

Optimasi Biaya Distribusi Biji Kopi: Perbandingan Metode *Northwest Corner Method*, *Least Cost Method*, *Vogel's Approximation Method*, dan *Modified Distribution Method*

Zahrotul Janah, Siti Nur Afifatun, Muhammad Asadi Almaruf, dan Winarno



Volume 14, Issue 2, Pages 573–592, August 2026

Diterima 21 Juni 2026, Direvisi 16 Agustus 2026, Disetujui 20 Agustus 2026, Diterbitkan 25 Agustus 2026

To Cite this Article : Z. Janah, S. N. Afifatun, M. A. Almaruf, dan W. Winarno, “Optimasi Biaya Distribusi Biji Kopi: Perbandingan Metode *Northwest Corner Method*, *Least Cost Method*, *Vogel's Approximation Method*, dan *Modified Distribution Method*”, Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol., vol. 14, no. 2, pp. 573–592, 2026, doi: <https://doi.org/10.37905/euler.v14i2.40357>

© 2026 by author(s)

JOURNAL INFO • EULER : JURNAL ILMIAH MATEMATIKA, SAINS DAN TEKNOLOGI

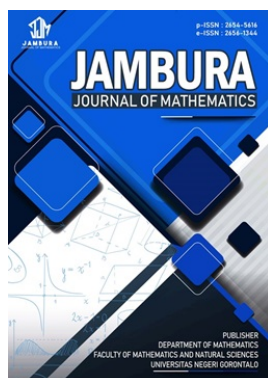


	Homepage	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/index
	Journal Abbreviation	:	Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.
	Frequency	:	Three times a year
	Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
	DOI	:	https://doi.org/10.37905/euler
	Online ISSN	:	2776-3706
	License	:	Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
	Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
	Country	:	Indonesia
	OAI Address	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/oai
	Google Scholar ID	:	QF_r_gAAAAJ
	Email	:	euler@ung.ac.id

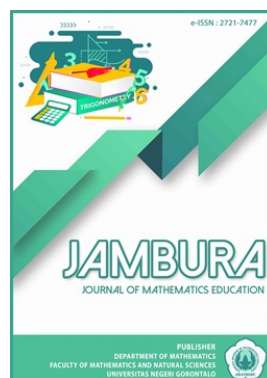
JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Biomathematics



Jambura Journal of Mathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Probability and Statistics

Optimasi Biaya Distribusi Biji Kopi: Perbandingan Metode *Northwest Corner Method*, *Least Cost Method*, *Vogel's Approximation Method*, dan *Modified Distribution Method*

Zahrotul Janah^{1,*}, Siti Nur Afifatun¹, Muhammad Asadi Almaruf¹, Winarno¹

¹Jurusan Tadris Matematika, Universitas Islam Negeri Salatiga, Salatiga, 50721, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Diterima 21 Juni 2026
Direvisi 16 Agustus 2026
Disetujui 20 Agustus 2026
Diterbitkan 25 Agustus 2026

KATA KUNCI

Transportasi
Northwest Corner Method
Least Cost Method
Vogel's Approximation Method
Modified Distribution Method

KEYWORDS

Transportation
Northwest Corner Method
Least Cost Method
Vogel's Approximation Method
Modified Distribution Method

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biaya transportasi dalam pendistribusian biji kopi milik Pak Rusman dari kebun Candirotto dan Bejen ke lima toko tujuan, yaitu Seleksi, Muneng, Plosogaden, Lancar, dan Berkah menggunakan *Northwest Corner Method* (NWC), *Least Cost Method* (LC), *Vogel's Approximation Method* (VAM), dan *Modified Distribution Method* (MODI). Data penelitian diperoleh melalui wawancara langsung dengan pemilik kebun terkait kapasitas, permintaan, dan biaya distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NWC menghasilkan biaya sebesar Rp610.000, LC sebesar Rp538.500, dan VAM sebesar Rp524.500. Pengujian menggunakan MODI menunjukkan bahwa solusi NWC dan LC belum optimal sehingga memerlukan iterasi perbaikan, sedangkan metode VAM sudah langsung optimal. Setelah optimasi, diperoleh biaya minimum sebesar Rp524.500. Hasil perhitungan juga diverifikasi menggunakan perangkat lunak POM QM for Windows V5 dan menunjukkan hasil yang sama dengan perhitungan manual.

ABSTRACT. This study aims to analyze transportation costs in distributing Mr. Rusman's coffee beans from Candirotto and Bejen plantations to five destination stores: Seleksi, Muneng, Plosogaden, Lancar, and Berkah, using the *Northwest Corner Method* (NWC), *Least Cost Method* (LC), *Vogel's Approximation Method* (VAM), and *Modified Distribution Method* (MODI). Data were obtained through direct interviews with plantation owners regarding capacity, demand, and distribution costs. The results showed that the NWC resulted in a cost of Rp610,000, the LC Rp538,500, and the VAM Rp524,500. Testing using the MODI showed that the NWC and LC methods were not optimal and required iterations for improvement, while the VAM method was immediately optimal. After optimization, the minimum cost was obtained at Rp524,500. The calculation results were also verified using POM QM for Windows V5 software and showed similar results to manual calculations.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. **Editorial of EULER:** Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Distribusi merupakan salah satu aktivitas kunci dalam sistem rantai pasok yang menentukan kelancaran pasokan barang dari produsen ke konsumen [1]. Manajemen rantai pasok melibatkan koordinasi seluruh aktivitas dalam rantai pasokan, termasuk perencanaan produksi, pengadaan bahan baku, manufaktur, distribusi, dan layanan pelanggan yang semua harus berjalan sinergis untuk menjamin kelancaran pasokan [2]. Keberhasilan distribusi tidak hanya diukur dari ketepatan waktu pengiriman, tetapi juga efisiensi biaya yang dikeluarkan selama proses berlangsung [3].

Dalam praktiknya, biaya transportasi sering menjadi masalah terbesar dalam biaya logistik, yang mengakibatkan pengelolaannya menjadi faktor penting dalam menjaga efisiensi

*Penulis Korespondensi.

operasional [4]. Ketika biaya operasional meningkat tanpa disertai peningkatan pendapatan yang sebanding, maka margin laba bersih usaha akan tertekan, sehingga pengelolaan biaya operasional secara efektif menjadi salah satu kunci dalam menjaga kesehatan keuangan usaha [5]. Ketidakefisienan dalam pengaturan distribusi dapat menyebabkan peningkatan biaya yang signifikan dan berdampak langsung pada menurunnya keuntungan usaha [6]. Kesalahan dalam distribusi dapat mengurangi loyalitas konsumen terhadap perusahaan dan biaya distribusi yang tidak dikendalikan dengan baik akan berdampak langsung pada penurunan laba bersih suatu perusahaan [7].

Permasalahan efisiensi biaya transportasi semakin kompleks ketika sistem distribusi melibatkan lebih dari satu sumber dan beberapa tujuan dengan jumlah permintaan yang berbeda [8]. Metode transportasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber ke tujuan dengan alokasi produk yang diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan biaya yang optimal dan dapat digunakan untuk mengurangi risiko terjadinya kerugian sekaligus menghasilkan keuntungan yang optimal [9]. Variasi jarak, kapasitas produksi, serta kebutuhan masing-masing lokasi tujuan juga menjadi faktor yang mempengaruhi biaya transportasi [10]. Penerapan metode transportasi dalam riset operasi terbukti membantu perusahaan dalam menentukan pola distribusi yang lebih efisien, di mana perusahaan dapat mengalokasikan pengiriman dari setiap gudang ke pasar tujuan secara lebih rasional berdasarkan biaya transportasi dan kapasitas yang tersedia [11].

Permasalahan biaya distribusi juga terjadi pada distribusi biji kopi dari kebun milik Pak Rusman yang berada di daerah Candiroto dan Bejen Kabupaten Temanggung. Kedua lokasi tersebut menjadi sumber utama pasokan biji kopi yang harus didistribusikan ke beberapa lokasi tujuan, yaitu Toko Seleksi, Muneng, Plosogaden, Lancar, dan Berkah. Setiap lokasi tujuan memiliki kebutuhan yang berbeda. Studi terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan model dan metode yang tepat dapat meningkatkan efisiensi operasional dan efektivitas distribusi barang, terutama dalam industri yang sangat bergantung pada kelancaran rantai pasokan [12]. Kondisi ini menciptakan permasalahan dalam menentukan pola distribusi yang tepat agar seluruh permintaan terpenuhi dengan biaya transportasi yang minimum [13]. Metode transportasi dapat digunakan untuk menangani masalah transportasi berskala besar, baik dalam situasi dengan sedikit sumber dan tujuan maupun dalam situasi dengan lebih banyak sumber dan tujuan, serta terbukti mampu menyelesaikan masalah distribusi dengan biaya rendah [14].

Dalam upaya memperoleh solusi distribusi yang efisien, berbagai model dalam metode transportasi dapat digunakan sebagai alat analisis, di antaranya *Northwest Corner Method* (NWC), *Least Cost Method* (LC), dan *Vogel's Approximation Method* (VAM) sebagai pendekatan untuk menentukan solusi awal, serta *Modified Distribution Method* (MODI) sebagai metode untuk menguji optimasi solusi yang dihasilkan [15].

Meskipun berbagai penelitian telah menerapkan metode transportasi untuk meminimalkan biaya distribusi, sebagian besar kajian masih berfokus pada penggunaan satu atau dua metode untuk memperoleh solusi awal maupun solusi optimal [16–19]. Kajian yang membandingkan secara langsung beberapa metode penentuan solusi awal, kemudian menguji seluruh hasilnya dengan metode optimasi yang sama pada satu kasus distribusi empiris, masih relatif terbatas. Selain itu, perbandingan metode transportasi umumnya menitikberatkan pada besarnya biaya yang dihasilkan, sedangkan efisiensi metode dalam mencapai solusi optimal, yang dapat ditinjau dari jumlah iterasi perbaikan yang diperlukan, belum banyak menjadi perhatian. Kondisi tersebut menunjukkan adanya gap dalam evaluasi komparatif metode transportasi yang tidak hanya mempertimbangkan biaya awal dan biaya optimal, tetapi juga efisiensi proses menuju solusi optimal.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan terintegrasi antara *Northwest Corner Method* (NWC), *Least Cost Method* (LC), dan *Vogel's Approximation Method* (VAM) sebagai metode penentuan solusi awal, yang selanjutnya seluruhnya diuji menggunakan *Modified Distribution Method* (MODI). Evaluasi tidak hanya dilakukan berdasarkan total biaya transportasi yang dihasilkan, tetapi juga berdasarkan jumlah iterasi MODI yang diperlukan hingga diperoleh solusi optimal. Pendekatan ini memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai kualitas solusi awal dari masing-masing metode. Hasil perhitungan juga diverifikasi menggunakan perangkat lunak *POM QM for Windows V5* untuk memastikan konsistensi antara perhitungan manual dan komputasional.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan biaya distribusi biji kopi dari kebun Candiroto dan Bejen ke lima toko tujuan menggunakan metode NWC, LC, dan VAM, menguji optimalitas masing-masing solusi awal menggunakan MODI, serta menentukan metode yang paling efisien dalam mencapai biaya distribusi minimum. Secara khusus, penelitian ini mengevaluasi apakah perbedaan metode pembentukan solusi awal memengaruhi besarnya biaya awal dan jumlah iterasi yang diperlukan untuk mencapai solusi optimal.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data primer yang diperoleh melalui wawancara untuk menganalisis biaya transportasi dalam pendistribusian kopi. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan kondisi nyata di lapangan sekaligus mengolah data numerik untuk memperoleh solusi distribusi yang optimal. Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi permasalahan distribusi, pengumpulan data terkait kapasitas dan permintaan, penyusunan model transportasi, pengolahan data, serta analisis dan interpretasi hasil secara sistematis.

Subjek penelitian ini adalah pemilik kebun kopi, yaitu Pak Rusman, yang menjadi sumber utama informasi terkait kapasitas produksi dan distribusi biji kopi. Penelitian ini dilakukan di dua lokasi sumber yaitu Candiroto dan Bejen. Variabel yang diukur dalam penelitian ini meliputi kapasitas produksi, permintaan pada masing-masing lokasi tujuan, biaya transportasi dari sumber ke tujuan, serta total biaya distribusi. Data yang digunakan terdiri atas data primer, di mana data primer diperoleh melalui wawancara langsung dengan pemilik kebun pada tanggal 11 Oktober 2025 untuk mengetahui kapasitas produksi dan permintaan distribusi serta biaya transportasi pada periode distribusi September 2025.

Analisis data dilakukan dengan menyusun tabel distribusi berdasarkan data *supply* dan *demand* yang diperoleh. Pengolahan data awal dilakukan menggunakan beberapa metode transportasi, yaitu *Northwest Corner Method*, *Least Cost Method*, dan *Vogel's Approximation Method* untuk memperoleh solusi awal distribusi. Hasil dari masing-masing metode kemudian diuji optimasinya menggunakan *Modified Distribution Method*. Selanjutnya dilakukan verifikasi hasil menggunakan *software POM QM For Windows V5* untuk memastikan bahwa solusi manual dan komputasional konsisten. Tahap akhir dilakukan dengan membandingkan total biaya yang dihasilkan dari setiap metode untuk menentukan metode yang paling efisien dalam pendistribusian kopi.

3. Hasil dan Pembahasan

Permasalahan distribusi biji kopi dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik kebun, yaitu Pak Rusman. Data yang dikumpulkan meliputi biaya transportasi berdasarkan tarif tetap per kuintal untuk setiap rute pengiriman, kapasitas produksi

dari masing-masing kebun, serta permintaan dari setiap toko tujuan. Untuk menganalisis data digunakan metode transportasi, di antaranya *Northwest Corner Method*, *Least Cost Method*, *Vogel's Approximation Method*, serta optimasi data menggunakan *Modified Distribution Method*. Data yang diperoleh disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Supply dan Demand.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	12,5
Bejen	15	25	32	12	10	21
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	5	–

Biaya pada **Tabel 1** dinyatakan dalam ribuan rupiah per kuintal (misal: nilai 30 berarti Rp30.000/kuintal), sedangkan nilai *supply* dan *demand* dinyatakan dalam satuan kuintal. Berdasarkan **Tabel 1**, total *supply* sebesar 33,5 kuintal, sedangkan total *demand* hanya sebesar 30 kuintal. Hal ini menunjukkan kapasitas produksi lebih besar dibandingkan permintaan, sehingga terdapat kelebihan pasokan sebesar 3,5 kuintal. Untuk menyeimbangkan model transportasi, dilakukan penambahan *dummy* dengan permintaan sebesar 3,5 kuintal. Penambahan ini diperlukan agar total *supply* sama dengan total *demand*, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Tabel dengan *Dummy*.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	5	3,5	–

3.1. Northwest Corner Method (NWC)

Northwest Corner Method (NWC) merupakan metode sederhana dalam masalah transportasi yang digunakan untuk menentukan solusi awal dengan cara mengalokasikan dari sel kiri atas tanpa mempertimbangkan biaya [16]. Langkah-langkah *Northwest Corner Method* adalah sebagai berikut:

1. Mulai dari sel kiri atas.
2. Alokasikan sebanyak mungkin sesuai nilai minimum antara *supply* dan *demand*.
3. Jika *demand* terpenuhi, pindah ke kolom berikutnya; jika *supply* habis, pindah ke baris berikutnya.
4. Ulangi proses hingga seluruh kapasitas dan permintaan terpenuhi.

Berdasarkan data pada **Tabel 3**, perhitungan menggunakan NWC dilakukan melalui langkah-langkah berikut.

Tabel 3. Tabel awal.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	5	3,5	–

Tabel 3 merupakan kondisi awal model transportasi sebelum dilakukan proses alokasi. Baris menunjukkan sumber (kebun), sedangkan kolom menunjukkan tujuan distribusi (toko).

Proses alokasi dimulai dari sel pojok kiri atas (Candiroto, Seleksi). Nilai alokasi ditentukan dengan mengambil nilai minimum antara kapasitas kebun Candiroto 12,5 dan permintaan toko Seleksi 4,5 sehingga diperoleh alokasi 4,5.

Tabel 4. Iterasi ke-1 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22	28	10	40	0	8
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	0	6,5	6	8	5	3,5	–

Pada **Tabel 4**, setelah dilakukan alokasi pada sel (Candiroto, Seleksi), permintaan pada toko Seleksi telah terpenuhi sepenuhnya sehingga menjadi nol. Sementara itu, kapasitas kebun Candiroto berkurang dari 12,5 menjadi 8. Karena permintaan pada kolom Seleksi telah terpenuhi, proses dilanjutkan ke kolom berikutnya (Muneng) dengan tetap berada pada baris yang sama (Candiroto).

Tabel 5. Iterasi ke-2 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28	10	40	0	1,5
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	0	0	6	8	5	3,5	–

Pada **Tabel 5**, permintaan toko Muneng sebesar 6,5 dapat dipenuhi seluruhnya oleh kapasitas kebun Candiroto yang sebesar 8. Setelah dialokasikan, *demand* Muneng menjadi nol, sedangkan kapasitas Candiroto menjadi 1,5. Karena permintaan pada kolom Muneng terpenuhi, proses dilanjutkan ke kolom berikutnya, yaitu Plosogaden, dengan tetap berada pada baris Candiroto.

Tabel 6. Iterasi ke-3 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	0	0	4,5	8	5	3,5	–

Pada **Tabel 6**, alokasi dilakukan pada sel (Candiroto, Plosogaden) dengan nilai sebesar 1,5, yaitu sisa kapasitas dari kebun Candiroto. Setelah alokasi ini, kapasitas Candiroto menjadi nol sehingga tidak dapat melakukan pengiriman lagi. Permintaan pada Plosogaden masih tersisa sebesar 4,5. Karena kapasitas pada baris Candiroto telah habis, proses alokasi berpindah ke baris berikutnya, yaitu kebun Bejen, dengan tetap berada pada kolom Plosogaden.

Tabel 7. Iterasi ke-4 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32 (4,5)	12	10	0	16,5
Demand (Kuintal)	0	0	0	8	5	3,5	–

Pada **Tabel 7**, alokasi dilakukan pada sel (Bejen, Plosogaden) untuk memenuhi sisa permintaan Plosogaden sebesar 4,5. Setelah alokasi, permintaan Plosogaden menjadi nol dan

kapasitas kebun Bejen berkurang dari 21 menjadi 16,5. Karena permintaan pada kolom Plosogaden telah terpenuhi, proses dilanjutkan ke kolom berikutnya, yaitu Lancar.

Tabel 8. Iterasi ke-5 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32 (4,5)	12 (8)	10	0	8,5
Demand (Kuintal)	0	0	0	0	5	3,5	–

Pada **Tabel 8**, alokasi dilakukan pada sel (Bejen, Lancar) sebesar 8 untuk memenuhi seluruh permintaan toko Lancar. Setelah alokasi, permintaan Lancar menjadi nol dan kapasitas kebun Bejen tersisa 8,5. Karena permintaan pada kolom Lancar telah terpenuhi, proses dilanjutkan ke kolom berikutnya, yaitu Berkah.

Tabel 9. Iterasi ke-6 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32 (4,5)	12 (8)	10 (5)	0	3,5
Demand (Kuintal)	0	0	0	0	0	3,5	–

Pada **Tabel 9**, alokasi dilakukan pada sel (Bejen, Berkah) sebesar 5 untuk memenuhi permintaan toko Berkah. Setelah alokasi, permintaan Berkah menjadi nol dan kapasitas kebun Bejen tersisa 3,5. Karena semua permintaan riil telah terpenuhi, sisa kapasitas dialokasikan ke kolom *dummy*.

Tabel 10. Iterasi ke-7 NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32 (4,5)	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand (Kuintal)	0	0	0	0	0	0	–

Tahap terakhir pada **Tabel 10** adalah mengalokasikan sisa kapasitas kebun Bejen sebesar 3,5 ke kolom *dummy*. Hal ini dilakukan untuk menyeimbangkan model transportasi karena total kapasitas lebih besar dibandingkan total permintaan. Dengan demikian, seluruh kapasitas dan permintaan telah terpenuhi dan proses alokasi *Northwest Corner Method* selesai.

Dari tujuh iterasi tersebut diperoleh biaya awal:

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} &= 30(4,5) + 22(6,5) + 28(1,5) + 32(4,5) + 12(8) + 10(5) + 0(3,5) \\
 &= 610 \\
 &= 610 \times 1.000 \\
 &= \text{Rp}610.000.
 \end{aligned}$$

3.2. Least Cost Method (LC)

Least Cost Method (LC) merupakan metode penentuan solusi awal pada masalah transportasi dengan cara memilih sel yang memiliki biaya transportasi paling rendah terlebih dahulu [17]. Langkah-langkah *Least Cost Method* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan sel dengan biaya transportasi terkecil.

2. Mengalokasikan sebanyak mungkin berdasarkan nilai *supply* dan *demand*.
3. Menghapus baris atau kolom yang sudah terpenuhi.
4. Mengulangi langkah hingga seluruh permintaan terpenuhi.

Tabel 11. Data awal.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5
Bejen	15	25	32	12	10	0	21
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	5	3,5	–

Pada **Tabel 11**, sel dengan biaya terkecil adalah 0 pada kolom *dummy*. Oleh karena itu, alokasi pertama dilakukan pada salah satu sel *dummy*, yaitu pada (Bejen, *Dummy*).

Tabel 12. Iterasi ke-1 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5
Bejen	15	25	32	12	10	0 (3,5)	17,5
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	5	0	–

Pada **Tabel 12**, alokasi dilakukan pada sel *dummy* (Bejen, *Dummy*) sebesar 3,5, yaitu nilai minimum antara kapasitas kebun Bejen 21 dan permintaan *dummy* 3,5. Setelah alokasi, permintaan *dummy* menjadi nol dan kolom *dummy* tidak lagi dipertimbangkan dalam proses berikutnya. Kapasitas kebun Bejen berkurang menjadi 17,5 kuintal. Setelah kolom *dummy* dieliminasi, langkah berikutnya adalah mencari kembali sel dengan biaya terkecil dari tabel yang tersisa.

Tabel 13. Iterasi ke-2 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5
Bejen	15	25	32	12	10 (5)	0 (3,5)	12,5
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	8	0	0	–

Setelah kolom *dummy* dihilangkan, biaya terkecil berikutnya adalah 10 pada sel (Bejen, Berkah). Pada **Tabel 13**, alokasi dilakukan sebesar 5 untuk memenuhi permintaan toko Berkah. Setelah alokasi, permintaan Berkah menjadi nol dan kolom tersebut dieliminasi dari tabel. Kapasitas kebun Bejen berkurang menjadi 12,5. Proses dilanjutkan dengan memilih biaya terkecil berikutnya dari sel yang tersisa.

Tabel 14. Iterasi ke-3 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10 (8)	40	0	4,5
Bejen	15	25	32	12	10 (5)	0 (3,5)	12,5
Demand (Kuintal)	4,5	6,5	6	0	0	0	–

Pada **Tabel 14**, biaya terkecil berikutnya adalah 10 pada sel (Candiroto, Lancar). Alokasi dilakukan sebesar 8 untuk memenuhi permintaan toko Lancar. Setelah alokasi, permintaan Lancar menjadi nol dan kolom tersebut dieliminasi. Kapasitas kebun Candiroto berkurang menjadi 4,5.

Tabel 15. Iterasi ke-4 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22	28	10 (8)	40	0	4,5
Bejen	15 (4,5)	25	32	12	10 (5)	0 (3,5)	8
Demand (Kuintal)	0	6,5	6	0	0	0	–

Pada **Tabel 15**, biaya terkecil berikutnya adalah 15 pada sel (Bejen, Seleksi). Alokasi dilakukan sebesar 4,5 untuk memenuhi permintaan toko Seleksi. Setelah alokasi, permintaan Seleksi menjadi nol dan kapasitas kebun Bejen berkurang menjadi 8.

Tabel 16. Iterasi ke-5 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22 (4,5)	28	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25	32	12	10 (5)	0 (3,5)	8
Demand (Kuintal)	0	2	6	0	0	0	–

Pada **Tabel 16**, biaya terkecil berikutnya adalah 22 pada sel (Candiroto, Muneng). Alokasi dilakukan sebesar 4,5. Setelah alokasi, kapasitas Candiroto menjadi nol dan baris tersebut dieliminasi. Permintaan toko Muneng berkurang menjadi 2.

Tabel 17. Iterasi ke-6 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22 (4,5)	28	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (2)	32	12	10 (5)	0 (3,5)	6
Demand (Kuintal)	0	0	6	0	0	0	–

Pada **Tabel 17**, biaya terkecil berikutnya adalah 25 pada sel (Bejen, Muneng). Alokasi dilakukan sebesar 2. Setelah alokasi, permintaan toko Muneng menjadi nol dan kapasitas kebun Bejen berkurang menjadi 6.

Tabel 18. Iterasi ke-7 LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30	22 (4,5)	28	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (2)	32 (6)	12	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand (Kuintal)	0	0	0	0	0	0	–

Pada **Tabel 18**, sisa permintaan toko Plosogaden dipenuhi oleh kebun Bejen dan proses selesai setelah kapasitas dan permintaan seimbang.

Dari tujuh iterasi tersebut diperoleh biaya awal:

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} &= 22(4,5) + 10(8) + 15(4,5) + 25(2) + 32(6) + 10(5) + 0(3,5) \\
 &= 538,5 \\
 &= 538,5 \times 1.000 \\
 &= \text{Rp}538.500.
 \end{aligned}$$

3.3. Vogel's Approximation Method (VAM)

Vogel's Approximation Method (VAM) merupakan metode penentuan solusi awal pada masalah transportasi yang menggunakan konsep penalti, yaitu selisih dua biaya terkecil, untuk menentukan prioritas alokasi [18]. Dalam tabel berikut, baris dan kolom penalti diberi nama P .

Tabel 19. Perhitungan penalti awal.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5	10
Bejen	15	25	32	12	10	0	21	10
<i>Demand</i>	4,5	6,5	6	8	5	3,5	–	–
P	15	3	4	2	30	0	–	–

Tabel 19 menunjukkan kondisi awal sebelum dilakukan alokasi dengan metode VAM. Penalti dihitung sebagai selisih dua biaya terkecil pada setiap baris dan kolom. Nilai penalti terbesar menunjukkan tingkat kerugian terbesar apabila tidak diprioritaskan. Jika terdapat dua penalti dengan nilai yang sama, dipilih sel dengan biaya terkecil; apabila masih sama, dipilih sel yang dapat mengalokasikan kuantitas terbesar. Pada **Tabel 19**, penalti terbesar terdapat pada kolom Berkah sebesar 30 sehingga kolom tersebut menjadi prioritas utama dalam proses alokasi. Dipilih biaya terkecil pada kolom Berkah, yaitu sel (Bejen, Berkah) = 10, kemudian dialokasikan.

Tabel 20. Iterasi ke-1 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5	10
Bejen	15	25	32	12	10 (5)	0	16	10
<i>Demand</i>	4,5	6,5	6	8	0	3,5	–	–
P	15	3	4	2	–	0	–	–

Setelah alokasi pada sel (Bejen, Berkah), permintaan pada kolom Berkah telah terpenuhi sehingga kolom tersebut dieliminasi dari tabel. Selanjutnya dilakukan perhitungan ulang penalti. Pada **Tabel 20**, penalti terbesar terdapat pada kolom Seleksi sebesar 15 sehingga kolom tersebut diprioritaskan. Dipilih biaya terkecil pada kolom Seleksi, yaitu (Bejen, Seleksi) = 15, kemudian dialokasikan sebesar 4,5 hingga permintaan Seleksi terpenuhi.

Tabel 21. Iterasi ke-2 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5	10
Bejen	15 (4,5)	25	32	12	10 (5)	0	11,5	12
<i>Demand</i>	0	6,5	6	8	0	3,5	–	–
P	–	3	4	2	–	0	–	–

Setelah kolom Seleksi dieliminasi, dilakukan perhitungan penalti kembali. Pada **Tabel 21**, penalti terbesar terdapat pada baris Bejen sebesar 12 sehingga baris tersebut diprioritaskan. Dipilih biaya terkecil pada baris Bejen, yaitu (Bejen, Dummy) = 0, kemudian dialokasikan sebesar 3,5 hingga permintaan dummy terpenuhi.

Kolom dummy telah dieliminasi, kemudian penalti dihitung kembali. Pada **Tabel 22**, penalti terbesar terdapat pada baris Bejen sebesar 13 sehingga baris tersebut kembali diprioritaskan.

Tabel 22. Iterasi ke-3 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5	12
Bejen	15 (4,5)	25	32	12	10 (5)	0 (3,5)	8	13
<i>Demand</i>	0	6,5	6	8	0	0	–	–
<i>P</i>	–	3	4	2	–	–	–	–

an. Dipilih biaya terkecil pada baris Bejen, yaitu (Bejen, Lancar) = 12, kemudian dialokasikan sebesar 8 hingga permintaan Lancar terpenuhi.

Tabel 23. Iterasi ke-4 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28	10	40	0	12,5	6
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0	–
<i>Demand</i>	0	6,5	6	0	0	0	–	–
<i>P</i>	–	22	28	–	–	–	–	–

Kolom Lancar dan baris Bejen telah dieliminasi, kemudian penalti dihitung kembali. Pada **Tabel 23**, penalti terbesar terdapat pada kolom Plosogaden sebesar 28 sehingga kolom tersebut diprioritaskan. Dipilih (Candiroto, Plosogaden) karena kapasitas Bejen telah habis, kemudian dialokasikan sebesar 6 hingga permintaan Plosogaden terpenuhi.

Tabel 24. Iterasi ke-5 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22	28 (6)	10	40	0	6,5	22
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0	–
<i>Demand</i>	0	6,5	0	0	0	0	–	–
<i>P</i>	–	22	–	–	–	–	–	–

Kolom Plosogaden telah dieliminasi, kemudian penalti dihitung kembali. Pada **Tabel 24**, penalti terbesar terdapat pada kolom Muneng dan baris Candiroto sebesar 22, kemudian dialokasikan sebesar 6,5 hingga permintaan Muneng terpenuhi.

Tabel 25. Iterasi ke-6 VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply	P
Candiroto	30	22 (6,5)	28 (6)	10	40	0	0	–
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0	–
<i>Demand</i>	0	0	0	0	0	0	–	–
<i>P</i>	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabel 25 menunjukkan hasil akhir alokasi menggunakan metode VAM. Jumlah sel basis yang teralokasi, yaitu 6, kurang dari syarat

$$m + n - 1 = 7,$$

sehingga terjadi degenerasi. Untuk mengatasinya, ditempatkan nilai epsilon (ϵ) yang merupakan kuantitas semu dengan nilai mendekati nol, bukan alokasi riil, pada sel (Candiroto, Lancar). Sel ini dipilih karena memiliki biaya transportasi terendah di antara sel kosong yang

tersisa dan tidak membentuk *loop* tertutup dengan sel basis lain sehingga nilai u_i dan v_j tetap dapat dihitung.

Biaya awal yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} Z_{\min} &= 22(6,5) + 28(6) + 15(4,5) + 12(8) + 10(5) + 0(3,5) + 10\varepsilon \\ &= 524,5 \\ &= 524,5 \times 1.000 \\ &= \text{Rp}524.500. \end{aligned}$$

3.4. Modified Distribution Method (MODI)

Modified Distribution Method (MODI) merupakan metode yang digunakan untuk menguji optimalitas solusi awal pada masalah transportasi. Metode ini bekerja dengan menghitung nilai potensial baris (u_i) dan kolom (v_j), kemudian menghitung nilai indeks perbaikan (*opportunity cost*) pada setiap sel nonbasis [19]. Solusi dinyatakan optimal apabila seluruh nilai

$$\Delta_{ij} \leq 0.$$

Apabila masih terdapat Δ_{ij} yang bernilai positif, maka solusi belum optimal dan perlu dilakukan perbaikan.

3.4.1. Uji Optimasi *Modified Distribution Method* pada *Northwest Corner Method*

Solusi awal yang diperoleh menggunakan *Northwest Corner Method* (NWC) belum dapat langsung dinyatakan sebagai solusi optimal karena metode NWC menentukan alokasi berdasarkan posisi sel tanpa mempertimbangkan besarnya biaya transportasi. Oleh karena itu, solusi awal tersebut selanjutnya diuji menggunakan *Modified Distribution Method* (MODI) untuk mengetahui apakah masih terdapat peluang pengurangan biaya. Pengujian dilakukan dengan menentukan nilai potensial baris (u_i) dan kolom (v_j) serta menghitung nilai indeks perbaikan Δ_{ij} pada setiap sel nonbasis. Alokasi awal yang akan diuji disajikan pada Tabel 26.

Tabel 26. Hasil metode NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply (Kuintal)
Candiroto	30 (4,5)	22 (6,5)	28 (1,5)	10	40	0	0
Bejen	15	25	32 (4,5)	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand (Kuintal)	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan sel basis pada Tabel 26,

$$u_i + v_j = c_{ij}.$$

Misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned} u_2 + v_3 &= c_{23} \Rightarrow 0 + v_3 = 32 \Rightarrow v_3 = 32, \\ u_1 + v_3 &= c_{13} \Rightarrow u_1 + 32 = 28 \Rightarrow u_1 = -4, \\ u_1 + v_1 &= c_{11} \Rightarrow -4 + v_1 = 30 \Rightarrow v_1 = 34, \\ u_1 + v_2 &= c_{12} \Rightarrow -4 + v_2 = 22 \Rightarrow v_2 = 26, \\ u_2 + v_4 &= c_{24} \Rightarrow 0 + v_4 = 12 \Rightarrow v_4 = 12, \\ u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow 0 + v_5 = 10 \Rightarrow v_5 = 10, \\ u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow 0 + v_6 = 0 \Rightarrow v_6 = 0. \end{aligned}$$

Untuk sel nonbasis,

$$\Delta_{ij} = u_i + v_j - c_{ij},$$

sehingga:

$$\Delta_{14} = -4 + 12 - 10 = -2,$$

$$\Delta_{15} = -4 + 10 - 40 = -34,$$

$$\Delta_{16} = -4 + 0 - 0 = -4,$$

$$\Delta_{21} = 0 + 34 - 15 = 19,$$

$$\Delta_{22} = 0 + 26 - 25 = 1.$$

Sel nonbasis dengan nilai positif terbesar adalah (Bejen, Seleksi), sehingga sel tersebut dipilih untuk dilakukan iterasi.

Tabel 27. Iterasi ke-1 MODI NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30 (4,5)–	22 (6,5)	28 (1,5)+	10	40	0	0
Bejen	15+	25	32 (4,5)–	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Pada **Tabel 27**, dilakukan pembentukan lintasan tertutup berdasarkan sel dengan nilai peluang terbesar. Tanda (+) dan (–) diberikan secara bergantian untuk menentukan penyesuaian alokasi.

Tabel 28. Hasil iterasi ke-1 MODI NWC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22 (6,5)	28 (6)	10	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Jumlah sel basis yang teralokasi pada **Tabel 28**, yaitu 6, kurang dari syarat $m + n - 1 = 7$ sehingga terjadi degenerasi. Untuk mengatasinya, ditempatkan nilai epsilon (ε) pada sel (Candiroto, Lancar).

Misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$u_2 + v_1 = c_{21} \Rightarrow v_1 = 15,$$

$$u_2 + v_4 = c_{24} \Rightarrow v_4 = 12,$$

$$u_1 + v_4 = c_{14} \Rightarrow u_1 = -2,$$

$$u_1 + v_2 = c_{12} \Rightarrow v_2 = 24,$$

$$u_1 + v_3 = c_{13} \Rightarrow v_3 = 30,$$

$$u_2 + v_5 = c_{25} \Rightarrow v_5 = 10,$$

$$u_2 + v_6 = c_{26} \Rightarrow v_6 = 0.$$

Nilai sel nonbasis adalah:

$$\Delta_{11} = -2 + 15 - 30 = -17,$$

$$\Delta_{15} = -2 + 10 - 40 = -32,$$

$$\Delta_{16} = -2 + 0 - 0 = -2,$$

$$\Delta_{22} = 0 + 24 - 25 = -1,$$

$$\Delta_{23} = 0 + 30 - 32 = -2.$$

Karena seluruh nilai sel nonbasis sudah negatif, solusi telah optimal. Biaya minimum yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} Z_{\min} &= 22(6,5) + 28(6) + 15(4,5) + 12(8) + 10(5) + 0(3,5) \\ &= 524,5 \\ &= 524,5 \times 1.000 \\ &= \text{Rp}524.500. \end{aligned}$$

3.4.2. Uji Optimasi *Modified Distribution Method* pada *Least Cost Method*

Solusi awal yang diperoleh melalui *Least Cost Method* (LC) telah mempertimbangkan biaya transportasi terendah dalam proses alokasi, tetapi solusi tersebut masih perlu diuji untuk memastikan optimalitasnya. Oleh karena itu, *Modified Distribution Method* (MODI) digunakan untuk mengevaluasi setiap sel nonbasis melalui nilai Δ_{ij} . Apabila masih ditemukan nilai $\Delta_{ij} > 0$, maka terdapat peluang untuk menurunkan total biaya distribusi melalui perubahan alokasi. Solusi awal LC yang menjadi dasar pengujian MODI ditunjukkan pada **Tabel 29**.

Tabel 29. Hasil metode LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22 (4,5)	28	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (2)	32 (6)	12	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan **Tabel 29**, misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned} u_2 + v_1 &= c_{21} \Rightarrow v_1 = 15, \\ u_2 + v_2 &= c_{22} \Rightarrow v_2 = 25, \\ u_1 + v_2 &= c_{12} \Rightarrow u_1 = -3, \\ u_1 + v_4 &= c_{14} \Rightarrow v_4 = 13, \\ u_2 + v_3 &= c_{23} \Rightarrow v_3 = 32, \\ u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow v_5 = 10, \\ u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow v_6 = 0. \end{aligned}$$

Nilai sel nonbasis adalah:

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= -3 + 15 - 30 = -18, \\ \Delta_{13} &= -3 + 32 - 28 = 1, \\ \Delta_{15} &= -3 + 10 - 40 = -33, \\ \Delta_{16} &= -3 + 0 - 0 = -3, \\ \Delta_{24} &= 0 + 13 - 12 = 1. \end{aligned}$$

Sel nonbasis positif terbesar dipilih pada (Candiroto, Plosogaden) untuk dilakukan iterasi.

Tabel 30. Iterasi ke-1 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22 (4,5)–	28+	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (2)+	32 (6)–	12	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Pada **Tabel 30**, dilakukan pembentukan lintasan tertutup berdasarkan sel dengan nilai peluang terbesar. Tanda (+) dan (–) diberikan secara bergantian untuk menentukan penyesuaian alokasi.

Tabel 31. Hasil iterasi ke-1 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22	28 (4,5)	10 (8)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (6,5)	32 (1,5)	12	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan **Tabel 31**, misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned}
 u_2 + v_1 &= c_{21} \Rightarrow v_1 = 15, \\
 u_2 + v_2 &= c_{22} \Rightarrow v_2 = 25, \\
 u_2 + v_3 &= c_{23} \Rightarrow v_3 = 32, \\
 u_1 + v_3 &= c_{13} \Rightarrow u_1 = -4, \\
 u_1 + v_4 &= c_{14} \Rightarrow v_4 = 14, \\
 u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow v_5 = 10, \\
 u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow v_6 = 0.
 \end{aligned}$$

Nilai sel nonbasis:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{11} &= -4 + 15 - 30 = -19, \\
 \Delta_{12} &= -4 + 25 - 22 = -1, \\
 \Delta_{15} &= -4 + 10 - 40 = -34, \\
 \Delta_{16} &= -4 + 0 - 0 = -4, \\
 \Delta_{24} &= 0 + 14 - 12 = 2.
 \end{aligned}$$

Sel nonbasis positif terbesar terdapat pada (Bejen, Lancar), sehingga dilakukan iterasi berikutnya.

Tabel 32. Iterasi ke-2 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22	28 (4,5)+	10 (8)–	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (6,5)–	32 (1,5)	12+	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Pada **Tabel 32**, dilakukan pembentukan lintasan tertutup berdasarkan sel dengan nilai peluang terbesar. Tanda (+) dan (–) diberikan secara bergantian untuk menentukan penyesuaian alokasi.

Tabel 33. Hasil iterasi ke-2 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22	28 (6)	10 (6,5)	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (6,5)	32	12 (1,5)	10 (5)	0 (3,5)	0
<i>Demand</i>	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan **Tabel 33**, misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned}
 u_2 + v_1 &= c_{21} \Rightarrow v_1 = 15, \\
 u_2 + v_2 &= c_{22} \Rightarrow v_2 = 25, \\
 u_2 + v_4 &= c_{24} \Rightarrow v_4 = 12, \\
 u_1 + v_4 &= c_{14} \Rightarrow u_1 = -2, \\
 u_1 + v_3 &= c_{13} \Rightarrow v_3 = 30, \\
 u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow v_5 = 10, \\
 u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow v_6 = 0.
 \end{aligned}$$

Nilai sel nonbasis:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{11} &= -2 + 15 - 30 = -17, \\
 \Delta_{12} &= -2 + 25 - 22 = 1, \\
 \Delta_{15} &= -2 + 10 - 40 = -32, \\
 \Delta_{16} &= -2 + 0 - 0 = -2, \\
 \Delta_{23} &= 0 + 30 - 32 = -2.
 \end{aligned}$$

Sel nonbasis positif terbesar terdapat pada (Candiroto, Muneng), sehingga dilakukan iterasi berikutnya.

Tabel 34. Iterasi ke-3 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22+	28 (6)	10 (6,5)–	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25 (6,5)–	32	12 (1,5)+	10 (5)	0 (3,5)	0
<i>Demand</i>	0	0	0	0	0	0	–

Pada **Tabel 34**, dilakukan pembentukan lintasan tertutup berdasarkan sel dengan nilai peluang terbesar. Tanda (+) dan (–) diberikan secara bergantian untuk menentukan penyesuaian alokasi.

Tabel 35. Hasil iterasi ke-3 MODI LC.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22 (6,5)	28 (6)	10	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
<i>Demand</i>	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan **Tabel 35**, misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned}
 u_2 + v_1 &= c_{21} \Rightarrow v_1 = 15, \\
 u_2 + v_4 &= c_{24} \Rightarrow v_4 = 12,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_1 + v_4 &= c_{14} \Rightarrow u_1 = -2, \\
 u_1 + v_2 &= c_{12} \Rightarrow v_2 = 24, \\
 u_1 + v_3 &= c_{13} \Rightarrow v_3 = 30, \\
 u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow v_5 = 10, \\
 u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow v_6 = 0.
 \end{aligned}$$

Nilai sel nonbasis:

$$\begin{aligned}
 \Delta_{11} &= -2 + 15 - 30 = -17, \\
 \Delta_{15} &= -2 + 10 - 40 = -32, \\
 \Delta_{16} &= -2 + 0 - 0 = -2, \\
 \Delta_{22} &= 0 + 24 - 25 = -1, \\
 \Delta_{23} &= 0 + 30 - 32 = -2.
 \end{aligned}$$

Karena seluruh nilai sel nonbasis sudah negatif, solusi telah optimal. Biaya minimum adalah:

$$\begin{aligned}
 Z_{\min} &= 22(6,5) + 28(6) + 15(4,5) + 12(8) + 10(5) + 0(3,5) \\
 &= 524,5 \\
 &= 524,5 \times 1.000 \\
 &= \text{Rp}524.500.
 \end{aligned}$$

3.4.3. Uji Optimasi *Modified Distribution Method* pada *Vogel's Approximation Method*

Solusi awal yang diperoleh menggunakan *Vogel's Approximation Method* (VAM) menghasilkan biaya yang lebih rendah dibandingkan solusi awal NWC dan LC. Meskipun demikian, pengujian menggunakan *Modified Distribution Method* (MODI) tetap diperlukan untuk memastikan bahwa tidak terdapat sel nonbasis yang masih memberikan peluang penurunan biaya. Pengujian optimalitas dilakukan dengan menghitung nilai potensial u_i dan v_j , kemudian menentukan nilai Δ_{ij} pada seluruh sel nonbasis. Alokasi hasil VAM yang akan diuji disajikan pada Tabel 36.

Tabel 36. Hasil metode VAM.

Kebun	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy	Supply
Candiroto	30	22 (6,5)	28 (6)	10	40	0	0
Bejen	15 (4,5)	25	32	12 (8)	10 (5)	0 (3,5)	0
Demand	0	0	0	0	0	0	–

Berdasarkan Tabel 36, misalkan $u_2 = 0$, maka:

$$\begin{aligned}
 u_2 + v_1 &= c_{21} \Rightarrow v_1 = 15, \\
 u_2 + v_4 &= c_{24} \Rightarrow v_4 = 12, \\
 u_1 + v_4 &= c_{14} \Rightarrow u_1 = -2, \\
 u_1 + v_2 &= c_{12} \Rightarrow v_2 = 24, \\
 u_1 + v_3 &= c_{13} \Rightarrow v_3 = 30, \\
 u_2 + v_5 &= c_{25} \Rightarrow v_5 = 10, \\
 u_2 + v_6 &= c_{26} \Rightarrow v_6 = 0.
 \end{aligned}$$

Nilai sel nonbasis adalah:

$$\Delta_{11} = -2 + 15 - 30 = -17,$$

$$\Delta_{15} = -2 + 10 - 40 = -32,$$

$$\Delta_{16} = -2 + 0 - 0 = -2,$$

$$\Delta_{22} = 0 + 24 - 25 = -1,$$

$$\Delta_{23} = 0 + 30 - 32 = -2.$$

Karena seluruh nilai sel nonbasis sudah negatif, solusi tersebut telah optimal. Biaya minimum adalah:

$$\begin{aligned} Z_{\min} &= 22(6,5) + 28(6) + 15(4,5) + 12(8) + 10(5) + 0(3,5) \\ &= 524,5 \\ &= 524,5 \times 1.000 \\ &= \text{Rp}524.500. \end{aligned}$$

3.5. Perbandingan Metode Biaya Awal dengan Biaya Optimal

Perbandingan biaya awal, jumlah iterasi MODI, dan biaya optimal dari metode NWC, LC, dan VAM disajikan pada **Tabel 37**.

Tabel 37. Perbandingan hasil NWC, LC, dan VAM.

Metode	Biaya Awal	Jumlah Iterasi MODI	Biaya Optimal
NWC	Rp610.000	1	Rp524.500
LC	Rp538.500	3	Rp524.500
VAM	Rp524.500	0	Rp524.500

3.6. Hasil Perhitungan POM QM for Windows V5

Berikut hasil optimasi biaya distribusi biji kopi Pak Rusman yang dihitung menggunakan metode transportasi melalui bantuan perangkat lunak *POM QM for Windows V5*. Proses pemasukan data ditunjukkan pada **Gambar 1**, sedangkan hasil perhitungan metode NWC, LC, dan VAM masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4**.

	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	SUPPLY
Candirototo	30	22	28	10	40	125
Bejen	15	25	32	12	10	210
DEMAND	45	65	60	80	50	

Gambar 1. Tampilan Memasukkan Data

Hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak *POM QM for Windows V5* pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, dan **Gambar 4** menunjukkan bahwa proses optimasi menghasilkan solusi akhir yang konsisten dengan hasil perhitungan manual. Pada solusi optimal, biji kopi dari kebun Candirototo dialokasikan sebesar 6,5 kuintal ke Muneng dan 6 kuintal ke Plosogaden. Sementara itu,

Objective	Starting method					
☐ Maximize	Northwest Corner Method					
☒ Minimize						

Transportation Results						
(untitled) Solution						
solution value = \$5245	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy
Candiroto		65	60			
Bejen	45	0		80	50	35

Gambar 2. Hasil Menggunakan Northwest Corner Method (NWC)

Objective	Starting method					
☐ Maximize	Minimum Cost Method					
☒ Minimize						

Transportation Results						
(untitled) Solution						
solution value = \$5245	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy
Candiroto		65	60	0		
Bejen	45			80	50	35

Gambar 3. Hasil Menggunakan Least Cost Method (LC)

Objective	Starting method					
☐ Maximize	Vogel's Approximation Method					
☒ Minimize						

Transportation Results						
(untitled) Solution						
solution value = \$5245	Seleksi	Muneng	Plosogaden	Lancar	Berkah	Dummy
Candiroto		65	60			
Bejen	45	0		80	50	35

Gambar 4. Hasil Menggunakan Vogel's Approximation Method (VAM)

pasokan dari kebun Bejen dialokasikan sebesar 4,5 kuintal ke Seleksi, 8 kuintal ke Lancar, dan 5 kuintal ke Berkah. Kelebihan *supply* sebesar 3,5 kuintal dialokasikan pada tujuan *dummy* sebagai bagian dari proses penyeimbangan antara total *supply* dan *demand*.

Meskipun ketiga metode menghasilkan solusi optimal yang sama, kualitas solusi awal yang dihasilkan berbeda. Metode NWC memberikan biaya awal sebesar Rp610.000 sehingga masih diperlukan perbaikan melalui MODI hingga biaya turun menjadi Rp524.500. Metode LC menghasilkan solusi awal yang lebih baik dibandingkan NWC, yaitu sebesar Rp538.500, tetapi masih memerlukan beberapa iterasi MODI untuk mencapai biaya optimal. Sebaliknya, VAM menghasilkan biaya awal sebesar Rp524.500 dan tidak memerlukan iterasi perbaikan karena solusi awal yang diperoleh telah memenuhi kriteria optimalitas. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode untuk memperoleh solusi awal berpengaruh terhadap kedekatan solusi tersebut dengan solusi optimal dan jumlah iterasi perbaikan yang diperlukan.

Kesamaan hasil antara perhitungan manual dan POM QM for Windows V5 juga memberikan verifikasi terhadap ketepatan proses perhitungan yang dilakukan. Ketiga pendekatan pada akhirnya menghasilkan total biaya transportasi minimum yang sama, yaitu Rp524.500. Dengan demikian, perbedaan utama antar metode tidak terletak pada nilai biaya optimal akhirnya, tetapi pada efisiensi dalam mencapai solusi optimal. Dalam kasus distribusi biji kopi Pak Rusman, VAM menunjukkan kinerja yang paling efisien karena mampu menghasilkan solusi optimal sejak tahap penentuan solusi awal, sedangkan NWC dan LC masih memerlukan proses optimasi lanjutan menggunakan MODI.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, metode transportasi terbukti dapat digunakan untuk menentukan pola distribusi biji kopi yang meminimalkan biaya pengiriman dari kebun Candirotto dan Bejen ke lima toko tujuan, yaitu Seleksi, Muneng, Plosogaden, Lancar, dan Berkah. Hasil perhitungan solusi awal menunjukkan bahwa *Northwest Corner Method* (NWC) menghasilkan biaya sebesar Rp610.000, *Least Cost Method* (LC) sebesar Rp538.500, dan *Vogel's Approximation Method* (VAM) sebesar Rp524.500. Setelah dilakukan pengujian optimalitas menggunakan *Modified Distribution Method* (MODI), ketiga metode tersebut menghasilkan biaya distribusi minimum yang sama, yaitu sebesar Rp524.500.

Perbedaan utama antar metode terletak pada kualitas solusi awal dan jumlah iterasi yang diperlukan untuk mencapai solusi optimal. Metode NWC memerlukan satu iterasi MODI, sedangkan metode LC memerlukan tiga iterasi. Sementara itu, metode VAM tidak memerlukan iterasi perbaikan karena solusi awal yang dihasilkan telah memenuhi kriteria optimalitas. Dengan demikian, VAM merupakan metode yang paling efisien pada kasus ini karena mampu menghasilkan solusi optimal sejak tahap penentuan solusi awal.

Hasil perhitungan manual juga diverifikasi menggunakan perangkat lunak *POM QM for Windows V5* dan menunjukkan hasil yang konsisten, yaitu biaya transportasi minimum sebesar Rp524.500. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan metode solusi awal berpengaruh terhadap efisiensi proses optimasi, meskipun pada akhirnya seluruh metode dapat mencapai nilai biaya minimum yang sama setelah diuji menggunakan MODI.

Kontribusi Penulis. Zahrotul Janah: Konseptualisasi, metodologi, analisis formal, kurasi data, perangkat lunak, penulisan draf asli. Siti Nur Afifatun: Investigasi, analisis formal, perangkat lunak. Muhammad Asadi Almaruf: Analisis formal, kurasi data. Winarno: Penyuntingan, supervisi.

Ucapan Terima Kasih. Para penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini dan dalam penyusunan manuskrip. Kami sangat menghargai editor dan reviewer atas masukan serta dukungannya dalam menyempurnakan karya ini.

Pembiayaan. Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Konflik Kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini.

Ketersediaan Data. Data tersedia dari penulis berdasarkan permintaan yang wajar dengan persetujuan pemilik usaha.

Referensi

- [1] L. N. Anisa, S. Andawiah, D. P. Utama, and I. Afan, "Implementasi supply chain management untuk meningkatkan kinerja logistik perusahaan," *Jurnal Masharif al-Syariah*, vol. 10, no. 204, pp. 460–471, 2025, doi: [10.30651/jms.v10i1.25469](https://doi.org/10.30651/jms.v10i1.25469).
- [2] H. Jodlbauer, M. Brunner, N. Bachmann, S. Tripathi, and M. Thüerer, "Supply chain management: A structured narrative review of current challenges and recommendations for action," *Logistic*, vol. 7, pp. 1–19, 2023, doi: [10.3390/logistics7040070](https://doi.org/10.3390/logistics7040070).
- [3] S. A. M. Galih, "Optimalisasi alur distribusi: Memperlancar efisiensi melalui daftar harga pengiriman dan moda transportasi yang strategis," *Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Manajemen*, vol. 11, pp. 77–86, 2024, doi: [10.36987/ecobi.v11i1.5263](https://doi.org/10.36987/ecobi.v11i1.5263).
- [4] A. G. Suseno, A. E. Nugraha, and D. Herwanto, "Pengembangan model matematis untuk meminimalisir biaya transportasi dengan mempertimbangkan waktu operasional dan konsumsi bahan bakar pada

- kontainer pendingin,” *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidik*, vol. 10, no. 2, pp. 63–78, 2024, doi: [10.5281/zenodo.10470866](https://doi.org/10.5281/zenodo.10470866).
- [5] D. Fitriasari, R. S. Biya, D. Nuraeni, and R. A. Santoso, “Pengaruh biaya operasional terhadap laba bersih,” *Akuntansi dan Ekonomi Pajak: Perspektif Global*, vol. 1, no. 2, pp. 54–65, 2024, doi: [10.61132/aep-pg.v1i2](https://doi.org/10.61132/aep-pg.v1i2).
 - [6] M. O. Gale, H. Herdi, and P. N. Aurelia, “Pengaruh biaya distribusi terhadap peningkatan volume penjualan (studi kasus pada perusahaan industri manufaktur sektor makanan dan minuman yang terdaftar di bursa efek indonesia tahun 2020–2022),” *Jurnal Akuntan Publik*, vol. 2, no. 3, pp. 102–112, 2024, doi: [10.59581/jap-widyakarya.v1i3.1041](https://doi.org/10.59581/jap-widyakarya.v1i3.1041).
 - [7] M. Norsita, F. Damayanti, and K. Z. Zahra, “Pengaruh biaya distribusi dan biaya promosi terhadap pertumbuhan laba,” *Jurnal Trial Balance*, vol. 2, pp. 121–136, 2024, doi: [10.61754/jutriance.v2i2.100](https://doi.org/10.61754/jutriance.v2i2.100).
 - [8] N. Hulu, L. M. Harahap, S. Marbun, D. A. Putri, M. Manik, and K. Sigalingging, “Efisiensi distribusi melalui optimasi biaya dan jarak dengan pendekatan metode transportasi,” *Jurnal of Economics Business and Management*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2025, doi: [10.56495/econobis.v1i1.937](https://doi.org/10.56495/econobis.v1i1.937).
 - [9] O. Niluminda and U. Ekanayake, “The novel efficient method to solve balanced and unbalanced profit maximization in transportation problems,” *American Journal of Mathematical and Computer Modelling*, vol. 8, no. 2, pp. 17–24, 2023, doi: [10.11648/j.ajmcm.20230802.11](https://doi.org/10.11648/j.ajmcm.20230802.11).
 - [10] M. R. Suhandi, A. E. Nursanto, M. Al Huffadz, and Budiharjo, “Optimasi biaya distribusi dengan menggunakan metode transportasi,” *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 1, no. 6, pp. 4463–4470, 2025, doi: [10.63822/pxs3en38](https://doi.org/10.63822/pxs3en38).
 - [11] D. P. Faeni, A. S. Ali, F. N. Putri, G. C. Suratmono, S. N. Kusumawardani, and Q. N. Ramadhani, “Penerapan metode transportasi untuk optimalisasi biaya distribusi kendaraan studi kasus pada pt astra,” *Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 2, no. 5, pp. 2318–2324, 2025, doi: [10.62335/sinergi.v2i5.1224](https://doi.org/10.62335/sinergi.v2i5.1224).
 - [12] A. D. Cahyani *et al.*, “Analisis optimalisasi distribusi logistik untuk meningkatkan efisiensi dan keefektifan operasional pada pt. xx,” *Industrika*, vol. 8, no. 3, pp. 654–665, 2024, doi: [10.37090/inds-trk.v8i3.1580](https://doi.org/10.37090/inds-trk.v8i3.1580).
 - [13] W. Sugianto and E. Susanti, “Optimasi biaya transportasi pada ukm kota batam,” *Journal of Industrial & Quality Engineering*, vol. 9, pp. 1–19, 2021, doi: [10.34010/owe.v9i1.4278](https://doi.org/10.34010/owe.v9i1.4278).
 - [14] I. Arofah and N. N. Gesthantiara, “Optimasi biaya distribusi barang dengan menggunakan model transportasi,” *Jurnal Matematika dan Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: [10.21009/jmt.3.1.1](https://doi.org/10.21009/jmt.3.1.1).
 - [15] J. Nisa, A. Aziz, B. Hermawan, and L. Yulia, “Optimasi biaya distribusi di spx express cabang serang menggunakan metode transportasi,” *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, vol. 2, no. 1, pp. 1299–1312, 2026.
 - [16] F. Manurung, D. Wahyu, A. Putri, and I. D. Samosir, “Penyelesaian masalah transportasi: Optimasi biaya menggunakan metode north west corner dan modi,” *Jurnal Statistika Universitas Jambi*, vol. 3, no. 2, pp. 115–121, 2024, doi: [10.22437/multiproximity.v3i2.40202](https://doi.org/10.22437/multiproximity.v3i2.40202).
 - [17] H. M. Hasibuan, P. T. Kurahman, E. D. A. A. Zam, and F. Rakhmawati, “Optimasi biaya distribusi dengan menggunakan metode transportasi,” *Jurnal Ilmiah Matematika*, vol. 7, pp. 235–245, 2026, doi: [10.63976/jimat.v7i1.1322](https://doi.org/10.63976/jimat.v7i1.1322).
 - [18] S. Y. Prayogi and M. I. Panjaitan, “Penerapan metode vogel’s approximation method (vam) dalam optimalisasi biaya transportasi pengiriman barang berbasis sistem informasi (studi kasus: Pt. coca-cola amatil indonesia (ccai) medan),” *Journal of Information Technology and Accounting*, vol. 5, no. 1, pp. 69–75, 2022.
 - [19] A. Cahyanti and Helma, “Penerapan metode modified distribution dengan metode vogel’s approximation sebagai solusi awal pada optimasi biaya transportasi pada ud salim abadi lampung,” *Journal of Mathematics UNP*, vol. 9, no. 1, pp. 132–139, 2021.