

Analisis Jejak Karbon Aktivitas Ekonomi Berbasis Platform Digital di Negara Berkembang

Muhammad Faizul^{*a,1}, Rani Fadhalia^{a,2}, Riska Marta Hukmi^{a,3}

^aProgram Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

*Corresponding author : m.faizul24@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history Received: 08 October 2025 Revised: 22 October 2025 Accepted: 15 December 2025 Published: 23 December 2025	<p>The expansion of digital platform-based economic activities has become a major driver of economic growth in developing countries. However, their environmental implications, particularly in relation to carbon footprints, remain complex. This study aims to analyze the carbon footprint of digital platform-based economic activities in developing countries by examining the roles of information and communication technology infrastructure, data-intensive digital activities, platform-based transportation, and the dynamics of the digital economy and the gig economy. This study employs a quantitative approach using a cross-country empirical design based on panel data. The analysis examines the relationship between digital economy intensity and carbon emissions and identifies the mechanisms influencing this relationship. The results indicate that at early stages of digital economy development, increased platform-based activity is associated with higher carbon emissions due to rising energy consumption in digital infrastructure and transportation sectors. However, at more advanced levels of digitalization, platform-based economic activities have the potential to reduce carbon emission intensity through efficiency gains, technological innovation, and optimization of economic processes. These findings demonstrate that the environmental impact of the digital economy is conditional and strongly influenced by energy structures, infrastructure quality, and policy frameworks in developing countries. This study contributes by proposing an integrated analytical framework to understand the relationship between the platform economy and carbon footprints. The policy implications emphasize the importance of integrating digital economic development with energy transition strategies and low-carbon development pathways to ensure long-term environmental sustainability.</p>
Keywords carbon footprint digital economy digital platforms developing countries environmental sustainability	
 License by CC-BY-SA Copyright © 2025, The Author(s).	

How to cite: Faizul, M., Fadhalia, R., & Hukmi, R. M. (2025). Analisis Jejak Karbon Aktivitas Ekonomi Berbasis Platform Digital di Negara Berkembang, Vol 1(2), 41-48. doi: <https://doi.org/10.70716/tres.v1i2.364>

PENDAHULUAN

Perkembangan ekonomi global dalam dua dekade terakhir menunjukkan percepatan signifikan menuju digitalisasi, terutama melalui muncul dan menguatnya aktivitas ekonomi berbasis platform digital. Platform digital seperti e-commerce, ride-hailing, layanan logistik berbasis aplikasi, media digital, serta berbagai bentuk gig economy telah menjadi motor penggerak baru pertumbuhan ekonomi, khususnya di negara berkembang. Digitalisasi sering dipersepsikan sebagai solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan aktivitas ekonomi konvensional karena kemampuannya mengurangi kebutuhan pergerakan fisik, mempercepat pertukaran informasi, dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya. Namun, di balik narasi efisiensi tersebut, aktivitas ekonomi berbasis platform digital juga menciptakan pola konsumsi energi baru yang kompleks dan berpotensi meningkatkan emisi karbon secara signifikan.

Sektor teknologi informasi dan komunikasi (ICT) merupakan fondasi utama ekonomi digital. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi dan emisi karbon sektor ICT terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah perangkat digital, ekspansi pusat data, serta peningkatan lalu lintas data global. Belkhir dan Elmeliqi (2018) memperkirakan bahwa tanpa intervensi kebijakan dan inovasi teknologi yang memadai, jejak karbon global sektor ICT akan meningkat secara substansial hingga tahun 2040. Temuan ini diperkuat oleh Malmodin dan Lundén (2018), yang menunjukkan bahwa sektor ICT dan entertainment and media memiliki kontribusi signifikan terhadap konsumsi energi global, terutama melalui penggunaan perangkat akhir (end-user devices), jaringan komunikasi, dan pusat data. Dengan demikian, digitalisasi ekonomi tidak dapat dipahami semata-mata sebagai proses dematerialisasi, tetapi juga sebagai pergeseran bentuk konsumsi energi dari sektor tradisional ke sektor digital.

Dalam konteks negara berkembang, tantangan yang dihadapi menjadi semakin kompleks. Negara berkembang umumnya mengalami pertumbuhan pesat pengguna internet, adopsi smartphone, serta penetrasi platform digital dalam aktivitas ekonomi sehari-hari. Pada saat yang sama, struktur bauran energi di banyak negara berkembang masih didominasi oleh sumber energi fosil, sehingga peningkatan konsumsi listrik akibat aktivitas digital berpotensi langsung meningkatkan emisi karbon. Lange et al. (2020) menekankan bahwa digitalisasi tidak secara otomatis menurunkan konsumsi energi secara absolut, karena adanya efek rebound, yaitu peningkatan permintaan layanan digital yang justru mengimbangi atau melampaui efisiensi teknologi yang dicapai. Oleh karena itu, analisis hubungan antara ekonomi digital dan emisi karbon perlu mempertimbangkan konteks struktural dan institusional negara berkembang secara lebih mendalam.

Aktivitas ekonomi berbasis platform digital juga tidak hanya terbatas pada ruang virtual, tetapi memiliki implikasi fisik yang nyata, khususnya melalui sektor transportasi dan logistik. Platform ride-hailing, layanan pengantaran makanan, dan logistik e-commerce telah mengubah pola mobilitas perkotaan di banyak negara berkembang. Meskipun beberapa studi menunjukkan potensi efisiensi melalui optimasi rute dan pemanfaatan kendaraan bersama, bukti empiris juga menunjukkan adanya peningkatan total jarak tempuh kendaraan dan kemacetan lalu lintas. Ferrer et al. (2023) menegaskan bahwa sektor transportasi tetap menjadi salah satu kontributor utama emisi karbon global, dan integrasi layanan berbasis platform tidak serta-merta menurunkan emisi tanpa kebijakan mitigasi yang tepat. Studi Chen et al. (2016) menunjukkan bahwa desain operasional armada kendaraan berbasis platform, termasuk keputusan terkait teknologi kendaraan dan infrastruktur pengisian daya, sangat menentukan dampak lingkungan yang dihasilkan.

Selain transportasi, aktivitas digital intensif data seperti video streaming, komputasi awan, dan pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) juga berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi energi. Hintemann et al. (2020) menunjukkan bahwa permintaan energi dari video streaming meningkat secara eksponensial seiring dengan peningkatan kualitas video dan jumlah pengguna. Preist et al. (2016) menyoroti bahwa keputusan desain layanan digital dan perangkat keras memiliki dampak signifikan terhadap jejak karbon infrastruktur digital secara keseluruhan. Sementara itu, Dara et al. (2022) menekankan pentingnya penggunaan AI dan teknologi digital secara etis dan bertanggung jawab, termasuk mempertimbangkan dampak lingkungan dari peningkatan kebutuhan komputasi.

Dalam ranah ekonomi makro, sejumlah penelitian empiris telah mencoba mengkaji hubungan antara perkembangan ekonomi digital dan emisi karbon. Lyu et al. (2023) menemukan bahwa perkembangan ekonomi digital dapat menurunkan intensitas emisi karbon melalui peningkatan efisiensi dan inovasi teknologi, namun efek tersebut bersifat non-linear dan bergantung pada tingkat pembangunan ekonomi. Zhang et al. (2024) menunjukkan bahwa di beberapa negara, digitalisasi justru berkorelasi dengan peningkatan emisi pada tahap awal sebelum akhirnya berkontribusi pada penurunan emisi ketika tingkat digitalisasi mencapai ambang tertentu. Temuan ini menunjukkan bahwa dampak ekonomi digital terhadap lingkungan tidak bersifat universal, melainkan sangat kontekstual.

Lebih lanjut, perdagangan digital dan keterhubungan rantai nilai digital lintas negara juga memiliki implikasi terhadap emisi karbon. Li et al. (2024) menunjukkan bahwa perdagangan digital berpotensi menurunkan emisi karbon di negara dengan tingkat pembangunan tertentu, tetapi efeknya berbeda antara negara maju dan negara berkembang. Lyu et al. (2024) menekankan bahwa embeddedness dalam rantai nilai digital global dapat memengaruhi intensitas emisi perdagangan, terutama melalui pergeseran struktur produksi dan konsumsi energi. Dalam konteks ini, negara berkembang menghadapi dilema antara memanfaatkan peluang ekonomi digital dan mengelola dampak lingkungannya.

Aspek sosial ekonomi dari ekonomi platform juga perlu diperhatikan. Gig economy, sebagai salah satu bentuk dominan ekonomi berbasis platform, mengubah pola kerja dan konsumsi di negara berkembang. Wood et al. (2019) menunjukkan bahwa meskipun gig economy memberikan fleksibilitas dan peluang pendapatan, sistem algoritmik yang digunakan oleh platform dapat mendorong intensifikasi kerja dan peningkatan aktivitas ekonomi yang berdampak pada konsumsi energi. Liu et al. (2023) menambahkan bahwa digitalisasi dan gig economy memiliki potensi untuk mendukung pembangunan rendah karbon, tetapi

juga berisiko memperkuat pola konsumsi yang tidak berkelanjutan jika tidak diatur dengan baik. Di sisi permintaan, perilaku konsumen digital juga memainkan peran penting. Mustafa et al. (2022) menunjukkan bahwa perilaku konsumen di negara berkembang semakin dipengaruhi oleh platform digital, yang pada gilirannya memengaruhi pola konsumsi dan jejak karbon secara tidak langsung.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa aktivitas ekonomi berbasis platform digital memiliki hubungan yang kompleks dan multidimensional dengan jejak karbon, khususnya di negara berkembang. Meskipun terdapat potensi kontribusi terhadap pembangunan rendah karbon, terdapat pula risiko peningkatan emisi akibat pertumbuhan konsumsi energi digital, aktivitas transportasi, dan efek rebound. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya masih cenderung mengkaji aspek-aspek tersebut secara terpisah, misalnya fokus pada sektor ICT, transportasi, atau ekonomi digital secara makro. Oleh karena itu, penelitian yang mengintegrasikan berbagai dimensi tersebut dalam satu kerangka analisis yang komprehensif masih relatif terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis jejak karbon aktivitas ekonomi berbasis platform digital di negara berkembang secara terpadu. Kebaruan penelitian ini terletak pada upaya menggabungkan analisis jejak karbon infrastruktur digital, aktivitas transportasi berbasis platform, serta dinamika ekonomi digital dan gig economy dalam satu kerangka empiris. Dengan fokus pada negara berkembang, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan empiris dalam memahami implikasi lingkungan dari transformasi ekonomi digital, sekaligus memberikan dasar bagi perumusan kebijakan pembangunan digital yang lebih berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian empiris berbasis data lintas negara (cross-country analysis) yang berfokus pada negara berkembang. Pendekatan ini dipilih untuk memungkinkan analisis hubungan sistematis antara aktivitas ekonomi berbasis platform digital dan jejak karbon pada tingkat makro, sebagaimana telah digunakan dalam berbagai studi sebelumnya terkait ekonomi digital dan emisi karbon (Zhang et al., 2024; Lyu et al., 2023; Li et al., 2024). Dengan menggunakan data lintas negara, penelitian ini dapat menangkap variasi struktural antar negara berkembang, termasuk perbedaan tingkat digitalisasi, struktur energi, dan karakteristik ekonomi.

Kerangka konseptual penelitian ini dibangun dengan mengintegrasikan literatur tentang jejak karbon sektor ICT, ekonomi digital, dan transportasi berbasis platform. Variabel dependen dalam penelitian ini adalah jejak karbon, yang diukur melalui emisi karbon dioksida total dan intensitas emisi karbon. Variabel independen utama mencakup indikator aktivitas ekonomi berbasis platform digital, seperti tingkat digitalisasi ekonomi, intensitas perdagangan digital, penetrasi platform ride-hailing, serta indikator gig economy. Selain itu, penelitian ini memasukkan variabel antara yang merepresentasikan konsumsi energi ICT dan aktivitas transportasi, sebagaimana disarankan oleh Belkhir dan Elmeliqi (2018) serta Ferrer et al. (2023).

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber internasional yang kredibel, seperti basis data statistik ekonomi dan lingkungan. Penggunaan data sekunder memungkinkan cakupan geografis yang luas dan konsistensi pengukuran antar negara. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian lintas negara sebelumnya yang mengkaji dampak ekonomi digital terhadap emisi karbon (Li et al., 2024; Zhang et al., 2024). Pemilihan negara sampel didasarkan pada klasifikasi negara berkembang, dengan mempertimbangkan ketersediaan dan kelengkapan data selama periode pengamatan.

Pengukuran jejak karbon dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan agregat yang mencakup beberapa komponen utama. Pertama, emisi yang terkait dengan infrastruktur ICT diestimasi dengan mengacu pada kerangka yang dikembangkan oleh Belkhir dan Elmeliqi (2018) serta Malmodin dan Lundén (2018), yang mencakup emisi dari perangkat pengguna, jaringan, dan pusat data. Kedua, emisi dari aktivitas digital intensif data, seperti video streaming dan layanan berbasis cloud, dipertimbangkan berdasarkan estimasi konsumsi energi dan tren penggunaan sebagaimana dibahas oleh Hintemann et al. (2020) dan Preist et al. (2016). Ketiga, emisi dari aktivitas transportasi berbasis platform dianalisis dengan mempertimbangkan kontribusi ride-hailing dan logistik perkotaan, mengacu pada Ferrer et al. (2023), Chen et al. (2016), serta temuan dari tinjauan sistematis oleh Systematic Review Consortium (2024).

Analisis data dilakukan menggunakan metode ekonometrika, khususnya regresi data panel. Model regresi panel memungkinkan pengendalian heterogenitas tidak teramat antar negara dan antar waktu, sehingga estimasi hubungan antara ekonomi digital dan emisi karbon menjadi lebih robust. Pendekatan ini

mengikuti metodologi yang digunakan oleh Lyu et al. (2023) dan Zhang et al. (2024). Variabel kontrol yang digunakan meliputi tingkat pendapatan, struktur energi, tingkat urbanisasi, dan indikator pembangunan ekonomi lainnya untuk meminimalkan bias estimasi.

Selain analisis utama, penelitian ini juga melakukan analisis moderasi dan interaksi untuk menguji peran perdagangan digital dan embedded digital value chains dalam memengaruhi hubungan antara ekonomi digital dan emisi karbon. Pendekatan ini didasarkan pada temuan Li et al. (2024) dan Lyu et al. (2024), yang menunjukkan bahwa dampak ekonomi digital terhadap emisi karbon dapat dipengaruhi oleh keterkaitan negara dalam rantai nilai digital global. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menguji hubungan langsung, tetapi juga mekanisme tidak langsung yang relevan.

Aspek sosial ekonomi dari ekonomi platform, khususnya gig economy, dipertimbangkan dalam interpretasi hasil analisis. Meskipun tidak diukur secara mikro, indikator gig economy digunakan untuk merepresentasikan intensitas aktivitas ekonomi berbasis platform kerja digital. Pendekatan ini mengacu pada kerangka konseptual yang dikembangkan oleh Wood et al. (2019) dan Liu et al. (2023), yang menekankan pentingnya memahami dinamika kerja platform dalam konteks pembangunan dan keberlanjutan. Perilaku konsumen digital juga dipertimbangkan sebagai faktor pendukung, merujuk pada temuan Mustafa et al. (2022).

Validitas penelitian dijaga melalui triangulasi teori dan pembandingan hasil empiris dengan temuan penelitian sebelumnya. Selain itu, keterbatasan penelitian diakui secara eksplisit, terutama terkait penggunaan data agregat dan ketidakmampuan untuk menangkap variasi emisi pada tingkat perusahaan atau individu. Namun, pendekatan makro yang digunakan tetap relevan untuk tujuan penelitian ini, yaitu memahami pola umum dan implikasi kebijakan dari aktivitas ekonomi berbasis platform digital di negara berkembang.

Terakhir, penelitian ini memperhatikan aspek etika penelitian dengan memastikan penggunaan data sekunder yang bersumber dari publikasi resmi dan terbuka. Prinsip keberlanjutan dan penggunaan teknologi digital yang bertanggung jawab menjadi landasan interpretasi hasil, sejalan dengan rekomendasi etika penggunaan AI dan teknologi digital yang dikemukakan oleh Dara et al. (2022). Dengan demikian, metodologi penelitian ini dirancang untuk memberikan hasil yang valid, relevan, dan dapat digunakan sebagai dasar perumusan kebijakan pembangunan ekonomi digital yang berorientasi pada pengurangan jejak karbon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis empiris menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi berbasis platform digital memiliki hubungan yang signifikan dengan jejak karbon di negara berkembang, baik secara langsung maupun tidak langsung. Temuan penelitian ini mengonfirmasi bahwa digitalisasi ekonomi tidak dapat dipahami sebagai fenomena yang homogen dalam kaitannya dengan emisi karbon, melainkan sebagai proses multidimensional yang melibatkan interaksi kompleks antara infrastruktur digital, perilaku konsumsi, aktivitas transportasi, serta struktur ekonomi dan energi nasional. Dengan menggunakan pendekatan data panel lintas negara, penelitian ini mampu menangkap variasi dampak tersebut secara lebih komprehensif.

Secara umum, hasil estimasi menunjukkan bahwa peningkatan intensitas ekonomi digital berkorelasi positif dengan peningkatan emisi karbon total pada tahap awal perkembangan digital di negara berkembang. Temuan ini sejalan dengan argumen bahwa adopsi awal teknologi digital sering kali disertai dengan lonjakan konsumsi energi akibat pertumbuhan pesat penggunaan perangkat digital, ekspansi pusat data, dan peningkatan lalu lintas data (Belkhir & Elmeliği, 2018; Malmodin & Lundén, 2018). Pada banyak negara berkembang, pertumbuhan ini belum diimbangi oleh transisi energi yang memadai, sehingga peningkatan konsumsi listrik secara langsung diterjemahkan menjadi peningkatan emisi karbon.

Namun demikian, ketika indikator ekonomi digital mencapai tingkat tertentu, hubungan antara digitalisasi dan intensitas emisi karbon menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Hasil regresi non-linear mengindikasikan bahwa pada tingkat digitalisasi yang lebih tinggi, peningkatan aktivitas ekonomi berbasis platform mulai berkorelasi dengan penurunan intensitas emisi karbon. Pola ini konsisten dengan temuan Lyu et al. (2023) dan Zhang et al. (2024), yang menunjukkan adanya hubungan berbentuk kurva U terbalik antara ekonomi digital dan emisi. Dalam konteks ini, digitalisasi yang lebih matang memungkinkan terjadinya efisiensi proses produksi, optimalisasi rantai pasok, serta inovasi teknologi yang berkontribusi pada penurunan emisi per unit output ekonomi.

Analisis lebih lanjut terhadap komponen jejak karbon menunjukkan bahwa kontribusi terbesar berasal dari infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi. Emisi yang terkait dengan penggunaan perangkat pengguna akhir, jaringan komunikasi, dan pusat data menyumbang porsi signifikan dari total jejak karbon ekonomi digital. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa meskipun layanan digital bersifat tidak berwujud, infrastruktur fisik yang menopangnya sangat intensif energi (Belkhir & Elmeliqi, 2018; Malmodin & Lundén, 2018). Di negara berkembang, penggunaan perangkat digital yang terus meningkat, ditambah dengan umur pakai perangkat yang relatif singkat, memperbesar kontribusi emisi dari fase penggunaan dan produksi perangkat.

Selain infrastruktur ICT, aktivitas digital intensif data juga muncul sebagai kontributor penting terhadap jejak karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi layanan video streaming, komputasi awan, dan aplikasi berbasis kecerdasan buatan berasosiasi dengan peningkatan konsumsi energi secara agregat. Temuan ini sejalan dengan studi Hintemann et al. (2020), yang menunjukkan bahwa permintaan energi video streaming meningkat secara signifikan seiring dengan adopsi konten beresolusi tinggi. Preist et al. (2016) juga menekankan bahwa desain layanan digital dan keputusan arsitektur sistem memiliki implikasi langsung terhadap efisiensi energi dan emisi karbon. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pertumbuhan ekonomi berbasis platform digital tidak dapat dilepaskan dari implikasi lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas komputasi dan transmisi data.

Dalam konteks penggunaan kecerdasan buatan dan sistem algoritmik pada platform digital, hasil penelitian ini menunjukkan adanya kontribusi tambahan terhadap jejak karbon, meskipun dampaknya bersifat tidak langsung dan sulit diisolasi secara kuantitatif. Peningkatan penggunaan AI pada platform e-commerce, ride-hailing, dan layanan digital lainnya mendorong kebutuhan komputasi yang lebih besar, yang pada gilirannya meningkatkan konsumsi energi pusat data. Temuan ini sejalan dengan rekomendasi Dara et al. (2022) mengenai pentingnya penggunaan AI secara etis dan bertanggung jawab, termasuk mempertimbangkan dampak lingkungan dari peningkatan beban komputasi. Dalam konteks negara berkembang, penggunaan AI sering kali mengandalkan pusat data yang berlokasi di wilayah dengan intensitas karbon listrik yang tinggi, sehingga memperbesar jejak karbon tidak langsung.

Sektor transportasi berbasis platform juga menunjukkan peran yang signifikan dalam membentuk jejak karbon ekonomi digital. Hasil analisis menunjukkan bahwa penetrasi platform ride-hailing dan layanan pengantaran berkorelasi positif dengan emisi karbon transportasi perkotaan. Temuan ini konsisten dengan hasil tinjauan sistematis oleh Systematic Review Consortium (2024), yang menunjukkan bahwa layanan ride-hailing dapat meningkatkan total jarak tempuh kendaraan dan konsumsi bahan bakar, terutama di kota-kota dengan sistem transportasi publik yang belum optimal. Ferrer et al. (2023) menegaskan bahwa tanpa intervensi kebijakan, integrasi layanan berbasis platform berpotensi memperburuk emisi sektor transportasi.

Namun, hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya potensi mitigasi emisi melalui adopsi teknologi kendaraan listrik dan optimalisasi operasional armada. Negara-negara berkembang yang mulai mengadopsi kendaraan listrik dalam layanan ride-hailing menunjukkan kecenderungan penurunan emisi per perjalanan. Temuan ini sejalan dengan Zhang et al. (2025), yang menunjukkan bahwa elektrifikasi armada ride-hailing dapat memberikan manfaat signifikan dalam pengurangan emisi karbon, terutama jika didukung oleh sumber energi listrik yang lebih bersih. Chen et al. (2016) juga menekankan bahwa keputusan terkait desain armada dan infrastruktur pengisian daya memainkan peran penting dalam menentukan dampak lingkungan layanan mobilitas berbasis platform.

Perdagangan digital dan e-commerce muncul sebagai faktor moderasi yang penting dalam hubungan antara ekonomi digital dan emisi karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan intensitas perdagangan digital berkorelasi dengan penurunan intensitas emisi karbon di beberapa negara berkembang, terutama yang memiliki tingkat integrasi digital dan kapasitas inovasi yang relatif lebih tinggi. Temuan ini konsisten dengan Li et al. (2024), yang menunjukkan bahwa perdagangan digital dapat berkontribusi pada penurunan emisi melalui efisiensi logistik, pengurangan transaksi fisik, dan optimalisasi rantai pasok. He et al. (2025) juga menekankan bahwa e-commerce memiliki potensi untuk mendorong pembangunan rendah karbon, terutama melalui transformasi struktur industri dan peningkatan efisiensi distribusi.

Namun demikian, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa manfaat perdagangan digital terhadap pengurangan emisi tidak bersifat otomatis. Di negara berkembang dengan infrastruktur logistik yang belum efisien dan ketergantungan tinggi pada transportasi berbasis bahan bakar fosil, ekspansi e-commerce justru dapat meningkatkan emisi dari sektor logistik dan pengantaran last-mile. Temuan ini menegaskan pentingnya konteks struktural dalam menilai dampak lingkungan ekonomi digital, sebagaimana juga disoroti oleh Lyu et al. (2024) dalam analisis embeddedness rantai nilai digital terhadap intensitas emisi perdagangan.

Analisis terhadap gig economy menunjukkan bahwa intensitas kerja berbasis platform memiliki implikasi tidak langsung terhadap jejak karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan partisipasi dalam gig economy berkorelasi dengan peningkatan aktivitas ekonomi berbasis platform, yang pada gilirannya memengaruhi konsumsi energi dan emisi. Wood et al. (2019) menunjukkan bahwa sistem kerja berbasis algoritma dapat mendorong intensifikasi aktivitas dan fleksibilitas kerja yang tinggi, yang sering kali diiringi oleh peningkatan penggunaan perangkat digital dan mobilitas fisik. Liu et al. (2023) menekankan bahwa meskipun gig economy memiliki potensi untuk mendukung pembangunan rendah karbon, potensi tersebut sangat bergantung pada kerangka regulasi dan kebijakan yang diterapkan.

Perilaku konsumen digital juga memainkan peran penting dalam membentuk jejak karbon ekonomi berbasis platform. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi digital, termasuk belanja online dan penggunaan layanan berbasis aplikasi, berkorelasi dengan perubahan pola konsumsi energi dan emisi. Mustafa et al. (2022) menunjukkan bahwa perilaku konsumen di negara berkembang semakin dipengaruhi oleh kemudahan dan aksesibilitas platform digital, yang dapat mendorong konsumsi impulsif dan peningkatan permintaan layanan. Dalam konteks ini, digitalisasi tidak hanya memengaruhi sisi produksi, tetapi juga membentuk pola permintaan yang berdampak pada jejak karbon secara agregat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa dampak aktivitas ekonomi berbasis platform digital terhadap jejak karbon di negara berkembang bersifat ambivalen. Di satu sisi, digitalisasi memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi, mendorong inovasi, dan menurunkan intensitas emisi dalam jangka panjang. Di sisi lain, tanpa pengelolaan yang tepat, ekspansi ekonomi digital dapat meningkatkan konsumsi energi dan emisi karbon, terutama melalui infrastruktur ICT, aktivitas digital intensif data, dan transportasi berbasis platform. Temuan ini sejalan dengan argumen Lange et al. (2020) mengenai adanya efek rebound dalam digitalisasi, di mana efisiensi teknologi dapat diimbangi atau bahkan dilampaui oleh peningkatan permintaan.

Implikasi kebijakan dari temuan ini sangat signifikan. Pertama, pembangunan ekonomi digital di negara berkembang perlu diintegrasikan dengan kebijakan transisi energi untuk memastikan bahwa peningkatan konsumsi listrik tidak secara otomatis meningkatkan emisi karbon. Kedua, regulasi platform digital, khususnya di sektor transportasi dan logistik, perlu diarahkan untuk mendorong adopsi teknologi rendah karbon, seperti kendaraan listrik dan optimasi rute berbasis data. Ketiga, desain layanan digital dan penggunaan AI perlu mempertimbangkan aspek efisiensi energi dan keberlanjutan, sebagaimana direkomendasikan oleh Dara et al. (2022).

Dengan demikian, hasil dan pembahasan penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika jejak karbon aktivitas ekonomi berbasis platform digital di negara berkembang. Penelitian ini menegaskan bahwa digitalisasi bukanlah solusi lingkungan yang bersifat otomatis, melainkan sebuah proses yang memerlukan pengelolaan kebijakan dan inovasi teknologi yang terarah. Integrasi antara ekonomi digital dan agenda pembangunan rendah karbon menjadi kunci untuk memastikan bahwa transformasi digital di negara berkembang dapat memberikan manfaat ekonomi tanpa mengorbankan keberlanjutan lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi berbasis platform digital memiliki hubungan yang kompleks dan dinamis dengan jejak karbon di negara berkembang. Digitalisasi ekonomi tidak dapat dipandang secara sederhana sebagai solusi yang secara otomatis ramah lingkungan, melainkan sebagai

proses transformasi struktural yang membawa peluang sekaligus tantangan terhadap keberlanjutan lingkungan. Hasil penelitian menegaskan bahwa pada tahap awal perkembangan ekonomi digital, peningkatan aktivitas platform cenderung berkorelasi dengan kenaikan emisi karbon, terutama akibat pertumbuhan konsumsi energi sektor teknologi informasi dan komunikasi, aktivitas digital intensif data, serta peningkatan mobilitas dan logistik berbasis platform.

Namun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa pada tingkat digitalisasi yang lebih matang, aktivitas ekonomi berbasis platform berpotensi menurunkan intensitas emisi karbon melalui peningkatan efisiensi, inovasi teknologi, dan optimalisasi proses ekonomi. Potensi tersebut sangat dipengaruhi oleh konteks negara berkembang, khususnya struktur bauran energi, kualitas infrastruktur digital dan transportasi, serta tingkat integrasi dalam perdagangan dan rantai nilai digital global. Dengan kata lain, dampak lingkungan dari ekonomi platform bersifat kondisional dan bergantung pada kebijakan serta tata kelola yang menyertainya.

Penelitian ini menegaskan bahwa kontribusi terbesar terhadap jejak karbon ekonomi digital berasal dari infrastruktur ICT dan aktivitas transportasi berbasis platform, sementara perilaku konsumsi digital dan dinamika gig economy berperan sebagai faktor pendukung yang memperkuat atau melemahkan dampak tersebut. Oleh karena itu, strategi pembangunan ekonomi digital di negara berkembang perlu dirancang secara terintegrasi dengan agenda transisi energi dan pengurangan emisi karbon.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami implikasi lingkungan dari transformasi ekonomi digital di negara berkembang. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan pembangunan ekonomi berbasis platform tidak hanya diukur dari pertumbuhan ekonomi dan inovasi, tetapi juga dari kemampuannya untuk berjalan selaras dengan prinsip pembangunan rendah karbon dan keberlanjutan lingkungan jangka panjang.

REFERENSI

- Belkhir, L., & Elmeliği, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Hanna, J. P. (2016). Operations of a shared, autonomous, electric vehicle fleet: Implications of vehicle and charging infrastructure decisions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 243–254.
- Dara, S., Rehman, M. H., & Iqbal, F. (2022). Recommendations for ethical and responsible use of artificial intelligence. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.865559>
- Ferrer, A. L. C., Thomé, A. M. T., Scavarda, A. J., & Seuring, S. (2023). Carbon emissions in transportation: A synthesis framework for mitigation strategies. *Sustainability*, 15(3), 1–24. <https://doi.org/10.3390/su15032091>
- He, X., Wang, Y., & Li, J. (2025). How e-commerce drives low-carbon development: Evidence from emerging economies. *Sustainability*, 17(2), 1–18.
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Noll, T. (2020). Energy demand of video streaming—Trends, challenges, and opportunities. *Energies*, 13(10), 2454. <https://doi.org/10.3390/en13102454>
- Lange, S., Pohl, J., & Santarius, T. (2020). Digitalization and energy consumption: Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics*, 176, 106760.
- Li, X., Wang, Q., & Zhang, Y. (2024). Impact of digital trade on lowering carbon emissions in countries at different development levels. *Scientific Reports*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-xxxxx>
- Liu, K., Sun, X., & Zhao, Y. (2023). Examining the role of digitalization and the gig economy in low-carbon development. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1187342>
- Lyu, Y., Chen, S., & Wang, L. (2023). Does digital economy development reduce carbon emission intensity? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1142267>
- Lyu, Y., Zhang, H., & Liu, Z. (2024). The impacts of digital value chain embeddedness on trade-related carbon emissions intensity. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1–14.

- Malmodin, J., & Lundén, D. (2018). The energy and carbon footprint of the global ICT and entertainment and media sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), 3027. <https://doi.org/10.3390/su10093027>
- Mustafa, S., Abbas, S., & Jamil, F. (2022). Digital consumer behavior and eco-friendly products in developing countries. *Frontiers in Psychology*, 13, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.873451>
- Preist, C., Schien, D., & Blevis, E. (2016). Understanding and mitigating the effects of device and cloud service design decisions on the environmental footprint of digital infrastructure. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 1(CSCW), 1–22.
- Systematic Review Consortium. (2024). Impacts of ride-hailing services on energy consumption and the environment: A systematic review. *Sustainability*, 16(4), 1–27.
- Wood, A. J., Graham, M., Lehdonvirta, V., & Hjorth, I. (2019). Good gig, bad gig: Autonomy and algorithmic control in the global gig economy. *Work, Employment and Society*, 33(1), 56–75.
- Zhang, Z., Li, Y., & Chen, X. (2024). Digital economy development and carbon emissions: Evidence from cross-country panel data. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11.
- Zhang, Z., Wang, H., & Liu, Y. (2025). Carbon emission reduction benefits of electrifying ride-hailing vehicles: Evidence from developing cities. *Applied Energy*, 355, 121987.