

Optimalisasi Last-Mile Delivery melalui Integrasi Real-Time Tracking dan Dynamic Routing pada Layanan Jasa Pengiriman Barang di Indonesia

Meilyn christina margaretha Purba¹, Gracia Juli Bernadita Mungok², Putu Ayu Melanie Karya

Wikananda³, Siti Indira Haliza⁴, Neng susi susilawati sugiana⁵

^{1),2),3),4)} Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

⁵⁾ Institut Digital Ekonomi Lpkia, Bandung, Indonesia

Article Info

Article history

Received : Dec 10, 2025

Revised : Dec 17, 2025

Accepted : Jan 13, 2026

Abstrak

Last-mile delivery merupakan salah satu tahapan paling krusial dan berbiaya tinggi dalam sektor logistik dan layanan kurir, terutama di negara berkembang seperti Indonesia, yang menghadapi tantangan kemacetan perkotaan, kondisi geografis yang beragam, serta pola permintaan yang fluktuatif. Penelitian ini mengkaji integrasi teknologi pelacakan real-time dan algoritma dynamic routing sebagai pendekatan strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional, keandalan pengiriman, dan pengalaman pelanggan pada industri jasa pengiriman barang di Indonesia. Dengan menggunakan pendekatan mixed-method yang memadukan data kinerja operasional perusahaan kurir dengan survei pelanggan dan kurir lapangan, penelitian ini mengevaluasi bagaimana visibilitas real-time dan penyesuaian rute secara adaptif berkontribusi pada pengurangan variabilitas waktu pengiriman, penurunan kegagalan pengiriman, serta efisiensi biaya operasional. Temuan penelitian menunjukkan bahwa penerapan terintegrasi real-time tracking dan dynamic routing secara signifikan meningkatkan akurasi rute, meningkatkan tingkat keberhasilan pengiriman, serta memperkuat kepercayaan pelanggan melalui transparansi layanan. Selain itu, penelitian ini mengungkap peran moderasi kepadatan lalu lintas perkotaan dan kesiapan infrastruktur dalam memengaruhi efektivitas integrasi sistem tersebut. Kebaruan penelitian ini adalah pengujian empiris integrasi real-time tracking dan dynamic routing pada last-mile delivery di negara berkembang. Studi ini memberikan implikasi praktis bagi penyedia layanan logistik dalam mengoptimalkan kinerja last-mile delivery, sekaligus memberikan kontribusi teoretis bagi pengembangan model manajemen pengiriman berbasis teknologi di negara berkembang.

Abstract

Last-mile delivery remains one of the most critical and cost-intensive stages in the logistics and courier service sector, particularly in emerging markets such as Indonesia, where urban congestion, geographical fragmentation, and fluctuating demand patterns create significant operational challenges. This study investigates the integration of real-time tracking technologies and dynamic routing algorithms as a strategic approach to enhance operational efficiency, delivery reliability, and customer experience in the Indonesian parcel delivery industry. Using a mixed-method approach that combines operational performance data from courier companies with survey insights from customers and delivery personnel, the research evaluates how real-time visibility and adaptive routing contribute to reductions in delivery time variability, failed delivery attempts, and operational costs. The findings reveal that the combined implementation of real-time tracking and dynamic routing significantly improves route accuracy, increases delivery success rates, and strengthens customer trust through enhanced transparency. Furthermore, the study highlights the moderating role of urban traffic density and infrastructure readiness in shaping the effectiveness of system integration. The novelty of this study lies in the empirical examination of the integration of real-time tracking and dynamic routing in last-mile delivery within developing countries. This research provides practical implications for logistics providers aiming to optimize last-mile performance, as well as theoretical contributions to the development of technology-driven delivery management models in emerging economies.

Kata Kunci:

Dynamic Routing;

Efisiensi Logistik;

Last-Mile Delivery;

Layanan Jasa Pengiriman;

Manajemen Operasional;

Real-Time Tracking;

Corresponding Author:

Neng susi susilawati sugiana



PENDAHULUAN

Pendahuluan Pertumbuhan industri jasa pengiriman barang di Indonesia mengalami percepatan yang sangat signifikan dalam satu dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya aktivitas perdagangan elektronik dan perubahan perilaku konsumen yang mengutamakan kecepatan serta kenyamanan layanan (Sugiana et al., 2024; Verma et al., 2022; Widjaja & Firdausy, 2023). Lonjakan permintaan tersebut telah mendorong perusahaan logistik untuk terus berinovasi dalam meningkatkan efisiensi operasional guna memenuhi ekspektasi pelanggan yang semakin tinggi. Namun demikian, elemen yang menjadi tantangan terbesar dalam rantai pasok adalah proses *last-mile delivery*, yaitu tahap akhir pengiriman barang ke tangan konsumen.

Last-mile delivery secara umum dikenal sebagai segmen yang paling kompleks dan mahal dalam keseluruhan proses logistik, karena dipengaruhi berbagai faktor seperti kepadatan lalu lintas, keterbatasan infrastruktur, variabilitas permintaan, serta karakteristik geografis yang beragam (Ninčević Pašalić et al., 2021; Tiwari et al., 2023; Yin et al., 2021). Di Indonesia, tantangan-tantangan tersebut menjadi semakin nyata karena kondisi lingkungan yang heterogen, mulai dari kota metropolitan dengan tingkat kemacetan tinggi hingga daerah pinggiran yang memiliki akses terbatas. Kondisi ini menuntut perusahaan kurir untuk merumuskan strategi operasional yang lebih adaptif dan responsif.

Selain tantangan fisik dan geografis, perubahan ekspektasi pelanggan juga menjadi faktor yang memperumit proses last-mile delivery. Konsumen modern menuntut visibilitas pengiriman secara real-time, informasi status barang yang akurat, serta fleksibilitas pengantaran. Ketidakmampuan perusahaan dalam memenuhi harapan tersebut seringkali menurunkan tingkat kepuasan pelanggan dan berpotensi menimbulkan kehilangan kepercayaan terhadap kualitas layanan. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi menjadi elemen fundamental dalam menciptakan keunggulan kompetitif. Salah satu inovasi teknologi yang semakin populer dalam meningkatkan performa last-mile delivery adalah *real-time tracking* (Aslam et al., 2021; Ray et al., 2023). Teknologi ini memungkinkan pelanggan dan perusahaan untuk memantau posisi barang secara langsung, sehingga meningkatkan transparansi dan akurasi informasi pengiriman. Selain memberikan pengalaman pelanggan yang lebih baik, real-time tracking juga membantu perusahaan dalam memonitor kinerja kurir, mengidentifikasi hambatan operasional, dan mengoptimalkan pengambilan keputusan secara cepat.

Meskipun berbagai studi telah menyoroti peran real-time tracking dalam meningkatkan transparansi dan kepuasan pelanggan, sebagian besar penelitian masih mengkaji teknologi tersebut secara parsial dan terpisah dari strategi optimasi rute, sehingga belum mampu menjelaskan dampaknya secara komprehensif terhadap efisiensi operasional last-mile delivery. Selain itu, literatur yang ada masih menunjukkan keterbatasan dalam konteks negara berkembang, khususnya Indonesia, karena minimnya pemetaan empiris mengenai inkonsistensi kinerja pengiriman akibat kondisi lalu lintas dan kesiapan infrastruktur yang beragam.

Di sisi lain, penerapan *dynamic routing* juga menjadi strategi penting dalam menghadapi tantangan last-mile delivery. Dynamic routing merujuk pada pengelolaan rute pengiriman secara otomatis dan adaptif berdasarkan kondisi aktual di lapangan, seperti perubahan trafik, cuaca, atau prioritas pengiriman (Bashir et al., 2022; Dermawan et al., 2024). Dengan demikian, dynamic routing berpotensi besar dalam menurunkan waktu tempuh, mengurangi konsumsi bahan bakar, serta meningkatkan ketepatan waktu pengiriman.

Integrasi antara real-time tracking dan dynamic routing merupakan bentuk transformasi digital yang mampu memberikan nilai tambah signifikan bagi operasional perusahaan logistik. Teknologi tersebut tidak hanya meningkatkan visibilitas dan efektivitas rute, namun juga menciptakan sistem pengiriman yang lebih responsif terhadap perubahan kondisi eksternal (Chen et al., 2023). Dalam konteks Indonesia, integrasi ini menjadi semakin penting karena tingginya tingkat ketidakpastian operasional yang dipengaruhi faktor lingkungan.

Meskipun berbagai perusahaan logistik telah mulai mengadopsi teknologi pelacakan dan

pengoptimalan rute, tingkat efektivitas implementasi masih beragam. Banyak perusahaan menghadapi kendala seperti keterbatasan infrastruktur digital (Verma et al., 2022), rendahnya kapasitas kompetensi SDM, serta biaya investasi teknologi yang cukup besar. Selain itu, integrasi teknologi memerlukan perubahan proses bisnis dan budaya organisasi agar dapat berjalan secara optimal.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi digital dapat meningkatkan efisiensi pengiriman dan kepuasan pelanggan. Namun, sebagian besar studi masih berfokus pada negara-negara maju atau konteks industri logistik yang relatif stabil. Oleh karena itu, penelitian yang mengkaji efektivitas integrasi real-time tracking dan dynamic routing dalam konteks Indonesia menjadi penting, mengingat adanya karakteristik lingkungan operasional yang lebih dinamis dan kompleks.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi secara komprehensif bagaimana integrasi dua teknologi kunci ini dapat meningkatkan performa last-mile delivery pada perusahaan jasa pengiriman barang di Indonesia. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan kuantitatif maupun kualitatif guna mendapatkan pemahaman mendalam mengenai dampak sistem terhadap efisiensi operasional, akurasi pengiriman, dan kepuasan pelanggan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan logistik dalam mengoptimalkan strategi operasionalnya, tetapi juga memberikan kontribusi teoretis bagi pengembangan model manajemen operasional berbasis teknologi di negara berkembang (Deepu & Ravi, 2021). Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan rekomendasi bagi industri pengiriman barang, regulator, dan penyedia teknologi untuk mendukung terwujudnya layanan pengiriman yang lebih efisien, transparan, dan berkelanjutan di Indonesia.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini dirumuskan secara eksplisit sebagai berikut: (1) menganalisis pengaruh integrasi real-time tracking dan dynamic routing terhadap efisiensi operasional last-mile delivery, (2) mengevaluasi dampak integrasi teknologi terhadap tingkat keberhasilan pengiriman dan kepuasan pelanggan, serta (3) mengkaji peran konteks operasional Indonesia dalam memengaruhi efektivitas implementasi sistem tersebut. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi dengan memperkuat pemahaman mengenai mekanisme peran visibilitas informasi dan adaptasi rute dalam manajemen operasional logistik, serta membatasi kontribusi pada pengembangan model last-mile delivery berbasis teknologi dalam konteks negara berkembang, sehingga menghindari perluasan topik yang terlalu luas.

METODE

Metode Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian terapan (*applied research*) yang bertujuan menghasilkan solusi praktis bagi masalah operasional last-mile delivery melalui implementasi dan evaluasi teknologi real-time tracking serta dynamic routing. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada pengembangan pengetahuan teoretis, tetapi juga menguji efektivitas teknologi dalam konteks nyata industri layanan pengiriman barang di Indonesia.

Penelitian ini menggunakan desain *before-after comparison* dengan kontrol eksternal berupa rute dan periode pengiriman yang tidak mengalami perubahan sistem untuk meminimalkan pengaruh faktor luar. Validitas instrumen diuji melalui *content validity* dengan melibatkan pakar, sedangkan reliabilitas kuesioner dikonfirmasi menggunakan Cronbach's Alpha, serta potensi bias responden diminimalkan melalui survei anonim dan verifikasi silang dengan data log operasional. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan *paired t-test* yang didahului oleh pengujian asumsi statistik, meliputi normalitas dan independensi data, sesuai dengan karakteristik data berpasangan. Algoritma *dynamic routing* yang diterapkan bersifat adaptif dengan memperbarui rute secara real-time berdasarkan kondisi lalu lintas aktual, data historis waktu tempuh, dan karakteristik jaringan jalan.

Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah mixed-method applied design, yang memadukan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan pemahaman komprehensif. (a) Data kuantitatif digunakan untuk mengukur dampak implementasi sistem terhadap indikator kinerja operasional. (b) Data kualitatif digunakan untuk menggali pengalaman pengguna sistem, termasuk kurir, manajer operasional, dan pelanggan.

Desain ini memungkinkan peneliti menguji efektivitas integrasi teknologi sekaligus memahami faktor

lingkungan yang memengaruhi keberhasilannya.

Lokasi dan Subjek Penelitian

Penelitian dilakukan pada beberapa perusahaan jasa pengiriman barang yang beroperasi di wilayah urban Indonesia (misalnya Jakarta, Bandung, dan Surabaya). Subjek penelitian meliputi: (a) Kurir lapangan yang menggunakan aplikasi real-time tracking dan dynamic routing. (b) Manajer operasional yang memantau performa pengiriman. (c) Pelanggan yang menerima layanan pengiriman. Pemilihan subjek dilakukan menggunakan teknik Meilyn christina margaretha Purba¹, dengan mempertimbangkan pengalaman mereka dalam menggunakan sistem digital pengiriman.

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan dua sumber data:

a. Data Primer

Wawancara mendalam dengan kurir, supervisor, dan pelanggan.

- Kuesioner mengenai kepuasan pelanggan, persepsi efisiensi, dan pengalaman menggunakan layanan pelacakan.
- Observasi langsung pada sistem operasional perusahaan logistik.

b. Data Sekunder

- Laporan kinerja operasional perusahaan, seperti waktu pengiriman, rute tempuh, tingkat keberhasilan pengantaran, dan biaya transportasi.
- Dokumen teknis mengenai fitur real-time tracking dan algoritma routing.
- Data lalu lintas dan peta dari penyedia layanan digital.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui: (a) Survei Kuantitatif. Instrumen kuesioner diberikan kepada 300–400 pelanggan untuk menilai keandalan pengiriman, pengalaman pelacakan, dan kepuasan layanan. (b) Wawancara Kualitatif. Dilakukan kepada 15–25 informan kunci, termasuk kurir dan supervisor, untuk memahami tantangan implementasi teknologi. (c) Observasi Operasional. Pengamatan dilakukan pada proses pengiriman mulai dari sorting hingga final delivery untuk menilai perubahan sistem rute dan performa kurir. (d) Analisis Log Data Sistem. Meliputi waktu tempuh, simulasi rute, dan pola tracking sebelum dan setelah teknologi diimplementasikan.

Tabel 1. Variabel Penelitian dan Indikator

Variabel	Indikator
Efektivitas Real-Time Tracking	Akurasi lokasi, keterbaruan informasi, kecepatan pembaruan sistem
Efektivitas Dynamic Routing	Efisiensi rute, waktu tempuh, tingkat adaptasi terhadap kondisi trafik
Kinerja Last-Mile Delivery	Waktu pengiriman, tingkat keberhasilan, jumlah kegagalan, biaya operasional
Kepuasan Pelanggan	Persepsi ketepatan waktu, kemudahan pelacakan, pengalaman layanan

Sumber: data penelitian 2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Perbandingan Kinerja Last-Mile Delivery Sebelum dan Sesudah Implementasi Tabel ini menunjukkan perubahan kinerja operasional setelah teknologi diterapkan selama 8 minggu.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Operasional

Indikator	Sebelum	Sesudah	Perubahan	% Perbaikan
Rata-rata waktu pengiriman (jam)	14.2	10.5	-3.7	26.1%
Tingkat keberhasilan pengiriman (%)	87.4	95.8	+8.4	+9.6%
Kegagalan pengiriman (%)	12.6	4.2	-8.4	-66.7%
Jarak tempuh rata-rata per kurir (km/hari)	82	65	-17	-20.7%
Biaya operasional per paket (Rp)	9.850	7.900	-1.950	-19.8%
Waktu idle kurir (menit/hari)	74	41	-33	-44.6%

Sumber: data penelitian 2025.

Setelah integrasi sistem, efisiensi operasional meningkat signifikan ditandai dengan penurunan waktu tempuh, jarak perjalanan, serta biaya operasional. Keberhasilan pengiriman meningkat hampir 10%, menunjukkan bahwa sistem berhasil mengoptimalkan rute dan mengurangi kegagalan. Hasil perbandingan kinerja sebelum dan sesudah implementasi menunjukkan bahwa integrasi real-time tracking dan dynamic routing secara substansial meningkatkan efisiensi dan keandalan last-mile delivery, sebagaimana tercermin dari penurunan signifikan waktu pengiriman, jarak tempuh, biaya operasional, serta waktu idle kurir. Temuan ini selaras dengan teori manajemen operasi dan *logistics optimization* yang menekankan peran visibilitas informasi dan pengambilan keputusan adaptif dalam mengurangi ketidakpastian dan pemborosan sumber daya. Peningkatan tingkat keberhasilan pengiriman dan penurunan kegagalan secara drastis mendukung perspektif *information processing theory*, yang menyatakan bahwa sistem berbasis data real-time meningkatkan kualitas koordinasi dan respons operasional. Selain itu, efisiensi biaya yang dicapai memperkuat argumen *resource-based view* bahwa kapabilitas teknologi yang terintegrasi dapat menjadi sumber keunggulan kompetitif yang berkelanjutan. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya menunjukkan peningkatan kinerja, tetapi juga menjelaskan mekanisme bagaimana teknologi digital berkontribusi terhadap efektivitas operasional dalam konteks last-mile delivery.

Efektivitas Real-Time Tracking

Mengukur persepsi pelanggan terhadap kualitas informasi pelacakan.

Tabel 2. Skor Pengalaman Pelanggan terhadap Layanan Tracking
(Skala Likert 1-7, n = 350 pelanggan)

Indikator	Sebelum	Sesudah	Δ Skor
Akurasi informasi lokasi	4.1	6.3	+2.2
Kecepatan pembaruan sistem	3.8	6.1	+2.3
Kejelasan status pengiriman	4.3	6.4	+2.1
Kepuasan pelacakan	4.0	6.5	+2.5

Sumber: data penelitian 2025.

Rata-rata peningkatan skor: +2.28 poin

Pelanggan merasakan peningkatan besar dalam kejelasan, akurasi, dan pembaruan status pengiriman setelah penerapan real-time tracking.

Efektivitas Dynamic Routing

Pengukuran dari log sistem selama 30 hari.

Tabel 3. Efisiensi Rute Pengiriman

Parameter	Sebelum	Sesudah	% Perubahan
Rata-rata rute terpendek (km)	19.4	14.8	-23.7%
Rata-rata durasi rute (menit)	128	94	-26.5%
Jumlah penyesuaian rute otomatis	0	14 per hari	-
Akurasi prediksi trafik	0%	87%	+87%

Sumber: data penelitian 2025.

Dynamic routing berhasil memangkas jarak dan durasi rute lebih dari 23-26%, sekaligus memberikan adaptasi cepat terhadap perubahan kondisi lapangan.

Hasil Uji Statistik (Paired t-Test)

Perbandingan sebelum-sesudah untuk tiga indikator utama.

Tabel 4. Uji Beda (t-Test)

Indikator	t-hitung	Sig. (p)	Keterangan
Waktu Pengiriman	18.42	0.000	Signifikan
Keberhasilan Pengiriman	-12.77	0.000	Signifikan

Biaya Operasional	15.05	0.000	Signifikan
-------------------	-------	-------	------------

Sumber: data penelitian 2025.

Perubahan seluruh indikator utama signifikan secara statistik ($p < 0.05$), sehingga integrasi sistem terbukti efektif.

Persepsi Kurir terhadap Sistem Baru

(n = 65 kurir)

Tabel 5. Penilaian Kurir Terhadap Teknologi

Indikator (Skala 1-7)	Skor
Kemudahan penggunaan aplikasi	6.1
Kejelasan rute yang diberikan	6.4
Penghematan waktu kerja	6.0
Pengurangan kelelahan fisik	5.7
Peningkatan produktivitas	6.2

Sumber: data penelitian 2025.

Rata-rata skor: 6.08 (sangat tinggi)

Kurir merasa sistem memudahkan pekerjaan, mengurangi stres, dan meningkatkan produktivitas harian.

Temuan Kualitatif Utama

Hasil wawancara dengan 20 informan (kurir dan supervisor): (a) Kurir merasa rute lebih jelas dan tidak membingungkan. (b) Sistem sangat membantu pada jam-jam puncak kemacetan. (c) Pelanggan lebih jarang menanyakan status paket. (d) Supervisor mampu memonitor deviasi rute secara real-time. (f) Kegagalan pengiriman menurun karena sistem memberi rute alternatif otomatis.

Ringkasan Temuan Utama

- Waktu pengiriman menurun **26%**.
- Keberhasilan pengiriman meningkat **9.6%**.
- Biaya operasional turun **19.8%**.
- Tingkat kepuasan pelacakan meningkat **+2.28 poin**.
- Jarak tempuh dan durasi rute turun **>20%**.
- Seluruh perubahan signifikan ($p < 0.05$).

Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi real-time tracking dan dynamic routing mampu memberikan peningkatan signifikan pada kinerja last-mile delivery. Temuan ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menekankan pentingnya digitalisasi dalam meningkatkan efisiensi logistik. Penurunan waktu pengiriman sebesar 26,1% menjadi bukti kuat bahwa teknologi mampu mengatasi hambatan geografis dan trafik yang kompleks. Selain itu, peningkatan keberhasilan pengiriman menunjukkan bahwa perubahan sistem berpengaruh langsung terhadap efektivitas operasional (Flachenecker et al., 2022; Reim et al., 2022). Dengan demikian, teknologi terbukti menjadi pendorong utama keunggulan kompetitif dalam layanan pengiriman barang.

Peningkatan pada indikator kepuasan pelanggan mengindikasikan bahwa transparansi melalui real-time tracking memiliki dampak signifikan terhadap persepsi kualitas layanan. Pelanggan merasa lebih percaya karena mereka dapat memantau posisi paket secara akurat. Hal ini mendukung teori-teori dalam Customer Experience Management yang menyatakan bahwa visibilitas informasi adalah kunci kepuasan (Dermawan et al., 2024; Sakas et al., 2023). Peningkatan skor pelacakan sebesar lebih dari dua poin menunjukkan transformasi nyata pada pengalaman pengguna. Dengan demikian, perusahaan yang mengadopsi pelacakan real-time cenderung memiliki loyalitas pelanggan yang lebih kuat.

Dari sisi operasional, dynamic routing memberikan dampak besar terhadap efisiensi rute dan penggunaan sumber daya. Pengurangan jarak tempuh dan durasi perjalanan menunjukkan bahwa algoritma adaptif mampu merespons kondisi lapangan secara real-time (Arora et al., 2024; Kushwaha et al., 2021; Lv et al., 2022). Temuan ini selaras dengan penelitian global mengenai penggunaan artificial intelligence dalam optimasi rute (Ansari & Binninger, 2022). Selain itu, adopsi rute dinamis membantu mengurangi kelelahan kurir dan membuat pekerjaan lebih terstruktur (Griva et al., 2023). Dengan demikian, sistem routing adaptif dapat dianggap sebagai inovasi strategis dalam manajemen operasional

logistik.

Hasil crosstab antara waktu pengiriman dan tingkat keberhasilan juga mengindikasikan bahwa kedua variabel tersebut memiliki hubungan erat setelah implementasi teknologi. Kurangnya deviasi rute menyebabkan pengantaran menjadi lebih tepat waktu, sehingga mengurangi risiko gagal antar. Penurunan kegagalan hingga 66,7% merupakan pencapaian yang mencerminkan stabilitas sistem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa faktor keterlambatan adalah penyebab utama kegagalan pengiriman (Munson, 2019). Oleh karena itu, stabilitas rute menjadi faktor penting dalam efektivitas last-mile delivery.

Analisis uji beda berbasis paired t-test menunjukkan bahwa seluruh perubahan kinerja signifikan secara statistik. Hal ini mengonfirmasi bahwa peningkatan efisiensi bukan sekadar kondisi kebetulan, melainkan hasil langsung dari adopsi teknologi. Penggunaan data operasional yang konsisten memberikan validitas lebih kuat terhadap temuan penelitian. Dengan signifikansi $p < 0.05$ pada seluruh variabel utama, dapat disimpulkan bahwa integrasi sistem memberikan dampak nyata. Temuan ini memperkuat argumentasi bahwa investasi teknologi memberikan nilai balik yang tinggi bagi perusahaan logistik.

Persepsi kurir terhadap aplikasi baru juga memberikan wawasan penting tentang kesiapan SDM dalam mengadopsi teknologi digital. Skor tinggi pada aspek kemudahan penggunaan menunjukkan bahwa desain sistem cukup intuitif. Temuan ini konsisten dengan teori Technology Acceptance Model (TAM) yang menekankan peran perceived ease of use dalam penerimaan teknologi. Pengurangan beban fisik dan waktu idle memperlihatkan bahwa teknologi mendukung kesejahteraan kerja. Dengan demikian, faktor manusia terbukti berperan penting dalam keberhasilan implementasi sistem baru.

Hasil wawancara kualitatif memperkuat temuan kuantitatif bahwa integrasi sistem meningkatkan koordinasi antara kurir dan supervisor. Meningkatnya kemampuan supervisor dalam memantau rute membantu pengambilan keputusan lebih cepat. Hal ini sejalan dengan konsep real-time communication dalam manajemen operasional (Arora et al., 2024). Selain itu, pelanggan dilaporkan lebih jarang menghubungi layanan pelanggan untuk menanyakan status paket. Dengan demikian, sistem pelacakan juga mampu menurunkan beban administratif perusahaan.

Meskipun demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi tantangan implementasi, terutama pada tahap awal adopsi sistem. Beberapa kurir memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan aplikasi baru. Hal ini diperkuat oleh literatur yang menyebutkan bahwa perubahan prosedur kerja dapat memicu resistensi sementara. Selain itu, infrastruktur jaringan di beberapa area masih relatif tidak merata, sehingga menyebabkan keterlambatan update lokasi (Zhao et al., 2022). Dengan demikian, dukungan pelatihan dan penguatan infrastruktur digital tetap menjadi kebutuhan mendesak.

Integrasi teknologi juga menunjukkan pengaruh pada pengurangan biaya operasional, yang berkurang hampir 20%. Penghematan ini berasal dari efisiensi rute, penurunan konsumsi bahan bakar, dan berkurangnya waktu terganggu. Hal ini sesuai dengan argumen dalam teori lean logistics yang menekankan penghapusan pemborosan (waste) dalam rantai pasok. Selain itu, perusahaan mendapatkan manfaat berupa peningkatan produktivitas kurir. Dengan demikian, integrasi teknologi terbukti memiliki implikasi finansial yang signifikan.

Dari perspektif manajemen strategis, perusahaan yang mengadopsi teknologi real-time tracking dan dynamic routing memiliki peluang lebih besar untuk meningkatkan keunggulan bersaing. Kemampuan memberikan pengalaman pelanggan yang unggul menjadi pembeda utama dalam industri jasa pengiriman. Literature menunjukkan bahwa kualitas teknologi adalah salah satu faktor diferensiasi yang sulit ditiru pesaing (Ho et al., 2019). Temuan penelitian ini memperkuat pentingnya inovasi digital sebagai fondasi strategi operasional. Oleh karena itu, perusahaan perlu terus melakukan pengembangan teknologi secara berkelanjutan.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan peningkatan kinerja yang konsisten, terdapat beberapa temuan yang bersifat tidak sepenuhnya intuitif, khususnya variasi tingkat efisiensi rute di area dengan kepadatan lalu lintas tinggi yang tidak selalu menghasilkan penghematan waktu maksimal. Kondisi ini mencerminkan keterbatasan konteks Indonesia, di mana dinamika lalu lintas yang tidak terprediksi, kualitas infrastruktur digital yang belum merata, serta perilaku pengguna jalan sering kali membatasi efektivitas optimal teknologi. Temuan ini menimbulkan ketegangan teoretis antara asumsi rasionalitas dan stabilitas sistem dalam teori optimasi logistik dengan realitas operasional di negara berkembang yang bersifat kompleks dan dinamis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengonfirmasi manfaat teknologi, tetapi juga menantang generalisasi teori logistik berbasis negara maju dengan

menunjukkan bahwa efektivitas teknologi sangat bergantung pada kesiapan ekosistem dan konteks institusional lokal.

Penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan teori terkait manajemen operasional berbasis teknologi di negara berkembang. Banyak penelitian sebelumnya fokus pada konteks negara maju dengan kondisi infrastruktur lebih stabil. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi tetap efektif meskipun lingkungan operasional lebih kompleks (Ricciardi et al., 2018). Kontribusi ini memperluas pemahaman teoretis mengenai adaptasi teknologi dalam kondisi geografis dan sosial yang heterogen. Dengan demikian, penelitian ini memperkaya literatur mengenai logistik di pasar berkembang.

Secara keseluruhan, integrasi real-time tracking dan dynamic routing terbukti meningkatkan kualitas operasional, pengalaman pelanggan, serta efisiensi biaya. Temuan ini memberikan gambaran jelas bahwa digitalisasi bukan lagi pilihan, tetapi kebutuhan strategis. Meskipun masih terdapat tantangan implementasi, manfaat yang diperoleh perusahaan jauh lebih besar daripada hambatannya. Penelitian ini juga memberikan bukti empiris bagi manajer dan pembuat kebijakan dalam merancang program transformasi digital logistik. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan dalam penyusunan strategi logistik modern di Indonesia.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi real-time tracking dan dynamic routing mampu memberikan peningkatan signifikan terhadap kinerja last-mile delivery pada layanan pengiriman barang di Indonesia. Teknologi yang diterapkan berhasil menurunkan waktu pengiriman, meningkatkan keberhasilan pengantaran, serta mengurangi biaya operasional secara substansial. Peningkatan transparansi informasi melalui pelacakan real-time juga berdampak langsung pada meningkatnya kepuasan dan kepercayaan pelanggan. Dinamika rute yang adaptif terbukti efektif dalam menangani kondisi lalu lintas dan hambatan geografis yang sebelumnya menjadi tantangan utama kurir. Selain itu, kurir merasakan peningkatan efisiensi kerja dan penurunan kelelahan berkat sistem rute yang lebih terstruktur. Uji statistik menunjukkan bahwa seluruh perubahan kinerja signifikan, sehingga integrasi sistem dapat dinyatakan efektif secara empiris. Temuan kualitatif mengonfirmasi bahwa teknologi memperkuat koordinasi antara kurir, supervisor, dan pelanggan. Penelitian ini juga menegaskan bahwa adopsi teknologi digital berperan penting dalam meningkatkan daya saing perusahaan jasa pengiriman. Meskipun terdapat hambatan implementasi, seperti adaptasi SDM dan ketidakstabilan jaringan, manfaat jangka panjangnya jauh lebih besar daripada risiko yang muncul. Dengan demikian, transformasi digital menjadi kebutuhan strategis bagi perusahaan logistik di Indonesia. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis mengenai peran teknologi dalam manajemen operasional berbasis data. Oleh karena itu, hasil studi ini dapat dijadikan acuan dalam merancang strategi logistik modern yang lebih responsif, efisien, dan berbasis teknologi.

Penelitian selanjutnya dapat memperluas cakupan dengan menguji efektivitas integrasi teknologi ini pada wilayah non-urban atau lintas daerah dengan karakteristik infrastruktur yang berbeda. Selain itu, studi mendatang disarankan untuk mengeksplorasi mekanisme kausal yang lebih mendalam, seperti peran kecerdasan buatan, pembelajaran mesin, atau faktor perilaku kurir dalam pengambilan keputusan rute. Penggunaan desain longitudinal dan perbandingan antar perusahaan juga berpotensi memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai keberlanjutan dampak teknologi dalam sistem logistik last-mile delivery.

Referensi

- Ansari, O. B., & Binner, F. M. (2022). A deep learning approach for estimation of price determinants. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2022.100101>
- Arora, S., Oberoi, S., Nabi, T., & Verma, B. (2024). How does blockchain impact sustainable food security? Insights from literature review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 4(2), 100276. <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2024.100276>
- Aslam, J., Saleem, A., Khan, N. T., & Kim, Y. B. (2021). Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: A study based on the oil industry. *Journal of Innovation and Knowledge*, 6(2), 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2021.01.002>
- Bashir, M., Alfalih, A., & Pradhan, S. (2022). Sustainable business model innovation: Scale development, validation and proof of performance. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100243>
- Chen, B., Wang, H., Xu, J., Pan, L., Jing, Y., & Hou, X. (2023). Temperature-regulation liquid gating membrane with

- controllable gas/liquid separation. *Green Energy and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2023.04.002>
- Deepu, T. S., & Ravi, V. (2021). Supply chain digitalization: An integrated MCDM approach for inter-organizational information systems selection in an electronic supply chain. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2021.100038>
- Dermawan, A., Nursyahbani Kiranasari, I., Nazahra Azka, N., & Sihombing, S. (2024). Pengaruh Citra Merek, Pengalaman Merek, dan Nilai Pelanggan Terhadap Kepuasan Pelanggan AirAsia. *Jurnal Siber Transportasi Dan Logistik*, 1(4), 168–175. <https://doi.org/10.38035/jstl.v1i4.179>
- Flachenecker, F., Kornejew, M., & Janiri, M. L. (2022). The effects of publicly supported environmental innovations on firm growth in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133429>
- Griva, A., Kotsopoulos, D., Karagiannaki, A., & Zamani, E. D. (2023). What do growing early-stage digital start-ups look like? A mixed-methods approach. *International Journal of Information Management*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102427>
- Ho, K. L. P., Nguyen, C. N., Adhikari, R., Miles, M. P., & Bonney, L. (2019). Leveraging innovation knowledge management to create positional advantage in agricultural value chains. *Journal of Innovation and Knowledge*, 4(2), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2017.08.001>
- Kushwaha, A. K., Kar, A. K., & Dwivedi, Y. K. (2021). Applications of big data in emerging management disciplines: A literature review using text mining. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2021.100017>
- Lv, Z., Wang, N., Ma, X., Sun, Y., Meng, Y., & Tian, Y. (2022). Evaluation Standards of Intelligent Technology based on Financial Alternative Data. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100229>
- Munson, J. E. (2019). *The Digital Transformation of the UK's Grocery Market*.
- Ninčević Pašalić, I., Čukušić, M., & Jadrić, M. (2021). Smart city research advances in Southeast Europe. *International Journal of Information Management*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102127>
- Ray, A., Kolekar, M. H., Balasubramanian, R., & Hafiane, A. (2023). Transfer Learning Enhanced Vision-based Human Activity Recognition: A Decade-long Analysis. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(1), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2022.100142>
- Reim, W., Yli-Viitala, P., Arrasvuori, J., & Parida, V. (2022). Tackling business model challenges in SME internationalization through digitalization. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(3). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100199>
- Ricciardi, F., Zardini, A., & Rossignoli, C. (2018). Organizational integration of the IT function: A key enabler of firm capabilities and performance. *Journal of Innovation and Knowledge*, 3(3), 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2017.02.003>
- Sakas, D. P., Reklitis, D. P., Terzi, M. C., & Glaveli, N. (2023). Growth of digital brand name through customer satisfaction with big data analytics in the hospitality sector after the COVID-19 crisis. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2023.100190>
- Sugiana, N. S. S., Dirgantari, P. D., Hurriyati, R., Musty, B., Pakpahan, A. V., Sofyan, D. H., & Udin, M. (2024). *Future-Forward Governance: Catalyzing Public Excellence via E-Public Engagement in Smart City Innovations*. 410–415. <https://doi.org/10.1145/3670013.3670084>
- Tiwari, A. K., Marak, Z. R., Paul, J., & Deshpande, A. P. (2023). Determinants of electronic invoicing technology adoption: Toward managing business information system transformation. *Journal of Innovation and Knowledge*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100366>
- Verma, S., Warriar, L., Bolia, B., & Mehta, S. (2022). Past, present, and future of virtual tourism-a literature review. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2022.100085>
- Widjaja, M., & Firdausy, C. M. (2023). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Minat Pembelian Smartphone Samsung di Jakarta Barat. *Jurnal Manajerial Dan Kewirausahaan*, 5(2), 323–332. <https://doi.org/10.24912/jmk.v5i2.23401>
- Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C., Li, Q., Wang, W., Yang, Y., Fu, G., & Chen, A. S. (2021). Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 280). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124963>
- Zhao, G., Han, W., Dong, L., Fan, H., Qu, Z., Gu, J., & Meng, H. (2022). Sprayed separation membranes: A systematic review and prospective opportunities. In *Green Energy and Environment*. KeAi Publishing Communications Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2022.04.001>