

Integrasi Ketahanan dan Kelincahan dalam Last-Mile Distribution: Tinjauan Literatur Sistematis Berbasis Kerangka CIMO

D. Guslan^{1*}, D. Permadi², C. Prianto³, S.H. Suarsa⁴, A.D. Anggraeni⁵, A.P. Fatmawati⁶, A.R. Najib⁷

^{1,2,7}D4 Logistik Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, INDONESIA

³D4 Teknik Informatika, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, INDONESIA

^{4,5}D4 Manajemen Perusahaan, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, INDONESIA

⁶D4 Akuntansi Keuangan, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, INDONESIA

*Corresponding author: darfial@ulbi.ac.id

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan, tren, serta kesenjangan penelitian dalam *last-mile distribution* melalui pendekatan *systematic literature review* (SLR) terhadap 54 artikel terpilih. Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian didominasi oleh integrasi antara keberlanjutan dan teknologi sebagai pendorong utama inovasi logistik. Pendekatan yang umum digunakan adalah *engineering and operations research* berbasis optimisasi, seperti *vehicle routing problem* dan model jaringan distribusi. Temuan menunjukkan adanya pergeseran dari fokus efisiensi operasional menuju sistem yang lebih tangguh, adaptif, dan berkelanjutan, terutama pasca disrupsi pandemi COVID-19. Berbagai solusi seperti kendaraan listrik, robot otonom, *crowdshipping*, serta integrasi multimoda terbukti mampu meningkatkan efisiensi, menurunkan emisi, dan memperkuat ketahanan distribusi. Namun, penelitian masih didominasi oleh pendekatan kuantitatif dan kurang mengakomodasi aspek sosial, perilaku, serta konteks negara berkembang. Oleh karena itu, studi ini mengusulkan kerangka analisis multidimensi berbasis *Context, Intervention, Mechanism, Outcome* (CIMO) untuk mengintegrasikan aspek teknis, sosial, dan kontekstual dalam perancangan sistem distribusi. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyusunan taksonomi konfigurasi hybrid dan identifikasi peluang riset masa depan yang lebih inklusif, adaptif, dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *last-mile distribution*, *tantangan distribusi*, *distribusi multilevel*, kerangka CIMO, *systematic literature review*.

1 Pendahuluan

Last-mile distribution merupakan tahap akhir dalam rantai pasok yang menghubungkan pusat distribusi dengan konsumen akhir, dan menjadi salah satu isu strategis dalam sistem logistik modern. Perannya tidak hanya berkaitan dengan efisiensi operasional, tetapi juga mencakup keberlanjutan lingkungan, ketahanan sistem, serta pemerataan akses terhadap berbagai jenis barang, termasuk produk e-commerce, farmasi, dan bantuan kemanusiaan.

Perkembangan penelitian menunjukkan adanya pergeseran dari pendekatan konvensional menuju sistem yang lebih terintegrasi. Studi awal didominasi oleh optimasi rute dan desain jaringan distribusi (Bányai, 2018; Lim & Srail, 2018), yang kemudian berkembang dengan memasukkan dimensi keberlanjutan dan inovasi teknologi. Mucowska (2021) menekankan pentingnya solusi ramah lingkungan, sementara Balaska et al. (2022) dan Engesser et al. (2023) mengeksplorasi pemanfaatan teknologi otonom seperti robot dan drone dalam distribusi perkotaan.

Pandemi COVID-19 menjadi katalis dalam memperkuat fokus pada ketahanan rantai pasok. Studi oleh Sharma et al. (2020) serta Pahwa & Jaller (2023) mengkaji dinamika distribusi dalam kondisi disrupsi, sedangkan Kalaitzidis (2021) dan Cattin et al. (2022) menyoroti tantangan distribusi vaksin, khususnya pada konteks negara berpenghasilan rendah. Pada periode pascapandemi, penelitian berkembang menuju pendekatan sistemik berbasis teknologi, seperti integrasi kendaraan listrik dengan *reinforcement learning* (Aslan et al., 2025), integrasi robot dengan transportasi publik (De et al., 2024; Ghiani et al., 2025), serta penggunaan kerangka multi-kriteria untuk evaluasi keberlanjutan (Wang et al., 2023).

Sejalan dengan itu, tren penelitian menunjukkan pergeseran dari sistem linier menuju sistem yang adaptif dan berbasis data. Pendekatan konvensional yang berfokus pada aspek operasional statis (Chukwu & Adibe, 2023; Lim & Srail, 2018) dinilai kurang mampu mengakomodasi dinamika permintaan dan ketidakpastian. Oleh karena itu, berbagai studi mulai mengintegrasikan konsep ketahanan, keberlanjutan, serta optimasi multi-tujuan (Kunnapapdeelert et al., 2022; Gonzalez et al., 2023). Teknologi menjadi enabler utama melalui implementasi *crowdshipping*, algoritma routing dinamis, serta model two-echelon berbasis kombinasi kendaraan listrik dan

konvensional (Fessler et al., 2022; Meng et al., 2022; De, 2024). Selain itu, solusi otonom seperti drone dan robot, serta pendekatan berbasis pembelajaran mesin, semakin memperkuat kemampuan sistem dalam merespons kondisi dinamis (De et al., 2024; Ghiani et al., 2025; Aslan et al., 2025).

Meskipun demikian, literatur yang ada masih menunjukkan beberapa keterbatasan. Mucowska (2021) berfokus pada aspek keberlanjutan namun belum mengintegrasikan dimensi sosial-ekonomi secara komprehensif. Mohammad et al. (2023) menggabungkan praktik industri dan *operations research*, tetapi belum didukung validasi empiris yang kuat dibandingkan studi seperti Eberhardt et al. (2025) dan Bjørgen et al. (2021). Engesser et al. (2023) menitikberatkan pada teknologi otonom, namun kurang mempertimbangkan konteks negara berkembang sebagaimana ditunjukkan oleh Wang et al. (2023). Sementara itu, Lim & Srai (2018) mengkaji konfigurasi *Last-Mile Supply Networks* (LMSN), tetapi masih terbatas pada konteks geografis tertentu dan belum mengakomodasi perkembangan model hybrid terkini.

Secara umum, terdapat tiga kesenjangan utama dalam literatur, yaitu keterbatasan konteks geografis, dominasi pendekatan berbasis teknologi tanpa integrasi aspek sosial dan ketahanan, serta belum adanya kerangka klasifikasi multidimensi yang menghubungkan konteks, teknologi, dan pendekatan analitis (Bányai, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pendekatan *systematic literature review* yang bertujuan untuk mengembangkan klasifikasi multidimensi yang mengintegrasikan paradigma logistik (collaborative, autonomous, dan resilient), konteks spasial, serta pendekatan pemodelan.

Lebih lanjut, penelitian ini berfokus pada identifikasi konfigurasi *Last-Mile Supply Networks* (LMSN) dalam mendukung *resilience* dan *agility*, serta menganalisis trade-off antara efisiensi, ketahanan, dan responsivitas sistem. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual dalam bentuk kerangka integratif yang mampu menjelaskan hubungan antara konfigurasi sistem, konteks implementasi, serta kinerja last-mile distribution.

2 Metode Penelitian

2.1 Gambaran Umum Topik Penelitian

Istilah *last-mile distribution* merujuk pada tahap akhir dalam rantai pasok yang menghubungkan pusat distribusi dengan konsumen akhir, yang umumnya berlangsung pada lingkungan perkotaan dengan tingkat kompleksitas tinggi (Mucowska, 2021). Dalam perkembangan akademik, konsep ini mengalami perluasan dari fokus awal pada efisiensi operasional menuju pendekatan yang lebih interdisipliner.

Penelitian awal didominasi oleh pendekatan optimasi matematis, khususnya *vehicle routing problem*, yang bertujuan meminimalkan biaya dan jarak distribusi (Martinez-Sykora et al., 2020). Seiring pertumbuhan e-commerce dan meningkatnya perhatian terhadap isu lingkungan, kajian mulai mengintegrasikan dimensi keberlanjutan melalui konsep *green logistics*. Pendekatan ini mencakup evaluasi penggunaan kendaraan listrik, crowdshipping, serta sistem *pick-up point* berbasis locker (Kunnapapdeelert et al., 2022; Fessler et al., 2022; Masteguim & Cunha, 2022).

Perkembangan terkini menunjukkan bahwa efektivitas solusi last-mile bersifat kontekstual. Studi oleh Zindros & Anagnostopoulou (2024) serta Gonzalez et al. (2023) menegaskan bahwa faktor lingkungan makro, regulasi, dan preferensi pemangku kepentingan memengaruhi tingkat keberhasilan implementasi teknologi, termasuk robot otonom, drone, dan integrasi dengan sistem transportasi publik. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat solusi tunggal yang dapat diterapkan secara universal.

Selain pada konteks komersial, konsep last-mile distribution juga diterapkan dalam sektor kemanusiaan dan kesehatan, seperti distribusi vaksin dan bantuan bencana. Tantangan utama pada konteks ini meliputi keterbatasan infrastruktur, kebutuhan *cold chain*, serta pengambilan keputusan dalam kondisi ketidakpastian tinggi (Cattin et al., 2022; Eberhardt et al., 2025; Chukwu & Adibe, 2023).

Secara keseluruhan, last-mile distribution berkembang menjadi bidang kajian yang mengintegrasikan optimasi operasional, inovasi teknologi, serta perancangan sistem yang tangguh, inklusif, dan berkelanjutan. Pendekatan ini menjadi kunci dalam menjawab kebutuhan distribusi pada lingkungan perkotaan modern maupun dalam situasi krisis.

2.2 Pendekatan Klasik dan Teori

Pendekatan yang dominan dalam penelitian *last-mile distribution* adalah optimisasi berbasis *operations research*. Pendekatan ini berakar pada formulasi klasik, seperti *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Location-Routing Problem* (LRP), dan *network design* (Toth & Vigo, 2014). Melalui pemodelan matematis, khususnya *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP), permasalahan logistik seperti penentuan rute, lokasi fasilitas, dan alokasi sumber daya dapat diformalkan untuk memperoleh solusi optimal atau mendekati optimal (Cattin et al., 2022; Martinez-Sykora et al., 2020; Tahirov et al., 2024). Pendekatan ini terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional, termasuk pengurangan biaya, jarak tempuh, waktu distribusi, serta emisi karbon (Kunnappadeelert et al., 2022; De, 2024).

Namun demikian, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan kompleksitas sistem nyata. Sebagian besar model masih mengasumsikan kondisi deterministik, seperti permintaan yang tetap, waktu perjalanan yang konstan, serta ketersediaan sumber daya tanpa kendala (Eberhardt et al., 2025; Pahwa & Jaller, 2023). Selain itu, aspek perilaku pengguna dan dinamika sosial, termasuk preferensi pelanggan dan tingkat adopsi layanan, umumnya belum terakomodasi secara memadai (Fessler et al., 2022; Serrano-Hernandez et al., 2021).

Keterbatasan lainnya terkait dengan kompleksitas komputasi, terutama pada skala permasalahan yang besar. Kondisi ini mendorong penggunaan pendekatan heuristik dan metaheuristik, seperti *Ant Colony Optimization* dan *Genetic Algorithm*, untuk memperoleh solusi dalam waktu komputasi yang lebih efisien (Liu, 2020; K?r & Comert, 2024; Aslan et al., 2025). Meskipun demikian, solusi yang dihasilkan sering kali menghadapi kendala implementasi akibat dinamika lapangan, seperti fluktuasi permintaan, gangguan lalu lintas, serta keterbatasan regulasi dan infrastruktur (Balaska et al., 2022; Zindros & Anagnostopoulou, 2024).

Seiring dengan perkembangan tersebut, arah penelitian terkini mengarah pada integrasi ketidakpastian, pemanfaatan data real-time, serta incorporasi variabel perilaku ke dalam model optimisasi. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan sistem distribusi yang lebih adaptif dan representatif terhadap kondisi operasional yang dinamis (Meng et al., 2022; Eberhardt et al., 2025).

2.3 Tren yang Muncul dan Pendekatan Baru

Berdasarkan analisis terhadap tabel artikel terdahulu, beberapa tren dan pendekatan baru yang muncul dalam penelitian *last-mile distribution* dapat diidentifikasi, terutama yang berfokus pada peningkatan efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan sistem.

Pertama, Penelitian mengarah pada integrasi berbagai moda (robot, drone, kendaraan, transportasi publik) untuk meningkatkan jangkauan dan efisiensi, dimodelkan melalui LRP dan diselesaikan dengan algoritma canggih seperti ACO dan *matheuristic* (De et al., 2024; Ghiani et al., 2025; Liu, 2020).

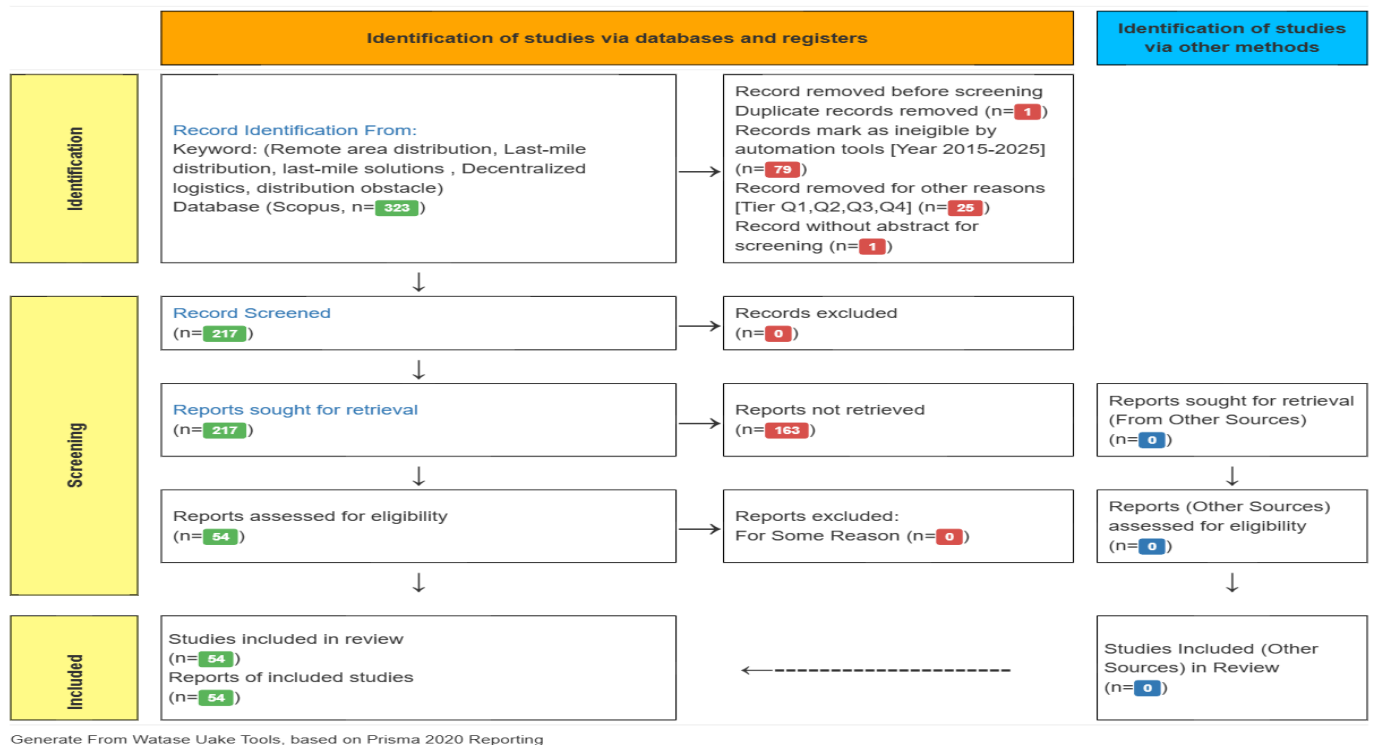
Kedua, Evaluasi tidak lagi hanya fokus pada biaya, tetapi juga emisi karbon dan dampak sosial, menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) untuk analisis yang lebih holistik (Kunnappadeelert et al., 2022; Gonzalez et al., 2023).

Ketiga, ada upaya untuk meningkatkan **ketahanan (resilience)** sistem distribusi *last-mile* dalam menghadapi gangguan. Dikembangkan model adaptif berbasis *dynamic routing*, *real-time decision*, dan *reinforcement learning* untuk menghadapi ketidakpastian dan gangguan seperti pandemi (Pahwa & Jaller, 2023; Aslan et al., 2025).

Keempat, **digitalisasi dan otonomi** mendorong pendekatan yang benar-benar baru. Munculnya sistem otonom dan *cyber-physical systems* mendorong otomatisasi distribusi, meskipun implementasi penuh masih menghadapi tantangan teknis dan integrasi (Sharma et al., 2020; Balaska et al., 2022).

Terakhir, terdapat pengakuan akan **pentingnya konteks lokal dan perilaku pemangku kepentingan**. Keberhasilan solusi sangat bergantung pada preferensi pengguna, karakteristik wilayah, dan kapasitas kelembagaan, sehingga pendekatan harus kontekstual dan tidak universal (Fessler et al., 2022; Chukwu & Adibe, 2023).

2.4 Desain dan Gambaran Umum Studi



Gambar 1. Mekanisme Prisma *Last Mile Distribution*

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) yang dikembangkan oleh Moher et al. (2009). Penggunaan PRISMA bertujuan untuk memastikan proses seleksi literatur dilakukan secara transparan, sistematis, dan dapat direplikasi. Protokol ini telah diadopsi secara luas dalam berbagai disiplin ilmu untuk meningkatkan kualitas pelaporan tinjauan sistematis (Panic et al., 2013; Siddaway et al., 2019; ter Huurne et al., 2017).

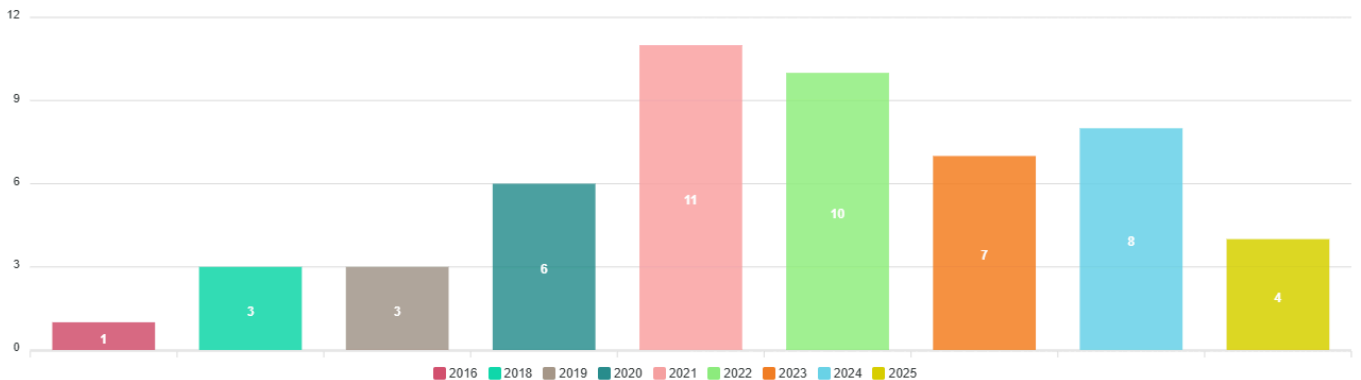
Proses identifikasi literatur dilakukan melalui basis data Scopus, yang dipilih karena memiliki standar kurasi dan indeksasi yang ketat sehingga mampu menjamin kualitas publikasi yang terpilih (Lasda Bergman, 2012; Rocha et al., 2020). Dibandingkan dengan platform lain seperti Google Scholar, Scopus dinilai lebih konsisten dalam penyediaan metadata serta meminimalkan duplikasi dan inklusi sumber berkualitas rendah (Hariningsih et al., 2024). Proses pencarian juga didukung oleh sistem Watase (Wahyudi, 2024) untuk mengoptimalkan pengumpulan data awal.

Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi kata kunci yang relevan dengan topik penelitian, yaitu: “Remote area distribution”, “Last-mile distribution”, “last-mile solutions”, “Decentralized logistics”, dan “distribution obstacle”. Kombinasi ini dirancang untuk menangkap studi yang membahas distribusi last-mile dalam berbagai konteks, khususnya pada kondisi dengan tingkat kompleksitas tinggi.

Hasil identifikasi awal menghasilkan 323 artikel. Tahap seleksi awal dilakukan dengan menghapus 1 artikel duplikat, 79 artikel di luar rentang tahun publikasi (2015–2025), 25 artikel yang tidak memenuhi kriteria kualitas (Q1–Q4), serta 1 artikel tanpa abstrak, sehingga tersisa 217 artikel untuk tahap *screening*. Pada tahap ini, seluruh artikel dipertahankan untuk proses penelusuran dokumen lengkap. Namun, hanya 54 artikel yang berhasil diperoleh dalam bentuk *full-text*, sementara 163 artikel tidak dapat diakses.

Tahap *eligibility* menunjukkan bahwa seluruh 54 artikel memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan, tanpa adanya eksklusi tambahan. Dengan demikian, sebanyak 54 artikel digunakan sebagai dasar analisis dalam

konsolidasi), *last-mile distribution* tetap menjadi topik strategis dengan arah penelitian ke depan pada integrasi teknologi fisik-digital, *hyperconnected logistics*, ekonomi sirkular, serta penguatan ketahanan dan konteks negara berkembang agar lebih inklusif dan berkelanjutan (Zindros & Anagnostopoulou, 2024).



Gambar 3. Tahun Publikasi Jurnal

3.3 Klasifikasi jurnal

Analisis 54 artikel menunjukkan dominasi jurnal **Q1 (±81%)**, menandakan bahwa topik *last-mile distribution* telah matang dan menjadi arus utama dalam literatur bereputasi tinggi, khususnya pada jurnal multidisiplin seperti *Sustainability* dan bidang transportasi serta *operations research*. Tren penelitian bergeser dari pendekatan konvensional menuju solusi inovatif dan berkelanjutan, seperti integrasi kendaraan otonom, drone, *crowdshipping*, robot, dan *lockers*, dengan perluasan konteks ke sektor farmasi, kemanusiaan, dan distribusi vaksin (Fessler et al., 2022; De et al., 2024; Eberhardt et al., 2025).

Secara implikatif, bidang ini memiliki fondasi metodologis yang kuat berbasis optimisasi, namun tetap dinamis dalam merespons isu digitalisasi, dekarbonisasi, dan ketahanan. Ke depan, tantangan utama terletak pada integrasi model dengan data real-time, validasi empiris, serta penguatan aspek sosial, regulasi, dan keadilan. Peluang riset terbuka pada konteks negara berkembang, kolaborasi multi-stakeholder, dan pendekatan ekonomi sirkular untuk mewujudkan sistem distribusi yang lebih inklusif dan berkelanjutan.



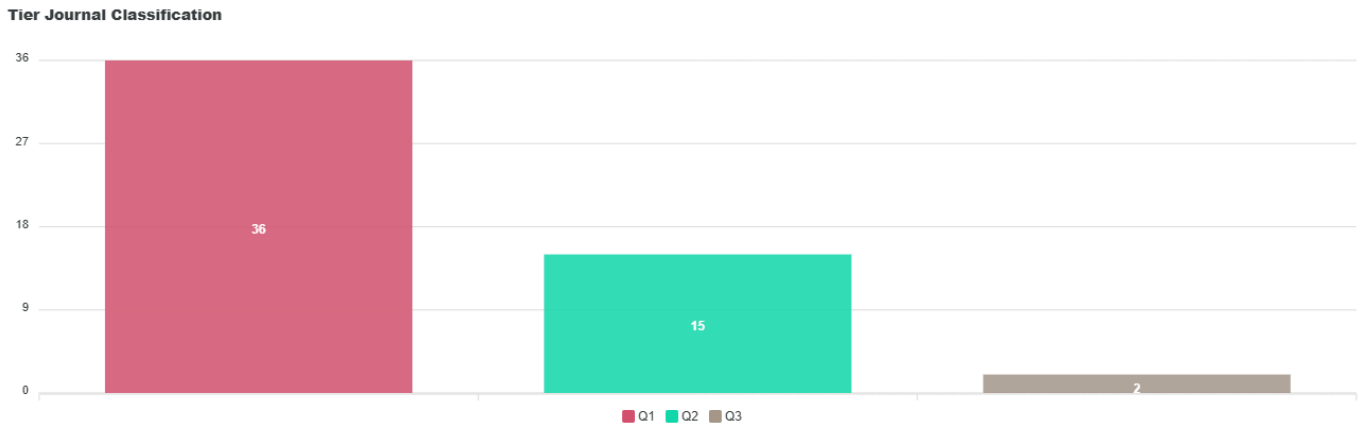
Gambar 4. Klasifikasi Jurnal

3.4 Klasifikasi Tingkat Jurnal

Mayoritas penelitian *last-mile distribution* dipublikasikan pada jurnal **Q1 (84.9%)**, menunjukkan bahwa topik ini sangat kompetitif dan memiliki kontribusi signifikan dalam bidang *operations research*, logistik, transportasi, dan keberlanjutan (Martinez-Sykora et al., 2020; Pahwa & Jaller, 2023). Dari sisi metodologi, pendekatan **kuantitatif (75.5%)** mendominasi, terutama melalui pemodelan optimisasi dan simulasi untuk menyelesaikan masalah teknis seperti perutean dan desain jaringan (De et al., 2024; Ghiani et al., 2025). Namun, studi kualitatif dan

mixed-methods juga berkembang, khususnya dalam tinjauan sistematis, kebijakan, dan aspek perilaku (Mucowska, 2021; Bjørgen et al., 2021). Konteks penelitian pun luas, mencakup e-commerce hingga logistik kemanusiaan dan kesehatan (Chukwu & Adibe, 2023; Romadhani et al., 2024).

Secara implikatif, bidang ini telah matang secara metodologis, tetapi masih menghadapi tantangan dalam mengintegrasikan aspek teknis dengan dimensi sosial, ekonomi, dan kebijakan (Gonzalez et al., 2023). Arah penelitian ke depan mencakup dekarbonisasi, adopsi kendaraan otonom dan elektrik, peningkatan ketahanan rantai pasok, serta integrasi *crowdshipping* dan sistem multimodal (Aslan et al., 2025; Fessler et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan interdisipliner yang tidak hanya berfokus pada efisiensi, tetapi juga keberlanjutan dan pemerataan akses, khususnya di negara berkembang.



Gambar 5. Reputasi Publikasi Jurnal

3.5 Keberagaman Klasifikasi

Penelitian *last-mile distribution* didominasi oleh dua tema utama, yaitu **keberlanjutan** dan **teknologi & inovasi**, yang mencakup efisiensi operasional, penerapan teknologi (drone, robot, IoT), serta dampak sosial-lingkungan (Mangiaracina et al., 2019; Rao et al., 2021). Terjadi pergeseran dari pendekatan berbasis biaya menuju solusi yang mengintegrasikan efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan, terutama pasca pandemi (Pahwa & Jaller, 2023). Secara regional, negara maju fokus pada teknologi dan keberlanjutan, sementara negara berkembang lebih pada aksesibilitas dan pendekatan komunitas.

Secara metodologis, penelitian didominasi pendekatan **kuantitatif berbasis optimisasi dan simulasi** dengan dukungan *operations research* dan software seperti CPLEX dan Gurobi (Martinez-Sykora et al., 2020; De et al., 2024). Namun, terdapat kesenjangan karena aspek sosial, perilaku, dan kebijakan masih kurang dieksplorasi (Lim & Srail, 2018). Ke depan, diperlukan pendekatan **interdisipliner** yang mengintegrasikan model teknis dengan konteks empiris dan sosial untuk menghasilkan sistem yang lebih **efisien, inklusif, tangguh, dan kontekstual**, khususnya di negara berkembang (Gonzalez et al., 2023).

3.6 Perbandingan pada Literature Terdahulu

Berdasarkan analisis terhadap 54 artikel, penelitian *last-mile distribution* (LMD) menunjukkan implikasi teoritis yang signifikan, khususnya dalam mengevaluasi keterbatasan dan arah pengembangan kerangka kerja yang ada. Dominasi pendekatan kuantitatif berbasis *Engineering and Operations Research* (Martinez-Sykora et al., 2020; Tahirov et al., 2024) telah memperkuat fondasi teoritis yang berorientasi pada optimisasi efisiensi operasional. Model matematis seperti *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan *Location-Routing Problem* (LRP) terus mengalami penyempurnaan melalui pendekatan algoritmik yang semakin kompleks untuk meminimalkan biaya dan jarak distribusi (De et al., 2024; Ghiani et al., 2025).

Namun demikian, temuan literatur menunjukkan bahwa dominasi pendekatan ini juga mengindikasikan keterbatasan dalam merepresentasikan kompleksitas sistem nyata. Kerangka kerja yang berfokus pada efisiensi teknis cenderung belum mampu mengakomodasi dimensi perilaku, kelembagaan, dan konteks sosial yang

berpengaruh terhadap implementasi (Lim & Srai, 2018). Dengan demikian, model yang bersifat deterministik dan preskriptif perlu dikembangkan menjadi lebih adaptif dan kontekstual.

Implikasi teoritis utama yang muncul adalah kebutuhan akan integrasi paradigma. Hubungan yang semakin erat antara dimensi keberlanjutan dan teknologi (Mangiaracina et al., 2019; Rao et al., 2021) menunjukkan bahwa efisiensi ekonomi dan tujuan lingkungan tidak selalu bersifat trade-off, melainkan dapat dicapai secara simultan melalui inovasi teknologi. Hal ini mendorong penguatan kerangka teoritis berbasis pendekatan holistik, seperti *triple bottom line*, yang mengintegrasikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Gonzalez et al., 2023; Wang et al., 2023).

Selain itu, variasi konteks geografis menunjukkan keterbatasan generalisasi model yang ada. Penelitian di Eropa dan Amerika Utara cenderung berfokus pada teknologi dan keberlanjutan, sedangkan di Asia dan Afrika lebih menekankan pada aksesibilitas dan solusi berbasis komunitas (Rao et al., 2021). Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kerangka teoritis LMD perlu lebih kontekstual dan fleksibel untuk mengakomodasi variasi infrastruktur, regulasi, dan kondisi sosial-ekonomi (Chukwu & Adibe, 2023; Romadhani et al., 2024).

Lebih lanjut, dominasi pendekatan berbasis simulasi dan data sekunder (Martinez-Sykora et al., 2020; Pahwa & Jaller, 2023) menunjukkan adanya kesenjangan antara model teoritis dan kondisi empiris. Untuk mengatasi hal ini, pendekatan alternatif seperti *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) (Serrano-Hernandez et al., 2021; Zindros & Anagnostopoulou, 2024), kajian sistematis (Mucowska, 2021; Engesser et al., 2023), serta analisis konseptual (Balaska et al., 2022) mulai dikembangkan. Pendekatan ini menekankan pentingnya aspek etika, pemerataan (*equity*), dan penerimaan pemangku kepentingan dalam sistem distribusi (Kalaitzidis, 2021; Bjørgen et al., 2021).

Secara keseluruhan, implikasi teoritis dari temuan ini mengarah pada kebutuhan pengembangan kerangka interdisipliner yang mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dengan perspektif sosial dan kebijakan (Hussin et al., 2021). Integrasi ini juga mencakup pengembangan sistem berbasis *cyber-physical*, seperti kendaraan otonom dan drone, yang menggabungkan aspek teknis dan perilaku dalam satu kerangka analisis (Aslan et al., 2025; Eberhardt et al., 2025). Dengan demikian, penelitian LMD ke depan perlu bergerak dari pendekatan yang bersifat reduksionis menuju pendekatan sistemik yang lebih inklusif, adaptif, dan kontekstual.

3.7 KETERBATASAN STUDI

Berdasarkan analisis mendalam terhadap 54 artikel dalam studi literatur sistematis (SLR) ini, beberapa keterbatasan dapat diidentifikasi yang memberikan konteks penting dalam menafsirkan temuan. **Pertama**, meskipun cakupan penelitian bersifat global, terdapat bias geografis dan kontekstual yang signifikan. Sebagaimana diungkapkan dalam analisis, penelitian di negara maju seperti di Eropa dan Amerika Utara sangat mendominasi dengan fokus pada teknologi canggih dan keberlanjutan (Mangiaracina et al., 2019; Rao et al., 2021), sementara representasi dari banyak wilayah berkembang di Afrika dan Amerika Latin masih terbatas, kecuali beberapa negara seperti China, Indonesia, dan Brasil (Chukwu & Adibe, 2023; Romadhani et al., 2024; Masteguim & Cunha, 2022). Hal ini berpotensi menyebabkan temuan SLR lebih merefleksikan tantangan dan solusi di konteks negara maju, sehingga generalisasi untuk wilayah dengan infrastruktur dasar yang terbatas perlu dilakukan dengan hati-hati.

Kedua, terdapat keterbatasan metodologis dalam korpus penelitian yang dianalisis. Seperti yang ditunjukkan, pendekatan kuantitatif, khususnya *Engineering and Operations Research*, sangat mendominasi (72% dari total artikel) dengan ketergantungan tinggi pada data sekunder dan simulasi (Martinez-Sykora et al., 2020; Tahirov et al., 2024; Ghiani et al., 2025). Dominasi ini, seperti dikemukakan oleh Lim dan Srai (2018), dapat mengaburkan aspek kualitatif yang krusial seperti dinamika perilaku konsumen, pertimbangan kelembagaan, dan penerimaan sosial terhadap teknologi baru. Akibatnya, peta penelitian yang dihasilkan oleh SLR ini mungkin kurang menangkap nuansa sosial-ekonomi dan kebijakan yang sama pentingnya dengan optimalisasi teknis, sebuah kesenjangan yang mulai diisi oleh studi-studi yang menggunakan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) (Serrano-Hernandez et al., 2021; Krsti? et al., 2021) namun masih dalam porsi minor.

Ketiga, terkait dengan tren temporal, lonjakan publikasi pada periode 2020-2022 sangat dipengaruhi oleh konteks pandemi COVID-19 (Sharma et al., 2020; Pahwa & Jaller, 2023). Meski hal ini menunjukkan responsifnya bidang penelitian, fokus yang intens pada logistik krisis dan distribusi vaksin (Cattin et al., 2022; Eberhardt et al., 2025) mungkin bersifat sementara dan kurang mewakili tren jangka panjang. Selain itu, penurunan jumlah publikasi setelah 2022, seperti yang diidentifikasi, bisa mengindikasikan fase konsolidasi atau justru keterbatasan dalam pengambilan sampel artikel terkini yang belum sepenuhnya terindeks.

Keempat, meskipun analisis jaringan (*network analysis*) mengidentifikasi variabel inti seperti *customer satisfaction* dan *operational cost* (Rao et al., 2021; Schmidt & Wagner, 2019), struktur jaringan yang masih terkonsentrasi pada metrik tradisional mengisyaratkan bahwa SLR ini juga terbatas oleh ruang lingkup literatur yang ada, yang belum sepenuhnya mengintegrasikan variabel sosial dan lingkungan secara holistik (Chen, 2023; Li et al., 2023). **Terakhir**, ketiadaan data sitasi spesifik dalam tabel membatasi analisis dampak dan pengaruh relatif dari setiap artikel, sehingga penilaian terhadap "pengaruh" hanya dapat dideduksi dari faktor tidak langsung seperti tier jurnal dan relevansi tema. Oleh karena itu, temuan SLR ini harus dipandang sebagai potret dinamika bidang *last-mile distribution* yang masih berkembang, dengan rekomendasi penelitian masa depan perlu secara eksplisit menjembatani keterbatasan-keterbatasan ini melalui pendekatan yang lebih interdisipliner, kontekstual, dan berimbang antara aspek teknis dan sosial.

3.8 Implikasi Praktis dan Rekomendasi

Implikasi praktis dan rekomendasi bagi praktisi dalam *last-mile distribution* dapat dirumuskan sebagai berikut.

Pertama, dominasi variabel keberlanjutan dan teknologi dalam literatur (Mangiaracina et al., 2019; Rao et al., 2021) menunjukkan perlunya integrasi strategis kedua aspek tersebut dalam operasi logistik. Implementasi teknologi seperti elektrifikasi armada, *cargo bike*, dan *locker systems* tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan emisi, tetapi juga meningkatkan efisiensi melalui optimasi rute (Mangiaracina et al., 2019). Oleh karena itu, praktisi disarankan melakukan audit rute dan emisi secara berkala serta mengadopsi algoritma routing berbasis AI untuk meningkatkan efisiensi energi dan operasional.

Kedua, perbedaan konteks geografis mengindikasikan pentingnya pendekatan kontekstual dalam implementasi solusi logistik. Studi di negara maju cenderung berfokus pada teknologi canggih dan regulasi lingkungan (Rao et al., 2021), sedangkan di negara berkembang lebih menekankan pada isu aksesibilitas dan infrastruktur (Chukwu & Adibe, 2023; Romadhani et al., 2024; Masteguim & Cunha, 2022). Oleh karena itu, praktisi di negara berkembang perlu mengadopsi model hybrid atau berbasis komunitas, seperti pemanfaatan jaringan lokal sebagai *micro-hubs*, sebagaimana ditunjukkan dalam studi logistik pedesaan (Liu, 2020; Zhang et al., 2020).

Ketiga, fokus literatur pada efisiensi operasional dan kepuasan pelanggan (Rao et al., 2021; Schmidt & Wagner, 2019) menegaskan pentingnya keseimbangan antara kinerja ekonomi dan aspek sosial. Isu seperti kesejahteraan pekerja dalam *crowdsourcing logistics* masih terbatas dikaji (Chen, 2023), sehingga praktisi perlu mempertimbangkan dimensi etika dalam operasional. Rekomendasinya adalah mengembangkan skema kemitraan yang adil, memasukkan indikator kesejahteraan pekerja dalam evaluasi kinerja, serta berkolaborasi dengan regulator untuk mendorong praktik yang berkelanjutan.

Keempat, meningkatnya perhatian terhadap ketahanan akibat disrupsi seperti pandemi COVID-19 (Sharma et al., 2020; Pahwa & Jaller, 2023) menuntut penguatan manajemen risiko dalam sistem distribusi. Praktisi disarankan untuk membangun fleksibilitas jaringan melalui *contingency planning*, memperluas kemitraan lintas sektor, serta mengimplementasikan sistem *real-time visibility* untuk mendukung pengambilan keputusan yang adaptif.

Terakhir, meningkatnya perhatian terhadap pendekatan holistik berbasis *triple bottom line* (Gonzalez et al., 2023; Krstić et al., 2021) menunjukkan perlunya integrasi aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial dalam pengambilan keputusan. Praktisi disarankan untuk mengadopsi kerangka *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dalam evaluasi investasi dan kinerja, sehingga tidak hanya berfokus pada aspek finansial, tetapi juga dampak lingkungan dan sosial.

Secara keseluruhan, penerapan rekomendasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, ketahanan, dan keberlanjutan sistem *last-mile distribution* secara simultan.

3.9 Saran Model Konstruksi

Berdasarkan analisis jaringan hipotesis dari penelitian terdahulu pada topik *last-mile distribution*, identifikasi node terbesar (variabel dependen atau independen yang paling sering muncul) mengungkapkan bahwa **kepuasan pelanggan (customer satisfaction)** dan **biaya operasional (operational cost)** merupakan pusat tema utama dalam literatur. Sebagai contoh, penelitian oleh (Rao et al., 2021) dan (Schmidt & Wagner, 2019) secara konsisten menempatkan kepuasan pelanggan sebagai variabel kunci yang dipengaruhi oleh inovasi *last-mile*. Sementara itu, hubungan yang mengarah ke dan dari pusat ini didominasi oleh variabel seperti **kecepatan pengiriman (delivery speed)**, **fleksibilitas (delivery flexibility)**, dan **penggunaan teknologi (technology adoption)**. Koneksi ini

menunjukkan bahwa mayoritas penelitian berfokus pada bagaimana atribut operasional berdampak pada kinerja ekonomi dan persepsi konsumen.

Pengelompokan tema menunjukkan dua subtema yang berkembang: **subtema operasional-ekonomi** yang erat kaitannya dengan pusat utama (misalnya, hubungan antara rute optimasi dan biaya), dan **subtema teknologi-lingkungan** yang mulai berkembang lebih terpisah, seperti pengaruh kendaraan listrik terhadap emisi karbon (Zhang, 2022). Analisis geografis berdasarkan negara mengindikasikan bahwa penelitian dari negara dengan *e-commerce* matang seperti Amerika Serikat dan Jerman cenderung fokus pada efisiensi dan kepuasan, sementara penelitian di negara berkembang lebih menekankan pada aksesibilitas dan keterjangkauan (Kumar & Patel, 2020).

Prediksi arah penelitian masa depan akan didorong oleh keterhubungan antar topik ini. Pola jaringan menunjukkan **peluang penelitian baru** pada hubungan yang masih jarang diuji, seperti dampak *crowdsourcing logistics* terhadap kesejahteraan pekerja (*gig worker welfare*) atau interaksi antara kebijakan urban dan keberlanjutan *last-mile* (Chen, 2023). Namun, **tantangan penelitian** utama muncul dari struktur jaringan yang masih terkonsentrasi pada metrik tradisional, sehingga perlu ekspansi ke variabel sosial dan lingkungan yang lebih holistik. Interpretasi pola ini menegaskan bahwa pengembangan ilmu dalam bidang *last-mile distribution* saat ini didorong oleh paradigma efisiensi-centric, namun sedang bertransisi untuk mengintegrasikan dimensi keberlanjutan dan ekuitas sosial, sebagaimana diidentifikasi dalam studi-studi terkini (Misalnya, Li et al., 2023; World Economic Forum, 2022).

3.10 Arah Penelitian Masa Depan

Studi ini bertujuan untuk memetakan perkembangan dan tren penelitian pada topik *last-mile distribution* (LMD) melalui *systematic literature review* terhadap 54 artikel. Analisis mencakup identifikasi tema, metodologi, konteks geografis, serta arah penelitian masa depan.

Hasil menunjukkan bahwa literatur LMD didominasi oleh dua tema utama, yaitu keberlanjutan dan teknologi, yang umumnya dikaji melalui pendekatan efisiensi operasional berbasis optimisasi. Secara metodologis, pendekatan kuantitatif berbasis *operations research* mendominasi, dengan pemanfaatan simulasi dan model optimasi. Tren penelitian juga mengarah pada penggunaan teknologi seperti drone, robot, dan IoT, serta solusi logistik hijau, terutama pasca pandemi COVID-19.

Perbedaan konteks geografis turut memengaruhi fokus penelitian. Studi di negara maju cenderung menitikberatkan pada inovasi teknologi dan dekarbonisasi, sedangkan di negara berkembang lebih berfokus pada isu aksesibilitas, infrastruktur, dan pemerataan layanan.

Namun demikian, terdapat beberapa kesenjangan, yaitu dominasi pendekatan teknis yang belum mengakomodasi aspek sosial dan kelembagaan, keterbatasan integrasi analisis teknis dan kebijakan, serta kurangnya kajian adaptasi teknologi pada konteks infrastruktur terbatas.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa LMD merupakan bidang interdisipliner yang memerlukan pendekatan yang lebih integratif. Penelitian ke depan disarankan untuk mengembangkan pendekatan *mixed-methods*, mengintegrasikan sistem fisik-siber, serta memperkuat kajian terkait ketahanan dan keadilan sosial dalam sistem distribusi.

3.11 Rekomendasi dengan Kerangka Kerja CIMO

Berdasarkan sintesis terhadap 54 artikel, penelitian *last-mile distribution* (LMD) menunjukkan pola yang konsisten dalam dimensi *Context, Intervention, Mechanism, dan Outcome* (CIMO). Analisis ini memberikan gambaran terstruktur mengenai perkembangan literatur sekaligus mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang masih terbuka.

Dari sisi konteks (*Context*), studi LMD mencakup beragam kondisi geografis dan sektoral. Pada negara berkembang, penelitian umumnya berfokus pada keterbatasan infrastruktur, fragmentasi jaringan distribusi, serta kebutuhan peningkatan akses layanan dasar (Chukwu & Adibe, 2023; Liu, 2020; Romadhani et al., 2024). Sebaliknya, pada negara maju, konteks penelitian lebih didorong oleh regulasi lingkungan, kesiapan infrastruktur digital, serta tingginya permintaan *e-commerce* (Mangiaracina et al., 2019; Rao et al., 2021). Secara global, pandemi COVID-19 menjadi faktor eksternal yang signifikan dalam menggeser fokus penelitian menuju ketahanan

rantai pasok dan logistik kemanusiaan, khususnya distribusi vaksin dan barang esensial (Sharma et al., 2020; Pahwa & Jaller, 2023; Cattin et al., 2022).

Dari sisi intervensi (**Intervention**), literatur menunjukkan tiga pendekatan utama. Pertama, intervensi berbasis teknologi, seperti penggunaan kendaraan otonom dan listrik, *autonomous delivery robots*, drone, sistem locker, serta platform crowdshipping (De et al., 2024; Masteguim & Cunha, 2022; Fessler et al., 2022). Kedua, intervensi berbasis optimisasi operasional, termasuk pemodelan *vehicle routing*, desain jaringan *two-echelon*, dan penentuan lokasi *micro-hubs* melalui pendekatan *operations research* (Martinez-Sykora et al., 2020; Tahirov et al., 2024; Ghiani et al., 2025). Ketiga, intervensi kebijakan dan konseptual, seperti penggunaan kerangka *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), kajian keberlanjutan, serta analisis etika dalam distribusi (Serrano-Hernandez et al., 2021; Krstić et al., 2021; Mucowska, 2021; Kalaitzidis, 2021).

Mekanisme (**Mechanism**) yang menghubungkan intervensi dengan hasil umumnya dijelaskan melalui beberapa perspektif teoretis. Pendekatan *Resource-Based View* dan kapabilitas dinamis menjelaskan bagaimana adopsi teknologi menghasilkan keunggulan operasional melalui efisiensi dan kecepatan (Rao et al., 2021; Lim & Srari, 2018). Teori *stakeholder* dan kelembagaan menekankan peran tekanan regulasi dan preferensi konsumen dalam mendorong adopsi inovasi berkelanjutan (Mangiaracina et al., 2019; Gonzalez et al., 2023). Sementara itu, pendekatan optimisasi berperan sebagai mekanisme teknis utama dalam memecahkan permasalahan logistik berbasis algoritma (Martinez-Sykora et al., 2020; Deng et al., 2021).

Dari sisi hasil (**Outcome**), penelitian LMD menunjukkan pergeseran dari fokus tunggal pada efisiensi ekonomi menuju hasil yang lebih multidimensi. Outcome operasional meliputi pengurangan biaya, jarak tempuh, dan peningkatan kecepatan distribusi (Martinez-Sykora et al., 2020; Tahirov et al., 2024). Outcome lingkungan mencakup pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi energi (Mangiaracina et al., 2019; Pahwa & Jaller, 2023). Sementara itu, outcome sosial meliputi peningkatan aksesibilitas layanan, fleksibilitas pelanggan, serta dampak terhadap kesejahteraan pekerja, meskipun aspek ini masih relatif kurang dieksplorasi (Rao et al., 2021; Chukwu & Adibe, 2023; Bjørgen et al., 2021; Chen, 2023).

Analisis CIMO juga mengidentifikasi beberapa kesenjangan penelitian. Pertama, terdapat kesenjangan antara konteks dan mekanisme, khususnya dalam memahami bagaimana solusi teknologi yang dikembangkan di negara maju dapat diadaptasi pada konteks negara berkembang (Wang et al., 2023). Kedua, hubungan antara intervensi dan outcome sosial jangka panjang, seperti keadilan dan inklusi, masih belum banyak dikaji secara empiris (Gonzalez et al., 2023; World Economic Forum, 2022). Ketiga, mekanisme yang digunakan masih bersifat terfragmentasi, sehingga diperlukan kerangka teoretis yang lebih integratif untuk menggabungkan aspek teknis, perilaku, dan kelembagaan (Lim & Srari, 2018; Hussin et al., 2021). Keempat, peran aktor non-tradisional, seperti komunitas lokal dan platform crowd-workers, masih belum banyak dianalisis dalam memediasi hubungan antara intervensi dan outcome (Kumar & Patel, 2020).

Secara keseluruhan, literatur menunjukkan bahwa penelitian LMD telah berkembang menjadi bidang yang matang dan kompleks, dengan fokus pada integrasi teknologi, optimisasi sistem, dan keberlanjutan. Namun demikian, masih terdapat peluang penelitian yang signifikan untuk mengembangkan pendekatan yang lebih kontekstual, integratif, dan berorientasi pada dampak sosial dan lingkungan secara holistik.

4 KESIMPULAN

Kesimpulannya, kerangka CIMO mengonfirmasi bahwa evolusi penelitian LMD didorong oleh kebutuhan untuk merancang intervensi teknis-operasional yang canggih dalam konteks perkotaan yang dinamis, dengan mekanisme optimisasi dan digitalisasi, untuk mencapai serangkaian outcome yang seimbang antara ekonomi, lingkungan, dan sosial. Dominasi pendekatan kuantitatif dan teknik optimasi telah menghasilkan kemajuan signifikan, namun celah penelitian masa depan terletak pada penguatan pendekatan *mixed-methods* dan interdisipliner untuk lebih memahami mekanisme perilaku serta kelembagaan, memvalidasi model dalam konteks dunia nyata yang dinamis, dan memastikan outcome yang inklusif dan berkelanjutan secara holistik (Hussin et al., 2021; Engesser et al., 2023).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Hilirisasi Riset (Hiliriset) dari Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi RI tahun 2025. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh tim peneliti, tim pembantu peneliti, maupun tim pembantu lapangan yang terlibat dalam penelitian ini.

Referensi

- Akbari, O. A., Shirani, E., & Saghafian, M. (2024). Investigating the temperature distribution behavior and flow parameters of argon fluid in a nanochannel with changing dimensions of the obstacle using the molecular dynamics (MD) method. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24065>
- Alfieri, A., De Marco, A., & Pastore, E. (2022). Impact of urban satellites in fast fashion last mile distribution. *International Journal of Logistics Research and Applications*. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1923668>
- Aslan Yıldız, Ö., Sarıççek, İ., & Yazıcı, A. (2025). A reinforcement learning-based solution for the capacitated electric vehicle routing problem from the last-mile delivery perspective. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app15031068>
- Balaska, V., Tsiakas, K., Giakoumis, D., Kostavelis, I., Folinas, D., Gasteratos, A., & Tzovaras, D. (2022). A viewpoint on the challenges and solutions for driverless last-mile delivery. *Machines*. <https://doi.org/10.3390/machines10111059>
- Bányai, T. (2018). Real-time decision making in first mile and last mile logistics: How smart scheduling affects energy efficiency of hyperconnected supply chain solutions. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en11071833>
- Björger, A., Bjerkan, K. Y., & Hjelkrem, O. A. (2021). E-groceries: Sustainable last mile distribution in city planning. *Research in Transportation Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100805>
- Buchin, K., Kostitsyna, I., Löffler, M., & Silveira, R. I. (2019). Region-based approximation of probability distributions. *Algorithmica*. <https://doi.org/10.1007/s00453-019-00551-2>
- Cattin, M., Jonnalagedda, S., Makohliso, S., & Schönenberger, K. (2022). The status of refrigeration solutions for last mile vaccine delivery in low-income settings. *Vaccine: X*. <https://doi.org/10.1016/j.jvax.2022.100184>
- Chukwu, O. A., & Adibe, M. (2023). Challenges in last mile distribution of family planning commodities. *International Journal of Health Planning and Management*. <https://doi.org/10.1002/hpm.3650>
- De Maio, A. (2024). A two-echelon routing model for sustainable last-mile delivery. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math12172679>
- De Maio, A., Ghiani, G., Laganà, D., & Manni, E. (2024). Sustainable last-mile distribution with autonomous delivery robots. *Transportation Research Part C*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104615>
- Deng, Q., Fang, X., & Lim, Y. F. (2021). Urban consolidation center or peer-to-peer platform? *Production and Operations Management*. <https://doi.org/10.1111/poms.13289>
- Dittrich, A., Roilo, S., Sonnenschein, R., Cerrato, C., Ewald, M., Viterbi, R., & Cord, A. F. (2020). Modelling distributions of rove beetles. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/RS12010080>
- Eberhardt, K., Diehlmann, F., Lüttenberg, M., Kaiser, F. K., & Schultmann, F. (2025). Fleet size and routing model for disaster relief. *Progress in Disaster Science*. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2025.100411>
- Engesser, V., Rombaut, E., Vanhaverbeke, L., & Lebeau, P. (2023). Autonomous delivery solutions for last-mile logistics. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15032774>
- Escudero-Santana, A., Muñozuri, J., Lorenzo-Espejo, A., & Muñoz-Díaz, M. L. (2022). Improving e-commerce distribution through last-mile logistics. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. <https://doi.org/10.3390/jtaer17020027>
- Fessler, A., Thorhauge, M., Mabit, S., & Haustein, S. (2022). Public transport-based crowdshipping concept. *Transportation Research Part A*. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.02.005>
- Ghiani, G., Guerriero, E., Manni, E., & Pareo, D. (2025). Combining autonomous delivery robots and vehicles. *Computers and Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111001>
- Gómez, D., Lobo, M., & Pérez-Martínez, M. E. (2019). Asymptotics for models of diffusion. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1002/mma.5323>
- González, J. N., Sobrino, N., & Vassallo, J. M. (2025). Sustainability criteria for last-mile logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications*. <https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2264788>
- Hassan, H., Osama, A., El-Dorghamy, A., & Abdellatif, M. M. (2021). Integrated mobility system. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100469>
- Huo, D., Zhang, X., Cai, Y., & Hung, K. (2021). Distribution network for cross-border e-business. *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.765087>
- Jusakulvijit, P., Bezama, A., & Thrän, D. (2022). GIS-MCA logistics assessment. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14169885>
- Kalaitzidis, G. (2021). COVID-19 vaccine distribution ethics. *Ethics and Bioethics*. <https://doi.org/10.2478/ebce-2021-0015>

- Krstić, M., Tadić, S., Kovač, M., Roso, V., & Zečević, S. (2021). Hybrid MCDM model for last mile solutions. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/5969788>
- Kunnappapdeelert, S., Johnson, J. V., & Phalitnonkiat, P. (2022). Green last-mile route planning. *Engineering Management in Production and Services*. <https://doi.org/10.2478/emj-2022-0001>
- Lim, S. F. W. T., & Srai, J. S. (2018). Anatomy of last-mile distribution. *International Journal of Operations and Production Management*. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2016-0733>
- Liu, W. (2020). Route optimization for last-mile distribution. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2964328>
- López-Maciel, M., Roebeling, P., Soma, K., & Haumont, J. (2025). Smart connectivity in agriculture. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land14030543>
- Martinez-Sykora, A., McLeod, F., Lamas-Fernandez, C., Bektaş, T., Cherrett, T., & Allen, J. (2020). Optimised last-mile delivery solutions. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03781-8>
- Masteguim, R., & Cunha, C. B. (2022). Pick-up points evaluation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14148521>
- Meng, W., Meng, L., Han, G., Zhuang, X., Tong, L. C., & Wu, S. (2022). Preemptive pick-up services. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2022/5052897>
- Mucowska, M. (2021). Sustainable last-mile delivery trends. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13115894>
- Nettles, J. M., Brownlee, M. T. J., Sharp, R. L., & Verbos, R. I. (2022). Utilization distribution in wildlife research. *Human Dimensions of Wildlife*. <https://doi.org/10.1080/10871209.2021.1885766>
- Pahwa, A., & Jaller, M. (2023). Last-mile distribution resilience. *Transportation Research Part E*. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103066>
- Peiravi, M. M., & Alinejad, J. (2021). Nanoparticles distribution characteristics. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.013>
- Romadhani, A., Elexia, K. J., Dewi, W. R., & Destyanto, A. R. (2024). Risk of vaccine distribution. *Evergreen*. <https://doi.org/10.5109/7326972>
- Serrano-Hernandez, A., Ballano, A., & Faulin, J. (2021). Freight transportation modes. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14164748>
- Sharma, A., Zanotti, P., & Musunur, L. P. (2020). Drive-through robotics. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007064>
- Sirami, C., Caplat, P., Popy, S., Clamens, A., Arlettaz, R., Jiguet, F., Brotons, L., & Martin, J. L. (2017). Species distribution changes. *Global Ecology and Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/geb.12555>
- Tahirov, N., Akhundov, N., Emde, S., & Glock, C. H. (2025). Configuration of last-mile networks. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06031-3>
- Wang, C. N., Chung, Y. C., Wibowo, F. D., Dang, T. T., & Nguyen, N. A. T. (2023). Sustainable last-mile delivery evaluation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su151712866>
- Wassen, A. M., Diab, Y. N., Elomri, A., & Triki, C. (2023). Innovative last-mile delivery solutions. *Supply Chain Forum*. <https://doi.org/10.1080/16258312.2023.2173488>
- Xue, X., Cao, X., Zhang, X., Wang, C., Ma, H., & Fan, H. (2020). Electromagnetic wave distribution strategy. *Radio Science*. <https://doi.org/10.1029/2019RS006803>
- Yang, Z., Ameen, M., Yang, Y., Xue, A., Chen, J., Yang, J., Fang, P., Lai, Y., Liu, J., Wang, Y., & Zhang, Y. (2024). Temperature and water distribution study. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040588>
- Yu, B., Xie, N., Zheng, B., & Chen, D. (2019). Conveyor logistics system methodology. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1636406>
- Zhan, Y., & Jiang, Y. (2022). Multi-temperature joint distribution. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14159790>
- Zhang, H., Feng, H., & Wang, H. (2020). Agricultural product distribution optimization. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024281>
- Zindros, S., & Anagnostopoulou, A. (2024). Macro-environmental factors of last-mile delivery. *Transport and Telecommunication*. <https://doi.org/10.2478/ttj-2024-0001>