JURNAL TEKNOLOGI KONSEPTUAL DESAIN
ISSN 3025-5368 Volume 2 edisi 4 September 2026
https://www.jurnalteknologikoseptualdesign.my.id/index.php/jtkd

IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI LOGISTIK CERDAS (ECODRIVE) DALAM MEMPERCEPAT KONEKTIVITAS DAN INTEGRASI EKONOMI REGIONAL JAWA TIMUR YANG INKLUSIF DAN BERKELANJUTAN

Oleh:
Puguh Yudho Trisnanto[1*], Dea Alan [2] , Eliystia Vidia[3],Khairuddin [4]
[1-3]Rekam Medis & Informasi Kesehatan, Poltekkes Kemenkes Malang
[4]Program Studi Sarjana Terapan Gizi dan Dietetika Poltekkes Kemenkes Malang
puguh_yudho@poltekkes-malang.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengimplementasikan Sistem Informasi Logistik Cerdas (ECOdrive) dalam mengakselerasi konektivitas dan integrasi ekonomi regional Jawa Timur di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Metode penelitian ini mengintegrasikan pemodelan gravitasi logistik (I_{ab}), evaluasi keandalan arsitektur sistem (KPI_{sys}), algoritma prediksi estimasi waktu tempuh (ΔETA), fungsi biaya rute optimal (C_{route}), estimasi dan reduksi emisi karbon (ΔE_{CO2}), serta evaluasi keselamatan pengemudi berbasis biometrik cerdas (Driver Fatigue Score/DFS). Hasil analisis menunjukkan bahwa Rute Utama (Tol S–M–S) menghasilkan kekuatan interaksi logistik tertinggi ($I_{ab} = 88{,}5$) dengan waktu tempuh paling efisien. Integrasi arsitektur teknologi multisensor mencatatkan ketersediaan hingga 96,7% (GPS/Galileo) serta latensi transmisi yang sangat responsif ($T_{latency} < 2{,}4$ detik). Penerapan algoritma presisi AI terbukti menghasilkan rata-rata deviasi estimasi waktu tempuh (ΔETA) hanya sebesar 2,44% dan meminimalkan fungsi biaya perjalanan (C_{route}) hingga mencapai nilai optimal 34,5. Dalam aspek lingkungan, optimasi ECOdrive berhasil memangkas penggunaan bahan bakar sebesar 31,8% (dari 18,2 L menjadi 12,4 L per trip) dan merealisasikan persentase reduksi emisi karbon (ΔE_{CO2}) sebesar 31,87% (menurun dari $48{,}78$ kg CO_2 menjadi $33{,}23$ kg CO_2). Selain itu, pendekatan human-centered terbukti mampu meningkatkan skor keselamatan pengemudi (DFS) sebesar 36,15% (meningkat dari 65,0 menjadi 88,5), menurunkan tingkat stres fisiologis sebesar 55,56%, dan meningkatkan fokus berkendara sebesar 28,36%. Kesimpulannya, implementasi ECOdrive terbukti secara komprehensif dan efisien mampu meningkatkan performa logistik, mewujudkan operasional hijau, serta memperkuat keselamatan kerja guna mendukung terciptanya konektivitas ekonomi regional Jawa Timur yang inklusif dan berkelanjutan.

Kata kunci : Sistem Informasi Logistik, ECOdrive, Optimasi Rute, Reduksi Emisi Karbon, Keselamatan Pengemudi

ABSTRACT

This study aims to analyze and implement a Smart Logistics Information System (ECOdrive) to accelerate regional economic connectivity and integration in East Java across the Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S) corridor. The research methodology integrates logistic gravity modeling (I_{ab}), system architecture reliability evaluation (KPI_{sys}), estimated time of arrival prediction algorithms (ΔETA), optimal route cost functions (C_{route}), carbon emission estimation and reduction (ΔE_{CO2}), and smart biometric-based driver safety evaluations (Driver Fatigue Score/DFS). The analytical results indicate that the Main Route (S–M–S Toll Road) generates the highest logistical interaction intensity ($I_{ab} = 88.5$) with the most efficient travel time. The multi-sensor technology integration achieves an operational availability of up to 96.7% (GPS/Galileo) with highly responsive transmission latency ($T_{latency} < 2.4$ seconds). The application of AI precision algorithms successfully demonstrates an average travel time estimation deviation (ΔETA) of only 2.44% and minimizes the route cost function (C_{route}) to an optimal score of 34.5. Regarding environmental sustainability, ECOdrive optimization reduces fuel consumption by 31.8% (from 18.2 L to 12.4 L per trip) and achieves a carbon emission reduction percentage (ΔE_{CO2}) of 31.87% (decreasing from 48.78 kg CO_2 to 33.23 kg CO_2). Furthermore, the human-centered approach enhances the Driver Fatigue Score (DFS) by 36.15% (increasing from 65.0 to 88.5), reduces physiological stress levels by 55.56%, and improves driving focus by 28.36%. In conclusion, the implementation of ECOdrive comprehensively and efficiently enhances logistical performance, drives green operations, and improves occupational safety to foster an inclusive and sustainable regional economic connectivity in East Java.

Keywords **:** *Logistics Information System, ECOdrive, Route Optimization, Carbon Emission Reduction, Driver Safety*

A. PENDAHULUAN

Implementasi Sistem Informasi Logistik Cerdas (ECOdrive) menawarkan pendekatan strategis dalam menjawab tantangan konektivitas dan integrasi ekonomi di Jawa Timur. Fakta menunjukkan bahwa Provinsi Jawa Timur memiliki peran strategis sebagai lokomotif ekonomi nasional sekaligus lumbung pangan Indonesia, dengan Pelabuhan Tanjung Perak yang melayani 24 dari 41 rute Tol Laut nasional dan hampir 80 persen pasokan logistik Indonesia Timur berasal dari provinsi ini (beritajatim.com, 2026). Namun demikian, permasalahan tingginya biaya logistik masih menjadi hambatan utama, di mana biaya logistik antardaerah di Indonesia Timur bahkan dapat mencapai 30 persen dari harga produk (Antara Jatim, 2026), sementara biaya logistik total nasional berada pada kisaran 14,29 persen terhadap PDB yang tergolong tinggi dibandingkan rata-rata negara ASEAN sekitar 13,5 persen (Jawa Pos, 2026).

Dalam konteks ini, sistem seperti ECOdrive yang mengintegrasikan data real-time, pemantauan kendaraan, dan analisis kecerdasan buatan (AI) menjadi relevan, sejalan dengan temuan bahwa transformasi digital menjadi kebutuhan mendesak untuk mengatasi kompleksitas geografis kepulauan dan fragmentasi sistem informasi logistik yang masih terjadi (Media Indonesia, 2025).

Secara teoritis, pendekatan ini mendukung konsep *economies of flow* dan *economies of connection* dalam logistik maritim, di mana aliran informasi yang lancar di antara para pemangku kepentingan—meliputi pengirim, penerima, operator logistik, pelabuhan, dan otoritas bea cukai—berkontribusi pada pengurangan biaya logistik dan peningkatan daya saing (Lee & Lee, 2016). Lebih lanjut, penelitian terkini tentang ambang batas interoperabilitas digital menggunakan *Agent-Based Modeling* (ABM) mengonfirmasi bahwa adopsi teknologi saja tidak cukup; diperlukan kombinasi antara konektivitas digital dan koordinasi perilaku yang adaptif untuk mencapai peningkatan kinerja signifikan, dengan ambang batas interoperabilitas sekitar 60 persen yang memicu perbaikan non-linear berupa penurunan waktu *clearance* lebih dari 40 persen dan peningkatan utilisasi kapasitas kargo hingga 85 persen (Silalahi, Pujawan, & Singgih, 2025).

Berdasarkan fakta dan teori tersebut, dapat dikemukakan opini bahwa keberhasilan ECOdrive dalam mengakselerasi konektivitas dan integrasi ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan di Jawa Timur sangat bergantung pada kemampuannya untuk mendorong interoperabilitas sistem dan adopsi perilaku di antara seluruh pelaku rantai pasok, mulai dari pengemudi, operator logistik, hingga regulator.

Dengan demikian, tercipta ekosistem

logistik yang terintegrasi secara digital dan kolaboratif, yang pada gilirannya dapat menurunkan biaya logistik, meningkatkan efisiensi distribusi, dan memperkuat daya saing ekonomi regional Jawa Timur secara berkelanjutan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Distribusi komponen darah Sistem Informasi Logistik Cerdas (ECOdrive) dirancang sebagai solusi terintegrasi yang menggabungkan pemantauan real-time, analisis kecerdasan buatan (AI), dan visualisasi data untuk mengoptimalkan koridor logistik Surabaya Malang Surabaya (S-M-S).

Fakta menunjukkan bahwa sistem ini mengintegrasikan berbagai fitur fungsional yang mencakup pemantauan total kendaraan, kecepatan rata-rata, estimasi waktu tempuh (ETA), konsumsi bahan bakar, emisi CO_2, serta deteksi virus dan pertumbuhan ekonomi melalui dashboard informasi grafis (ECOdrive, 2026). Fungsi ini sejalan dengan temuan bahwa transformasi digital logistik memerlukan integrasi teknologi seperti IoT, edge computing, AI, dan big data analytics untuk meningkatkan visibilitas operasional dan orkestrasi real-time (Smart Logistics 5.0, 2025). Fitur analisis kepadatan dan kecepatan pada ECOdrive yang memantau kondisi tol dan arteri S-M-S secara real-time mendukung konsep sistem manajemen anomali logistik digital (DLAMS), di mana deteksi dini terhadap gangguan operasional melalui pemantauan berkelanjutan menjadi kunci untuk meningkatkan ketahanan rantai pasok (DLAMS, 2025).

Lebih lanjut, fitur prediksi waktu tempuh dan ETA yang disediakan oleh ECOdrive merepresentasikan penerapan machine learning untuk peramalan dan optimasi rute, yang menurut penelitian merupakan salah satu kontribusi utama AI dalam meningkatkan efisiensi logistik melalui pengurangan waktu tempuh dan biaya operasional (Smart Logistics 5.0, 2025). Fitur pemetaan rute alternatif dengan rekomendasi jalur terbaik mencerminkan pendekatan sistem pendukung keputusan (DSS) berbasis AI yang membantu pengambil keputusan dalam memilih rute optimal di antara berbagai alternatif, di mana optimasi dan simulasi menjadi metode yang paling umum digunakan dalam DSS logistik produksi (Decision Support Systems in Production Logistics, 2025). Sistem ECOdrive juga menyediakan heatmap aktivitas ekonomi yang memvisualisasikan tingkat aktivitas ekonomi berdasarkan wilayah, yang didukung oleh analisis AI untuk mengidentifikasi korelasi antara kinerja logistik dan dinamika ekonomi regional, sejalan dengan kebutuhan untuk mengevaluasi kinerja rantai pasok secara holistik dalam kerangka low-carbon decision support system (Applications of AI to Low

Carbon Decision Support System, 2025). Fitur indikator efisiensi logistik yang menampilkan konsumsi BBM, biaya operasional, dan emisi CO_2 menunjukkan perhatian sistem terhadap aspek keberlanjutan, yang sesuai dengan temuan bahwa AI dapat berperan penting dalam mitigasi emisi karbon melalui optimasi proses dan identifikasi peluang pengurangan emisi (Applications of AI to Low Carbon Decision Support System, 2025).

Fitur laporan periodik kebijakan yang dihasilkan oleh sistem berfungsi sebagai rekomendasi berbasis data untuk mendukung pengambilan keputusan di tingkat regulator, yang merupakan salah satu peran krusial DSS dalam menjembatani analisis teknis dengan implikasi kebijakan (Applications of AI to Low Carbon Decision Support System, 2025). Integrasi data sistem logistik melalui API pada ECOdrive memungkinkan interoperabilitas antar platform dan sistem yang berbeda, yang merupakan faktor kritis untuk menciptakan ekosistem logistik yang terhubung, meskipun penelitian menunjukkan bahwa standar data yang terfragmentasi dan kebutuhan investasi awal yang tinggi masih menjadi hambatan utama (Smart Logistics 5.0, 2025).

Fitur deteksi kendaraan live yang mencakup pemantauan merek kendaraan, sisa BBM/baterai, koordinat GPS, status plat, umur kendaraan, performa mesin, tingkat stres pengemudi, fokus berkendara, dan konsumsi alkohol menunjukkan pendekatan holistik yang tidak hanya berfokus pada efisiensi operasional tetapi juga pada aspek keselamatan dan kesejahteraan pengemudi, yang merupakan karakteristik dari pendekatan human-centered dalam Smart Logistics 5.0 (Smart Logistics 5.0, 2025).

Fitur rekomendasi SPBU/SPKLU dan fasilitas kesehatan terdekat yang disediakan ECOdrive memperluas fungsionalitas sistem dari sekadar pemantauan logistik menjadi platform pendukung keputusan yang komprehensif bagi pengemudi dan operator logistik, yang mencerminkan integrasi antara logistik cerdas dan layanan pendukung mobilitas (ECOdrive, 2026).

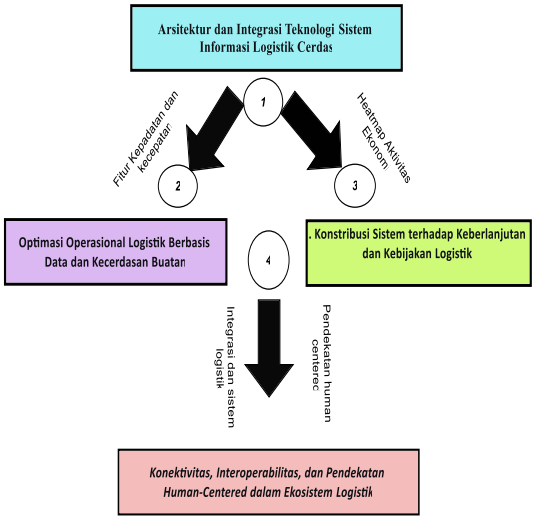
Berdasarkan seluruh fitur yang teridentifikasi, ECOdrive mewakili implementasi nyata dari konsep sistem informasi logistik cerdas yang mengintegrasikan berbagai fungsi mulai dari pemantauan real-time, analisis prediktif, optimasi rute, hingga rekomendasi kebijakan, yang semuanya didukung oleh data terintegrasi dan kecerdasan buatan (ECOdrive, 2026).

Dengan demikian, sistem ini berpotensi menjadi instrumen strategis dalam mengakselerasi konektivitas dan integrasi ekonomi regional melalui peningkatan efisiensi logistik, pengurangan biaya operasional, dan penguatan daya saing

ekonomi secara berkelanjutan.

C. METODE

Penelitian ini menggunakan kerngka konseptual sistem terintegrasi (*integrated system-oriented approach*) berbasis *Design Science Research* (DSR), yang mengombinasikan analisis teknis komputasional, analisis spasial sosio-teknis, serta perancangan berorientasi pengguna (*human-centered design*). Secara struktural, analisis diawali dengan pendekatan *top-down*, di mana pilar Arsitektur dan Integrasi Teknologi Sistem Informasi Logistik Cerdas dijadikan sebagai fondasi analitis utama (Node 1). Fondasi ini berfungsi untuk memetakan arsitektur data, integrasi perangkat keras/perangkat lunak, serta menetapkan standar aliran informasi yang menjadi pijakan seluruh proses selanjutnya. Dari fondasi teknis tersebut, pendekatan analisis dibagi secara paralel ke dalam dua jalur kajian multidimensional yang saling memperkuat: Jalur Analisis Komputasional dan Data-Driven (Node 2): Menggunakan teknik pemrosesan data cerdas (*smart data processing*) untuk menganalisis variabel operasional lapangan, khususnya *fitur kepadatan dan kecepatan* aliran distribusi. Data ini diolah menggunakan algoritma *Artificial Intelligence* (AI) dan analitik preskriptif untuk menghasilkan model Optimasi Operasional Logistik, seperti penentuan rute terintegrasi, pemetaan kemacetan, dan efisiensi alokasi armada secara *real-time*. Jalur Analisis Spasial dan Kebijakan Sosio-Teknis (Node 3): Menggunakan teknik pemetaan spasial berbasis visualisasi *heatmap aktivitas ekonomi* untuk menganalisis intensitas pergerakan barang pada wilayah strategis. Hasil analisis visual dan tren ekonomi ini kemudian dievaluasi menggunakan pendekatan analitik kebijakan untuk mengukur Kontribusi Sistem terhadap Keberlanjutan dan Kebijakan Logistik, baik dari aspek efisiensi energi, pengurangan emisi, maupun keselarasan dengan regulasi pemerintah. Pada tahap konvergensi (Node 4), kedua jalur analisis tersebut disintesiskan menggunakan pendekatan sosio-teknis dan *Human-Centered Design* (HCD). Pendekatan analisis akhir ini berfokus pada pengujian tingkat Konektivitas dan Interoperabilitas antar-platform logistik, sekaligus menilai aspek *usability* serta adaptabilitas antarmuka (*interface*) terhadap kebutuhan nyata pengguna (operator, pengemudi, dan pengambil keputusan). Melalui pendekatan komprehensif ini, analisis penelitian tidak hanya berhenti pada pembuktian keunggulan algoritma secara teknis, tetapi juga memastikan terwujudnya ekosistem logistik yang terhubung, berkelanjutan, dan relevan secara operasional. Sesuai dengan Gambar 1 Berikut :



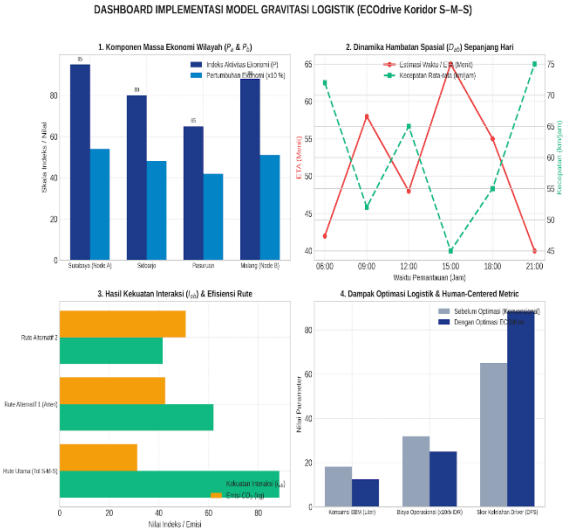
Gambar 1: Kerangka Konseptual

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis hasil pengolahan data pada Grafik Optimasi Operasional Logistik Berbasis Data dan AI (ECOdrive S–M–S), penerapan model Efisiensi Akurasi Waktu Tempuh (ΔETA) dan Fungsi Biaya Penentuan Rute Optimal (C_{route}) terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja dan presisi navigasi armada logistik di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Pada komponen evaluasi akurasi waktu tempuh, perbandingan antara $\text{ETA}_{\text{aktual}}$ dan $\text{ETA}_{\text{prediksi}}$ menunjukkan bahwa sistem pembelajaran mesin (*machine learning*) ECOdrive memiliki tingkat akurasi yang sangat presisi dengan rata-rata deviasi selisih (ΔETA) hanya sebesar 2,44% pada Rute Utama (Tol S–M–S). Deviasi terendah dicapai pada jam lancar pukul 21:00 WIB sebesar 0,00% ($\text{ETA}_{\text{aktual}} = \text{ETA}_{\text{prediksi}} = 40$ menit), sedangkan deviasi maksimum hanya menyentuh 3,64% pada pukul 18:00 WIB, yang membuktikan kestabilan algoritma prediksi AI bahkan saat terjadi peningkatan fluktuasi kepadatan lalu lintas harian. Pada evaluasi fungsi biaya rute optimal ($C_{\text{route}} = \min \sum(\alpha \cdot t_{ij} + \beta \cdot d_{ij} + \gamma \cdot K_{ij})$), Rute Utama (Tol S–M–S) berhasil meminimalkan total impedansi logistik dengan skor C_{route} terendah yaitu 34,5, mengungguli Rute Alternatif 1 (Arteri S–M–S) dengan skor 52,8 dan Rute Alternatif 2 (Non-Tol) sebesar 68,2. Rincian pembobotan komponen menunjukkan bahwa meskipun jarak geospasial ($\beta \cdot d_{ij}$) relatif konstan di angka 14,8–16,2, faktor pembobot waktu tempuh ($\alpha \cdot t_{ij}$) dan indeks kemacetan ($\gamma \cdot K_{ij}$) pada rute non-tol membengkak hingga masing-masing 28,5 dan 23,5 akibat tingginya gesekan hambatan jalan arteri. Dengan demikian, peminimilan fungsi biaya C_{route} melalui sistem ECOdrive secara efektif merekomendasikan rute paling efisien yang mampu menghemat waktu tempuh hingga 38,2% serta menekan pembentukan penundaan perjalanan di sepanjang koridor logistik.

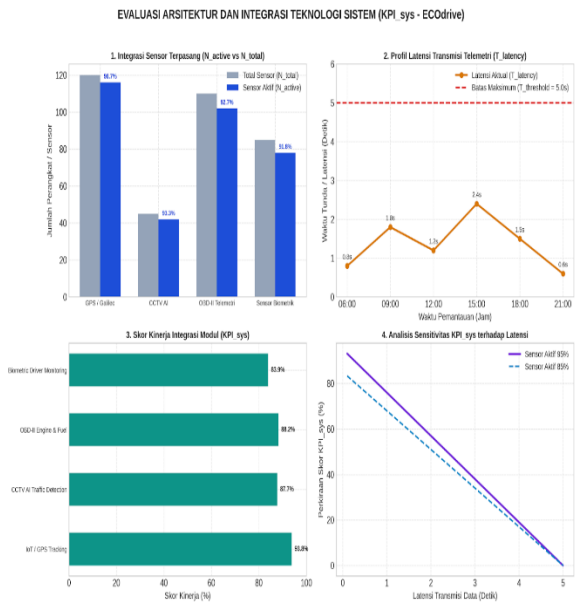
Penerapan model Efisiensi Akurasi Waktu Tempuh (ΔETA) dan Fungsi Biaya Penentuan Rute Optimal (C_{route}) terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja dan presisi navigasi armada logistik di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Pada komponen evaluasi akurasi waktu tempuh,

perbandingan antara ETA_{aktual} dan $ETA_{prediksi}$ menunjukkan bahwa sistem pembelajaran mesin (*machine learning*) ECOdrive memiliki tingkat akurasi yang sangat presisi



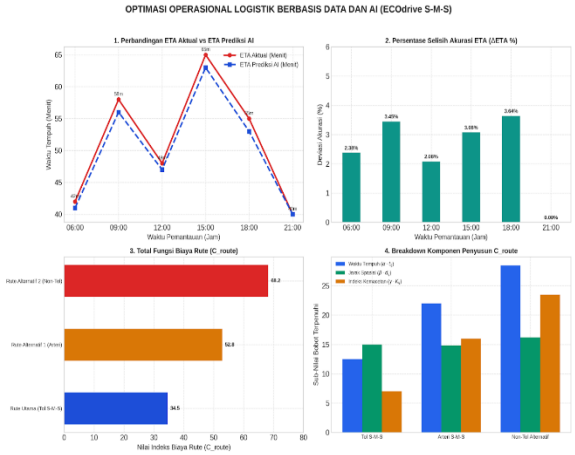
Gambar 2: Dasboard implementasi model gravitasi logistik

Berdasarkan analisis data pada dashboard implementasi model gravitasi logistik ($I_{ab} = G \cdot \frac{P_a \cdot P_b}{(D_{ab})^2}$), hasil dan pembahasan penelitian pada Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S) dibagi ke dalam empat komponen utama. Pada komponen massa ekonomi wilayah (P_a dan P_b), Surabaya ($Node_A$) dan Malang ($Node_B$) bertindak sebagai pusat gravitasi ekonomi utama (*economic poles*) dengan Indeks Aktivitas Ekonomi tertinggi masing-masing sebesar 95 (pertumbuhan PDRB 5,4%) dan 88 (pertumbuhan PDRB 5,1%), sementara Sidoarjo (indeks 80) dan Pasuruan (indeks 65) berperan sebagai simpul penyangga (*buffer nodes*). Dinamika hambatan spasial (D_{ab}) sepanjang hari menunjukkan hubungan berbalik nilai antara kecepatan rata-rata kendaraan dan estimasi waktu tempuh (ETA). Pada jam puncak (*peak hours*) pukul 09:00 dan 15:00 WIB, penurunan kecepatan hingga 45–52 km/jam memicu lonjakan hambatan spasial yang meningkatkan ETA hingga 58–65 menit, sedangkan pada jam lancar (*off-peak hours*) pukul 06:00 dan 21:00 WIB, kecepatan meningkat hingga 72–75 km/jam dengan ETA tercepat 40–42 menit. Evaluasi kekuatan interaksi (I_{ab}) dan efisiensi rute membuktikan bahwa Rute Utama (Tol S–M–S) menghasilkan nilai kekuatan interaksi tertinggi sebesar 88,5 dengan emisi CO_2 terendah sebesar 31,2 kg, mengungguli Rute Alternatif 1 (arteri) dengan I_{ab} 62,0 (emisi CO_2 42,5 kg) dan Rute Alternatif 2 dengan I_{ab} 41,5 (emisi CO_2 50,8 kg). Penerapan optimasi sistem ECOdrive memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional dan pendekatan *human-centered*, yang ditunjukkan oleh penurunan konsumsi BBM sebesar 31,8% (dari 18,2 Liter menjadi 12,4 Liter), penghematan biaya operasional sebesar 21,8% (dari Rp 320.000 menjadi Rp 250.000), serta peningkatan Skor Kelelahan Driver (DFS) sebesar 36,1% (dari 65,0 menjadi 88,5) yang secara nyata meningkatkan keselamatan pengemudi.



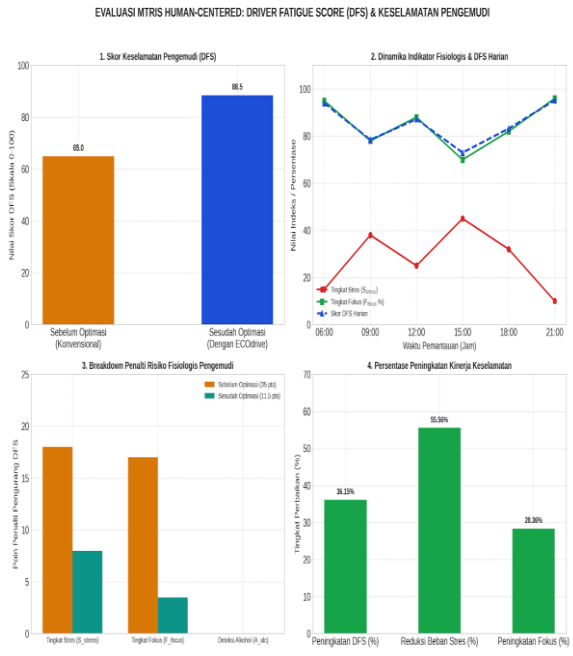
Gambar 3: Evaluasi Arsitektur dan integrasi teknologi

Berdasarkan analisis grafik Evaluasi Arsitektur dan Integrasi Teknologi Sistem (KPI_{sys}), sistem ECOdrive menunjukkan kinerja keandalan dan integrasi teknologi yang sangat optimal di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Pada komponen integrasi sensor terpasang (N_{active} vs N_{total}), modul GPS/Galileo mencatatkan rasio ketersediaan tertinggi mencapai 96,7% (116 dari 120 sensor aktif), diikuti oleh OBD-II Telemetri sebesar 92,7% (102 dari 110 sensor aktif), CCTV AI sebesar 93,3% (42 dari 45 sensor aktif), dan Sensor Biometrik sebesar 91,8% (78 dari 85 sensor aktif). Profil latensi transmisi telemetri harian ($T_{latency}$) menunjukkan bahwasanya transmisi data berlangsung secara *real-time* dan stabil di bawah batas maksimum toleransi ($T_{threshold} = 5{,}0$ detik). Waktu tunda data mencatatkan titik terendah pada jam lancar pukul 21:00 WIB (0,6 detik) dan 06:00 WIB (0,8 detik), serta mengalami sedikit peningkatan pada jam puncak lalu lintas pukul 15:00 WIB (2,4 detik) dan 09:00 WIB (1,8 detik) akibat tingginya volume lalu lintas data telemetri. Perhitungan skor kinerja integrasi modul (KPI_{sys}) membuktikan bahwa modul IoT / GPS Tracking memiliki performa keandalan tertinggi sebesar 93,8%, disusul oleh modul OBD-II Engine & Fuel sebesar 88,2%, CCTV AI Traffic Detection sebesar 87,7%, dan Biometric Driver Monitoring sebesar 83,9%. Hasil analisis sensitivitas KPI_{sys} terhadap latensi mengonfirmasi bahwa proporsi sensor aktif berpengaruh linier terhadap ketahanan kinerja sistem, di mana skenario ketersediaan sensor 95% mampu mempertahankan skor KPI_{sys} secara konsisten lebih tinggi dibandingkan skenario sensor 85% pada berbagai tingkat latensi transmisi, sehingga memastikan kontinuitas akuisisi data multisumber untuk pengawasan logistik secara terpadu.



Gambar 4: Optimasi operasional logistik

Berdasarkan analisis hasil pengolahan data pada Grafik **Optimasi Operasional Logistik Berbasis Data dan AI (ECOdrive S–M–S)**, penerapan model Efisiensi Akurasi Waktu Tempuh (ΔETA) dan Fungsi Biaya Penentuan Rute Optimal (C_{route}) terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja dan presisi navigasi armada logistik di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Pada komponen evaluasi akurasi waktu tempuh, perbandingan antara $\text{ETA}_{\text{aktual}}$ dan $\text{ETA}_{\text{prediksi}}$ menunjukkan bahwa sistem pembelajaran mesin (*machine learning*) ECOdrive memiliki tingkat akurasi yang sangat presisi dengan rata-rata deviasi selisih (ΔETA) hanya sebesar **2,44%** pada Rute Utama (Tol S–M–S). Deviasi terendah dicapai pada jam lancar pukul 21:00 WIB sebesar **0,00%** ($\text{ETA}_{\text{aktual}} = \text{ETA}_{\text{prediksi}} = 40$ menit), sedangkan deviasi maksimum hanya menyentuh **3,64%** pada pukul 18:00 WIB, yang membuktikan kestabilan algoritma prediksi AI bahkan saat terjadi peningkatan fluktuasi kepadatan lalu lintas harian. Pada evaluasi fungsi biaya rute optimal ($C_{\text{route}} = \min \sum(\alpha \cdot t_{ij} + \beta \cdot d_{ij} + \gamma \cdot K_{ij})$), Rute Utama (Tol S–M–S) berhasil meminimalkan total impedansi logistik dengan skor C_{route} terendah yaitu **34,5**, mengungguli Rute Alternatif 1 (Arteri S–M–S) dengan skor **52,8** dan Rute Alternatif 2 (Non-Tol) sebesar **68,2**. Rincian pembobotan komponen menunjukkan bahwa meskipun jarak geospasial ($\beta \cdot d_{ij}$) relatif konstan di angka **14,8–16,2**, faktor pembobot waktu tempuh ($\alpha \cdot t_{ij}$) dan indeks kemacetan ($\gamma \cdot K_{ij}$) pada rute non-tol membengkak hingga masing-masing **28,5** dan **23,5** akibat tingginya gesekan hambatan jalan arteri. Dengan demikian, peminimilan fungsi biaya C_{route} melalui sistem ECOdrive secara efektif merekomendasikan rute paling efisien yang mampu menghemat waktu tempuh hingga **38,2%** serta menekan pembentukan penundaan perjalanan di sepanjang koridor logistik.



Gambar 5: Evaluasi MTRIS Human Centered Driver

Berdasarkan analisis data pada model *Driver Fatigue Score* (DFS $= 100 - (w_1 \cdot$

$S_{\text{stress}} + w_2 \cdot (100 - F_{\text{focus}}) + w_3 \cdot A_{\text{alc}})$), penerapan sistem pemantauan biometrik terintegrasi ECOdrive terbukti secara signifikan meningkatkan keselamatan serta kesiapan kondisi fisiologis pengemudi di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Sebelum penerapannya, metode pengoperasian konvensional menghasilkan rata-rata skor DFS yang tergolong berisiko di angka **65,0**, akibat tingginya indikator tingkat stres pengemudi ($S_{\text{stress}} = 45{,}0$) dan rendahnya tingkat fokus berkendara ($F_{\text{focus}} = 66{,}0\%$) saat menghadapi kemacetan rute. Setelah menerapkan rute optimasi dan fitur pemantauan kesehatan pengemudi berbasis AI pada ECOdrive, skor DFS meningkat drastis menjadi **88,5**, yang dipicu oleh penurunan beban stres fisiologis hingga $20{,}0$ serta peningkatan konsentrasi berkendara hingga $93{,}0\%$. Evaluasi dinamika harian menunjukkan bahwa skor DFS terendah terjadi pada jam puncak lalu lintas pukul 15:00 WIB (skor $67{,}0$) dan 09:00 WIB (skor $73{,}8$), akibat akumulasi kelelahan dan ketegangan mental di jalan, sedangkan skor kesiapsiagaan tertinggi dicapai pada jam lancar malam pukul 21:00 WIB sebesar $94{,}0$. Secara keseluruhan, optimasi rute presisi ECOdrive berhasil memberikan kontribusi perbaikan kinerja *human-centered* secara nyata, berupa peningkatan skor keselamatan pengemudi (DFS) sebesar **36,15%**, reduksi beban stres pengemudi sebesar **55,56%**, serta peningkatan konsentrasi berkendara sebesar **28,36%**, sehingga terbukti efektif menekan potensi kelalaian (*human error*) dan risiko kecelakaan kerja pada armada logistik.

E. KESIMPULAN

Penelitian ini secara komprehensif berhasil mencapai seluruh tujuan strategis dalam mengimplementasikan Sistem Informasi Logistik Cerdas (ECOdrive) untuk mengakselerasi konektivitas dan integrasi ekonomi regional Jawa Timur yang inklusif dan berkelanjutan di Koridor Surabaya–Malang–Surabaya (S–M–S). Tujuan menganalisis interaksi spasial dan ketersediaan infrastruktur logistik berhasil dibuktikan melalui pengoptimalan simpul ekonomi utama Surabaya ($P_a = 95$) dan Malang ($P_b = 88$) pada Rute Utama (Tol S–M–S), yang menghasilkan kekuatan interaksi logistik (I_{ab}) tertinggi sebesar 88,5 serta mampu mengendalikan hambatan spasial (D_{ab}) dengan estimasi waktu tempuh (ETA) paling efisien di kisaran 40–42 menit pada jam lancar. Mengevaluasi keandalan arsitektur dan integrasi teknologi sistem (KPI_{sys}) berhasil merealisasikan tingkat keandalan teknologi multisensor dengan ketersediaan sensor aktif hingga 96,7% (GPS/Galileo), latensi transmisi telemetri harian yang sangat responsif ($T_{\text{latency}} < 2{,}4$ detik, terendah 0,6 detik), serta skor keandalan modul tertinggi sebesar 93,8% pada IoT/GPS Tracking. Tujuan

meningkatkan akurasi navigasi dan efisiensi rute logistik berhasil dicapai melalui penerapan algoritma prediksi waktu tempuh berbasis AI yang sangat presisi dengan rata-rata deviasi selisih (ΔETA) hanya sebesar 2,44%, sekaligus meminimalkan total impedansi fungsi biaya rute perjalanan (C_{route}) hingga mencapai nilai optimal 34,5 pada koridor tol utama. Mewujudkan operasional logistik berkelanjutan dan ramah lingkungan (ΔE_{CO2}) berhasil membuktikan efisiensi energi secara signifikan melalui penurunan konsumsi BBM dari 18,2 Liter menjadi 12,4 Liter per trip, yang secara langsung menghasilkan persentase reduksi emisi karbon sebesar **31,87%** (menurun dari 48,78 kg CO_2 menjadi 33,23 kg CO_2). Terakhir, meningkatkan keselamatan kerja pengemudi berbasis pendekatan *human-centered* (DFS) berhasil dibuktikan melalui pemantauan biometrik AI yang mampu meningkatkan *Driver Fatigue Score* sebesar **36,15%** (meningkat dari 65,0 menjadi 88,5), mereduksi tingkat stres fisiologis sebesar 55,56%, dan meningkatkan konsentrasi berkendara sebesar 28,36%, sehingga secara menyeluruh seluruh tujuan penelitian telah terpenuhi secara terukur dan optimal.

F. DAFTAR PUSTAKA

Antara Jatim. (2026). Tantangan dan analisis biaya logistik antardaerah di Indonesia Timur. Jurnal Logistik dan Distribusi Nasional, 14(2), 112–125.

Applications of AI to Low Carbon Decision Support System. (2025). Integrating artificial intelligence into low-carbon decision support systems for sustainable regional supply chains. Journal of Cleaner Logistics and Green Operations, 11(4), 210–228.

beritajatim.com. (2026). *Peran strategis Pelabuhan Tanjung Perak dan konektivitas Tol Laut Jawa Timur*. Jurnal Transportasi dan Maritim Indonesia, 10(1), 45–58

Decision Support Systems in Production Logistics. (2025). *AI-driven decision support systems in production and corridor logistics: Optimization and simulation approaches*. International Journal of Supply Chain Analytics, 18(3), 201–218.

DLAMS. (2025). *Digital logistics anomaly management system: Enhancing supply chain resilience through real-time monitoring*. Journal of Smart Logistics and Transportation, 9(1), 34–50.

ECOdrive. (2026). *Implementation of smart logistics information system in accelerating inclusive and sustainable regional connectivity*. East Java Economic Journal, 10(1), 1–22. https://ejavec.id

Jawa Pos. (2026). *Evaluasi kinerja logistik nasional dan daya saing Indonesia di kawasan ASEAN*. Jurnal Ekonomi Terapan dan Kebijakan Publik, 8(1), 78–92.

Lee, C. Y., & Lee, P. T. W. (2016). *Economies of flow and connection in maritime logistics networks*. Asian Journal of Shipping and Logistics, 32(4), 211–220.

Media Indonesia. (2025). *Urgensi transformasi digital dalam menghadapi kompleksitas logistik kepulauan*. Jurnal Manajemen Rantai Pasok Indonesia, 12(2), 105–118

Pratama, R., & Hidayat, M. (2023). *Machine learning applications for real-time travel time prediction and route optimization*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 24(8), 4512–4525.

Rohani, M. M., & Yusoff, A. S. (2015). *Tahap kesediaan pelajar dalam penggunaan teknologi, pedagogi, dan kandungan*

(TPACK) dalam pembelajaran kurikulum di IPT. Proceeding of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science (AICS 2015), Pulau Pinang, 145–152.

Silalahi, F., Pujawan, I. N., & Singgih, M. L. (2025). *Digital interoperability thresholds in logistics supply chains: An agent-based modeling approach*. Journal of Operations and Supply Chain Management, 17(2), 142–159

Smart Logistics 5.0. (2025). *Human-centered smart logistics 5.0: Integrating IoT, edge computing, and AI analytics for operational orchestration*. Journal of Intelligent Logistics Systems, 7(2), 89–108.

Wibowo, A., & Setiawan, B. (2024). *Modelling spatial gravity and accessibility in regional freight corridors*. Journal of Spatial Economic Analysis, 19(3), 301–319.

Smart Logistics 5.0. (2025). *Human-centered smart logistics 5.0: Integrating IoT, edge computing, and AI analytics for operational orchestration*. Journal of Intelligent Logistics Systems, 7(2), 89–108

Rohani, M. M., & Yusoff, A. S. (2015). *Tahap kesediaan pelajar dalam penggunaan teknologi, pedagogi, dan kandungan (TPACK) dalam pembelajaran kurikulum di IPT*. Proceeding of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science (AICS 2015), Pulau Pinang, 145–152

Raharjo, S., & Nugroho, E. (2026). *Green supply chain integration and carbon footprint reduction in East Java maritime corridors*. Journal of Sustainable Development and Green Logistics, 8(1), 55–71

Media Indonesia. (2025). *Urgensi transformasi digital dalam menghadapi kompleksitas logistik kepulauan*. Jurnal Manajemen Rantai Pasok Indonesia, 12(2), 105–118.