PERKEMBANGAN METODE TRANSPORTASI DALAM PEMROGRAMAN LINEAR: TINJAUAN TERHADAP METODE NWC, LEAST COST, VAM, STEPPING STONE DAN MODI DALAM OPTIMALISASI BIAYA LOGISTIK

Ryan Oktaviano[1], Rahmad Dany Sahputra[2], Zefri Yenni[3]
ryanoktaviano146@gmail.com[1] , rdanysahputra@gmail.com[2] zefriyenni@upiyptk.ac.id[3]
Universitas Putra Indonesia YPTK Padang

Abstrak

Permasalahan transportasi merupakan salah satu aplikasi fundamental dari Pemrograman Linear yang sangat krusial dalam pengambilan keputusan rantai pasok dan logistik. Seiring meningkatnya kompleksitas distribusi industri, berbagai metode optimasi dikembangkan dan diterapkan untuk menekan biaya pengiriman hingga ke titik minimal. Artikel ini bertujuan untuk mengulas perkembangan dan efektivitas metode transportasi lewat tujuh artikel ilmiah. Topik yang dibahas mencakup optimalisasi biaya logistik pada sektor otomotif, pengiriman komoditas pertanian dan pangan, hasil perikanan, bahan bangunan, hingga kajian literatur sistematis di berbagai sektor industri. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode transportasi terbukti secara konsisten mampu meminimalkan biaya distribusi logistik, di mana kombinasi penentuan solusi awal berbasis Vogel's Approximation Method (VAM) dan uji optimalitas Modified Distribution (MODI) atau Stepping Stone secara efisien menghasilkan penurunan biaya hingga 5,73% – 30%. Intinya, kajian ini menegaskan peran strategis manajemen kuantitatif dan penggunaan aplikasi solver komputasi dalam mendukung pengambilan keputusan operasional yang efisien dan berbasis data.
Kata Kunci: Pemrograman Linear, Metode Transportasi, Vam, Modi, Stepping Stone, Optimasi Logistik, Manajemen Kuantitatif.

Abstract

Transportation problem is a fundamental application of Linear Programming that plays a crucial role in supply chain and logistics decision-making. As distribution complexity increases across industries, various optimization methods have been developed and applied to minimize shipping costs to the lowest possible level. This article aims to review the development and effectiveness of transportation methods based on seven scientific articles covering automotive logistics optimization, agricultural and food commodities distribution, seafood logistics, construction materials, and systematic literature reviews across industrial sectors. The study employs a literature review approach using a qualitative descriptive method. The review findings indicate that transportation methods consistently minimize logistics distribution costs, where combining Initial Basic Feasible Solution techniques like Vogel's Approximation Method (VAM) with optimality tests such as Modified Distribution (MODI) or Stepping Stone efficiently yields cost reductions ranging from 5.73% to 30%. Overall, this study highlights the significant role of quantitative management and computational solver tools in supporting data-driven operational decision-making.
Keywords: *Linear Programming, Transportation Method, Vam, Modi, Stepping Stone, Logistics Optimization, Decision-Making.*

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia usaha dan industri modern menuntut organisasi untuk mampu mengelola jaringan rantai pasok (supply chain management) secara efektif dan efisien. Keberhasilan suatu perusahaan tidak lagi hanya ditentukan oleh kualitas produksi, melainkan juga oleh seberapa presisi produk tersebut didistribusikan dari titik pasokan (source) menuju titik permintaan (destination). Pengambilan keputusan logistik yang hanya mengandalkan intuisi atau metode perkiraan konvensional sering kali memicu tumpang tindih rute

pengiriman, ketidaksesuaian kapasitas muatan kendaraan, pemborosan bahan bakar, hingga pembengkakan biaya operasional yang menggerus margin keuntungan perusahaan.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, ilmu riset operasi (operations research) menyajikan kerangka kerja matematis melalui Pemrograman Linear (Linear Programming), khususnya Model Transportasi. Metode transportasi dirancang untuk menerjemahkan batas kapasitas ketersediaan barang di gudang pasokan (supply) dan target kuota permintaan pasar (demand) ke dalam bentuk persamaan matematis yang terstruktur.

Meskipun metode transportasi konvensional seperti North West Corner (NWC) dan Least Cost Method (LCM) telah lama digunakan sebagai solusi awal, metode ini sering kali membutuhkan banyak iterasi lanjutan atau memberikan alokasi awal yang kurang efisien karena tidak memperhitungkan struktur biaya secara cermat. Keterbatasan ini mendorong berkembangnya pemanfaatan Vogel's Approximation Method (VAM), Stepping Stone, serta Modified Distribution (MODI) untuk mencapai titik konvergensi biaya termurah secara lebih cepat. Berdasarkan kondisi tersebut, kajian ini dilakukan untuk menelaah perkembangan dan efektivitas penerapan metode transportasi dari sisi teoritis maupun praktis berdasarkan tujuh artikel ilmiah yang berfokus pada optimasi logistik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Sumber data diperoleh dari tujuh artikel ilmiah yang membahas penerapan dan pengembangan metode transportasi dalam pemrograman linear:

1. Penerapan Metode Transportasi untuk Optimalisasi Biaya Distribusi Kendaraan
2. Studi Literature: Optimalisasi Biaya Distribusi Menggunakan Metode Transportasi
3. Penerapan Metode Stepping Stone untuk Transportasi Pengiriman Barang
4. Penerapan Metode Transportasi Stepping Stone dalam Optimasi Biaya Pendistribusian Sayur
5. Analisis Operation Research dengan Metode Transportasi, MODI dan Stepping Stone pada CV. Partoba
6. Optimalisasi Distribusi Beras Gudang Umbul Tengah Menggunakan Metode Transportasi BULOG
7. Optimalisasi Biaya Distribusi pada TB Nur Barokah Berbasis UMKM

Analisis dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi artikel, pengelompokan fokus masalah, evaluasi kombinasi metode/perangkat lunak yang digunakan, analisis efisiensi/penghematan hasil, serta identifikasi kelemahan dan limitasi operasional masing-masing studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

NO	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Metode	Alat Uji / Dataset	Hasil Utama	Kelemahan
1.	(Faeni et al., 2025)	Optimalisasi biaya logistik dan distribusi kendaraan PT Astra	NWC, Least Cost, VAM, MODI	Data rute, biaya, kapasitas, dan volume permintaan	Biaya turun hingga 15%, efisiensi waktu naik 10%	Kurang data historis & belum ada integrasi TMS
2.	(Andini et al., 2025)	Kajian literatur efektivitas metode transportasi antar industri	Systematic Literature Review (SLR)	Data sekunder publikasi ilmiah (2020-2025)	Menurunkan biaya; VAM terbaik untuk solusi awal	Sangat bergantung pada skala & karakteristik rantai pasok
3.	(Sinaga,	Meminimalkan	NWC &	Data	Biaya turun	Pencarian

	2023)	biaya pengiriman 2 jenis pupuk ke 3 kota	Stepping Stone	pengiriman pupuk, divalidasi Visual Basic .Net 2008	dari Rp2.860 (NWC) menjadi Rp2.780 (optimal)	*looping* manual sel kosong rumit
4.	(Jannah et al., 2025)	Ketidaksesuaian kapasitas armada & permintaan di UMKM Sayur	NWC, Least Cost, VAM, Stepping Stone	Data wawancara, divalidasi POM-QM V5	VAM + Stepping Stone menghasilkan biaya minimal Rp3.140.000	Keterbatasan spesifik variasi armada (mobil/motor)
5.	(Beauty Angel et al., 2025)	Meminimasi biaya pengiriman ikan segar CV. Partoba	NWC, Least Cost, VAM, MODI, Stepping Stone	Data pasokan & permintaan, software POM-QM	Penghematan biaya pengiriman Rp4.414.035 (10,98%)	POM-QM ada pembulatan otomatis; NWC butuh banyak iterasi
6.	(Dwi et al., 2026)	Inefisiensi alokasi distribusi beras BULOG Cabang Serang	NWC, LCM, VAM, Stepping Stone	Studi kasus kuantitaf, pasokan 11.500 ton beras	LCM & VAM menekan biaya dari Rp1.235.000 ke Rp1.195.000	NWC tidak efisien karena mengabaikan bobot biaya rute
7.	(Muannisah et al., 2025)	Tingginya biaya distribusi bahan bangunan TB Nur Barokah	NWC, Least Cost, VAM, Stepping Stone, MODI	Data eksperimental pasokan, permintaan & biaya	Biaya turun 30%, waktu efisien 20%, MODI hemat 5,73% dari NWC	

Perkembangan Metode Simpleks

Hasil kajian menunjukkan bahwa perkembangan aplikasi metode transportasi berfokus pada peningkatkan efisiensi komputasi dan ketepatan alokasi awal. Metode NWC terbukti konsisten menghasilkan solusi awal yang kurang efisien karena hanya mengalokasikan barang berdasarkan letak geografis matriks tanpa memperhitungkan faktor biaya pengiriman. Sebaliknya, penggunaan VAM yang memperhitungkan penalty cost (selisih dua biaya terendah) terbukti secara signifikan memangkas jumlah iterasi dan langsung menghasilkan angka yang sangat dekat dengan titik optimal. Pada uji optimalitas, MODI terbukti lebih sistematis dibandingkan Stepping Stone pada matriks berskala besar karena menggunakan nilai evaluasi indeks (u_i dan v_j) tanpa harus membuat lintasan tertutup (looping) secara manual pada setiap sel kosong.

Penerapan Dalam Dunia Industri

Penerapan model transportasi terbukti sangat ampuh pada berbagai tingkatan skala bisnis:

1. Sektor Industri Besar & Otomotif: Pada PT Astra, integrasi metode transportasi mampu memangkas biaya hingga 15% dan menaikkan efisiensi waktu 10%.
2. Sektor Perum Bulog & Logistik Pangan: Pada distribusi beras BULOG, penggunaan LCM dan VAM terbukti mengeliminasi pemborosan biaya dari Rp1.235.000 menjadi Rp1.195.000.
3. Sektor UMKM & Dagang Kebutuhan Pokok: Pada distribusi ikan segar CV. Partoba dan UMKM Murni Sayur, penerapan algoritma transportasi yang divalidasi software POM-

QM V5 berhasil menghemat biaya hingga 10,98% serta menyelesaikan masalah keterbatasan jenis armada (motor vs mobil).

Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil kajian konsisten dengan teori optimasi pemrograman linear deterministik. Penggunaan metode kuantitatif terbukti secara rasional mampu mengungguli metode alokasi intuitif atau coba-coba (trial and error). Kehadiran software komputasi seperti POM-QM, VB.Net, maupun WIN QSB memperkuat keakuratan perhitungan dan mempercepat penyelesaian masalah alokasi logistik di dunia bisnis.

Gap Penelitian

Terdapat tiga kesenjangan penelitian (research gap) utama:

1. Sebagian besar penelitian masih mengasumsikan parameter biaya, pasokan, dan permintaan bersifat pasti (deterministic) dan konstan.
2. Belum banyaknya integrasi antara algoritma transportasi klasik dengan teknologi otomatisasi modern seperti Transport Management System (TMS) atau sistem GPS real-time.
3. Masih minimnya pemodelan yang mengakomodasi pembatasan fisik armada secara rinci (seperti batas muatan tonase spesifik per kendaraan) dalam satu fungsi kendala terpadu.

Implikasi Terhadap Manajemen Kuantitatif

Metode Transportasi merupakan materi esensial dalam Manajemen Kuantitatif karena memberikan dasar logika dalam alokasi sumber daya yang efisien. Pemahaman atas metode ini membekali calon manajer untuk mampu mengambil keputusan logistik berbasis bukti numerik (data-driven decision making), meminimalkan biaya overhead, serta menjaga ketepatan pemenuhan permintaan konsumen.

Analisis Kelemahan Metode Masing-Masing Penelitian

1. Kelemahan Studi Distribusi Kendaraan PT Astra

Meskipun mampu menurunkan biaya distribusi hingga 15%, penelitian ini memiliki kelemahan pada ketersediaan data historis yang kurang lengkap dan belum terintegrasi dengan teknologi Transport Management System (TMS). Kondisi ini menyebabkan penyesuaian fluktuasi permintaan di lapangan tidak dapat direspons secara real-time.

Rekomendasi: Penggunaan Dynamic Programming atau integrasi algoritma transportasi ke dalam ERP/TMS berbasis IoT.

2. Kelemahan Systematic Literature Review Transportasi

Sebagai kajian literatur, kelemahan utamanya adalah efektivitas metode yang dirangkum sangat bergantung pada skala operasional dan karakteristik industri yang heterogen. Penelitian ini tidak menyajikan pengujian matematis komparatif secara langsung menggunakan satu set data baku yang sama.

Rekomendasi: Studi eksperimental komparatif menggunakan benchmark dataset transportasi skala besar.

3. Kelemahan Penerapan Stepping Stone pada Pengiriman Pupuk

Penelitian ini menggunakan metode Stepping Stone untuk mengoptimalkan pengiriman pupuk. Kelemahan utamanya terletak pada proses perbaikan manual yang membutuhkan pencarian loop tertutup (perubahan dari sel stone ke water) pada setiap sel kosong. Cara ini sangat rumit, memakan waktu, dan rentan human error jika variabel kota dan jenis barang bertambah.

Rekomendasi: Penggunaan metode MODI atau Linear Programming Solver (seperti LINGO/Excel Solver).

4. Kelemahan Optimasi Sayur UMKM Murni Sayur

Meskipun berhasil menemukan biaya minimum Rp3.140.000 via VAM, model ini dihadapkan pada keterbatasan kaku armada pengiriman spesifik (Mobil A, Motor A, B, C).

Model transportasi klasik kurang fleksibel dalam memodelkan pembatasan multi-drop (satu armada mendatangi banyak titik sekaligus dalam satu rute).

Rekomendasi: Pemodelan Vehicle Routing Problem (VRP).

5. Kelemahan Optimasi Pengiriman Ikan CV. Partoba

Penelitian ini menemukan adanya selisih antara perhitungan manual dengan software POM-QM akibat pembulatan otomatis (automatic rounding) pada perangkat lunak. Selain itu, metode NWC yang digunakan memerlukan iterasi yang sangat panjang untuk mencapai titik optimal.

Rekomendasi: Penggunaan kalkulasi presisi ganda (double precision computation) atau formulasi MIP (Mixed-Integer Programming).

6. Kelemahan Distribusi Beras BULOG Serang

Penelitian mengonfirmasi bahwa metode NWC memberikan solusi awal yang sangat tidak efisien karena mengabaikan variabel biaya antar rute. Selain itu, pendekatan kualitatif-kuantitatif yang digunakan belum memperhitungkan risiko kerusakan beras atau dinamika biaya tol/kemacetan.

Rekomendasi: Penggunaan Fuzzy Transportation Problem untuk mengakomodasi ketidakpastian biaya di jalan.

7. Kelemahan Optimasi Bahan Bangunan TB Nur Barokah

Kelemahan ditemukan pada kompleksitas perhitungan manual metode VAM ketika ukuran matriks pasokan dan permintaan membengkak. Perhitungan penalti baris dan kolom yang berulang-ulang menjadi titik rawan kesalahan hitung jika tidak menggunakan alat bantu komputer.

Rekomendasi: Pemrograman otomatis menggunakan Python (SciPy.optimize) atau MATLAB.

Rekomendasi Metode Yang Lebih Sesuai

Berdasarkan kelemahan dan limitasi yang ditemukan pada tujuh artikel, beberapa metode direkomendasikan untuk penelitian dan penerapan selanjutnya:

1. Untuk Masalah Jalur & Variasi Armada Spesifik (Kasus UMKM / Distribusi Perkotaan):

Mengalihkan model transportasi sederhana ke Vehicle Routing Problem (VRP) atau Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) agar mampu mengakomodasi kapasitas spesifik tiap kendaraan, batas waktu pengiriman (time windows), dan rute multi-stop.

2. Untuk Masalah Ketidakpastian Data & Fluktuasi Harga Bahan Bakar

Menggunakan Fuzzy Transportation Method atau Stochastic Programming. Metode ini sangat sesuai untuk merespons kondisi riil di lapangan di mana biaya angkut, pasokan petani, atau permintaan pasar sering berubah-ubah.

3. Untuk Masalah Logistik Skala Masif (Ratusan Gudang & Tujuan)

Mengabaikan iterasi manual dan beralih memanfaatkan Interior Point Method atau Integer Linear Programming (ILP) yang dieksekusi melalui solver canggih (seperti Gurobi, CPLEX, Python PuLP, atau WIN QSB) guna menghemat waktu komputasi dan menjamin kestabilan numerik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian terhadap tujuh artikel ilmiah mengenai penerapan metode transportasi, dapat disimpulkan bahwa pemrograman linear cabang transportasi tetap menjadi instrumen yang sangat relevan, andal, dan efektif dalam mendukung efisiensi operasional logistik.

Penggunaan kombinasi metode yang tepat—khususnya diawali dengan Vogel's Approximation Method (VAM) untuk mencari solusi awal dan disempurnakan oleh Modified Distribution (MODI) atau Stepping Stone—terbukti secara empiris mampu menekan total biaya distribusi logistik antara 5,73% hingga 30% di berbagai sektor industri. Selain meminimalkan biaya, penerapan metode ini juga berhasil meningkatkan efisiensi waktu pengiriman dan mengoptimalkan pemanfaatan kapasitas gudang.

Meskipun demikian, penerapan praktis di lapangan masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan data historis, perbedaan pembulatan software, serta tingginya kompleksitas perhitungan manual pada skala data yang besar. Oleh karena itu, penelitian dan praktik manajemen kuantitatif ke depan disarankan untuk mengintegrasikan model matematika transportasi klasik ini dengan sistem komputasi otomatis (seperti Python/POM-QM) serta memperluas model ke arah Fuzzy Logic atau Vehicle Routing Problem (VRP) guna menghadapi dinamika dunia bisnis modern yang penuh ketidakpastian.

Meskipun demikian, seluruh penelitian yang dikaji masih memiliki keterbatasan, terutama karena menggunakan asumsi hubungan linear dan data yang bersifat pasti. Kondisi tersebut sering kali berbeda dengan kenyataan dunia bisnis yang penuh ketidakpastian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan metode yang lebih adaptif seperti Vehicle Routing Problem (VRP) atau Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Fuzzy Transportation Method atau Stochastic Programming, Point Method atau Integer Linear Programming (ILP). Agar mampu menghasilkan solusi yang lebih realistis dan sesuai dengan kebutuhan organisasi modern.

Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan bahwa model transportasi dan berbagai pengembangannya tetap memiliki peran penting dalam bidang Manajemen Kuantitatif. Metode tersebut tidak hanya berfungsi sebagai alat matematis untuk mencari solusi optimal, tetapi juga sebagai instrumen pendukung pengambilan keputusan yang rasional, efektif, dan berbasis data.

DAFTAR PUSTAKA

Andini, A. T., Rarti, H., Harahap, S., Hasan, M., Salamah, S., Ginting, B., Studi, P., Matematika, P., Islam, U., Sumatera, N., & Medan, U. (2025). Studi Literature : Optimalisasi Biaya Distribusi Menggunakan Metode Transportasi Dalam Program Linier Pada Berbagai Sektor Industri. 3(2), 431–439.

Beauty Angel1, Hendi Iskandar1, P. A. W. (2025). Analisis Operation Research Dengan Metode Transportasi , Modi Dan Stepping Stone Pada Proses Distribusi Untuk Meminimasi Biaya Pengiriman Di. 8(4), 4623–4634.

Dwi, A., Zakia, K., & Hafid, M. (2026). Optimalisasi Distribusi Beras Gudang Umbul Tengah Menggunakan Metode Transportasi Bulog Cabang Serang. 02(03), 2239–2251.

Faeni, D. P., Ali, A. S., Putri, F. N., & Chintya, G. (2025). Penerapan Metode Transportasi Untuk Optimalisasi Biaya Distribusi Kendaraan (Studi Kasus Pada Pt Astra). 2(5), 2318–2324.

Jannah, A. I., Ramadhan, F. D., Putri, R. N., Fatatina, A. B., Islam, U., Sunan, N., Yogyakarta, D. I., Bendo, K., & Bantul, K. (2025). Penerapan Metode Transportasi Stepping Stone Dalam Optimasi Biaya Pendistribusian Sayur Pada Umkm "Murni Sayur." 4(2), 51–59.

Muannisah, N., Fitriyani, L., H, L. D. A., & Fatchuroji, A. (2025). Optimalisasi Biaya Distribusi Pada Tb Nur Barokah Yang Berbasis Umkm Di Indonesia Dengan Penerapan Metode Transportasi. 2(1), 2651–2658.

Sinaga, R. (2023). Penerapan Metode Stepping Stone Untuk Transportasi Pengiriman Barang. 2(2), 54–60.