pribadi memiliki konsumsi energi dan emisi yang tinggi per penumpang



		dibandingkan dengan moda massal seperti kereta api.
Bus AKAP	Sedang	Bus AKAP lebih efisien dibandingkan mobil pribadi, namun masih memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan kereta api atau moda transportasi cepat lainnya.

Keterangan:

1. **Transportasi Darat** berkontribusi sangat besar terhadap emisi sektor transportasi nasional, dengan kendaraan pribadi menjadi penyumbang utama (89%). Hal ini menunjukkan bahwa untuk mencapai target pengurangan emisi, pengurangan ketergantungan pada kendaraan pribadi sangat penting.
2. **Moda Rel**, meskipun kontribusinya masih relatif kecil, memiliki potensi strategis untuk mendukung sistem transportasi rendah karbon. Peningkatan kapasitas dan penggunaan moda rel seperti **kereta cepat** dan **kereta api konvensional** akan sangat penting dalam mengurangi total emisi nasional.
3. **Kereta Cepat (WHOOSH)** menunjukkan potensi besar untuk mengurangi emisi dengan efisiensi yang tinggi, baik dalam hal energi maupun emisi karbon.
4. **Kereta Api Konvensional** seperti **Argo Parahyangan** memiliki efisiensi energi yang lebih baik daripada moda transportasi darat lainnya, meskipun tidak seefisien kereta cepat yang berbasis listrik.
5. **Mobil Pribadi** tetap menjadi moda yang paling boros energi dan berkontribusi besar terhadap emisi, sementara **bus AKAP** meskipun lebih efisien daripada mobil pribadi, masih tidak sebanding dengan efisiensi yang ditawarkan oleh moda rel.

Berdasarkan analisis ini, **load factor** atau kapasitas angkut moda transportasi menjadi faktor penting dalam menentukan efisiensi energi dan emisi karbon. Moda massal seperti **WHOOSH** dan **Argo Parahyangan** cenderung menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan moda transportasi individual seperti **mobil pribadi**, karena memiliki kapasitas yang lebih besar dengan konsumsi energi yang lebih rendah per penumpang (Madonna, 2016; Pradhan & Mohanty, 2018).

Secara statistik, penelitian ini memperlihatkan bahwa **efisiensi energi WHOOSH mencapai 598,29 pkm/unit**, dengan nilai *t-test* > 60 dan signifikansi *p* < 0,05, yang menegaskan adanya perbedaan signifikan antara WHOOSH dan moda lain. Uji *ANOVA* (Uji F) juga mendukung perbedaan antar kelompok moda secara simultan. Temuan ini sejalan dengan literatur internasional yang menegaskan bahwa **high-speed rail (HSR)** merupakan katalis dekarbonisasi transportasi darat, sebagaimana terjadi di Jepang (Shinkansen), Tiongkok, dan Prancis (TGV) (Creutzig et al., 2015; Santos, 2014).



TABEL 4 Efisiensi Energi WHOOSH

Parameter	WHOOSH	Moda Lain	Analisis Statistik	Signifikansi	Referensi
Efisiensi Energi (pkm/unit)	598,29	—	t-test > 60	p < 0,05	Creutzig et al., 2015; Santos, 2014
Perbedaan antar moda	—	—	Uji ANOVA (F)	Mendukung perbedaan signifikan antar kelompok	Creutzig et al., 2015; Santos, 2014
Kesimpulan	WHOOSH lebih efisien secara signifikan dibanding moda lain	—	—	—	High-speed rail mendukung dekarbonisasi transportasi darat (Jepang, Tiongkok, Prancis)

Namun, penelitian ini juga menemukan adanya **kesenjangan antara keunggulan teknis WHOOSH dan realisasi sosial-ekonomi**. Analisis *mode shift* menunjukkan bahwa hanya 15–30% pengguna mobil, bus, dan Argo berpindah ke WHOOSH, sedangkan 30–40% lainnya tetap menggunakan moda lama. Faktor penghambat utama adalah harga tiket yang relatif tinggi, lokasi stasiun yang kurang terintegrasi dengan pusat aktivitas kota, serta keterbatasan moda lanjutan untuk mendukung *first mile–last mile connectivity* (Rahmatunnisa et al., 2021; Septiawan, 2019). Hal ini menegaskan bahwa keberhasilan WHOOSH tidak cukup hanya pada aspek teknis, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kebijakan integrasi multimoda dan subsidi tarif demi meningkatkan inklusivitas.

TABEL 5 kesenjangan antara keunggulan teknis WHOOSH dan realisasi sosial-ekonomi.

Parameter	Temuan Penelitian	Persentase / Data	Analisis / Faktor
Mode Shift Pengguna	Pindah dari mobil, bus, Argo ke WHOOSH	15–30%	Pengguna berpindah relatif rendah
Pengguna tetap moda lama	—	30–40%	Pengguna tetap menggunakan moda lama
Faktor Penghambat	Harga tiket tinggi	—	Ekonomi
Faktor Penghambat	Lokasi stasiun kurang terintegrasi	—	Urban planning / aksesibilitas
Faktor Penghambat	Keterbatasan moda lanjutan (first mile–last mile)	—	Konektivitas transportasi multimoda
Kesimpulan	Keberhasilan WHOOSH dipengaruhi aspek teknis dan sosial-ekonomi	—	Perlu kebijakan integrasi multimoda dan subsidi tarif

Dari dimensi lingkungan, keberlanjutan WHOOSH erat kaitannya dengan **bauran energi nasional**. Dengan *Grid Emission Factor (GEF)* sekitar 0,85 kg CO₂e/kWh, jejak karbon WHOOSH memang lebih rendah daripada moda berbahan bakar fosil, namun manfaat lingkungan yang



signifikan baru akan tercapai jika elektrifikasi transportasi sejalan dengan peningkatan porsi energi terbarukan (IEA, 2022). Dengan demikian, terdapat keterkaitan langsung antara **kebijakan energi** dan **kebijakan transportasi** dalam upaya dekarbonisasi nasional.

Dari segi metodologi, penelitian ini menggunakan **triangulasi sumber data**, meliputi karya akademik (tesis 25%, jurnal 45%, prosiding 15%, riset institusi 15%), survei BPS, laporan Litbang Kemenhub, riset NGO, serta survei lapangan lokal. Pendekatan ini memberikan keandalan data yang tinggi dan memungkinkan analisis komprehensif, mencakup dimensi teknis, kebijakan, dan sosial.

Implikasi Kebijakan

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan lima strategi utama:

1. **Subsidi tiket WHOOSH** untuk menurunkan hambatan harga dan memperluas basis pengguna.
2. **Integrasi moda lanjutan** (MRT, LRT, BRT, dan angkutan feeder) guna memperkuat aksesibilitas stasiun.
3. **Percepatan transisi energi terbarukan** agar emisi WHOOSH semakin minimal.
4. **Promosi publik dan edukasi lingkungan**, menekankan manfaat WHOOSH bukan hanya dari sisi kecepatan, tetapi juga kontribusi pada dekarbonisasi.
5. **Ekspansi jaringan HSR** (misalnya perpanjangan rute hingga Surabaya) untuk menciptakan dampak sistemik dalam pergeseran moda transportasi di Jawa.

KESIMPULAN

Kesimpulan Umum

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa **WHOOSH** bukan sekadar proyek infrastruktur transportasi, melainkan instrumen strategis yang berada pada titik temu antara teknologi, energi, kebijakan, dan perilaku masyarakat. Keunggulan dalam menekan emisi karbon hanya dapat tercapai apabila terdapat sinkronisasi antara efisiensi teknis, inklusivitas sosial-ekonomi, dan kebijakan energi–transportasi. Dengan integrasi yang tepat, WHOOSH berpotensi menjadi model transportasi berkelanjutan di Indonesia sekaligus studi kasus global tentang bagaimana negara berkembang mengadopsi kereta cepat (HSR) dalam agenda dekarbonisasi nasional (Silaban, 2023; Novita, 2022; Sofaniadi et al., 2022).

Kesimpulan Temuan

1. **Keunggulan Teknis**
2. WHOOSH terbukti paling efisien dalam konsumsi energi dan emisi karbon dibandingkan moda transportasi darat lain. Waktu tempuh ± 40 menit dengan *load factor* sekitar 65% menunjukkan kinerja teknis yang kompetitif.
3. **Kesenjangan Sosial–Ekonomi**

Tingkat peralihan pengguna dari moda transportasi lama hanya sekitar 15–30%. Hambatan utama mencakup harga tiket yang relatif tinggi, lokasi stasiun yang kurang terintegrasi dengan pusat kota, serta keterbatasan moda lanjutan (*last mile connectivity*).



4. Potensi Lingkungan

WHOOSH memiliki jejak karbon rendah sehingga berpotensi besar mendukung target dekarbonisasi nasional. Namun, manfaat lingkungan yang optimal hanya dapat dicapai bila pasokan energi terbarukan ditingkatkan secara signifikan.

5. Implikasi Strategis

WHOOSH berpeluang mengurangi ketergantungan masyarakat pada kendaraan pribadi dan menjadi model transportasi berkelanjutan Indonesia. Hal ini membutuhkan kebijakan tarif yang inklusif, peningkatan integrasi multimoda, dan dukungan konsisten dari kebijakan energi-transportasi nasional.

Saran

1. Subsidi tiket untuk meningkatkan adopsi.
2. Integrasi moda lanjutan (MRT, LRT, BRT, feeder) untuk first mile–last mile connectivity.
3. Percepatan transisi energi terbarukan untuk mengurangi emisi.
4. Edukasi publik mengenai manfaat WHOOSH untuk dekarbonisasi dan efisiensi waktu.
5. Ekspansi jaringan HSR untuk dampak sistemik dalam pergeseran moda transportasi.

Rekomendasi

1. Memasukkan HSR dalam rencana transportasi berkelanjutan nasional.
2. Meningkatkan kapasitas stasiun dan aksesibilitas.
3. Memantau konsumsi energi, load factor, dan emisi secara periodik.
4. Mendorong penelitian lanjutan terkait perilaku penumpang dan teknologi rendah emisi.

Inti: WHOOSH adalah instrumen strategis di persimpangan teknologi, energi, kebijakan, dan perilaku sosial-ekonomi yang berpotensi menjadi model global dekarbonisasi transportasi jika didukung kebijakan inklusif dan transisi energi bersih.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. Makhrus, Tri Hariyati, Meli Yudestia Pratiwi, and Siti Afifah. 2022. “Metodologi Penelitian Kuantitatif Dan Penerapannya Dalam Penelitian.” *Education Journal* 2(2): 1–6.
- Aplonia Lau, Elfreda. 2023. “Efektivitas Dan Efisiensi Melalui Pemanfaatan Runout Time(Rot) Method.” *Jurnal Exchal* 5(1): 1–11.
- Astuti, Sevia Dwi, Maulana Ikhsan Yazid, Surya Alam, Dafa Arga Narendra, and Nicholas Dwinovan. 2024. “Transportasi Berkelanjutan Dalam Mengatasi Perubahan Iklim.” 1(1): 1–12.
- Berkelanjutan, Transportasi, D I Perkotaan, and Analisis Dan. 2023. “Transportasi Berkelanjutan Di Perkotaan: Analisis Dan Perancangan Sistem Eco Move Berbasis Android.” (November): 7–8.
- Biomantara, K, and H Herdiansyah. 2019. “Peran Kereta Api Indonesia (KAI) Sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan.” *Cakrawala* 19(1): 1–8.
- Budi Karya Sumadi. “LAPORAN KINERJA KEMENTERIAN PERHUBUNGAN TAHUN 2023.”



- Canra, Dahlia, Arbain Tata, and Ichsan Rauf. 2022. "ANALISIS KEMAMPUAN DAN KEMAMPUAN MEMBAYAR TARIF PADA PENGGUNA JASA MODA TRANSPORTASI KAPAL LAUT (Studi Kasus : Rute Ternate-Sanana)." *Jurnal Ilmiah MITSU* 10(2): 123–28. doi:10.24929/ft.v10i2.1867.
- Dewi, Rosmala. 2021. "Pengaruh Kemampuan Kerja, Motivasi Dan Pengembangan Karier Terhadap Kinerja Karyawan PT. Bina Buana Semesta." *JEBI) Jurnal Ekonomi Bisnis Indonesia* 16(1): 19–25.
- Firmansyah, Deri, and Dede. 2022. "Teknik Pengambilan Sampel Umum Dalam Metodologi." *Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik (JIPH)* 1(2): 85–114.
- Hakim, Muhammad Lukman, and Nita Aribah Hanif. 2023. "ANALISIS TRANSPORTASI BERKELANJUTAN DI ASIA TENGGARA: STUDI LITERATUR DAN BIBLIOMETRICS." 9(1): 22–35.
- Hermina, Dina, and Nuril Huda. 2024. "Memahami Populasi Dan Sampel : Pilar Utama Dalam Penelitian Kuantitatif." 5(12): 5937–48.
- Ii, B A B, and Tinjauan Pustaka. 2019. "No Title." : 8–18.
- Kurniawan, Deden, Edi Sutoyo, and Budi Hartono. 2020. "Analisa Energi Impak Pada Biji Melinjo Dengan Menggunakan Alat Press Primover Compressed Air System." *Jurnal ALMIKANIK* 2(3): 106–12.
- Madonna, Sandra. 2016. "EFISIENSI ENERGI MELALUI PENGHEMATAN PENGGUNAAN AIR (Studi Kasus: Institusi Pendidikan Tinggi Universitas Bakrie)." *Jurnal Teknik Sipil* 12(4): 267–74. doi:10.24002/jts.v12i4.635.
- Mayasari, Riana, Jovan Febriantoko, Fernando Africano, and Mesa Loressa. 2021. "Efisiensi Dan Efektivitas Belanja Langsung Pada Balai Bahasa Provinsi Sumatera Selatan." *Balance : Jurnal Akuntansi dan Bisnis* 6(2): 180. doi:10.32502/jab.v6i2.4172.
- Novita, Dwi. 2022. "Analisis Permasalahan Transportasi Berkelanjutan Di Kota Metropolitan Surabaya : Studi Kasus Perkotaan Padat Penduduk." *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi dan Logistik* 8(1): 53. doi:10.54324/j.mbt.v8i1.1251.
- Rahmatunnisa, Syifa Nurhaliza, Adita Utami, and Asep Yayat Nurhidayat. 2021. "Probabilitas Perpindahan Penumpang Transportasi Massal Berbasis Rel (Studi Kasus Kereta Api Argo Parahyangan Terhadap Kereta Cepat Jakarta – Bandung)." 04(September): 91–96.
- Salim, Indra Putra, Manlian Ronald A Simanjuntak, and Hendrik Sulistio. 2022. "PROYEK PERKERETAAPIAN (Studi Kasus Proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung)." : 1–20.
- Sofaniadi, Safrinal, Miftahul Huda, and Fajar Hartawan. 2022. "Transportasi Berkelanjutan Dan Pengaruhnya Terhadap Pengurangan Emisi Di Kota Semarang." 16(1): 81–89.
- Sulistiyowati, Wiwik. 2017. "Buku Ajar Statistika Dasar." *Buku Ajar Statistika Dasar* 14(1): 15–31. doi:10.21070/2017/978-979-3401-73-7.
- Suriani, Nidia, Risnita, and M. Syahran Jailani. 2023. "Konsep Populasi Dan Sampling Serta Pemilihan Partisipan Ditinjau Dari Penelitian Ilmiah Pendidikan." *Jurnal IHSAN : Jurnal Pendidikan Islam* 1(2): 24–36. doi:10.61104/ihsan.v1i2.55.
- Wibowo, Candra Ari, Fajar Ramadhan, Trisnanda Putra, and Liefki Azizan Rudfi. 2024. "Analisis Perbandingan Transportasi Publik Rail Based Transportation Di Thailand Dan Indonesia Kepemilikan Kereta, Operator, Kapasitas Kereta, Dan Penumpang Harian Yang HASIL DAN PEMBAHASAN Perbandingan Mass Rapid Transit (MRT) Jakarta Dan Bangkok." 10(1): 67–79.



Widyawati, Nur, Dora Merciana, and Meyti Hanna Ester Kalangi. 2020. “Moda Transportasi Darat Dan Kualitas Layanan Jasa Terhadap Kelancaran Arus Container Di Depo.” *Jurnal Baruna Horizon* 3(2): 230–41. doi:10.52310/jbhorizon.v3i2.43.