

Optimalisasi Rute Distribusi Barang di Indonesia

Vaniloran Elysa Andriani^{1*}, Kholida Hanim¹

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Mahakarya Asia Yogyakarta, Indonesia, 55282

email: vaniloran@unmaha.ac.id

Info Artikel :

Diterima :

20-07-2026

Disetujui :

23-07-2026

Dipublikasikan :

24-07-2026

ABSTRAK

Biaya logistik memberikan dampak signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia, sehingga diperlukan strategi distribusi yang efisien di negara kepulauan dengan tantangan geografis yang kompleks. Tinjauan pustaka sistematis ini bertujuan merangkum penelitian mengenai optimalisasi rute distribusi dalam meningkatkan efisiensi operasional, ketahanan rantai pasok, dan daya saing ekonomi. Kajian ini mengelompokkan model matematis dan heuristik berdasarkan studi empiris dari berbagai sektor di Indonesia, termasuk ketahanan pangan, distribusi barang, dan logistik pihak ketiga, serta meninjau metrik kinerja, seperti biaya, jarak tempuh, dan utilisasi armada. Hasil sintesis menunjukkan bahwa metode heuristik, khususnya *Saving Matrix* dan berbagai pendekatan metaheuristik, paling sering digunakan untuk menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Secara umum, optimisasi rute terbukti mampu menurunkan biaya operasional secara konsisten, dengan penghematan yang dalam banyak studi melebihi 20%, disertai pengurangan jarak tempuh dan perbaikan pemanfaatan kapasitas kendaraan. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada efisiensi biaya dan jarak, sementara aspek keberlanjutan lingkungan, seperti emisi karbon, belum banyak diintegrasikan. Temuan ini menegaskan perlunya pengembangan model optimasi yang lebih dinamis, multimoda, dan adaptif terhadap kondisi lalu lintas real-time serta target keberlanjutan.

Kata Kunci: optimasi rute, biaya logistik, efisiensi distribusi, tinjauan pustaka sistematis, *capacitated vehicle routing problem*, ketahanan rantai pasok

ABSTRACT

Logistics costs significantly affect Indonesia's Gross Domestic Product (GDP), making efficient distribution strategies essential across the country's geographically complex archipelagic landscape. This systematic literature review synthesizes research on route optimization in improving operational efficiency, supply chain resilience, and economic competitiveness. The study categorizes mathematical and heuristic models based on empirical findings from various sectors in Indonesia, including food security, goods distribution, and third-party logistics, while also examining performance metrics such as cost, travel distance, and fleet utilization. The synthesis shows that heuristic methods, particularly the *Saving Matrix* and various metaheuristic approaches, are the most frequently used to solve the *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Overall, route optimization consistently reduces operational costs, with many studies reporting savings exceeding 20%, along with substantial decreases in total travel distance and improved vehicle capacity utilization. However, most studies still emphasize cost and distance efficiency, while environmental sustainability aspects, such as carbon emissions, remain underexplored. These findings highlight the need for more dynamic, multimodal, and adaptive optimization models that consider real-time traffic conditions and sustainability targets.

Keywords : route optimization, logistics cost, distribution efficiency, systematic literature review, *capacitated vehicle routing problem*, supply chain resilience



©2026 Penulis. Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Distribusi logistik di Indonesia merupakan faktor penentu utama daya saing ekonomi nasional, dengan biaya logistik yang secara historis mencapai sekitar 23% hingga 24,66% dari Produk Domestik Bruto (PDB) nasional (Wijaya et al., 2023; Nalhadi et al., 2025; Rahmawan & Angelina, 2017). Sebagai negara kepulauan, Indonesia menghadapi tantangan geografis yang unik sehingga memerlukan strategi perutean yang efisien untuk mengurangi biaya transportasi yang tinggi dan kesenjangan harga komoditas (Syahputra et al., 2018; Sopha et al., 2021). Penelitian di bidang ini telah berkembang dari

perencanaan rute manual yang didasarkan pada intuisi menjadi penerapan pemrograman matematis yang canggih dan model heuristik, yang mencerminkan meningkatnya penekanan pada efisiensi operasional dan ketahanan rantai pasokan (Aisyah et al., 2025; Handayani et al., 2025). Transisi ini sangat penting untuk meningkatkan ketepatan waktu pengiriman dan mengurangi jejak lingkungan dari kegiatan distribusi di berbagai sektor, termasuk ketahanan pangan, pasokan medis, dan logistik pihak ketiga (Mialtra & Adytia, 2025; Fatahayu et al., 2022; Lusiantoro et al., 2024).

Terlepas dari kemajuan-kemajuan ini, masih terdapat kesenjangan pengetahuan yang signifikan terkait standarisasi metodologi optimisasi di tengah beragamnya persyaratan industri. Meskipun banyak penelitian menunjukkan keefektifan algoritma seperti *Saving Matrix*, *Nearest Neighbor*, dan *Ant Colony Optimization* dalam studi kasus tertentu, belum ada konsensus mengenai kerangka kerja universal untuk memilih model yang paling tepat di bawah kendala dinamis seperti kemacetan lalu lintas, permintaan yang berfluktuasi, dan kapasitas kendaraan (Muhayyaroh et al., 2023; Hanafiah et al., 2024). Beberapa peneliti berpendapat bahwa metode eksak seperti *Branch and Bound* lebih unggul dalam hal ketepatan (Marpaung et al., 2025; Herdhiansyah et al., 2023), sedangkan yang lain berpendapat bahwa pendekatan metaheuristik menawarkan skalabilitas yang lebih baik untuk jaringan distribusi berskala besar dan kompleks (Handayani et al., 2025; Li & Bai, 2010; Fauzi et al., 2024). Fragmentasi metodologi ini membatasi kemampuan para praktisi untuk menerapkan solusi logistik yang tangguh dan berbasis data, yang pada akhirnya menyebabkan pemanfaatan armada yang kurang optimal dan inefisiensi operasional yang terus-menerus (Perdana et al., 2020; Putri & Hakim, 2020).

Kerangka konseptual tinjauan ini berpusat pada *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang berfungsi sebagai landasan teoretis untuk mengoptimalkan jaringan distribusi dengan meminimalkan jarak tempuh, waktu, dan biaya (Aisyah et al., 2025; Auliani et al., 2021; Nugraha et al., 2025). Dengan mengintegrasikan konsep-konsep ini dengan kendala operasional seperti jendela waktu dan persyaratan armada yang heterogen, tinjauan ini menetapkan pendekatan sistematis untuk mengevaluasi kinerja distribusi (Reinaldi et al., 2021; Stephen et al., 2025; Ayu, 2021). Sintesis ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara kinerja algoritmik teoretis dan penerapan praktis di industri, dengan menyediakan kerangka kerja terstandarisasi untuk memilih metode optimisasi berdasarkan kebutuhan logistik tertentu.

Tinjauan pustaka sistematis ini mensintesis penelitian yang ada untuk mengklasifikasikan model matematis dan heuristik, membandingkan kinerja masing-masing, serta mengevaluasi integrasi faktor-faktor keberlanjutan. Dengan memetakan kesenjangan antara praktik-praktik yang saat ini terfragmentasi dan kebutuhan akan kerangka kerja yang terstandarisasi, penelitian ini memberikan panduan komprehensif bagi pembuat kebijakan dan praktisi. Tinjauan ini mengikuti metodologi sistematis, menganalisis berbagai literatur yang telah ditelaah oleh rekan sejawat untuk mengkategorikan teknik-teknik optimasi, menilai dampaknya terhadap biaya operasional dan target lingkungan, serta mengusulkan proses seleksi terstruktur untuk perencanaan logistik di masa depan. Tinjauan pustaka sistematis ini bertujuan untuk mensintesis penelitian yang ada mengenai optimalisasi rute distribusi barang dalam konteks logistik Indonesia. Mengingat geografi kepulauan yang unik di negara ini serta kontribusi biaya logistik yang signifikan terhadap PDB nasional, mengidentifikasi strategi rute yang efisien sangat penting bagi daya saing ekonomi. Tinjauan ini mengevaluasi berbagai model heuristik, metaheuristik, dan pemrograman matematis yang diterapkan di berbagai sektor, termasuk ketahanan pangan, pasokan medis, dan logistik pihak ketiga. Dengan menganalisis kinerja metodologi-metodologi tersebut dalam mengurangi pengeluaran operasional dan jarak tempuh, studi ini menyediakan kerangka kerja komprehensif bagi praktisi dan pembuat kebijakan untuk meningkatkan ketahanan rantai pasok, memperbaiki ketepatan waktu pengiriman, serta mendorong praktik logistik berkelanjutan di seluruh kepulauan Indonesia.

Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan berbagai model matematis dan heuristik yang saat ini digunakan dalam optimalisasi rute pada bidang logistik di Indonesia, membandingkan peningkatan kinerja yang dicapai oleh berbagai pendekatan algoritmik dalam hal pengurangan jarak, waktu, dan biaya, mengevaluasi integrasi faktor keberlanjutan lingkungan seperti emisi karbon ke dalam model jaringan distribusi yang ada, mengidentifikasi kendala operasional utama seperti kapasitas kendaraan dan jendela waktu yang memengaruhi efektivitas perencanaan rute, serta menyintesis temuan tersebut untuk mengusulkan suatu kerangka kerja standar dalam memilih metode optimasi berdasarkan kebutuhan spesifik industri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan systematic literature review untuk mengidentifikasi, menyeleksi, dan menganalisis kajian ilmiah yang relevan dengan optimasi rute distribusi barang di Indonesia. Proses penelusuran literatur diawali dengan transformasi pertanyaan penelitian utama, yaitu optimasi rute distribusi barang di Indonesia, menjadi sejumlah kueri pencarian yang lebih spesifik. Tahap ini dilakukan agar penelusuran tidak hanya bersifat luas, tetapi juga mampu menangkap istilah teknis dan variasi topik yang sering digunakan dalam penelitian terdahulu.

Kueri pencarian yang digunakan meliputi beberapa fokus utama, yaitu: (1) optimasi rute distribusi barang di Indonesia, (2) optimasi desain jaringan logistik dan rute berbasis *Vehicle Routing Problem* (VRP), (3) optimasi desain jaringan distribusi multimoda dan hub-and-spoke, (4) optimasi rute distribusi multimoda dengan mempertimbangkan emisi karbon, serta (5) optimasi lokasi hub multimoda dalam jaringan logistik Indonesia. Kueri-kuri tersebut kemudian diperdalam melalui kombinasi kata kunci yang berkaitan dengan biaya, waktu, kapasitas kendaraan, emisi, lokasi fasilitas, jaringan distribusi, dan sektor penerapan, seperti logistik pihak ketiga, distribusi pangan pokok, farmasi, dan layanan kesehatan. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh artikel yang tidak hanya relevan secara tematik, tetapi juga representatif terhadap perkembangan metode optimasi rute di Indonesia.

Seluruh kueri dijalankan dengan menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Dari proses pencarian awal diperoleh 292 artikel kandidat. Selanjutnya dilakukan penelusuran sitasi secara mundur dan maju untuk menemukan artikel-artikel tambahan yang memiliki keterkaitan konseptual maupun metodologis dengan topik penelitian, sehingga diperoleh 98 artikel tambahan. Dengan demikian, total terdapat 390 artikel kandidat yang kemudian disaring berdasarkan tingkat relevansinya. Hasil penyaringan menunjukkan bahwa 207 artikel dikategorikan sangat relevan dan digunakan sebagai dasar analisis dalam penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memetakan lanskap penelitian dalam literatur mengenai optimasi rute distribusi barang di Indonesia, dengan menitikberatkan pada penerapan model matematis dan metode heuristik untuk meningkatkan efisiensi logistik di berbagai wilayah nusantara. Hasil telaah menunjukkan bahwa studi-studi yang dianalisis umumnya memanfaatkan pendekatan heuristik, seperti *Saving Matrix*, *Nearest Neighbor*, serta berbagai metode metaheuristik, termasuk *Ant Colony Optimization* dan *Genetic Algorithm*, dalam menangani *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Secara geografis, kajian yang ditinjau mencakup sejumlah wilayah di Indonesia, antara lain Jawa, Sumatra, dan Sulawesi, serta meliputi beragam sektor, seperti ketahanan pangan, distribusi pasokan medis, dan logistik pihak ketiga. Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi rute berbasis data mampu memberikan pengurangan yang signifikan terhadap biaya operasional, jarak tempuh, dan dampak lingkungan. Dengan demikian, pendekatan ini menyediakan landasan konseptual yang kuat bagi penguatan efisiensi distribusi serta peningkatan ketahanan rantai pasok di Indonesia.

Tabel 1 Studi terkait pengurangan total jarak

Rentang	Studi
< 5%	Handayani et al. (2025); Maulidina et al. (2025); Dewi et al. (2023); Primadasa (2022); Suyatno et al. (2025)
5–10%	Kurniawan & Nugroho (2022); Faiz et al. (2025); Ananda et al. (2023)
10–15%	Chandra & Setiawan (2018); Arifian & Pulansari (2023); Simanungkalit et al. (2022); Kurnia & Handayani (2024); Fauzi et al. (2024); Mualifah & Noviyanti (2019); Zaharuddin et al. (2024); Yulianto & Munir (2020); Tyas et al. (2020); Az-Zahra et al. (2023)
15–20%	Ramdani et al.; Pramudyo et al. (2022); Herdhiansyah et al. (2023); Hignasari & Mahira (2018)
20–25%	Martono & Warnars (2020); Priscilia et al. (2024); Pulansari (2022); Turseno & Hernika (2022); Djayanti & Iriani (2020)
25–30%	Lubis (2023); Billa et al. (2022); Fargiana et al. (2022); Aisyah et al. (2025); Nalhadi et al. (2025); Siswanti et al. (2025)

Rentang	Studi
30–40%	Mahmud et al. (2023); Yogaswara (2015); Anggraeni & Rusindiyanto (2020); Arifta & Rakhmawati (2023); Rahmania et al. (2023); Sopandi et al. (2020)
40–50%	Ayu et al. (2015); Fauzi et al. (2021)
50–60%	Aisyah et al. (2024); Martikasari & Yulianto (2024)
60–70%	Aqidawati et al. (2021); Sirait & Lubis (2023); Arifin & Winarno (2022); Abryandoko & Karim (2022)
> 70%	Laoh et al. (2017)
Dilaporkan dalam satuan absolut (km)	Nezarulloh & Sumiati (2024); Safitri et al. (2024, dua studi); Sepadyati et al. (2023); Fatahayu et al. (2022); Ngatilah et al. (2020); Jurnal & Rohmah (2026); Ijeise et al. (2023); Purba et al. (2016); Kasanah & Qisthani (2022); Hajar et al. (2024); Gusti et al. (2023); Ardiansyah et al. (2021); Suseno (2023); Adri et al. (2022); Sari et al. (2020); Kharisma et al. (2024); Mandaku & Rasyid (2023); Taufiqurrohman et al. (2024)
Deskriptif kualitatif (tanpa angka, yaitu: "rute/jarak terpendek", "diminimalkan")	Thahira et al. (2022); Hanafi et al. (2020); Auliani et al. (2021); Sydneyta & Komarudin (2017); Manik et al. (2017); Lazuardi et al. (2017); Idris (2019); Bahktiar et al. (2022); Sani et al. (2018); Astari & Fauzi (2024); Afifudin et al. (2023); Kurniawan & Puspitasari (2020); Adhitama et al. (2023); Puspitasari & Kurniawan (2021); Panjaitan et al. (2024); Ferdinand & Ferdinand (2018); Cipta & Hasibuan (2023); Basriati & Sunarya (2015); Saputra (2022); Santosa & Ramayasa (2022); Augustine et al. (2022); Nugraha et al. (2025)

Tabel 2 Studi terkait penghematan biaya operasional

Rentang	Studi
< 5%	Handayani et al. (2025); Dewi et al. (2023); Ardiansyah & D. (2022); Wulandari & Vanany (2025); Faiz et al. (2025); Pratiwi et al. (2022)
5–10%	Kurniawan & Nugroho (2022)
10–20%	Ramadhan et al. (2023); Perdana et al. (2020); Rangkuti & Nurwana (2025); Kasrim et al. (2025, rentang 15–25%); Yulianto & Munir (2020); Hanafi et al. (2019); Az-Zahra et al. (2023); Tyas et al. (2020); Billa et al. (2022); Pakarti & Starita (2019)
20–30%	Kurnia et al. (2020); Pulansari (2022); Nalhadi et al. (2025); Yogaswara (2015); Primadasa (2022)
30–40%	Gusminto & Lesmana (2023); Rizkya et al. (2019); Ramadhani et al. (2024); Sopandi et al. (2020); Anggraeni & Rusindiyanto (2020)
40–50%	Djayanti & Iriani (2020); Mustakim et al. (2021); Putri & Hakim (2020); Rembulan et al. (2022)
50–60%	Nahry & Ayu (2021); Sutoni & Apipudin (2019); Sopian & Nusraningrum (2022); Martikasari & Yulianto (2024); Ayu (2021)
60–70%	Abryandoko & Karim (2022)
70–80%	Siswanti et al. (2025); Marpaung et al. (2025)
Dilaporkan dalam nilai nominal (Rp)	Irawan et al. (2020); Gusti et al. (2023); Ardiansyah et al. (2021); Suseno (2023); Ranti et al. (2023); Hajar et al. (2024); Fauzi (2023)
Deskriptif kualitatif (mis. "diminimalkan", "biaya optimal", "efisiensi signifikan")	Mialtra & Adytia (2025); Wijaya et al. (2023); Gunawan et al. (2024); Syahputra et al. (2018); Anwar et al. (2025); Sjafruddin et al. (2009); Santosa (2020); Reinaldi et al. (2021); Sydneyta & Komarudin (2017); Rahmawan & Angelina (2017); Triastika & Rahman (2017); Auliasari et al. (2018); Wang et al. (2013); Lazuardi et al. (2017); Steffen et al. (2025); Achmad et al. (2023); Sholichah et al. (2020); R et al. (2017); Nurprihatin et al. (2021); Sopha et al. (2021); Nadiya & Zulkarnain (2022); Saputra et al. (2025); Hidayat et al. (2025); Ferdinand & Ferdinand (2018); Kurniawan et al. (2024); Idris (2019); Aman et al. (2022); Komarudin et al. (2017); Manik et al. (2017); Lusiantoro et al. (2024); Saputra (2015); Fadhlurrahman & Binatari (2019); Hanafiah et al. (2024); Hidayat & Mulyono (2025); Auliani et al. (2021); Rahmawan & Angelina (2017); dan lainnya

Tabel 3 Studi terkait efisiensi waktu tempuh

Rentang	Studi
< 10%	Dewi et al. (2023) — 1,070%; Aisyah et al. (2025) — 8,2%
20–30%	Priscilia et al. (2024) — 22,3%; Primadasa (2022) — 20,97%; Sopandi et al. (2020) — 29,52%
Dilaporkan dalam satuan absolut (menit/jam)	Handayani et al. (2025); Nezarulloh & Sumiati (2024); Safitri et al. (2024); Karim & Mohammad (2024); Oktavia et al. (2019); Kharisma et al. (2024); Kurnia & Darmawan (2021); Hajar et al. (2024); Suseno (2023); Saputra (2022); Fauzi (2023); Mandaku & Rasyid (2023); Irawan et al. (2020)
Deskriptif kualitatif (mis. "dipercepat", "waktu terpenuhi")	Thahira et al. (2022); Gunawan et al. (2024); Hisjam et al. (2019); Wang et al. (2013); Santosa (2020); Zulkarnain et al. (2020); Puspitasari & Kurniawan (2021); Auliasari et al. (2018); Idris (2019); Santosa & Ramayasa (2022); Sarasi (2003); Panjaitan et al. (2024); Astari & Fauzi (2024); Adhitama et al. (2023); Rajagukguk et al. (2025); Sani et al. (2018); Sari et al. (2020); Muhayyaroh et al. (2023); Steffen et al. (2025); Syahputra et al. (2018); Ramadhan et al. (2023) — 0% delay rate; Hanafiah et al. (2024); Adianto et al. (2018) dan lainnya

Tabel 4 Studi terkait tingkat utilisasi armada

Kategori Temuan	Studi
Peningkatan kapasitas/pemanfaatan kendaraan atau kapal	Mialtra & Adytia (2025); Aisyah et al. (2025); Perdana et al. (2020); Hidayat & Mulyono (2025); Momon & Ardiatma (2018); Yogaswara (2015); Wulandari & Vanany (2025); Djayanti & Iriani (2020); Yulianto & Munir/Yulianto (2020/2025); Anggraeni & Rusindiyanto (2020); Adri et al. (2022); Marpaung et al. (2025); Kasanah & Qisthani (2022); Hanafiah et al. (2024); Komarudin et al. (2017); Muhayyaroh et al. (2023); Agustine et al. (2022)
Optimalisasi jumlah/penugasan/jenis kendaraan	Gunawan et al. (2024); Anwar et al. (2025); Maulidina et al. (2025); Saputra (2015); Ayu (2021); Sopian & Nusraningrum (2022); Rajagukguk et al. (2025); Novawanda et al. (2023); Nugraha et al. (2025); Astari & Fauzi (2024); Auliasari et al. (2018)
Peningkatan/penurunan jumlah armada (angka spesifik)	Nalhadi/Sepadyati et al. (2023) — +20%; Hermanto et al. (2021) — 4→3 unit; Rahayu & Yuliana (2017) — 47%; Putri & Hakim (2020) — +52%; Maulidina et al. (2025) — 3 unit truk; ijeise et al. (2023) — 2 truk; Irawan et al. (2020) — 6.150 kg
Optimalisasi heterogenitas/alokasi/multi-kendaraan	Steffen et al. (2025); Ramadhan et al. (2023); Zulkarnain et al. (2020); Lusiantoro et al. (2024)
Tidak dilaporkan secara eksplisit Mayoritas studi lain (>60 studi) tidak melaporkan metrik ini secara eksplisit	

Tabel 5 Studi terkait dampak emisi karbon

Kategori Temuan	Studi
Persentase pengurangan emisi CO2 spesifik	Arifian & Pulansari (2023) — 43,23%; Pakarti & Starita (2019) — 21%; Yogaswara (2015) — 3,85%
Penurunan emisi karbon/gas rumah kaca (deskriptif, tanpa angka)	Razita & Basaria (2024); Reinaldi et al. (2021); Fatahayu et al. (2022); Nahry & Ayu (2021); Kasrim et al. (2025); Ramadhani et al. (2024); Fauzi (2023)
Pertimbangan/penerapan faktor emisi (tanpa nilai reduksi)	Prambudia & Nur (2016); Umitri & Ciptomulyono (2024); Sholichah et al. (2020); Ayu et al. (2015)
Keberlanjutan lingkungan/target net-zero (umum)	Hanafi et al. (2019); Lusiantoro et al. (2024)
Tidak dilaporkan secara eksplisit Mayoritas studi lain (>140 studi) tidak melaporkan metrik ini secara eksplisit	

Berdasarkan hasil telaah literatur, pengurangan jarak tempuh merupakan salah satu luaran utama dari optimasi rute distribusi barang. Sebanyak 105 studi melaporkan adanya penurunan jarak secara kuantitatif, yang berkisar antara 1% hingga lebih dari 60% melalui penerapan rute yang dioptimalkan (Aisyah et al., 2025; Sirait & Lubis, 2023; Aqidawati et al., 2021). Sebagian besar studi tersebut menegaskan bahwa metode heuristik, seperti *Saving Matrix* dan *Nearest Neighbor*, merupakan faktor utama yang mendorong efisiensi jarak tempuh tersebut (Abryandoko & Karim, 2022; Arifin & Winarno, 2022; Anggraeni & Rusindiyanto, 2020). Meskipun demikian, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa capaian penghematan jarak masih dipengaruhi oleh kendala operasional di lapangan, kemacetan lalu lintas dan kondisi infrastruktur jalan (Sani et al., 2018).

Pada aspek penghematan biaya operasional, 98 studi menunjukkan bahwa optimasi rute mampu menghasilkan nilai ekonomis yang signifikan, bahkan dalam banyak kasus melebihi 20% dari total biaya distribusi (Figure et al., 2025; Sopian & Nursing Space, 2022). Pengurangan biaya bahan bakar menjadi kontributor paling langsung terhadap penurunan biaya operasional secara keseluruhan (Nalhadi et al., 2025; Arifin & Winarno, 2022; Kurniawan & Nugroho, 2022). Selain itu, penghematan biaya semakin optimal ketika optimasi juga diarahkan pada penyesuaian jumlah armada dan pemanfaatan kapasitas kendaraan yang lebih efisien (Maulidina et al., 2025).

Dari sisi efisiensi waktu, 45 studi melaporkan adanya perbaikan ketepatan waktu pengiriman, dengan beberapa penelitian menunjukkan penurunan waktu lebih dari 20% (Aisyah et al., 2025; Primadasa, 2022; Sopandi et al., 2020). Temuan ini menunjukkan bahwa minimisasi waktu tempuh menjadi sangat penting, terutama pada distribusi barang mudah rusak, seperti pangan dan perlengkapan medis (Maulidina et al., 2025; Fatahayu et al., 2022; Lusiantoro et al., 2024). Beberapa studi juga menegaskan bahwa integrasi *time windows* dalam model perutean menjadi penting untuk memenuhi persyaratan layanan pelanggan yang ketat (Achmad et al., 2023; Hanafiah et al., 2024; Irawan et al., 2020).

Dalam hal pemanfaatan armada, 30 studi menunjukkan bahwa optimasi rute memungkinkan penurunan jumlah kendaraan yang dibutuhkan sehingga efisiensi armada meningkat (Hermanto et al., 2021). Sebanyak 15 studi lainnya menekankan bahwa pengaturan beban muatan dan manajemen kapasitas yang lebih baik merupakan kunci dalam memaksimalkan utilisasi aset transportasi yang tersedia (Sepadyati et al., 2023; Yogaswara, 2015; Putri & Hakim, 2020). Sementara itu, lima studi menunjukkan bahwa penggunaan model armada heterogen memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam menyesuaikan kapasitas kendaraan dengan pola permintaan yang beragam (Christopher et al., 2024; Ayu, 2021; Ramadhan et al., 2023).

Dari perspektif keberlanjutan lingkungan, 12 studi secara eksplisit memasukkan aspek keberlanjutan dengan menunjukkan bahwa rute yang lebih pendek berkorelasi langsung dengan penurunan konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂ (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Fauzi, 2023). Lima studi lainnya menegaskan bahwa inisiatif *green logistics* mulai menjadi prioritas bagi perusahaan-perusahaan di Indonesia dalam rangka mendukung target net-zero nasional (Pakarti & Starita, 2019; Umitri & Ciptomulyono, 2024; Lusiantoro et al., 2024). Lebih lanjut, tiga studi mengindikasikan bahwa adopsi kendaraan listrik atau optimalisasi transportasi multimoda berpotensi memperbesar manfaat lingkungan dari optimasi rute (Lusiantoro et al., 2024; Asih et al., 2017; Mustakim et al., 2021).

Analisis Kritis dan Sintesis

Hasil literatur mengenai optimasi rute di Indonesia menunjukkan adanya konsensus yang kuat bahwa model pemrograman matematis dan heuristik efektif dalam menurunkan biaya operasional serta jarak tempuh pada berbagai sektor logistik. Berbagai studi secara konsisten membuktikan adanya peningkatan efisiensi yang signifikan, bahkan pada banyak kasus melampaui 20% dalam pengurangan biaya dan jarak. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi rute merupakan pendekatan yang relevan dan aplikatif dalam mendukung efisiensi distribusi barang di Indonesia. Namun demikian, basis evidensi yang ada masih didominasi oleh studi kasus yang bersifat lokal dan terpisah, sehingga generalisasi hasil penelitian masih terbatas.

Secara kritis, kondisi tersebut menunjukkan bahwa penelitian yang ada cenderung berfokus pada penyelesaian masalah operasional yang spesifik, tanpa cukup memperhatikan integrasi antarmodel, dinamika kondisi lapangan, serta kompleksitas geografis Indonesia sebagai negara kepulauan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu bergeser dari model optimasi yang bersifat

statis dan terisolasi menuju kerangka kerja yang lebih dinamis dan terintegrasi. Kerangka tersebut sebaiknya mempertimbangkan lalu lintas secara real-time, eksternalitas lingkungan, serta karakteristik geografis yang khas agar mampu mendukung ketahanan rantai pasok dalam jangka panjang.

Tabel 6 Hasil sintesis kekuatan dan kelemahan literatur

Aspek	Kekuatan	Kelemahan
Ketat Metodologis (<i>Methodological Rigor</i>)	Studi-studi secara konsisten menggunakan algoritma yang telah mapan seperti <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Neighbor</i> , serta yang disederhanakan dan bersifat statis, metaheuristik seperti <i>Ant Colony</i> sehingga belum mampu mengakomodasi <i>Optimization</i> dan Algoritma Genetika, yang sifat dinamis logistik di Indonesia, seperti menyediakan kerangka kerja yang andal kemacetan lalu lintas yang sulit diprediksi (<i>robust</i>) dan dapat direplikasi untuk atau fluktuasi permintaan secara <i>real-time</i> , menyelesaikan berbagai varian <i>Vehicle</i> yang pada akhirnya membatasi penerapan <i>Routing Problem</i> (VRP) (Mialtra & Adytia, praktis dari model yang diusulkan (Hidayat 2025; Aisyah et al., 2025; Maulidina et al., & Mulyono, 2025; Sirait & Lubis, 2023). 2025; Hanafi et al., 2020)	Banyak studi masih bergantung pada asumsi yang disederhanakan dan bersifat statis, sehingga belum mampu mengakomodasi dinamika logistik di Indonesia, seperti kemacetan lalu lintas yang sulit diprediksi (<i>robust</i>) dan dapat direplikasi untuk atau fluktuasi permintaan secara <i>real-time</i> , menyelesaikan berbagai varian <i>Vehicle</i> yang pada akhirnya membatasi penerapan <i>Routing Problem</i> (VRP) (Mialtra & Adytia, praktis dari model yang diusulkan (Hidayat 2025; Aisyah et al., 2025; Maulidina et al., & Mulyono, 2025; Sirait & Lubis, 2023). 2025; Hanafi et al., 2020)
Kualitas Data (<i>Data Quality</i>)	Penelitian didasarkan pada data operasional empiris dari berbagai sektor, termasuk ketahanan pangan, pasokan medis, dan logistik pihak ketiga, sehingga temuan yang dihasilkan relevan dengan tantangan industri secara spesifik (Anwar et al., 2025; Dewi et al., 2023; Fatahayu et al., 2022; Christopher et al., 2024).	Sebagian besar literatur bergantung pada data sekunder atau catatan internal perusahaan yang terbatas, yang kemungkinan tidak memiliki tingkat kedetailan (<i>granularitas</i>) yang memadai untuk memvalidasi skalabilitas model optimasi yang diusulkan pada jaringan yang lebih besar dan berskala nasional (Siswanti et al., 2025; Hermanto et al., 2021; Herdhiansyah et al., 2023).
Konsistensi Temuan (<i>Consistency of Findings</i>)	Terdapat tingkat konsistensi yang tinggi di antara literatur terkait dampak positif optimasi rute, dengan hampir seluruh studi melaporkan peningkatan yang terukur pada efisiensi jarak, waktu, dan biaya (Aisyah et al., 2025; Abryandoko & Karim, 2022; Nalhadi et al., 2025; Rahmania et al., 2023)	Besaran peningkatan yang dilaporkan sangat bervariasi, bergantung pada metode dasar ("manual" atau "intuitif") yang sebelumnya digunakan oleh perusahaan, sehingga sulit untuk menetapkan tolok ukur (<i>benchmark</i>) kinerja yang terstandarisasi di berbagai lingkungan logistik (Handayani et al., 2025; Fargiana et al., 2022; Perdana et al., 2020).
Ruang Lingkup dan Cakupan (<i>Scope and Coverage</i>)	Literatur yang ditinjau mencakup spektrum geografis dan sektoral yang luas, mulai dari pengiriman <i>last-mile</i> di kawasan perkotaan hingga logistik maritim antarpulau, yang mencerminkan kompleksitas rantai pasok Indonesia sebagai negara kepulauan (Mialtra & Adytia, 2025; Reinaldi et al., 2021).	Meskipun cakupannya luas, terdapat kekurangan yang mencolok dalam integrasi antarmoda transportasi, dengan sebagian besar studi hanya berfokus pada transportasi darat bermoda tunggal, alih-alih konektivitas multimoda yang esensial bagi efisiensi logistik nasional (Sjafruddin et al., 2010; Sopha et al., 2021; Sjafruddin et al., 2009).
Integrasi Aspek Lingkungan (<i>Environmental Integration</i>)	Sebagian kecil literatur yang jumlahnya terus bertambah telah secara eksplisit memasukkan aspek keberlanjutan lingkungan, seperti pengurangan emisi karbon dan optimalisasi konsumsi bahan bakar, ke dalam model perutean (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Nahry & Ayu, 2021; Umitri & Ciptomulyono, 2024).	Faktor lingkungan masih bersifat sekunder dibandingkan minimisasi biaya dan jarak pada sebagian besar studi, dan masih terdapat kekurangan metrik yang terstandarisasi untuk mengevaluasi dampak lingkungan jangka panjang dari rute yang telah dioptimalkan tersebut (Yogaswara, 2015; Fatahayu et al., 2022; Ramadhani et al., 2024).
Batasan Operasional (<i>Operational Constraints</i>)	Sebagian besar model berhasil mengakomodasi batasan operasional penting seperti kapasitas kendaraan, jendela waktu (<i>time windows</i>), dan kebutuhan multi-	Literatur kerap mengabaikan faktor manusia dan organisasi, seperti perilaku pengemudi, dampak terhadap tenaga kerja, serta integrasi model-model tersebut ke dalam sistem

Aspek	Kekuatan	Kelemahan
	perjalanan (<i>multi-trip</i>), yang esensial bagi informasi lama (<i>legacy system</i>) yang sudah perencanaan logistik yang realistis (Mialtra & ada, yang merupakan hambatan signifikan Adytia, 2025; Maulidina et al., 2025; Achmad dalam implementasi (Priscilia et al., 2024; et al., 2023; Steffen et al., 2025; Irawan et al., Anwar et al., 2025; Afrizal & Pratiwi, 2025). 2020).	

Tinjauan Tematik Literatur

Analisis terhadap 207 artikel mengenai optimasi rute distribusi barang di Indonesia menunjukkan bahwa penelitian masih didominasi oleh pengembangan model optimasi heuristik dan matematis untuk menyelesaikan berbagai variasi VRP. Fokus utama penelitian diarahkan pada peningkatan efisiensi operasional melalui pengurangan biaya distribusi, jarak tempuh, serta peningkatan utilisasi armada. Dalam beberapa tahun terakhir, arah penelitian mulai bergeser menuju integrasi aspek keberlanjutan, seperti pengurangan emisi karbon, pemanfaatan data waktu nyata (*real-time*), serta pengembangan sistem logistik multimoda yang sesuai dengan karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan asumsi yang bersifat statis dan berbasis studi kasus lokal, sehingga peluang pengembangan model yang lebih dinamis dan adaptif masih terbuka luas.

Tabel 7 Hasil tinjauan tematik literatur

Tema	Jumlah Studi	Deskripsi Tema
Model Optimasi Heuristik dan Matematis	148/207 artikel	Sebagian besar penelitian memanfaatkan metode heuristik klasik, seperti <i>Saving Matrix</i> , <i>Nearest Neighbor</i> , serta algoritma metaheuristik, seperti <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) dan <i>Genetic Algorithm</i> (GA), untuk menyelesaikan berbagai varian <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP). Pendekatan tersebut terbukti efektif dalam meminimalkan jarak tempuh, biaya distribusi, dan waktu perjalanan, serta menyediakan kerangka optimasi yang sistematis dan mudah diterapkan pada berbagai sektor industri. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada kondisi operasional yang bersifat statis dan deterministik.
Efisiensi Biaya Operasional dan Jarak Tempuh	132/207 artikel	Efisiensi biaya operasional dan pengurangan jarak tempuh merupakan tujuan yang paling dominan dalam penelitian optimasi rute distribusi. Sebagian besar studi melaporkan penghematan biaya dan jarak lebih dari 20% setelah penerapan metode optimasi. Peningkatan kinerja tersebut terutama diperoleh melalui pemanfaatan armada yang lebih optimal, pengurangan konsumsi bahan bakar, serta eliminasi rute distribusi yang tidak efisien.
Optimalisasi Armada dan Kapasitas Kendaraan	126/207 artikel	Banyak penelitian mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan serta heterogenitas armada dalam model optimasi. Pendekatan ini bertujuan meningkatkan tingkat utilisasi kendaraan, mengurangi jumlah perjalanan yang diperlukan, serta menurunkan biaya transportasi per unit. Pengalokasian muatan yang seimbang dan pemilihan jenis kendaraan yang sesuai menjadi faktor penting dalam meningkatkan produktivitas sistem distribusi.
Ketepatan Waktu Pengiriman dan <i>Time Window</i>	88/207 artikel	Integrasi <i>time window</i> dan batas waktu pengiriman menjadi perhatian penting, terutama pada distribusi produk yang sensitif terhadap waktu, seperti pangan, produk medis, dan barang mudah rusak. Model optimasi pada tema ini berfokus pada peningkatan ketepatan layanan, pengurangan keterlambatan pengiriman, serta peningkatan reliabilitas rantai pasok, baik pada wilayah perkotaan maupun regional.
Keberlanjutan Lingkungan dan Emisi Karbon	42/207 artikel	Penelitian terbaru mulai mengintegrasikan aspek keberlanjutan lingkungan dengan memasukkan tujuan pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon ke dalam model optimasi rute. Pendekatan ini mendukung target <i>Net Zero Emission</i> Indonesia melalui pemilihan rute yang lebih efisien. Meskipun demikian, masih sedikit penelitian yang menggunakan indikator lingkungan yang terstandarisasi untuk mengevaluasi dampak keberlanjutan dalam jangka panjang.

Tema	Jumlah Studi	Deskripsi Tema
Integrasi Logistik Multimoda dan Karakteristik Kepulauan	28/207 artikel	Sejumlah penelitian mulai mengakomodasi karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan melalui pengembangan jaringan logistik multimoda dan konsep hub-and-spoke. Pendekatan ini bertujuan meningkatkan konektivitas antarpulau dengan mengoptimalkan integrasi transportasi laut, darat, dan udara sehingga mampu menekan biaya logistik nasional serta meningkatkan efisiensi distribusi antarwilayah.

Tinjauan Kronologis Literatur

Perkembangan penelitian mengenai optimasi rute distribusi barang di Indonesia menunjukkan adanya evolusi yang signifikan dalam pendekatan pemodelan dan teknik optimasi yang digunakan. Pada tahap awal, penelitian lebih berorientasi pada pengembangan jaringan transportasi dasar untuk mengatasi tingginya biaya logistik dan meningkatkan konektivitas antarpulau. Selanjutnya, metode heuristik mulai banyak diterapkan sebagai pendekatan praktis dalam menyelesaikan permasalahan VRP. Seiring meningkatnya kompleksitas sistem distribusi, penelitian berkembang ke arah penggunaan algoritma metaheuristik yang mampu menangani berbagai kendala operasional secara lebih efektif. Dalam beberapa tahun terakhir, arah penelitian semakin mengarah pada transformasi digital dan logistik berkelanjutan melalui integrasi teknologi kecerdasan buatan, analitik data, serta model optimasi multiobjektif yang mempertimbangkan efisiensi ekonomi, dampak lingkungan, dan ketahanan rantai pasok.

Tabel 8 Perkembangan penelitian

Periode	Arah Penelitian	Deskripsi
2003–2010	Pengembangan Dasar Jaringan Transportasi	Penelitian pada periode ini berfokus pada pengembangan model dasar jaringan transportasi dan distribusi barang, khususnya untuk meningkatkan konektivitas antarpulau dan menekan tingginya biaya logistik nasional. Pendekatan yang digunakan masih didominasi oleh pemodelan deterministik dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi jaringan distribusi.
2012–2017	Penerapan Metode Heuristik	Penelitian mulai mengadopsi berbagai metode heuristik klasik, seperti <i>Saving Matrix</i> , <i>Nearest Neighbor</i> , dan model dasar <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP), untuk mengoptimalkan rute distribusi. Fokus penelitian bergeser pada pengurangan jarak tempuh, biaya operasional, dan peningkatan efisiensi distribusi pada sektor industri dan perkotaan.
2018–2021	Pengembangan Metaheuristik dan Model Terintegrasi	Periode ini ditandai dengan meningkatnya penggunaan algoritma metaheuristik, seperti <i>Genetic Algorithm</i> , <i>Ant Colony Optimization</i> , dan algoritma optimasi lainnya untuk menangani permasalahan distribusi yang lebih kompleks. Penelitian juga mulai mengintegrasikan berbagai kendala operasional, seperti <i>multi-depot</i> , kapasitas kendaraan, <i>time window</i> , serta mempertimbangkan aspek keberlanjutan melalui pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon.
2022–2026	Transformasi Digital dan Logistik Berkelanjutan	Penelitian terkini menunjukkan pergeseran menuju pemanfaatan teknologi digital, seperti kecerdasan buatan (<i>Artificial Intelligence</i>), <i>big data</i> , komputasi awan (<i>cloud computing</i>), Internet of Things (IoT), dan model optimasi multiobjektif. Fokus penelitian tidak hanya pada efisiensi operasional, tetapi juga pada peningkatan ketahanan rantai pasok, pengambilan keputusan berbasis data secara <i>real-time</i> , serta pencapaian target keberlanjutan dan <i>Net Zero Emission</i> .

Persamaan dan Perbedaan Temuan Literatur

Sintesis terhadap literatur menunjukkan adanya konsensus bahwa penerapan teknik optimasi rute mampu meningkatkan efisiensi distribusi melalui pengurangan biaya operasional, jarak tempuh, dan waktu pengiriman. Namun demikian, terdapat variasi hasil penelitian terkait algoritma yang memberikan performa terbaik pada setiap jenis permasalahan. Perbedaan tersebut terutama dipengaruhi oleh skala jaringan distribusi, karakteristik kendala operasional, tujuan optimasi yang digunakan, serta tingkat kompleksitas model yang dikembangkan. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan kecenderungan meningkatnya perhatian terhadap aspek keberlanjutan dan pengembangan jaringan

distribusi yang lebih kompleks, meskipun sebagian besar penelitian di Indonesia masih berfokus pada optimasi biaya dan jarak tempuh dalam sistem distribusi yang bersifat statis.

Tabel 9 Persamaan dan perbedaan temuan

Kriteria Perbandingan	Temuan yang Konsisten (<i>Agreement</i>)	Perbedaan Temuan (<i>Divergence</i>)	Penjelasan Potensial
Efektivitas Algoritma Optimasi	Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Neighbor</i> secara konsisten mampu mengurangi jarak tempuh dan biaya distribusi dibandingkan metode konvensional (Abryandoko & Karim, 2022; Perdana et al., 2020; Siswanti et al., 2025; Gusminto & Lesmana, 2023; Arifin & Winarno, 2022; Primadasa, 2022; Rahmania et al., 2023; Octavia et al., 2019; Kamila et al., 2022; Faiz et al., 2025; Turseno & Hernika, 2022; Julianto, 2025; Sopandi et al., 2020; Tyas et al., 2020; Sutoni & Apipudin, 2019).	Beberapa penelitian melaporkan bahwa algoritma metaheuristik, seperti ACO dan Tabu Search, memberikan solusi yang lebih baik dibandingkan heuristik klasik ketika diterapkan pada permasalahan distribusi berskala besar dan berkendala kompleks (Mialtra & Adytia, 2025; Handayani et al., 2025; Nezarulloh & Sumiati, 2024; Gunawan et al., 2024, Adianto et al., 2018, Ngatilah et al., 2020; Jayanti & Iriani, 2020; Nugraha et al., 2025).	Perbedaan hasil terutama dipengaruhi oleh ukuran dan kompleksitas permasalahan. Metode heuristik lebih sesuai untuk kasus berskala kecil dengan kondisi statis, sedangkan algoritma metaheuristik lebih efektif dalam menangani permasalahan berskala besar, dinamis, dan memiliki banyak kendala.
Integrasi Aspek Lingkungan	Semakin banyak penelitian yang mengintegrasikan pengurangan emisi karbon dan efisiensi konsumsi bahan bakar sebagai bagian dari tujuan optimasi rute (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Yogaswara, 2015; Nahry & Heru, 2021; Pakarti & Starita, 2019, Prambudia & Nur, 2016; Umitri & Ciptomulyono, 2024; Sholichah et al., 2020; Ramadhani et al., 2024; Lusiantoro et al., 2024).	Sebaliknya, banyak penelitian masih berfokus pada minimisasi biaya operasional dan jarak tempuh tanpa mempertimbangkan indikator emisi karbon secara eksplisit (Aisyah et al., 2025; Fargiana et al., 2022; Nalhadi et al., 2025; Martikasari & Yulianto, 2024; Muhayyaroh et al., 2023; Mahmud et al., 2023; Pramudyo et al., 2022; Momon & Ardiatma, 2018; Herdhiansyah et al., 2023; Ananda et al., 2023).	Perbedaan tersebut disebabkan oleh ruang lingkup penelitian. Studi yang mengangkat konsep Green Logistics atau keberlanjutan memasukkan emisi karbon sebagai fungsi tujuan, sedangkan penelitian lain masih memprioritaskan efisiensi biaya operasional.
Kompleksitas Jaringan Distribusi	Sejumlah penelitian menekankan pentingnya penggunaan model multi-echelon, <i>hub-and-spoke</i> , maupun jaringan distribusi multimoda untuk mengatasi karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dan sistem distribusi berskala nasional (Syahputra et al., 2018; Reinaldi et al., 2021; Rahmawan & Angelina, 2017; Triastika & Rahman, 2017; Rajagukguk et al., 2025; Komarudin et al., 2017; Sopha et al., 2021; Mandaku & Rasyid, 2023).	Sebaliknya, sebagian besar penelitian masih menggunakan model single-depot dan single-echelon karena lebih sesuai untuk distribusi lokal maupun skala usaha kecil dan menengah (Fargiana et al., 2022; Rangkuti & Nurwana, 2025; Dewi et al., 2023; Sepadyati et al., 2023; Sirait & Lubis, 2023; Billa et al., 2022; Pulansari, 2022; Auliani et al., 2021; Philanthrope & Ramadiansyah, 2018; Achmad et al., 2023; Sari et al., 2020; Hanafiah et al., 2024; Irawan et al., 2020).	Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik sistem distribusi yang dikaji. Distribusi nasional dan antarpulau membutuhkan model jaringan yang lebih kompleks, sedangkan distribusi perkotaan maupun UMKM umumnya masih dapat direpresentasikan menggunakan model <i>single-depot</i> yang lebih sederhana.

Tinjauan Tematik Literatur

Kajian literatur mengenai optimasi rute distribusi barang di Indonesia menunjukkan bahwa penelitian masih didominasi oleh penggunaan model heuristik dan pemrograman matematis untuk mengatasi berbagai tantangan logistik di negara kepulauan. Secara umum, penelitian menunjukkan bahwa optimasi rute berbasis data mampu menurunkan biaya operasional, jarak tempuh, dan waktu distribusi secara signifikan. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih menggunakan asumsi yang bersifat statis dan terbatas pada studi kasus lokal. Dalam beberapa tahun terakhir, arah penelitian mulai bergeser menuju integrasi aspek keberlanjutan lingkungan, pemanfaatan data *real-time*, serta pengembangan jaringan logistik multimoda guna meningkatkan ketahanan rantai pasok dan mendukung pencapaian target *Net Zero Emission* di Indonesia.

Tabel 10 Persamaan dan perbedaan temuan

Tema	Jumlah Studi	Deskripsi Tema
Model Optimasi Heuristik dan Matematis	148/207 artikel	Sebagian besar penelitian memanfaatkan metode heuristik klasik, seperti Saving Matrix, Nearest Neighbor, serta algoritma metaheuristik seperti Ant ACO dan <i>Genetic Algorithm</i> (GA) untuk menyelesaikan berbagai variasi VRP (Mialtra & Adytia, 2025; Aisyah et al., 2025; Abryandoko & Karim, 2022; Nalhadi et al., 2025; Siswanti et al., 2025; Arifin & Winarno, 2022; Rahmania et al., 2023; (Djayanti & Iriani, 2020; Anggraeni & Rusindiyanto, 2020). Model-model tersebut umumnya diterapkan untuk meminimalkan jarak tempuh dan biaya operasional sehingga menyediakan kerangka optimasi yang sistematis dan dapat diterapkan pada berbagai sektor logistik (Perdana et al., 2020; Hanafi et al., 2020; Christopher et al., 2024).
Efisiensi Biaya Operasional dan Jarak Tempuh	132/207 artikel	Salah satu temuan yang paling konsisten dalam literatur adalah besarnya potensi peningkatan efisiensi melalui optimasi rute. Sebagian besar penelitian melaporkan penurunan biaya operasional dan jarak tempuh lebih dari 20% setelah penerapan metode optimasi (Aisyah et al., 2025; Siswanti et al., 2025; Sirait & Lubis, 2023; Rahmania et al., 2023; Kamila et al., 2022; Aqidawati et al., 2021; Putri & Hakim, 2020; Sopian & Nusraningrum, 2022; Anggraeni & Rusindiyanto, 2020). Peningkatan tersebut diperoleh melalui optimalisasi pemanfaatan armada, pengurangan konsumsi bahan bakar, serta eliminasi rute distribusi yang tidak efisien (Maulidina et al., 2025; Sepadyati et al., 2023; Yogaswara, 2015; Julianto & Munir, 2020; Julianto, 2025).
Optimalisasi Armada dan Kapasitas Kendaraan	126/207 artikel	Banyak penelitian memasukkan kendala kapasitas kendaraan dan heterogenitas armada ke dalam model optimasi guna meningkatkan utilisasi aset dan mengurangi jumlah perjalanan yang diperlukan (Hermanto et al., 2021; Hanafi et al., 2020; Christopher et al., 2024; Ayu et al., 2015; Ayu, 2021; Putri & Hakim, 2020). Melalui distribusi muatan yang lebih seimbang dan pemilihan jenis kendaraan yang sesuai, perusahaan dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menurunkan biaya transportasi per satuan produk (Sepadyati et al., 2023; Yogaswara, 2015; Wulandari & Vanany, 2025; Hidayat et al., 2025; Ramadhan et al., 2023).
Ketepatan Waktu Pengiriman dan <i>Time Window</i>	88/207 artikel	Banyak penelitian menekankan pentingnya integrasi time window dan batas waktu pengiriman untuk memenuhi tingkat layanan pelanggan, khususnya pada distribusi produk yang mudah rusak seperti pangan dan produk medis (Priscilia et al., 2024; Maulidina et al., 2025; Fatahayu et al., 2022; Achmad et al., 2023; Hanafiah et al., 2024; Irawan et al., 2020; Syahputra et al., 2018; Lusiantoro et al., 2024). Model-model tersebut bertujuan meningkatkan ketepatan waktu pelayanan dan mengurangi keterlambatan distribusi sehingga mampu meningkatkan keandalan rantai pasok, baik pada wilayah perkotaan maupun regional (Wang et al., 2013; Steffen et al., 2025; Rajagukguk et al., 2025; Hajar et al., 2024).
Keberlanjutan Lingkungan dan Emisi Karbon	42/207 artikel	Penelitian terkini mulai mengintegrasikan pengurangan emisi karbon dan efisiensi konsumsi bahan bakar ke dalam model optimasi rute sebagai upaya mendukung target <i>Net Zero Emission</i> Indonesia (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Pakarti & Starita, 2019; Prambudia & Nur, 2016; Umitri

Tema	Jumlah Studi	Deskripsi Tema
		& Ciptomulyono, 2024; Kasrim et al., 2025; Ramadhani et al., 2024; Lusiantoro et al., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan rute yang lebih pendek dan efisien berkorelasi dengan penurunan dampak lingkungan. Namun demikian, penggunaan indikator lingkungan yang terstandarisasi untuk mengevaluasi dampak keberlanjutan jangka panjang masih menjadi kesenjangan penelitian (Fatahayu et al., 2022; Ayu et al., 2015; Sholichah et al., 2020; Fauzi, 2023).
Integrasi Logistik Multimoda dan Karakteristik Negara Kepulauan	28/207 artikel	Sejumlah penelitian mulai mengakomodasi karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan melalui pengembangan jaringan logistik multimoda dan konsep <i>hub-and-spoke</i> untuk mengatasi ketidakefisienan distribusi antarpulau (Sjafruddin et al., 2010; Rahmawan & Angelina, 2017; Lazuardi et al., 2017; Fahmiasari & Parikesit, 2017; Sjafruddin et al., 2009; Sopha et al., 2021; Moeis et al., 2017; Mandaku & Rasyid, 2023). Model tersebut bertujuan menurunkan biaya logistik nasional melalui optimalisasi aliran distribusi antara moda transportasi laut, darat, dan udara (Sarasi, 2003; Komarudin et al., 2017; Nadiya & Zulkarnain, 2022).

Tinjauan Kronologis Literatur

Berdasarkan hasil sintesis literatur, perkembangan penelitian optimasi rute distribusi barang di Indonesia dapat dikelompokkan ke dalam empat fase utama. Fase pertama berfokus pada pengembangan jaringan transportasi dasar untuk meningkatkan konektivitas dan efisiensi distribusi. Pada fase kedua, penelitian mulai mengadopsi metode heuristik sebagai pendekatan praktis dalam menyelesaikan berbagai variasi Vehicle Routing Problem (VRP). Selanjutnya, fase ketiga ditandai dengan meningkatnya penggunaan algoritma metaheuristik dan integrasi berbagai kendala operasional serta aspek keberlanjutan ke dalam model optimasi. Memasuki fase terkini, penelitian semakin mengarah pada transformasi digital melalui pemanfaatan kecerdasan buatan, analitik data, dan model optimasi multiobjektif untuk mendukung sistem logistik yang lebih adaptif, berkelanjutan, dan tangguh terhadap dinamika lingkungan bisnis.

Tabel 11 Tinjauan kronologis perkembangan penelitian

Periode	Arah Penelitian	Deskripsi
2003–2010	Pengembangan Dasar Jaringan Transportasi	Penelitian pada periode ini berfokus pada pengembangan model dasar jaringan transportasi dan distribusi barang, khususnya untuk meningkatkan konektivitas antarpulau serta mengatasi tingginya biaya logistik nasional. Pendekatan yang digunakan masih didominasi oleh model optimasi dasar dan perencanaan rute secara konvensional dengan tujuan meningkatkan efisiensi distribusi.
2012–2017	Penerapan Metode Heuristik	Penelitian mulai mengadopsi berbagai metode heuristik klasik, seperti <i>Saving Matrix</i> , <i>Nearest Neighbor</i> , dan model dasar VRP untuk meningkatkan efisiensi distribusi pada sektor industri maupun perkotaan. Fokus penelitian diarahkan pada pengurangan jarak tempuh, biaya operasional, serta peningkatan efektivitas pelayanan distribusi.
2018–2021	Pengembangan Metaheuristik dan Model Terintegrasi	Pada periode ini, penelitian berkembang dengan memanfaatkan algoritma metaheuristik, seperti Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization, dan metode optimasi lainnya untuk menangani permasalahan distribusi yang lebih kompleks. Selain itu, model optimasi mulai mengakomodasi berbagai kendala operasional, seperti multi-depot, kapasitas kendaraan, <i>time window</i> , serta mulai mempertimbangkan aspek keberlanjutan melalui pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon.
2022–2026	Transformasi Digital dan Logistik Berkelanjutan	Penelitian terkini menunjukkan pergeseran menuju pemanfaatan teknologi digital, seperti <i>Artificial Intelligence</i> (AI), <i>Big Data Analytics</i> , <i>Cloud Computing</i> , <i>Internet of Things</i> (IoT), serta model optimasi multiobjektif. Fokus penelitian tidak hanya pada peningkatan efisiensi operasional, tetapi juga pada pengambilan keputusan berbasis data secara <i>real-time</i> , peningkatan ketahanan rantai pasok

Periode	Arah Penelitian	Deskripsi
		(<i>supply chain resilience</i>), serta pencapaian target <i>Net Zero Emission</i> melalui pengembangan sistem logistik yang berkelanjutan.

Persamaan dan Perbedaan Temuan Literatur

Hasil sintesis menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian sepakat mengenai efektivitas pendekatan optimasi dalam meningkatkan kinerja sistem distribusi, khususnya melalui pengurangan biaya operasional, jarak tempuh, dan waktu pengiriman. Namun demikian, belum terdapat konsensus mengenai algoritma yang paling unggul untuk seluruh jenis permasalahan distribusi. Efektivitas suatu algoritma sangat bergantung pada karakteristik kasus yang dihadapi, seperti ukuran jaringan, tingkat kompleksitas kendala, tujuan optimasi, serta ruang lingkup sistem distribusi. Selain itu, penelitian terbaru mulai memperluas fokus optimasi dengan mengintegrasikan aspek keberlanjutan lingkungan dan pengembangan jaringan distribusi multimoda, meskipun sebagian besar penelitian di Indonesia masih didominasi oleh pendekatan yang berorientasi pada efisiensi biaya dan jarak tempuh.

Tabel 12 Persamaan dan perbedaan temuan

Kriteria Perbandingan	Temuan yang Konsisten (<i>Agreement</i>)	Perbedaan Temuan (<i>Divergence</i>)	Penjelasan Potensial
Efektivitas Algoritma	Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Neighbor</i> secara konsisten mampu menurunkan jarak tempuh dan biaya distribusi yang lebih baik (Abryandoko & Karim, 2022; Perdana et al., 2020; Siswanti et al., 2025; Gusminto & Lesmana, 2023; Arifin & Winarno, 2022; Primadasa, 2022; Rahmania et al., 2025; al., 2023; Octavia et al., 2019; Nezarulloh & Sumiati, 2024; Kamila et al., 2022; Faiz et al., 2025; Turseno & Hernika, 2022; et al., 2018; Ngatilah et al., 2020; Tyas et al., 2020; Sutoni & Nugraha et al., 2025). Apipudin, 2019).	Beberapa penelitian melaporkan bahwa algoritma metaheuristik, seperti ACO dan Tabu Search, memberikan solusi yang lebih baik ketika diterapkan pada permasalahan distribusi yang kompleks (Mialtra & Adytia, 2025; Handayani et al., 2025; al., 2023; Octavia et al., 2019; Nezarulloh & Sumiati, 2024; Kamila et al., 2022; Faiz et al., 2025; Turseno & Hernika, 2022; et al., 2018; Ngatilah et al., 2020; Tyas et al., 2020; Sutoni & Nugraha et al., 2025).	Perbedaan hasil terutama dipengaruhi oleh ukuran dan kompleksitas permasalahan. Metode heuristik lebih sesuai untuk data berskala kecil dengan kondisi operasional yang relatif statis, sedangkan algoritma metaheuristik lebih efektif dalam menangani permasalahan berskala besar, dinamis, dan memiliki banyak kendala.
Integrasi Aspek Lingkungan	Semakin banyak penelitian yang mengintegrasikan pengurangan emisi karbon dan efisiensi konsumsi bahan bakar ke dalam model optimasi rute (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Yogaswara, 2015; Nahry & Heru, 2021; Pakarti & Starita, 2019; Prambudia & Nur, 2016; Umitri & Ciptomulyono, 2024; Sholichah et al., 2020; Ramadhani et al., 2024; Lusiantoro et al., 2024).	Sebaliknya, sebagian besar penelitian masih berorientasi pada minimisasi biaya operasional dan jarak tempuh tanpa memasukkan emisi karbon sebagai fungsi tujuan maupun kendala optimasi (Aisyah et al., 2025; Fargiana et al., 2022; Nalhadi et al., 2025; Martikasari & Yulianto, 2024; Muhayyaroh et al., 2023; Mahmud et al., 2023; Pramudyo et al., 2022; Momon & Ardiatma, 2018; Herdhiansyah et al., 2023; Ananda et al., 2023).	Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh ruang lingkup penelitian. Studi yang berfokus pada konsep Green Logistics atau keberlanjutan memasukkan emisi karbon sebagai bagian dari model optimasi, sedangkan penelitian lainnya lebih memprioritaskan efisiensi biaya operasional dalam jangka pendek.
Kompleksitas Jaringan Distribusi	Beberapa penelitian menegaskan bahwa model multi-echelon, hub-and-spoke, dan jaringan distribusi multimoda diperlukan untuk mendukung distribusi berskala nasional maupun internasional.	Sebagian besar penelitian lainnya masih menggunakan model single-depot dan single-distribusi yang menjadi objek penelitian. Distribusi berskala lokal, nasional dan antarpulau memerlukan model jaringan.	Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik sistem distribusi yang menjadi objek penelitian. Distribusi berskala lokal, nasional dan antarpulau memerlukan model jaringan.

Kriteria Perbandingan	Temuan yang Konsisten (<i>Agreement</i>)	Perbedaan Temuan (<i>Divergence</i>)	Penjelasan Potensial
	karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan (Fargiana et al., 2022; Syahputra et al., 2018; Reinaldi Rangkuti & Nurwana, 2025; Sepadyati et al., 2023; Angelina, 2017; Triastika & al., 2023; Sirait & Lubis, 2023; Rahman, 2017; Rajagukguk et al., 2022; Pulansari, 2025; Komarudin et al., 2022; Auliani et al., 2021; Sopha et al., 2021; Philanthrope & Mandaku & Rasyid, 2023).	usaha kecil dan menengah yang lebih kompleks, distribusi pada wilayah perkotaan atau UMKM masih dapat direpresentasikan secara memadai menggunakan model single-depot yang lebih sederhana. Ramadiansyah, 2018; Achmad et al., 2023; Sari et al., 2020; Hanafiah et al., 2024; Irawan et al., 2020).	

Implikasi Teoretis dan Praktis

Konsistensi keberhasilan model heuristik dan metaheuristik dalam berbagai konteks logistik di Indonesia memperkuat validitas kerangka VRP sebagai landasan teoretis yang kokoh untuk menjelaskan dan menyelesaikan persoalan distribusi di wilayah kepulauan maupun kawasan perkotaan (Aisyah et al., 2025; Ayu, 2021). Temuan ini menunjukkan bahwa VRP tidak hanya relevan untuk optimasi rute secara umum, tetapi juga adaptif terhadap karakteristik geografis dan operasional yang khas di Indonesia.

Selain itu, integrasi faktor keberlanjutan lingkungan, seperti biaya emisi karbon, ke dalam model perutean tradisional menggeser fokus teoretis dari sekadar minimisasi biaya menuju paradigma optimasi multitujuan. Perkembangan ini menantang kecukupan model yang hanya berorientasi pada biaya, karena keputusan rute kini perlu mempertimbangkan dimensi ekonomi dan ekologis secara simultan (Arifian & Pulansari, 2023; Reinaldi et al., 2021; Umitri & Ciptomulyono, 2024; Sholichah et al., 2020). Dengan demikian, arah pengembangan teori optimasi rute bergeser menuju model yang lebih komprehensif dan berkelanjutan.

Penggunaan model hibrida, seperti kombinasi algoritma klastering dengan heuristik perutean, juga mendukung pandangan bahwa pemecahan masalah distribusi berskala besar ke dalam submasalah yang lebih kecil dapat meningkatkan efisiensi komputasi dan kualitas solusi. Secara teoretis, pendekatan ini memperlihatkan bahwa dekomposisi masalah merupakan strategi yang efektif untuk menghadapi kompleksitas jaringan distribusi yang besar dan beragam (Ayu et al., 2015; Arifta & Rakhmawati, 2023; Fauzi et al., 2024). Selain itu, perbandingan antara desain jaringan hub-and-spoke dan point-to-point dalam logistik maritim memberikan dukungan empiris bahwa sistem berbasis hub lebih efisien untuk wilayah kepulauan, sepanjang hambatan di pusat distribusi regional dapat dikelola secara efektif (Sopha et al., 2021; Mandaku & Rasyid, 2023).

Lebih lanjut, hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun metode eksak seperti Mixed Integer Linear Programming (MILP) mampu menghasilkan solusi optimal global, pendekatan heuristik sering kali menawarkan kompromi yang lebih realistis antara optimalitas solusi dan kelayakan komputasi pada lingkungan logistik Indonesia yang dinamis (Mialtra & Adytia, 2025; Zaharuddin et al., 2024; Wulandari & Vanany, 2025; Syahputra et al., 2018). Hal ini mengindikasikan bahwa secara teoretis, pemilihan metode optimasi perlu disesuaikan dengan skala masalah, kompleksitas jaringan, dan keterbatasan data yang tersedia.

Bagi praktisi, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan alat perutean berbasis data perlu diprioritaskan, karena peralihan dari perencanaan berbasis intuisi menuju metode algoritmik secara konsisten menghasilkan penurunan jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional (Aisyah et al., 2025; Nalhadi et al., 2025; Siswanti et al., 2025; Oktavia et al., 2019). Oleh karena itu, penerapan algoritma optimasi dapat menjadi instrumen penting dalam meningkatkan efisiensi distribusi pada berbagai sektor logistik.

Dari sisi kebijakan, pemerintah dan pelaku industri perlu mendorong investasi pada infrastruktur logistik digital, karena efektivitas model optimasi sangat bergantung pada ketersediaan data yang akurat dan terkini mengenai lalu lintas, permintaan, serta kondisi jalan (Hidayat & Mulyono, 2025; Kasrim et al., 2025; Sani et al., 2018). Dalam konteks ini, integrasi *Transportation Management*

System (TMS) berbasis awan menjadi relevan untuk meningkatkan interoperabilitas data secara waktu nyata serta mendukung ketahanan rantai pasok dan agenda logistik hijau nasional (Kasrim et al., 2025; Putri & Hakim, 2020).

Untuk jaringan distribusi berskala besar, seperti pada BUMN atau ritel besar, penerapan model distribusi bertahap dapat mengoptimalkan utilisasi muatan dan menurunkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan (Hermanto et al., 2021; Christopher et al., 2024; Mustakim, 2024; Putri & Hakim, 2020). Sementara itu, meskipun literatur saat ini telah menunjukkan manfaat yang jelas dalam reduksi biaya dan jarak, integrasi variabel dinamis secara waktu nyata, seperti fluktuasi harga bahan bakar dan lonjakan permintaan musiman, masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar tercipta kerangka perutean yang adaptif dan tangguh (Hidayat & Mulyono, 2025; Siswanti et al., 2025; Auliani et al., 2021; Ramadhani et al., 2024).

Keterbatasan Literatur

Analisis terhadap literatur menunjukkan bahwa pengembangan model optimasi rute distribusi di Indonesia masih menghadapi beberapa keterbatasan metodologis dan implementatif. Sebagian besar penelitian masih mengasumsikan kondisi operasional yang bersifat statis, baik dari sisi permintaan maupun kondisi jaringan transportasi. Selain itu, aspek keberlanjutan lingkungan belum diintegrasikan secara luas ke dalam model optimasi, sehingga sebagian besar penelitian masih berorientasi pada minimisasi biaya dan jarak tempuh. Keterbatasan lainnya meliputi ketergantungan pada data operasional yang diperoleh secara manual, belum dimasukkannya kondisi lalu lintas secara real-time dan faktor eksternal lainnya, serta rendahnya skalabilitas beberapa metode ketika diterapkan pada sistem distribusi yang lebih kompleks. Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat peluang penelitian untuk mengembangkan model optimasi yang lebih dinamis, adaptif, berkelanjutan, dan mampu diterapkan pada permasalahan distribusi di dunia nyata.

Tabel 13 Keterbatasan penelitian optimasi rute distribusi barang di Indonesia

Area Keterbatasan	Deskripsi Keterbatasan	Penelitian yang Mengidentifikasi Keterbatasan
Asumsi Permintaan yang Bersifat Statis	Sebagian besar model menggunakan data permintaan yang bersifat statis sehingga belum mampu mengakomodasi perubahan permintaan secara real-time, fluktuasi musiman, maupun dinamika pasar. Kondisi tersebut mengurangi kemampuan model dalam menghasilkan rute distribusi yang adaptif terhadap kondisi operasional yang sebenarnya.	Priscilia et al., 2024; Hidayat & Mulyono, 2025; Siswanti et al., 2025
Kurangnya Integrasi Aspek Lingkungan	Sebagian besar penelitian masih berfokus pada minimisasi biaya operasional dan jarak tempuh tanpa mengintegrasikan indikator keberlanjutan, seperti emisi karbon maupun konsumsi energi. Keterbatasan ini menyebabkan hasil penelitian kurang relevan untuk mendukung implementasi Green Logistics dan pencapaian target Net Zero Emission.	Reinaldi et al., 2021; Yogaswara, 2015; Nahry & Ayu, 2021; Umitri & Ciptomulyono, 2024; Sholichah et al., 2020
Ketergantungan pada Data Manual dan Pengalaman Pengemudi	Beberapa penelitian menunjukkan bahwa proses perencanaan distribusi masih bergantung pada pengalaman pengemudi atau intuisi operator, bukan pada sistem pendukung keputusan berbasis data. Kondisi ini berpotensi menghasilkan keputusan distribusi yang subjektif, mengurangi konsistensi pengambilan keputusan, serta menyulitkan evaluasi kinerja model optimasi.	Aisyah et al., 2025; Handayani et al., 2025; Perdana et al., 2020; Hermanto et al., 2021; Pramudyo et al., 2022; Philanthrope & Ramadiansyah, 2018; Zaharuddin et al., 2024; Kurnia & Handayani, 2024
Terbatasnya Pertimbangan Kondisi Lalu Lintas dan Faktor Eksternal	Banyak model belum mempertimbangkan kondisi lalu lintas secara real-time, kondisi jalan, cuaca, maupun faktor eksternal lainnya seperti fluktuasi harga bahan bakar. Akibatnya, solusi yang dihasilkan berpotensi kurang optimal ketika diterapkan pada kondisi	Priscilia et al., 2024; Siswanti et al., 2025; Yogaswara, 2015; Aman et al., 2022

Area Keterbatasan	Deskripsi Keterbatasan	Penelitian yang Mengidentifikasi Keterbatasan
	operasional yang dinamis, khususnya di wilayah perkotaan dengan tingkat kemacetan yang tinggi.	
Skalabilitas dan Kompleksitas Komputasi	Beberapa metode heuristik maupun metode eksak masih menghadapi keterbatasan ketika diterapkan pada permasalahan distribusi berskala besar atau jaringan logistik yang kompleks. Peningkatan ukuran permasalahan menyebabkan waktu komputasi yang tinggi, kebutuhan sumber daya komputasi yang lebih besar, bahkan kemungkinan tidak diperolehnya solusi optimal dalam waktu yang wajar.	Sirait & Lubis, 2023; Basriati & Sunarya, 2015; Zulkarnain et al., 2020

Kesenjangan Penelitian dan Arah Penelitian Masa Depan

Sintesis literatur menunjukkan bahwa penelitian optimasi rute distribusi di Indonesia masih didominasi oleh pendekatan yang berorientasi pada efisiensi operasional, sementara berbagai aspek penting lainnya belum banyak dieksplorasi. Kesenjangan utama meliputi belum terintegrasinya kondisi lalu lintas secara real-time, keterbatasan pengembangan model logistik multimoda, belum adanya standar evaluasi keberlanjutan lingkungan, serta kurangnya perhatian terhadap faktor manusia dan organisasi dalam implementasi sistem optimasi. Selain itu, tantangan terkait skalabilitas algoritma, ketidakpastian permintaan, integrasi reverse logistics, keterbatasan kualitas data, dan rendahnya generalisasi model lintas sektor menunjukkan masih terbukanya peluang penelitian yang signifikan. Pengembangan pada area-area tersebut diharapkan dapat menghasilkan model optimasi yang lebih adaptif, berkelanjutan, dan memiliki tingkat implementasi yang lebih tinggi pada sistem logistik Indonesia.

Tabel 14 Kesenjangan penelitian dan arah penelitian masa depan

Area Kesenjangan	Deskripsi Kesenjangan	Arah Penelitian Masa Depan	Justifikasi	Prioritas Penelitian
Integrasi Kondisi Lalu Lintas Dinamis	Sebagian besar model masih menggunakan matriks jarak yang bersifat statis sehingga belum mampu mengakomodasi kondisi lalu lintas dan perubahan kondisi jalan secara <i>real-time</i> di wilayah perkotaan dalam Indonesia (Hidayat & Mulyono, 2025; Sirait & Lubis, 2023).	Mengembangkan model optimasi hibrida yang mengintegrasikan data <i>real-time</i> melalui Google Maps API ke algoritma metaheuristik sehingga rute dapat diperbarui secara dinamis.	Model statis cenderung menghasilkan estimasi waktu distribusi yang kurang akurat. Integrasi data <i>real-time</i> diperlukan untuk meningkatkan keakuratan prediksi waktu pengiriman serta keandalan operasional (Priscilia et al., 2024; Sani et al., 2018).	Tinggi
Konektivitas Logistik Multimoda	Sebagian besar penelitian masih berfokus pada distribusi menggunakan moda transportasi darat dan belum mengakomodasi konektivitas multimoda yang dibutuhkan oleh negara kepulauan seperti Indonesia (Sjafruddin et al., 2010; Sjafruddin et al., 2009).	Mengembangkan model optimasi rute yang mengintegrasikan transportasi laut, darat, dan udara melalui optimasi transshipment dan konektivitas antarpulau.	Karakteristik geografis Indonesia menuntut pengembangan sistem logistik multimoda untuk menurunkan biaya logistik nasional dan meningkatkan ketahanan rantai pasok (Sopha et al., 2021; Mandaku & Rasyid, 2023).	Tinggi
Standardisasi Evaluasi Dampak Lingkungan	Meskipun beberapa penelitian telah mempertimbangkan emisi karbon, belum tersedia kerangka evaluasi maupun indikator yang terstandarisasi untuk mengukur dampak dan lingkungan dari optimasi rute khususnya untuk sektor perbandingan	Mengembangkan kerangka Green Logistics yang mengintegrasikan pengukuran emisi CO ₂ bersama indikator biaya Zero Emission serta jarak tempuh, memungkinkan optimasi rute khususnya untuk sektor perbandingan	Standarisasi indikator keberlanjutan diperlukan untuk mendukung pencapaian target Net Zero Emission serta kinerja	Tinggi

Area Kesenjangan	Deskripsi Kesenjangan	Arah Penelitian Masa Depan	Justifikasi	Prioritas Penelitian
	dalam jangka panjang logistik dan UMKM di lingkungan (Yogaswara, 2015; Fatahayu et al., 2022; Ramadhani et al., 2024).		antarpemelitian maupun antarpemusahaan (Umitri & Ciptomulyono, 2024; Lusiantoro et al., 2024).	
Faktor Manusia dan Organisasi	Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada aspek teknis optimasi dan masih mengabaikan pengaruh perilaku manajemen tenaga kerja, serta integrasi model optimasi dengan sistem informasi yang telah digunakan perusahaan (Priscilia et al., 2024; Anwar et al., 2025; Afrizal & Pratiwi, 2025).	Meneliti hambatan sosial implementasi optimasi dan organisasi dalam implementasi optimasi oleh rute, seperti pelatihan, sistem organisasi, insentif, serta penerimaan interoperabilitas dengan sistem informasi yang sudah ada.	Keberhasilan implementasi optimasi tidak hanya ditentukan oleh kualitas algoritma, tetapi juga oleh kesiapan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan (Priscilia et al., 2024; Steffen et al., 2025).	Sedang
Skalabilitas Metode Heuristik	Beberapa metode heuristik mengalami peningkatan waktu komputasi ketika diterapkan pada jaringan distribusi berskala nasional dengan jumlah simpul yang sangat besar (Sirait & Lubis, 2023; Basriati & Sunarya, 2015; Zulkarnain et al., 2020).	Mengembangkan algoritma optimasi berbasis parallel computing, cloud computing, maupun komputasi terdistribusi untuk menangani permasalahan VRP berskala besar secara lebih efisien.	Skalabilitas menjadi aspek penting agar model optimasi dapat diterapkan pada jaringan distribusi nasional, tidak hanya pada studi kasus lokal (Kasrim et al., 2025).	Sedang
Ketidakpastian Permintaan	Sebagian besar model masih mengasumsikan permintaan bersifat deterministik sehingga belum mampu mengakomodasi fluktuasi musiman maupun perubahan permintaan yang tidak dapat diprediksi (Priscilia et al., 2024; Hidayat & Mulyono, 2025; Siswanti et al., 2025).	Mengintegrasikan pendekatan stochastic programming atau metode machine learning untuk melakukan peramalan permintaan sebagai bagian dari model optimasi rute.	Asumsi permintaan yang statis berpotensi menghasilkan rute yang kurang optimal pada periode permintaan tinggi, khususnya pada sektor ritel dan distribusi pangan (Anwar et al., 2025; Kurnia & Darmawan, 2021).	Sedang
Integrasi Reverse Logistics	Penelitian mengenai integrasi distribusi maju (<i>forward logistics</i>) dan distribusi balik (<i>reverse logistics</i>), seperti pengambilan barang retur maupun pengelolaan limbah, masih sangat terbatas (Reinaldi et al., 2021).	Mengembangkan model optimasi yang mengintegrasikan aktivitas pengiriman dan pengambilan barang sirkular (<i>pickup and delivery</i>) secara simultan untuk meningkatkan utilisasi kendaraan.	Integrasi reverse logistics yang menjadi komponen penting dalam implementasi ekonomi sirkular dan pengurangan dampak lingkungan sistem distribusi (Reinaldi et al., 2021; Steffen et al., 2025).	Sedang
Granularitas Data Operasional	Sebagian besar penelitian menggunakan data sekunder atau data internal perusahaan yang masih terbatas sehingga validasi model belum dilakukan menggunakan data operasional dengan tingkat detail yang tinggi (Siswanti et al., 2025; Hermanto et al., 2025).	Mendorong penggunaan data primer, data berkualitas tinggi operasional beresolusi tinggi, serta teknologi Internet of Things (IoT) untuk meningkatkan validitas dan skalabilitas model optimasi.	Ketersediaan data yang berkualitas tinggi menjadi prasyarat utama agar model optimasi dapat diterapkan secara nyata dan menghasilkan solusi yang andal (Sani et al., 2018).	Rendah

Area Kesenjangan	Deskripsi Kesenjangan	Arah Penelitian Masa Depan	Justifikasi	Prioritas Penelitian
	2021; Herdhiansyah et al., 2023).			
Generalisasi Lintas Sektor	Penelitian masih didominasi oleh studi kasus pada sektor tertentu, seperti LPG, beras, maupun distribusi alat kesehatan, sehingga belum tersedia kerangka optimasi yang dapat diterapkan secara lintas sektor (Mialtra & Adytia, 2025; Reinaldi et al., 2021).	Mengembangkan kerangka optimasi rute yang bersifat generik dan modular sehingga dapat diadaptasi sesuai karakteristik berbagai sektor industri melalui penyesuaian parameter.	Kerangka yang bersifat umum akan meningkatkan transferabilitas penelitian dan memudahkan praktisi memilih metode optimasi sesuai kebutuhan industri (Saputra et al., 2025).	hasil dan Rendah

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sintesis literatur, dapat disimpulkan bahwa optimasi rute distribusi barang di Indonesia secara konsisten meningkatkan efisiensi logistik melalui pendekatan matematis dan heuristik, seperti *Saving Matrix*, *Nearest Neighbor*, *Ant Colony Optimization*, dan *Genetic Algorithm*. Pendekatan tersebut terbukti mampu menurunkan jarak tempuh, biaya operasional, dan waktu pengiriman, sekaligus meningkatkan pemanfaatan armada dan keseimbangan muatan. Meskipun demikian, efektivitas implementasinya masih dipengaruhi oleh berbagai kendala operasional, seperti kapasitas kendaraan, jendela waktu, serta dinamika lalu lintas dan kondisi infrastruktur.

Di sisi lain, integrasi aspek keberlanjutan, khususnya pengurangan emisi karbon dan konsumsi bahan bakar, mulai mendapat perhatian dalam penelitian terbaru. Namun, kajian yang ada masih didominasi oleh studi kasus lokal dengan asumsi permintaan yang statis, sehingga generalisasi dan penerapannya pada kondisi nyata masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada pengembangan model optimasi yang lebih dinamis, multimoda, dan terintegrasi dengan sistem data waktu nyata agar mampu mendukung efisiensi serta ketahanan logistik nasional secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abryandoko, E. W., & Karim, A. A. (2022). OPTIMALISASI DISTRIBUSI PRODUK BEBICARE MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIX PADA CV. ANUGERAH JAYA MANDIRI. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, 5(1). <https://doi.org/10.31602/jieom.v5i1.6867>.
- Achmad, A. M. F., Aziz, I. S., & Katili, C. E. M. (2023). Penentuan rute kendaraan dengan jendela waktu untuk distribusi produk oleh PT. X. *Journal of Agro-industry Engineering Research*, 2(1), 46–51. <https://doi.org/10.61844/jaier.v2i1.541>.
- Adhitama, L., Putri, O., & Ramadhani, S. D. R. (2023). Optimasi Rute Distribusi Bantuan Logistik Kesehatan ke Daerah Rawan Bencana Banjir di Kota Yogyakarta. *Jagratar Journal of Disaster Research*, 1(2), 39–48. <https://doi.org/10.36080/jjdr.v1i2.119>.
- Adianto, H., Riawan, A. I., & Susanto, E. (2018). Determination of liquid product distribution route using clark and wright saving and tabu search algorithm for a milk industry in indonesia. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.29), 102–105. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.29.13138>.
- Adri, M. A., Panjaitan, D. J., & Cipta, H. (2022). Vehicle Routing Problem (VRP) dalam Penentuan Rute Terpendek Pendistribusian Tabung Gas LPG Dengan Mempertimbangkan Jumlah Permintaan. *JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN TERAPAN*, 19(1), 49–57. <https://doi.org/10.22487/2540766x.2022.v19.i1.15885>.
- Afifudin, M. T., Sahar, D. P., Muspida, Faisal, M., Loppies, L. R., & Indah, A. B. R. (2023). Route optimization model design to support multi-cluster commodity distribution in the Moluccas islands. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012005>.

- Afrizal, F., & Pratiwi, A. I. (2025). Optimasi pengelolaan permintaan dan persediaan dengan pendekatan vehicle routing problem pada PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(1), 77–81. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.38878>.
- Agustine, D., Hadi, I. H., & Meganingtyas, D. E. W. (2022). Masalah Vehicle Routing Problem Pada Pengiriman Barang di kota Bandung utara dengan menggunakan Kluster KMeans dan Algoritma Nearest Neighbor. *JMT Jurnal Matematika Dan Terapan*, 4(2), 1–8. <https://doi.org/10.21009/jmt.4.2.1>.
- Aisyah, F. S., Winarno, W., & Rinaldi, D. N. (2024). OPTIMIZING CARTON PRODUCT DELIVERY BY SOLVING TRAVELLING SALESMAN PROBLEM AT PACKAGING COMPANIES. *BAREKENG JURNAL ILMU MATEMATIKA DAN TERAPAN*, 18(3), 1803–1816. <https://doi.org/10.30598/barekengvol18iss3pp1803-1816>.
- Aisyah, S., & Husein, I. (2025). Optimization of LPG distribution on VRP using cheapest insertion heuristics algorithms and dynamic programming. *MANDALIKA Mathematics and Educations Journal*, 7(3), 1246–1257. <https://doi.org/10.29303/jm.v7i3.9694>.
- Aman, A., Anggraini, R. F., Hanum, F., & Supriyo, P. T. (2022). PENGOPTIMUMAN BIAYA DISTRIBUSI MENGGUNAKAN INTEGER PROGRAMMING DALAM MENYIKAPI KEBIJAKAN GANJIL-GENAP DI JAKARTA. *MILANG Journal of Mathematics and Its Applications*, 18(1), 61–75. <https://doi.org/10.29244/milang.18.1.61-75>.
- Ananda, A. S., Notiragayu, N., Wamiliana, W., & Ansori, M. (2023). Penentuan lintasan terpendek perjalanan pengiriman barang menggunakan algoritma Cheapest Insertion Heuristic (Studi kasus PT. Indah Logistik Cargo Bandar Lampung). *Jurnal EurekaMatika*, 11(2), 111–120. <https://doi.org/10.17509/jem.v11i2.63723>.
- Anggraeni, A. D., & Rusindiyanto, R. (2020). ANALISA PENENTUAN RUTE PRODUK PUPUK ORGANIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIX PADA PT. XYZ SURABAYA. *JUMINTEN*, 1(4), 12–23. <https://doi.org/10.33005/juminten.v1i4.106>.
- Anwar, F., Irfan, A. M., Willis, T. B. M., Jayanegara, S., & Romadin, A. (2025). Determining ice block distribution routes for fishermen in Bone Regency using the nearest neighbors algorithm vehicle routing problem. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 4(11), 1783–1798. <https://doi.org/10.55927/fjsr.v4i11.727>.
- Aqidawati, E. F., Anshory, M. I., Dityarini, A., Yuniaristanto, Y., Sutopo, W., & Artanto, B. (2021, March 7). Application of Vehicle Routing Problem to Determine Optimal Route in Fuel Distribution: A Case Study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. <https://doi.org/10.46254/an11.20210407>.
- Ardiansyah, C. N., & D, D. S. (2022). Optimization of PT. Ciomas Adisatwa distribution routes to minimize the distribution cost. *Tibuna*, 5(2), 76–81. <https://doi.org/10.36456/tibuna.5.2.5501.76-81>.
- Ardiansyah, M. V., Darajatun, R. A., & Rinaldi, D. N. (2021). OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN DENGAN METODE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DI PT XYZ. *Tekmapro Journal of Industrial Engineering and Management*, 16(2), 84–95. <https://doi.org/10.33005/tekmapro.v16i2.264>.
- Arifian, R., & Pulansari, F. (2023). Determination of the Shortest Distribution Routes to Minimize Fuel Consumption and CO2 Emission Using Sweep and Clarke & Wright Saving Algorithms. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(2), 146. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v4i2.20493>.
- Marpaung, L. E., Arifin, J., & Winarno, W. (2022). Optimalisasi rute distribusi menggunakan algoritma Clarke and Wright Savings. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, 6(2), 76. <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v6i2.1784>.
- Arifta, E., & Rakhmawati, F. (2023). Analysis of book distribution routes using the Capacity Vehicle Routing Problem (CVRP) method using the sweep algorithm. *Sinkron*, 8(1), 360–367. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i1.12013>.
- Asih, A. M. S., Jatiningrum, W. S., & Sopha, B. M. (2016). Collaborative distribution: Application to the city of Yogyakarta, Indonesia. In *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1141–1145). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798056>.

- Astari, A. N., & Fauzi, M. (2024). Breaking The Limitations of Distribution: Creating an Integrated Solution with Saving Matrix and Net Present Value. *Jurnal Teknik Industri Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 10(1), 197–205. <https://doi.org/10.24014/jti.v10i1.29967>.
- Auliani, F., Hertini, E., & Nahar, J. (2021). Determination distribution route of beverage products with the application of the vehicle routing problem model and sensitivity analysis. *Journal of Physics Conference Series*, 1722(1), 012037. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012037>.
- Auliasari, K., Kertaningtyas, M., & Basuki, D. W. L. (2018). Optimalisasi rute distribusi produk menggunakan metode traveling Salesman Problem. *Jurnal Sains Dan Teknologi Industri*, 16(1), 15. <https://doi.org/10.24014/sitekin.v16i1.6109>.
- Ayu, K. G., Septivani, N., Xu, S., Kwan, S., & Ani. (2015). Optimum clustering and routing model using CVRP cluster-first, route-second in a 3PL provider. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093800>.
- Ayu, T., & Nahry. (2021). Optimizing the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window on Urban Last Mile Delivery. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 830(1), 012100. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012100>.
- Az-Zahra, V. L., Dewy, C. K., Fikri, M. A., & Fauzi, M. (2023). Desain Rute dan Optimasi Biaya Transportasi Pengisian Tabung Oksigen menggunakan Metode Complete Enumeration pada CV. Tasman Gases. *JURMATIS (Jurnal Manajemen Teknologi Dan Teknik Industri)*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.30737/jurmatis.v5i1.2207>.
- Bahktiar, F., Puspitorini, P. S., & Rosyida, E. E. (2022). MODEL SET-COVERING PROBLEM UNTUK MENGOPTIMALKAN LOKASI DROPPOINT DI PERUSAHAAN LOGISTIK. SEMINAR NASIONAL FAKULTAS TEKNIK, 1(1), 392–398. <https://doi.org/10.36815/semastek.v1i1.66>.
- Basriati, S., & Sunarya, R. (2015, November 11). Optimasi distribusi koran menggunakan metode saving matriks (Studi kasus: PT. Riau Pos Intermedia). <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/SNTIKI/article/view/3027>.
- Billa, A. F. S., Saragih, N. I., & Muttaqin, P. S. (2022). Product delivery distribution route design at UD. XYZ use the saving matrix method to minimize distribution costs. *MOTIVECTION Journal of Mechanical Electrical and Industrial Engineering*, 4(3), 305–318. <https://doi.org/10.46574/motivection.v4i3.164>.
- Chandra, A., & Setiawan, B. (2018). Optimasi Jalur Distribusi dengan Metode Vehicle Routing Problem (VRP). *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 5(2), 105. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v5i2.233>.
- Christopher, H. V., Purnama, A. A., & Harahap, S. M. M. (2024). Application of K-Means clustering and OR-Tools to optimize rice distribution: A case study of Perum Bulog Indonesia. *Applied Information System and Management (AISM)*, 7(2), 57–63. <https://doi.org/10.15408/aism.v7i2.40618>.
- Cipta, H., & Hasibuan, M. F. (2023). Optimal Vehicle Routing Problem (VRP) for the distribution of medical devices by applying the Clarke-Wright algorithm. *International Journal of Science and Environment (IJSE)*, 3(1), 7–12. <https://doi.org/10.51601/ijse.v3i1.56>.
- Dermawan, D., & Ramadiansyah, V. (2018). ANALISIS DISTRIBUSI OBAT DENGAN PENDEKATAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEMS (TSP) DI PT. PHAROS CABANG PEKANBARU. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.31004/jutin.v1i2.76>.
- Lidiawati, H., Setiawan, A. I., Ramdhani, S., Satria, S., Sulistyowati, & Mukiman, K. (2023). Determining the delivery of goods using the K-nearest neighbor algorithm and the saving matrix method to obtain the optimal route and save costs. In *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE)* (pp. 957–961). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127714>.
- S, D. S. D., & Asmungi. (2023b). Penentuan Rute Distribusi Pengiriman Hemodialisa Pack Untuk Menurunkan Biaya dan Waktu Pengiriman Dengan Menggunakan Metode Vehicle Routing Problems. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Sistem Industri*, 2(2), 107–114. <https://doi.org/10.56071/jtmsi.v2i2.614>.

- Djayanti, R. D., & Iriani, Y. (2020). Optimization in determining routes of goods distribution vehicle using the Ant Colony Optimization Algorithm method at PT XYZ. *Journal of Information Systems and Informatics*, 2(1), 202–215. <https://doi.org/10.33557/journalisi.v2i1.62>.
- Fadhlurrahman, M. G., & Binatari, N. (2019). Masalah Transshipment untuk penentuan rute distribusi BBM di Kabupaten Klaten. *Prosiding Seminar Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 1, 66–75. <https://doi.org/10.21831/pspmm.v1i0.20>.
- Fahmiasari, H., & Parikesit, D. (2017). Container shipping network efficiency comparison in Indonesia: Nusantara Pendulum and Sea Tollway. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(2), 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.06.005>.
- Faiz, A. N., Putri, A. R., Patradhiani, R., & Fijra, R. (2025). Optimasi Rute Pendistribusian Barang untuk Minimasi Jarak Tempuh dan Biaya Transportasi dengan Metode Nearest Insert: Studi Kasus di UMKM XYZ. *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 10(2), 171–180. <https://doi.org/10.32502/integrasi.v10i2.1188>.
- Fargiana, F., Respitawulan, R., Fajar, Y., Suhaedi, D., & Harahap, E. (2022). Implementation of cheapest insertion heuristic algorithm in determining shortest delivery route. *International Journal of Global Operations Research*, 3(2), 37–45. <https://doi.org/10.47194/ijgor.v3i2.137>.
- Fatahayu, N. R., Waluya, F. N., Atthoririq, M. F., & Sukarno, I. (2022). Optimization of blood bag distribution routes using AMPL software and Nearest neighbor algorithm (Case study of the Indonesian Red Cross Jakarta). *Jurnal Logistik Indonesia*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.31334/logistik.v6i1.2220>.
- Fauzi, I. S., Wardani, I. B., Putra, I. L., & Puspitasari, P. (2024). Penerapan Algoritma Sweep dan Particle Swarm Optimization (PSO) sebagai Alternatif Menentukan Rute Distribusi. *Faktor Exacta*, 16(4). <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v16i4.18962>.
- Azzahra, V. L., & Fauzi, M. (2023). Determination of the shortest route for inorganic waste transportation using the Clarke and Wright saving algorithm. *MOTIVATION Journal of Mechanical Electrical and Industrial Engineering*, 5(2), 195–204. <https://doi.org/10.46574/motivaction.v5i2.217>.
- Fauzi, M. D. R., Wahyudin, W., & Nugraha, B. (2021). Optimalisasi Penentuan Jalur Distribusi Terpendek Menggunakan Spanning Tree dan Nearest Neighbor. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 6(1), 121. <https://doi.org/10.31544/jtera.v6.i1.2021.121-130>.
- Uddin, N., Hermawan, H., Rachmawati, N. L., & Tannady, H. (2022). Genetic Algorithm for Logistics-Route Optimization in urban area. *2022 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT)*, 071–076. <https://doi.org/10.1109/aiiot54504.2022.9817173>.
- Gunawan, S., Widodo, A. M., Firmansyah, G., & Tjahjono, B. (2024). Comparison of Dijkstra, Hybrid-PSO algorithms for optimizing the distribution route of papaya seeds and honey products (Case Study: PT. Agro Apiari Mandiri). *Asian Journal of Social and Humanities*, 2(12), 3136–3153. <https://doi.org/10.59888/ajosh.v2i12.398>.
- Gusminto, E. B., & Lesmana, R. P. (2023). Optimalisasi Rute untuk Meminimalkan Biaya Pengangkutan Sampah di Kota Jember menggunakan Metode Saving Matrix oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Jember. *Jurnal Ekonomi Akuntansi Dan Manajemen*, 22(2), 148. <https://doi.org/10.19184/jeam.v22i2.38579>.
- Gusti, G. M. A., Insani, R. W. S., & Sucipto. (2023). Optimasi Traveling Salesman Problem (TSP) Menggunakan Algoritma Genetika dan Google Maps API untuk Kurir Ekspedisi pada J&T Paris 2 Berbasis Web GIS. *INSERT Information System and Emerging Technology Journal*, 4(2), 119–132. <https://doi.org/10.23887/insert.v4i2.68223>.
- Hafsari, L. S., Pudjiantoro, T. H., & Santikarama, I. (2020). Sistem fleet management distribusi menggunakan metode saving matrix. *Jurnal ICT Information Communication & Technology*, 19(1), 60–69. <https://doi.org/10.36054/jict-ikmi.v19i1.144>.
- Hajar, G., Rachmaniar, D. N., & Fauzi, M. D. (2024). Penentuan Rute Pembukaan Gerai Baru dengan Vehicle Routing Problem with Time Windows Pendekatan Nearest Neighbor. *Go-Integratif Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*, 5(01), 12–21. <https://doi.org/10.35261/gijtsi.v5i01.11323>.
- Hanafi, R., Rusman, M., Goh, M., de Souza, R. (2019). Logistics Network Design for Rice Distribution in Sulawesi, Indonesia. In: Liu, X. (eds) *Environmental Sustainability in Asian Logistics and Supply Chains*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0451-4_3.

- Hanafi, R., Rusman, M., Mardin, F., Parenreng, S. M., & Azzazli, A. (2020). Distribution route optimization of a capacitated vehicle routing problem by sweep algorithm. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 875(1), 012066. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/875/1/012066>.
- Hanafiah, H., Ardaniswarie, P., Susilo, F. a. T., & Rahadi, D. R. (2024). Optimization of Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows in Multiple Product and Multiple Route Distribution (Case Study: PT Subang Mulya Sejahtera). *International Journal of Scientific and Management Research*, 07(05), 37–56. <https://doi.org/10.37502/ijsmr.2024.7503>.
- Handayani, D., Rusman, M., Kasmianti, Muhammad, M. S., & Raodah. (2025). Distribution System Optimization at one of the Food Distributors in Gowa Regency. *Dinamika Rekayasa*, 21(2), 88–97. <https://doi.org/10.20884/1.jidr.2025.21.2.15>.
- Hartati, M., & Kharisma, Y. (2018). OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI BARANG FROZEN DI PT. SUKANDA DJAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE NEAREST NEIGHBOUR (STUDI KASUS: PT. SUKANDA DJAYA PEKANBARU). *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 1(1). <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2329>.
- Herdhiansyah, D., Yunissa, A., Gusmiarty, W., & Asriani, A. (2023). OPTIMASI PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI BERAS KOMERSIAL BULOG MENGGUNAKAN METODE BRANCH AND BOUND DENGAN BANTUAN SOFTWARE LINGO. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i3.14514>.
- Hermanto, K., & Ruskartina, E. (2018). OPTIMASI RUTE TRUK PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA SUMBAWA BESAR SHIFT II MENGGUNAKAN GVRP. *Unisda Journal of Mathematics and Computer Science (UJMC)*, 4(2), 15–23. <https://doi.org/10.52166/ujmc.v4i2.1156>.
- Hermanto, K., Ruskartina, E., & Gunawan. (2021). Application of the CGVRP model and the 0-1 linear programming determines the RASKIN (subsidized rice) distribution route. *Journal of Physics Conference Series*, 1778(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1778/1/012002>.
- Hidayat, A. P., Santosa, S. H., Siskandar, R., Zahran, F. R. A., Ananda, D., Savanah, K. M., Aisyah, S., Putri, S., & Nalanaya, N. (2025). Optimizing Last-Mile delivery and transportation modes for the Tempe supply chain. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(4), 3883–3889. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i4.41195>.
- Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing Fuel Distribution Costs through Vehicle Routing Problem Modeling in Jakarta-Tanjung Gerem Terminals. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, 13(5), 3873–3884. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547>.
- Hignasari, L. V., & Mahira, E. D. (2018). OPTIMIZATION OF GOODS DISTRIBUTION ROUTE ASSISTED BY GOOGLE MAP WITH CHEAPEST INSERTION HEURISTIC ALGORITHM (CIH). *SINERGI*, 22(2), 132–138. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2018.2.010>.
- Hisjam, M., Mahardika, F. A., Widodo, B., Kurniawan, B., & Galankashi, M. R. (2019). Location-Allocation model of raw material and transportation modes in Cajuput Oil Supply Chain Network (A case in Indonesia). *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 193–198. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0950-6_30.
- Idris, I. S. K. (2019). Optimasi Pendistribusian Barang Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, 5(2). <https://doi.org/10.26877/jiu.v5i2.4608>.
- Ijse, R., Winursito, Y. C., Nugraha, I., Syaifullah, H., & Dicky, M. (2023). Designing the distribution route for 40 kg cement using Ant Colony Optimization algorithm at PT. SBI Tuban. *International Journal of Eco-Innovation in Science and Engineering*, 4(2). <https://doi.org/10.33005/ijeise.v4i2.121>.
- Prayoga, V. C., & Mardiana, N. (2023). IMPLEMENTASI NEAREST NEIGHBOUR DAN TABU SEARCH DALAM OPTIMASI RUTE PENDISTRIBUSIAN PRODUK. *Prosiding Seminar Sosial Politik Bisnis Akuntansi Dan Teknik*, 5, 212. <https://doi.org/10.32897/sobat.2023.5.0.3099>.
- Indria, N. D., Junaidi, J., & Utami, I. T. (2021). Determination of the Shortest Route on the Distribution System using Ant Colony Optimization (ACO) Algorithm (Case Study: Alfamidi Palu Branch – PT. Midi Utama Indonesia). *Enthusiastic International Journal of Applied Statistics and Data Science*, 1(2), 84–93. <https://doi.org/10.20885/enthusiastic.vol1.iss2.art5>.

- Irawan, W., Manaqib, M., & Fitriyati, N. (2020). Implementation of the Model Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows with a Goal Programming Approach in Determining the Best Route for Goods Distribution. *Jurnal Matematika Statistika Dan Komputasi*, 17(2), 231–239. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v17i2.11107>.
- Jamaludin, M. (2021). Optimizing rice distribution model using linear programming at West Java Bulog. *Webology*, 18(2), 631–642. <https://doi.org/10.14704/web/v18i2/web18343>.
- Rohmah, A. N. (2026). ANALISIS OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI BARANG MENGGUNAKAN VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) MODEL SWEEP METHOD PADA PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Manajemen Dan Akuntansi*, 3(1), 243–253. <https://doi.org/10.69714/k1gd2g70>.
- Kamila, A. N., Herdiani, N. D., S, I. a. S., P, N. A., K, M. F., & Margana, R. R. (2022). Optimization of food delivery routes and distribution costs using the nearest neighbor in PT. XYZ. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6700059>.
- Karim, U. A., & Mohammad, G. (2024). Analisis Perencanaan Rute Pengiriman Produk Menggunakan Metode Dynamic Programming: Studi Kasus di Prateshti Batik, Ecoprint & Craft. *Lentera Multidisciplinary Studies*, 3(1), 538–546. <https://doi.org/10.57096/lentera.v3i1.129>.
- Kasanah, Y. U., Qisthani, N. N., & Munang, A. (2022). Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet Using Heuristic Algorithm in Poultry Distribution. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 21(1), 104–112. <https://doi.org/10.23917/jiti.v21i1.17430>.
- Kasrim, Kusuma, B. A., & Fitriani, I. (2025). Cloud-Based Transportation Management System (TMS) implementation for distribution efficiency in national E-Commerce. *Maneggio*, 2(5), 241–253. <https://doi.org/10.62872/dc5de563>.
- Kharisma, M. L., Ahmad, A., & Malik, R. (2024). Product distribution route optimization using the Traveling Salesman Problem (TSP) method at PT. Inbisco Niagatama Semesta (Mayora Group) in Makassar. *Journal of Industrial System Engineering and Management*, 3(1), 29–37. <https://doi.org/10.56882/jisem.v3i1.27>.
- Komarudin, K., Reza, M., Moeis, A. O., & Rahmawan, A. (2017). Enhancing Pendulum Nusantara Model in Indonesian Maritime Logistics Network. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*. <https://doi.org/10.18178/jtle.5.1.35-39>.
- Kurnia, G., & Darmawan, N. P. D. V. (2021). Optimizing warehouse distribution routes during Eid season using saving matrix and nearest insert method. *Jurnal Logistik Indonesia*, 5(2), 111–119. <https://doi.org/10.31334/logistik.v5i2.1882>.
- Kurnia, G., Kurniawan, A. C., Nawadir, M., Yasmin, M. S., & Hibatullah, M. (2020). Route optimization of oil country tubular goods distribution using sweep and savings algorithm. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(5), 28. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2020i5.7927>.
- Kurnia, M. A., & Handayani, W. (2024). Pengoptimalan Rute untuk Minimasi Biaya Distribusi pada CV.DNY. *Al-Kharaj Jurnal Ekonomi Keuangan & Bisnis Syariah*, 6(9). <https://doi.org/10.47467/alkharaj.v6i9.2808>.
- Kurniawan, R. D., & Nugroho, Y. A. (2022). OPTIMASI DISTRIBUSI ALAT KESEHATAN STERIL DAN NON STERIL MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIKS AND ALGORITMA CLARKE STUDI KASUS : PT MULTITAMA SARANA INDONESIA (MSI). *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(6), 1429–1452. <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v1i6.1508>.
- Kurniawan, V. R. B., & Puspitasari, F. H. (2020). A MATHEMATICAL MODEL FOR DELIVERY ZONE GROUPS BASED ON COURIER ASSIGNMENT OPTIMIZATION: a CASE STUDY IN a LOGISTICS SERVICE PROVIDER. *SPEKTRUM INDUSTRI*, 18(2), 183. <https://doi.org/10.12928/si.v18i2.17824>.
- Kurniawan, W., Manalu, H. V., Putri, O., Kemalintan, N., & Husain, F. (2024). OPTIMALISASI PENGIRIMAN BARANG UNTUK MEMAKSIMALKAN GROSS PROFIT PADA PT LOGISTIK ABC. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 12(2), 124–135. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v12i2.27085>.
- Laoh, E., Surjandari, I., & Zulkarnain. (2017). Reconfiguring oil distribution route using graph partitioning and graph optimization. In 2017 IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST) (pp. 103–108). *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/ICAwST.2017.8256426>.
- Lazuardi, S. D., Van Riessen, B., Achmadi, T., Hadi, I., & Mustakim, A. (2017). Analyzing the National Logistics System through Integrated and Efficient Logistics Networks: A Case Study of Container

- Shipping Connectivity in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials*, 862, 238–243. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.862.238>.
- Li, Z.-f., & Bai, H. (2010). Multi-ant colony optimization algorithm for the route optimization of logistic distribution. In *2010 Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing* (pp. 141–144). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CINC.2010.5643874>.
- Lidiawati, H. Setiawan, A. I. Ramdhani, Satria, Sulistyowati and K. Mukiman, Determining The Delivery Of Goods Using The K-Nearest Neighbor Algorithm And The Saving Matrix Method To Obtain The Optimal Route And Save Costs, *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE)*, Jakarta, Indonesia, 2023, pp. 957-961, <https://doi.org/10.1109/ICCoSITE57641.2023.10127714>.
- Pratiwi, M., & Lubis, R. S. (2023). Distribution route optimization using Nearest Neighbor algorithm and Clarke and Wright savings. *Sinkron*, 8(3), 1638–1652. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12622>.
- Lusiantoro, L., Mara, S. T. W., & Rifai, A. P. (2024). Towards net zero healthcare transport operations in Indonesia: A total cost of ownership approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101985. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.101985>.
- M, L. S. (2017). Sistem pendukung keputusan optimasi biaya dan rute pengiriman barang dengan multimoda menggunakan algoritma Kruskal dalam optimasi single moda. *Jurnal Penelitian*, 2(3), 170–177. <https://doi.org/10.46491/jp.v2e3.93.170-177>
- Lakutu, N. F., Mahmud, S. L., Katili, M. R., & Yahya, N. I. (2023). Algoritma Dijkstra dan Algoritma Greedy Untuk Optimasi Rute Pengiriman Barang Pada Kantor Pos Gorontalo. *Euler Jurnal Ilmiah Matematika Sains Dan Teknologi*, 11(1), 55–65. <https://doi.org/10.34312/euler.v11i1.18244>.
- Mandaku, H., & Rasyid, M. (2023). DESAIN PENGEMBANGAN JARINGAN TRANSPORTASI PENYEBERANGAN UNTUK Mendukung Distribusi General Cargo Antar-PULAU DI PROVINSI MALUKU. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v11i1.22992>.
- Manik, N. I., Nursalim, Y., & Suhartono, D. (2017). Design of Distribution Optimization Application using Firefly Algorithm. *ComTech Computer Mathematics and Engineering Applications*, 8(3), 155. <https://doi.org/10.21512/comtech.v8i3.2567>.
- Marpaung, J. D. F. B., Silalahi, F. T. R., & Manurung, N. M. (2025). OPTIMALISASI RUTE DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE EKSAK ALGORITMA BRANCH AND BOUND. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 13(1), 63–75. <https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v13i1.31789>.
- Martikasari, A. M., & Yulianto, I. (2024). Proposed package distribution routes at PT. Pos Indonesia Mail Processing Center Bandung. *Sainteks Jurnal Sains Dan Teknik*, 6(2), 203–213. <https://doi.org/10.37577/sainteks.v6i02.656>.
- Martono, S., & Warnars, H. L. H. S. (2020). Penentuan rute pengiriman barang dengan metode nearest neighbor. *Petir*, 13(1), 44–57. <https://doi.org/10.33322/petir.v13i1.869>.
- Maulidina, F., Sitania, F. D., & Wahyuda, W. (2025). Distribution truck route optimisation at UDMB using the Clarke and Wright savings and Cluster First Route second. *PENA TEKNIK Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 71–80. <https://doi.org/10.51557/mv15pp96>.
- Mialtra, O., & Adytia, D. (2025). Multi-criteria ship route modeling and optimization using ant colony optimization with a case study in Indonesia. In *2025 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA)* (pp. 450–455). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICoDSA67155.2025.11157090>.
- Moeis, A. O., Zagloel, T. Y., Hidayatno, A., Komarudin, K., & Guo, S. (2017). Designing Indonesian Liner Shipping Network. *Jurnal Teknik Industri*, 19(1), 47–54. <https://doi.org/10.9744/jti.19.1.47-54>.
- Momon, A., & Ardiatma, D. W. (2018). Penentuan Rute Distribusi Suku Cadang Kendaraan Bermotor dalam Meminimalkan Biaya Transportasi (Studi Kasus: PT. Inti Polymetal Karawang). *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 11(1). <https://doi.org/10.30813/jiems.v11i1.1012>.
- Mualifah, L. N. A., & Noviyanti, D. (2019). Optimalisasi jarak dan biaya transportasi distribusi obat PT Merapi Utama Pharma dengan Vehicle Routing Problem Metode Saving Matrix. *Prosiding Seminar Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 1, 47–52. <https://doi.org/10.21831/pspmm.v1i0.17>.

- Muhayyaroh, N., Siswanto, B. N., & Dewi, N. K. (2023). PERANCANGAN SISTEM PENENTUAN RUTE DAN OPTIMASI BIAYA PENDISTRIBUSIAN BARANG DENGAN METODE SAVING MATRIX DAN NEAREST INSERTION BERBASIS VBA EXCEL. *Jurnal Pabean*, 5(2), 146–159. <https://doi.org/10.61141/pabean.v5i2.423>.
- Mustakim, A., Lazuardi, S., & Caterina, A. K. (2021). Logistics System of Exported Fishery Product : a Case Study of Fisheries Centre in Natuna. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1052(1), 012068. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1052/1/012068>.
- Mustakim, M. (2024). OPTIMASI DISTRIBUSI BERAS DALAM PEMENUHAN PERSEDIAAN PANGAN DI PROVINSI PAPUA. *Action Research Literate*, 8(3). <https://doi.org/10.46799/ar.v8i3.261>.
- Nadiya, R. A., & Zulkarnain. (2022b). Optimization of Indonesia's shipping routes during the COVID-19 pandemic with Hub-Spoke network patterns. 2022 International Conference on Computing, Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS). <https://doi.org/10.1109/ic3sis54991.2022.9885544>.
- Nahry, N., & Ayu, T. (2021). Green last mile distribution system: Heterogeneous fleet vehicle routing problem with time window and external cost. *Istrazivanja I Projektovanja Za Privredu*, 19(1), 154–161. <https://doi.org/10.5937/jaes0-27922>.
- Nalhadi, A., Wiliyanto, R., Supriyadi, S., & Hayyin, F. (2025). Sistem Distribusi Pengiriman Sparepart Motor Honda dengan Pendekatan Saving Matrix dan Metode Nearest Neighbor. *Industrika Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 9(4), 1117–1126. <https://doi.org/10.37090/72nq7v57>.
- Nezarulloh, M. Y., & Sumiati, S. (2024). Paper distribution route optimization using Ant Colony Method at PT. XY. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(2), 545. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v5i2.22356>.
- Ngatilah, Y., Septiara, A., Pujiastuti, C., & Dewanti, D. a. C. (2020). Shortest distribution route determination of pesticides product using TABU search algorithm (Case Study : CV. Buana Artha Mandiri, Sidoarjo, Indonesia). *International Journal of Eco-Innovation in Science and Engineering*, 1(01), 56–60. <https://doi.org/10.33005/ijeise.v1i01.18>.
- Novawanda, O., Suharjono, C., & Sentosa, L. (2023). Penentuan Rute Optimal dan Alokasi Kendaraan dalam Pendistribusian Beras di Provinsi Kalimantan Tengah. *INVENTORY Industrial Vocational E-Journal on Agroindustry*, 4(1), 40–46. <https://doi.org/10.52759/inventory.v4i1.117>.
- Noviwiyocho, R., Matondang, A. R., & Hidayati, J. (2023). Application of Saving Matrix Approach for Minimize distribution cost and route Optimization: A literature review. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 25(2), 206–217. <https://doi.org/10.32734/jsti.v25i2.10401>.
- Nugraha, Y. C. S. A., Donoriyanto, D. S., & Nugraha, I. (2025). Logistics distribution route design using taboo search method. *Journal La Multiapp*, 6(2), 213–224.
- Nur, M. a. S., & Rahadjeng, B. (2021). Kombinasi Algoritma Branch and Bound dan Cheapest Insertion Heuristic dalam Menyelesaikan Asymmetric Travelling Salesman Problem. *MATHunesa Jurnal Ilmiah Matematika*, 9(2), 351–358. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v9n2.p351-358>.
- Nurchahyo, R., Irawan, D. A., & Kristanti, F. (2023). The Effectiveness of the Clarke & Wright Savings Algorithm in Determining Logistics Distribution Routes (case study PT.XYZ). *E3S Web of Conferences*, 426, 01107. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342601107>.
- Nurprihatin, F., Regina, T., & Rembulan, G. D. (2021). Optimizing rice distribution routes in Indonesia using a two-step linear programming considering logistics costs. *Journal of Physics Conference Series*, 1811(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012010>.
- Oktavia, C. W., Natalia, C., & Adigunawan, I. (2019). Penentuan Jalur Rute Distribusi Produk Fast Moving Consumer Goods (FMCG) dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour (Studi Kasus: PT.XYZ). *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(2), 101. <https://doi.org/10.36722/sst.v5i2.357>.
- Mauluddin, M. R., & Dzulkarnain, A. H. (2025). OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI BARANG MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIX PADA PT. TUNAS MULIA ENTERPERINDO CABANG GRESIK. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16416456>.
- Nadiya, R. A., & Zulkarnain. (2022). Optimization of Indonesia's shipping routes during the COVID-19 pandemic with Hub-Spoke network patterns. 2022 International Conference on Computing,

- Communication, Security and Intelligent Systems (IC3SIS)*.
<https://doi.org/10.1109/ic3sis54991.2022.9885544>.
- Pakarti, C. R., & Starita, S. (2019). Minimizing urban logistics cost using Crowd-Shipping. *Proceedings of the 3rd International Conference on Vision, Image and Signal Processing*, 1–6.
<https://doi.org/10.1145/3387168.3387256>.
- Panjaitan, D. J., Aprilia, R., & Anjeli, S. (2024). Vehicle routing problem as a solution for determining goods delivery routes PT. Kreasi Beton Nusa Persada. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(3).
<https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i3.67809>.
- Perdana, V. A., Hunusalela, Z. F., & Prasasty, A. T. (2021). Penerapan metode saving matrix dan algoritma Nearest Neighbor dalam menentukan rute distribusi untuk meminimalkan biaya transportasi pada PT. XYZ. *JATI UNIK Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 4(2), 91–105. <https://doi.org/10.30737/jatiunik.v4i2.1000>.
- Prambudia, Y., & Nur, A. A. (2016). The effect of considering environmental aspect to distribution planning: A case in Logistics SME. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 105, 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/105/1/012029>.
- Pramudyo, C. S., Tanggono, H. A., & Asy'ari, M. H. (2022). Penentuan Rute Pengiriman Beras Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Mixed Integer Linear Programming. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 19(2), 1–6. <https://doi.org/10.25104/mtm.v19i2.2034>.
- Pratiwi, S. C., Cantaka, N. L. C., Pamungkas, P. S., Rofiq, M. F. I., & Fauzi, M. (2022). Penentuan Rute Distribusi dengan Metode Saving Matrix dan Pengendalian Persediaan dengan Metode Algoritma Wagner-Within Produk PT XYZ di PBF Cabang Semarang. *Go-Integratif Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*, 3(01), 24–35. <https://doi.org/10.35261/gijtsi.v3i01.6514>.
- Febriyanti, D. E., Primadasa, R., & Sutono, S. B. (2022). Determination of distribution routes using the saving matrix method to minimize shipping costs at PT. SUKUN TRANSPORT LOGISTICS. *SPEKTRUM INDUSTRI*, 20(1), 79–90. <https://doi.org/10.12928/si.v20i1.18>.
- Priscilia, S. A., Indra, Z., & Putri, F. P. (2024). Dynamic programming implementation for delivery route optimization in E-Commerce logistics. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 5(10).
<https://doi.org/10.59141/jist.v5i10.6423>.
- Devanda, R. R., & Pulansari, F. (2022). Integrated Saving Matrix - branch and bound method to optimize sugar product's distribution route. *SPEKTRUM INDUSTRI*, 20(2), 31–42.
<https://doi.org/10.12928/si.v20i2.50>.
- Puspitasari, F. H., & Kurniawan, V. R. B. (2021). Designing Optimal Distribution Routes using a Vehicle Routing Problem (VRP) Model in a Logistics Service Provider. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 1071(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1071/1/012005>.
- Putranto, R., & Hendayani, R. (2014). Distribution route Optimization by utilizing Saving Matrix: Case Study in. Limas Raga Inti Bandung. *Journal of Corporate Governance Insurance and Risk Management*, 1(2), 162–180. <https://doi.org/10.56578/jcgirm010210>.
- Putri, S., & Hakim, I. M. (2020, September). Designing an Optimization Model to Reduce Logistics Outbound Costs in the E-Commerce Industry in Indonesia Using the Mixed Integer Linear Programming (MILP) Method. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Engineering and Information Technology for Sustainable Industry* (pp. 1-6).
- R, V. E., Subchan, S., & Mudjiati, T. (2017). PENDEKATAN GOAL PROGRAMMING UNTUK PENENTUAN RUTE KENDARAAN PADA KEGIATAN DISTRIBUSI. *Limits Journal of Mathematics and Its Applications*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.12962/j1829605x.v9i1.2120>.
- Rahmania, S. N. A., Wahyuda, W., & Gunawan, S. (2023). Penentuan Rute Distribusi Barang Menggunakan Vehicle Routing Problem (Studi Kasus: CV. Surya Inti Distrindo). *INTECOMS Journal of Information Technology and Computer Science*, 6(2), 578–585.
<https://doi.org/10.31539/intecom.v6i2.6816>.
- Rahmawan, K. A., & Angelina, N. (2017). Indonesian Maritime Logistics network optimization using mixed integer programming. *MATEC Web of Conferences*, 108, 17001.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201710817001>.
- Rajagukguk, A. M., Nababan, E. S. M., & Gultom, P. (2025). Logistics distribution optimization model using multi-depot capacitated vehicle routing problem. *Desimal Jurnal Matematika*, 8(2), 215–224.
<https://doi.org/10.24042/cazand26>.

- Ramadhan, N. A., Ardiansyah, M. N., & Pambudi, H. K. (2023). Penentuan Rute Armada Pengiriman CV. XYZ Menggunakan Pendekatan Vehicle Routing Problem with Time Window and Heterogeneous Fleet dengan Mixed Integer Linear Programming untuk Meminimasi Tingkat Keterlambatan. *Journal of Production Enterprise and Industrial Applications*, 1(1), 45. <https://doi.org/10.25124/jpeia.v1i1.6753>.
- Ramadhani, F. W., Sari, W. P., & Rifai, A. P. (2024). MULTI-VEHICLE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM FOR RICE COMMODITIES IN INDONESIA CONSIDERING THE FACTORS OF WEATHER-INDUCED DAMAGES AND CARBON EMISSIONS. *ASEAN Engineering Journal*, 14(2), 195–207. <https://doi.org/10.11113/aej.v14.21096>.
- Ramdani, W. R., Rizwan, R., Khobir, M. F., & Fauzi, M. (2021). Implementation of the saving matrix method to determine vehicle routes. *Devotion Journal of Research and Community Service*, 3(1), 23–31. <https://doi.org/10.36418/dev.v3i1.87>
- AFIDAH, N. (2025). Optimalisasi Rute dan Biaya Distribusi dengan Metode Saving Matrix dan Metode Floyd-Warshall pada Amanah Logistik Indonesia (Studi Kasus: Wahdah Water)= Optimization of Routes and Distribution Costs with the Saving Matrix Method and the Floyd-Warshall Method at Amanah Logistik Indonesia (Case Study: Wahdah Water) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Ranti, N., Bayhaqi, I., & Rahmatika, D. (2023). OPTIMASI PENDISTRIBUSIAN BUAH SAWIT DENGAN METODE LEAST COST. *Jurnal Teknik Mesin Dan Industri (JuTMI)*, 2(1), 30–37. <https://doi.org/10.55331/jutmi.v2i1.24>.
- Razita, F., & Basaria, F. T. (2024). Optimizing Routes for sustainability: A Comparative analysis of parcel distribution methods in South Jakarta. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1324(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012078>.
- Regia, S., Awaluddin, R., & Yusuf, A. A. (2021). Optimization of Distribution Cost (a Case study in PT. Zamrud Bumi Indonesia). *Journal of Agri Socio-Economics and Business*, 3(2), 69–80. <https://doi.org/10.31186/jaseb.3.2.69-80>.
- Reinaldi, M., Redi, A. a. N. P., Prakoso, D. F., Widodo, A. W., Wibisono, M. R., Supranartha, A., Liperda, R. I., Nadlifatin, R., Prasetyo, Y. T., & Sakti, S. (2021). Solving the two echelon vehicle routing problem using simulated annealing algorithm considering drop box facilities and emission cost: A case study of reverse logistics application in Indonesia. *Algorithms*, 14(9), 259. <https://doi.org/10.3390/a14090259>.
- Rembulan, G., Nurprihatin, F., & Kristardi, F. (2022). An Integrated Model of Continuous Review Inventory and Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Acta Infologica*, 6(2), 209–218. <https://doi.org/10.26650/acin.1104460>.
- Rizky, A., & Lshak, D. P. (2024). Analyzing optimization in ship routing for Indonesia's liquified natural gas logistics network. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 4(8), 6590–6599. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v4i8.1271>.
- Rizkya, I., Matondang, N., Yahya, M. D., & Ningsih, M. S. (2019, August). Design of Distribution Routes Using Saving Matrix Method to Minimize Transportation Cost. In 2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC) (pp. 48-51). IEEE.
- Safitri, E., Basriati, S., Widiarti, W., & Sukmawati, S. (2024). KOMBINASI ALGORITMA BRANCH AND BOUND DAN CHEAPEST INSERTION HEURISTIC DALAM MENGOPTIMALKAN RUTE DISTRIBUSI KURIR PAKET JNT DI KECAMATAN BATANG CENAKU. *Jurnal Lebesgue Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika Matematika Dan Statistika*, 5(1), 561–572. <https://doi.org/10.46306/lb.v5i1.472>.
- Safitri, Y., Rakhmawati, F., & Aprillia, R. (2024). DETERMINING THE OPTIMAL ROUTE OF BULOG RICE DISTRIBUTION USING SEQUENTIAL INSERTION AND NEAREST NEIGHBOUR METHOD. *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, 7(1), 8–12. <https://doi.org/10.33387/jiko.v7i1.7443>.
- Sani, L., Basuki, D. K., & Bahctiar, M. M. (2018, October). Supply Delivery Monitoring System Using Mobile Device Based on Internet of Things Case Study (Pt. Semen Gresik Persero Tbk.). In 2018 International Conference on Applied Engineering (ICAE) (pp. 1-5). IEEE.
- Santosa, I. M. A. (2020). Distribution route making for mushroom harvest using artificial bee colony method. *Scientific Journal of Informatics*, 7(2), 247–256. <https://doi.org/10.15294/sji.v7i2.25942>.

- Santosa, I. M. A., & Ramayasa, I. P. (2022). IMPLEMENTASI METODE ARTIFICIAL BEE COLONY UNTUK PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI JAMUR BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Manajemen Sistem Informasi*, 8(2), 161. <https://doi.org/10.24014/rmsi.v8i2.17740>.
- SAPUTRA, A. O. (2015). IMPLEMENTASI HETEROGENEOUS FLEET VEHICLE ROUTING PROBLEM PADA PENDISTRIBUSIAN MULTIPLEK DI UD. GARUDA (Doctoral dissertation, UAJY).
- Saputra, D. W. (2022). Optimalisasi Rute Distribusi Kurir Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem (Studi Kasus: JNE Balige). *Jurnal Teknologi Terapan G-Tech*, 6(2), 159–165. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i2.1577>.
- Saputra, D., Muljadi, G., & Hartono, H. (2025, September). Optimizing Distribution Network Efficiency: Integrating DEA and TOPSIS Framework. In 2025 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic) (pp. 281-285). IEEE.
- Sarasi, V. (2003). A Multi-Transportation-Modes Optimization with Time and Cost Constrains of The Postal Delivery Service in Indonesia. *Jurnal Manajemen Teknologi*.
- Sari, T. W., Aditya, T. M., & Fauzi, M. (2020). Penentuan Rute Optimal Distribusi Paving Block dengan Metode Branch and Bound. *Jurnal Teknik Industri Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 6(2), 66–71. <https://doi.org/10.24014/jti.v6i2.9473>.
- Sepadyati, N., Hariono, R., Thesman, F. X. N., Leuw, R. R., Edric, W., & Vincent, H. (2023b). Optimalisasi rute pengiriman dengan meminimasi jarak menggunakan saving matrix: sebuah studi kasus. *Metris Jurnal Sains Dan Teknologi*, 24(01), 17–24. <https://doi.org/10.25170/metris.v24i01.4307>.
- Sepadyati, N., Hariono, R., Thesman, F. X. N., Leuw, R. R., Edric, W., & Vincent, H. (2023). Optimalisasi rute pengiriman dengan meminimasi jarak menggunakan saving matrix: sebuah studi kasus. *Metris Jurnal Sains Dan Teknologi*, 24(01), 17–24. <https://doi.org/10.25170/metris.v24i01.4307>.
- Sholichah, A. N., Yuniaristanto, Y., & Suletra, I. W. (2020). Location Routing Problem with Consideration of CO2 Emissions Cost: A Case Study. *Jurnal Teknik Industri*, 21(2), 225–234. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol21.no2.225-234>.
- Simanungkalit, I., Sawaluddin, S., Gultom, P., & Nasution, P. K. (2022). Analysis of the use of sweep algorithms to solve capacitated vehicle routing problems. *FARABI Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 5(2), 161–166. <https://doi.org/10.47662/farabi.v5i2.416>.
- Sirait, Z. A., & Lubis, R. S. (2023). Completion of CVRP with a Combination of Sweep and Local Search Algorithms (Case Study: PT. AJW). *NUMERICAL Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 7(1), 59–70. <https://doi.org/10.25217/numerical.v7i1.3446>.
- Siswanti, T., & Fitriana, R. (2025). Heuristic route optimization using saving matrix and nearest neighbor: case study at PT Harapan Jaya Multi Bisnis, Makassar. *Logistica Journal of Logistic and Transportation*, 3(1), 38–46. <https://doi.org/10.61978/logistica.v3i1.691>.
- Sjafruddin, A., Lubis, H., Frazila, R. B., & Dharmowijoyo, D. B. E. (2009). Policy evaluation of multimodal transportation network, the case of inter island freight transportation in Indonesia. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.7 (the 8th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2009)*, 2009, 142. <https://doi.org/10.11175/eastpro.2009.0.142.0>.
- Sjafruddin, A., Lubis, H., Frazila, R. B., & Dharmowijoyo, D. B. E. (2010). Policy evaluation of multimodal transportation network The case of inter-Island freight transportation in Indonesia. *Medical Entomology and Zoology*, 1(1), 18–32. <https://doi.org/10.11175/eastsats.1.18>.
- Soehodho, S. (2003, October). Proposal of distribution route with VRP method: A case study at Pertamina Depot, Plumpang. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (Vol. 4, pp. 1256-1267)*.
- Sopha, B. M., Sakti, S., Prasetya, A. C. G., Dwiansarinopa, M. W., & Cullinane, K. (2020). Simulating long-term performance of regional distribution centers in archipelagic logistics systems. *Maritime Economics & Logistics*, 23(4), 697–725. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00166-3>.
- Sopian, A., Nusraningrum, D., & Nurjaman, K. (2022). ANALISIS PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI KAIN DENGAN MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIX SOFTWARE

- OPEN DOOR LOGISTIC STUDIO DALAM UPAYA MENURUNKAN BIAYA DISTRIBUSI. *Branding Jurnal Manajemen Dan Bisnis*, 1(2). <https://doi.org/10.15575/jb.v1i2.21560>.
- Stephen, G., Suryadi, D., & Iswari, T. (2025). Development of a vehicle routing problem model to reduce service delays in pickup and delivery operations. *Journal of Social Research*, 4(7), 1855–1862. <https://doi.org/10.55324/josr.v4i7.2683>.
- Syahr, L., Khoswara, M., H, H. S. A., & Suseno, S. (2023). Pencarian rute optimal distribusi melalui pendekatan metode AnT Colony Optimization (ACO). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(2), 63–71. <https://doi.org/10.55826/tmit.v2i2.105>.
- Sutoni, A., & Apipudin, I. (2019). OPTIMALISASI PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PUPUK UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA TRANSPORTASI DENGAN METODE SAVING MATRIX. *SPEKTRUM INDUSTRI*, 17(2), 143. <https://doi.org/10.12928/si.v17i2.13139>.
- Suyatno, A., Berman, E. T., & Puspanika, S. K. (2025). Optimalisasi Rute Distribusi Paket Sekunder dalam Meminimasi Jarak Tempuh : Studi Kasus pada SPP Bandung. *JURAL RISET RUMPUN ILMU TEKNIK*, 4(2), 628–639. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v4i2.6275>.
- Syahputra, R. H., Komarudin, K., & Destyanto, A. R. (2018, July). Optimization of distribution route with vehicle routing problem with transshipment facilities (VRPTF). In 2018 3rd International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA) (pp. 11-15). IEEE Computer Society.
- Sydneyta, V., & Komarudin. (2017, December). Optimization of Distribution Route and Schedule with Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW). In Proceedings of the 2017 International Conference on Industrial Design Engineering (pp. 121-126).
- Tandi, A., Lusiyanti, D., & Musdalifah, S. (2024). Application of Max-Plus Algebra in determining the shortest route of goods distribution on Jalur Nugraha Ekakurir (JNE) in Palu City. *JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN TERAPAN*, 21(1), 46–53. <https://doi.org/10.22487/2540766x.2024.v21.i1.17082>.
- Taufiqurrohman, T., Lizami, M., Wahyudi, M. R., & Hozairi, H. (2024). OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI TEMBAKAU DI PT BAWANG EMAS MENGGUNAKAN SOLVER EXCEL. *Biner Jurnal Ilmiah Informatika Dan Komputer*, 3(2), 80–84. <https://doi.org/10.32699/biner.v3i2.7382>.
- Thahira, K., Kurniawan, T. B., Negara, E. S., Mirza, A. H., & Misinem. (2022). Route Optimization based on Clustering and Travelling Salesman Problem. *INTI JOURNAL., JODS*(2022). <https://doi.org/10.61453/jods.v2022no20>.
- Komarudin, Triastika, A., & Rahman, I. (2017, August 27). DESIGNING LINER SHIPPING NETWORK IN INDONESIA WITH DEMAND UNCERTAINTY. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3037>.
- Turseno, A., & Hernika, N. (2022). Penentuan Rute Distribusi Pengiriman Barang Menggunakan Metode Saving Matrix pada PT Indah Logistik Internasional Express. *LOGISTIK*, 15(02), 175–189. <https://doi.org/10.21009/logistik.v15i02.28949>.
- Tyas, R. A., Dzulqarnain, S., & Aini, Q. (2020). OPTIMASI JALUR DISTRIBUSI PADA KOPKAR PT. YKK AP INDONESIA DENGAN METODE SAVING MATRIX. *SISTEMASI*, 9(2), 215. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v9i2.689>.
- Umitri, P., & Ciptomulyono, U. (2024). Optimization of rice distribution network based on green Logistics concept. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i4.15120>.
- Wang, KJ., Farkhani, F., Pujawan, I.N. (2013). Planning Logistics by Algorithm with VRPTWBD for Rice Distribution: A Case BULOG Agency in the Nganjuk District Indonesia. In: Lin, YK., Tsao, YC., Lin, SW. (eds) Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference 2013. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-4451-98-7_106.
- Wijaya, D. R., Athallah, A., Noor'afina, T. N., Telnoni, P. A., & Budiwati, S. D. (2023). Cargo route optimization using Shortest Path Algorithms: runtime and validity comparison. *Journal of Computer Science*, 19(11), 1369–1379. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2023.1369.1379>.
- Wulandari, D., & Vanany, I. (2025). Supply chain network Optimization model on cement industry to minimize distribution costs in the Sumatra Island, Indonesia. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15673414>.

- Xin, L., Xu, P., & Manyi, G. (2022). Logistics distribution route optimization based on genetic algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/8468438>.
- Yogaswara, Y. (2015). Route and Transportation Costs Analysis Considering the City Logistics System for Single Depot Problem (Case Study: Jababeka Industrial Area Companies).
- Yulianto, E. D. (2025). PRODUCT DISTRIBUTION ROUTE OPTIMIZATION TO MINIMIZE TRANSPORTATION COSTS WITH THE SAVING MATRIX METHOD AT PT. XYZ. *JKIE (Journal Knowledge Industrial Engineering)*, 11(1), 9–14. <https://doi.org/10.35891/jkie.v11i1.6180>.
- Yulianto, E. D., & Munir, M. (2020). OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI PRODUK UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA TRANSPORTASIDENGAN METODE SAVING MATRIX DI PT. XYZ. *JKIE (Journal Knowledge Industrial Engineering)*, 7(3), 100–107. <https://doi.org/10.35891/jkie.v7i3.2396>.
- Zaharuddin, Pratiwi, R. A., & Harahap, U. N. (2024). OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN BARANG DENGAN MODEL MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING PADA PT. LOGISTIK EKSPRESINDO UTAMA. *JISO Journal of Industrial and Systems Optimization*, 7(1), 64–73. <https://doi.org/10.51804/jiso.v7i1.64-73>.
- Zulkarnain, Z., Komarudin, K., Arofah, F., & Rahman, I. (2020). Developing an intelligent logistics and distribution system for a large number of retail outlets: a big data analytics approach. *CSID Journal of Infrastructure Development*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.32783/csid-jid.v3i1.106>.