

OPTIMASI DISTRIBUSI LOGISTIK DENGAN MODEL TRANSPORTASI MENGUNAKAN ALGORITMA MODI DAN LINGO

Nerli Khairani¹, Arief Rachman Pakpahan², N. Aulia Asy Syifaa³, Khalista Amelia⁴

^{1,2,3,4}Matematika FMIPA Universitas Negeri Medan

¹nerlinst@yahoo.co.id, ²ariefpakpahan08@gmail.com, ³syifaaanun@gmail.com,

⁴khalista059@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to determine the optimal logistics distribution allocation through a transportation model, apply the Modified Distribution (MODI) algorithm to obtain minimum distribution costs, and utilize LINGO software to validate the optimization results. This study uses a quantitative approach with a numerical simulation on a balanced transportation model involving three supply source plants and three distribution destination warehouses. The determination of the initial basic solution was completed using Vogel's Approximation Method (VAM), followed by an optimality test using the MODI method, and computational verification via LINGO software. The results showed that the VAM method produced a feasible initial basic solution with a total distribution cost of IDR 9,450. Through the MODI optimality test, an optimal distribution solution was obtained in the second iteration with a final minimum total cost of IDR 9,150. This yielded a concrete logistical cost saving of IDR 300 or a budget efficiency of 3.17% from the initial solution. The manual calculation results showed complete alignment and were 100% identical to the computational output from LINGO, proving that the developed model is mathematically valid and accurate.

Keywords: Transportation Model, VAM, MODI, LINGO, Cost Optimization

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan alokasi distribusi logistik optimal melalui model transportasi, menerapkan algoritma *Modified Distribution* (MODI) untuk mendapatkan biaya distribusi minimum, dan memanfaatkan perangkat lunak LINGO untuk memvalidasi hasil optimasi. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan simulasi numerik pada model transportasi seimbang yang melibatkan tiga pabrik sumber pasokan dan tiga gudang tujuan distribusi. Penentuan solusi dasar awal diselesaikan menggunakan Metode Aproksimasi Vogel (VAM), diikuti dengan uji optimalitas menggunakan metode MODI, dan verifikasi komputasi melalui perangkat lunak LINGO. Hasil menunjukkan bahwa metode VAM menghasilkan solusi dasar awal yang layak dengan total biaya distribusi sebesar Rp 9.450. Melalui uji optimalitas MODI, solusi distribusi optimal diperoleh pada iterasi kedua dengan total biaya minimum akhir sebesar Rp 9.150. Hal ini menghasilkan penghematan biaya logistik konkret sebesar Rp 300 atau

efisiensi anggaran sebesar 3,17% dari solusi awal. Hasil perhitungan manual menunjukkan keselarasan sempurna dan 100% identik dengan keluaran komputasi dari LINGO, membuktikan bahwa model yang dikembangkan valid dan akurat secara matematis.

Kata Kunci: Model Transportasi, VAM, MODI, LINGO, Optimasi Biaya.

A. Pendahuluan

Distribusi logistik memegang peranan yang sangat krusial dalam keberlangsungan manajemen rantai pasok modern. Masalah utama yang sering dihadapi oleh penyedia jasa logistik maupun industri manufaktur adalah tingginya komponen biaya pengiriman dari beberapa titik sumber menuju berbagai lokasi tujuan. Untuk meminimalkan total pengeluaran tersebut, riset operasi menyediakan instrumen matematis berupa model transportasi linier. Model ini tidak hanya berfungsi sebagai alat efisiensi biaya, tetapi juga sebagai penentu kebijakan strategis dalam menjaga kestabilan distribusi komoditas di pasar (Taha, 2017). Dalam praktik distribusi, keputusan alokasi pengiriman yang kurang tepat dapat menimbulkan penggunaan sumber daya yang tidak efisien serta menyebabkan peningkatan biaya transportasi secara signifikan.

Dalam penyelesaian model transportasi, proses perhitungan umumnya dilakukan melalui dua tahapan utama yang saling berurutan. Tahap pertama adalah menentukan solusi awal yang layak (*Initial Basic Feasible Solution*) sebagai dasar pengisian tabel transportasi, yang

dapat diperoleh menggunakan metode seperti *North-West Corner* (NWC), *Least Cost* (LC), atau *Vogel's Approximation Method* (VAM). Namun, alokasi yang dihasilkan pada tahap awal tersebut belum tentu memberikan total biaya distribusi yang minimum. Oleh karena itu, diperlukan tahap lanjutan berupa uji keoptimuman terhadap solusi awal untuk memastikan bahwa alokasi yang diperoleh benar-benar menghasilkan biaya transportasi yang paling efisien.

Metode *Modified Distribution* (MODI) merupakan salah satu metode transportasi yang digunakan untuk memperoleh solusi optimal atau biaya distribusi minimum. Metode ini bekerja dengan menentukan nilai indeks baris dan indeks kolom pada setiap sel basis menggunakan persamaan:

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

dengan u_i menyatakan indeks baris, v_j menyatakan indeks kolom, dan c_{ij} merupakan biaya transportasi pada sel basis. Selanjutnya indeks perbaikan biaya untuk setiap sel non-basis dihitung menggunakan persamaan:

$$k_{ij} = c_{ij} - u_i - v_j$$

Solusi dinyatakan optimal apabila seluruh nilai indeks perbaikan memenuhi $k_{ij} \geq 0$, sedangkan apabila

masih terdapat nilai negatif maka dilakukan proses iterasi hingga diperoleh biaya distribusi minimum (Ariyanti & Azizah, 2019).

Penelitian terdahulu oleh (Amaluna et al., 2022) meneliti proses distribusi produk dengan model transportasi menggunakan metode *North West Corner* (NWC) dan *Software Lingo*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan model transportasi dapat membantu menentukan alokasi distribusi yang lebih efisien sehingga biaya pengiriman dapat diminimalkan. Perbedaan penelitian ini terletak pada penggunaan algoritma MODI dan LINGO dalam optimasi distribusi logistik.

Permasalahan dalam penelitian ini berfokus pada bagaimana menentukan alokasi distribusi logistik yang optimal menggunakan model transportasi, bagaimana penerapan algoritma *Modified Distribution* (MODI) dalam memperoleh solusi distribusi dengan total biaya minimum, serta bagaimana penggunaan *Software LINGO* digunakan untuk memverifikasi hasil optimasi yang diperoleh. Adapun tujuan penelitian ini adalah menentukan alokasi distribusi logistik yang optimal melalui model transportasi, menerapkan algoritma *Modified Distribution* (MODI) untuk memperoleh biaya distribusi minimum, serta memanfaatkan *Software LINGO* untuk memvalidasi hasil optimasi yang diperoleh.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis

studi simulasi numerik. Data yang digunakan berupa data simulasi (*dummy data*) yang disusun berdasarkan parameter model transportasi untuk menguji kinerja model dan efektivitas metode optimasi. Proses penyelesaian dilakukan secara manual menggunakan metode *Modified Distribution* (MODI), kemudian hasilnya diverifikasi menggunakan perangkat lunak LINGO.

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Sampel studi berupa satu set matriks simulasi berukuran $m \times n$, dengan m menyatakan jumlah sumber pasokan dan n menyatakan jumlah tujuan distribusi. Data studi disusun menggunakan data simulasi (*dummy data*) yang dirancang secara sistematis sesuai dengan parameter model transportasi. Nilai biaya pengiriman per unit (c_{ij}) ditetapkan dengan variasi data numerik untuk merepresentasikan perbedaan biaya transportasi. Selanjutnya, jumlah pasokan pada setiap sumber (S_i) dan jumlah permintaan pada setiap tujuan (D_j) dirancang agar memenuhi kondisi model transportasi seimbang (Ariyanti & Azizah, 2019), yaitu:

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j$$

2.2 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam studi ini dilakukan melalui kombinasi perhitungan manual dan verifikasi menggunakan perangkat lunak. Tahapan analisis data dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

1. Penentuan Solusi Awal: Matriks simulasi terlebih dahulu diselesaikan menggunakan *Vogel's Approximation Method* (VAM) untuk memperoleh solusi basis awal pada tabel transportasi. Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan alokasi awal yang relatif mendekati solusi optimal (Angel et al., 2025).

2. Uji Keoptimuman dengan Metode *Modified Distribution* (MODI): Berdasarkan solusi awal yang telah memenuhi syarat jumlah variabel basis sebanyak $m + n - 1$, selanjutnya dilakukan uji keoptimuman menggunakan metode *Modified Distribution* (MODI) (Ariyanti & Azizah, 2019). Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut:

- Menentukan nilai indeks baris (u_i) dan indeks kolom (v_j) pada setiap sel basis dengan menggunakan persamaan (1), dengan menetapkan nilai awal $u_1 = 0$.
- Menghitung indeks perbaikan biaya (k_{ij}) untuk mengevaluasi setiap sel kosong (variabel non-basis) dengan persamaan (2)
- Solusi dinyatakan optimal apabila seluruh nilai indeks perbaikan memenuhi $k_{ij} \geq 0$. Jika masih terdapat nilai $k_{ij} < 0$, maka dilakukan penyesuaian alokasi melalui pembentukan jalur tertutup (*closed loop*), kemudian proses iterasi dilanjutkan hingga diperoleh solusi optimal minimum (Angel et al., 2025).

3. Validasi Komputasi menggunakan Software LINGO: Model transportasi selanjutnya diformulasikan ke dalam bentuk pemrograman linear dan diimplementasikan pada software LINGO untuk memverifikasi hasil perhitungan manual. Fungsi tujuan yang digunakan adalah meminimumkan total biaya distribusi (LINDO Systems Inc., 2020), yang dinyatakan sebagai:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij}$$

Fungsi tujuan tersebut diselesaikan dengan memperhatikan kendala kapasitas pasokan pada setiap sumber, kendala pemenuhan permintaan pada setiap tujuan, serta kendala non-negatif ($x_{ij} \geq 0$) (Taha, 2017). Kendala model dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i, \forall i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, \forall j$$

4. Analisis Komparatif: Tahap akhir dilakukan dengan membandingkan nilai minimum Z yang diperoleh melalui perhitungan manual metode MODI dengan hasil *Global Optimal Solution* dari LINGO. Selain itu, nilai indeks perbaikan (k_{ij}) pada sel non-basis dibandingkan dengan nilai *Reduced Cost* pada output LINGO untuk menguji konsistensi hasil serta kesesuaian konsep dualitas antara perhitungan manual dan komputasional.

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian ini, model numerik dirancang dengan melibatkan 3 titik pabrik sebagai sumber pasokan, yaitu Pabrik 1, Pabrik 2, dan Pabrik 3, serta 3 titik gudang sebagai tujuan distribusi, yaitu Gudang 1, Gudang 2, dan Gudang 3. Parameter yang digunakan meliputi biaya pengiriman (c_{ij}), kapasitas pasokan (S_i), dan volume permintaan (D_j), yang disusun dalam bentuk model transportasi seimbang (*balanced transportation model*), dengan total pasokan sama dengan total permintaan, yaitu sebesar 1.200 unit.

3.1 Penentuan Solusi Basis Awal Menggunakan *Vogel's Approximation Method* (VAM)

Penentuan solusi basis awal dilakukan menggunakan *Vogel's Approximation Method* (VAM). Metode ini diawali dengan menghitung nilai penalti pada setiap baris dan kolom, yaitu selisih antara dua biaya pengiriman terkecil. Selanjutnya, alokasi dilakukan pada baris atau kolom yang memiliki nilai penalti terbesar, kemudian kuantitas dialokasikan pada sel dengan biaya terkecil (Angel et al., 2025).

Berdasarkan hasil perhitungan VAM hingga iterasi keempat, proses alokasi dilakukan secara bertahap sampai seluruh kapasitas dan permintaan terpenuhi. Pada iterasi pertama, nilai penalti terbesar diperoleh pada baris Pabrik 3, yaitu sebesar 6. Oleh karena itu, alokasi pertama ditempatkan pada sel dengan

biaya pengiriman terendah di baris tersebut, yaitu dari Pabrik 3 ke Gudang 1 dengan biaya sebesar 3 per unit. Karena permintaan Gudang 1 sebesar 250 unit masih dapat dipenuhi, maka sebanyak 250 unit langsung dialokasikan pada sel tersebut.

Tabel 6.3.1 Solusi Basis Awal Metode VAM

Sumber/Tujuan	Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Supply
Pabrik 1	(8) 300	(5) 300	(6)	300
Pabrik 2	(15)	(10) 150	(12) 350	500
Pabrik 3	(3) 250	(9)	(10) 150	400
Demand	250	450	500	1200

Setelah dilakukan pembaruan kapasitas dan permintaan, iterasi kedua menunjukkan bahwa penalti terbesar berada pada kolom Gudang 2 dengan nilai 5. Sel dengan biaya terkecil pada kolom tersebut adalah jalur dari Pabrik 1 ke Gudang 2 dengan biaya 5 per unit. Kapasitas yang tersedia di Pabrik 1 sebesar 300 unit kemudian dialokasikan seluruhnya ke Gudang 2 hingga kapasitas sumber tersebut habis.

Pada iterasi ketiga, hasil perhitungan kembali menunjukkan adanya nilai penalti yang sama besar, yaitu 2, pada baris Pabrik 2 dan kolom Gudang 3. Dalam kondisi ini dipilih kolom Gudang 3 sebagai prioritas alokasi. Sisa kapasitas pada Pabrik 3 sebanyak 150 unit kemudian dialokasikan ke Gudang 3 melalui jalur dengan biaya 10 per unit.

Selanjutnya, pada iterasi keempat, hanya Pabrik 2 yang masih memiliki sisa kapasitas sehingga proses alokasi dilakukan secara langsung untuk memenuhi permintaan yang tersisa. Sebanyak 150 unit dialokasikan ke Gudang 2, sedangkan 350 unit lainnya dikirim ke Gudang 3 sampai seluruh permintaan dan kapasitas terpenuhi secara seimbang.

Berdasarkan hasil alokasi awal, diperoleh 5 sel basis. Jumlah tersebut telah memenuhi syarat non-degenerasi model transportasi, yaitu: $m + n - 1 = 3 + 3 - 1 = 5$. Total biaya distribusi awal dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_0 &= (300 \times 5) + (150 \times 10) + (350 \times 12) \\ &\quad + (250 \times 3) + (150 \times 10) \\ Z_0 &= (300 \times 5) + (150 \times 10) + (350 \times 12) \\ &\quad + (250 \times 3) + (150 \times 10) \\ Z_0 &= 9.450 \end{aligned}$$

3.2 Uji Keoptimuman Menggunakan Algoritma MODI

Setelah solusi basis awal diperoleh melalui metode VAM, langkah selanjutnya adalah menguji keoptimuman solusi menggunakan algoritma *Modified Distribution* (MODI). Metode ini dilakukan dengan menghitung nilai indeks baris (u_i), indeks kolom (v_j), serta indeks perbaikan biaya (k_{ij}) pada setiap sel non-basis (Liefod et al., 2023).

Iterasi 1

1. Menentukan Nilai Indeks (u_i) dan (v_j)

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

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

Dengan nilai awal ditetapkan $u_1 = 0$. Berdasarkan sel-sel basis yang terisi pada tabel solusi awal VAM, diperoleh:

$$\begin{aligned} u_1 + v_2 &= 5 \rightarrow v_2 = 5 \\ u_2 + v_2 &= 10 \rightarrow u_2 + 5 = 10 \rightarrow u_2 = 5 \\ u_2 + v_3 &= 12 \rightarrow 5 + v_3 = 12 \rightarrow v_3 = 7 \\ u_3 + v_3 &= 10 \rightarrow u_3 + 7 = 10 \rightarrow u_3 = 3 \\ u_3 + v_1 &= 3 \rightarrow 3 + v_1 = 3 \rightarrow v_1 = 0 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} u &= (0, 5, 3) \\ v &= (0, 5, 7) \end{aligned}$$

2. Menghitung Indeks Perbaikan (k_{ij})
 Indeks perbaikan dihitung menggunakan persamaan:

$$k_{ij} = c_{ij} - u_i - v_j$$

Untuk setiap sel non-basis diperoleh:

$$\begin{aligned} k_{11} &= 8 - 0 - 0 = 8 \\ k_{13} &= 6 - 0 - 7 = -1 \\ k_{21} &= 15 - 5 - 0 = 10 \\ k_{32} &= 9 - 3 - 5 = 1 \end{aligned}$$

Karena terdapat nilai negatif pada sel (1,3) yaitu $k_{13} = -1$, maka solusi awal belum optimal.

3. Pembentukan Jalur Tertutup

Sel (1,3) dipilih sebagai *entering variable*. Jalur tertutup yang terbentuk adalah:

$$(1,3)^+ \rightarrow (2,3)^- \rightarrow (2,2)^+ \rightarrow (1,2)^- \rightarrow (1,3)$$

Nilai pergeseran alokasi ditentukan dari nilai minimum pada sel bertanda negatif:

$$\theta = \min(350, 300) = 300$$

4. Penyesuaian Alokasi

Alokasi baru diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_{13} &= 0 + 300 = 300 \\x_{23} &= 350 - 300 = 50 \\x_{22} &= 150 + 300 = 450 \\x_{12} &= 300 - 300 = 0\end{aligned}$$

Sedangkan:

$$x_{31} = 250, \quad x_{33} = 150$$

tetap.

Tabel 6.3.2 Hasil Alokasi Setelah Iterasi 1 Metode MODI

Sumber/Tujuan	Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Supply
Pabrik 1	(8)	(5)	(6) 300	300
Pabrik 2	(15)	(10) 450	(12) 50	500
Pabrik 3	(3) 250	(9)	(10) 150	400
Demand	250	450	500	1200

Iterasi 2

1. Menentukan Nilai Indeks (u_i) dan (v_j)

Perhitungan awal kembali dilakukan menggunakan persamaan:

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

Dengan nilai awal ditetapkan $u_1 = 0$. Maka diperoleh:

$$\begin{aligned}u_1 + v_3 &= 6 \rightarrow v_3 = 6 \\u_2 + v_3 &= 12 \rightarrow u_2 + 6 = 12 \rightarrow u_2 = 6 \\u_2 + v_2 &= 10 \rightarrow 6 + v_2 = 10 \rightarrow v_2 = 4 \\u_3 + v_3 &= 10 \rightarrow u_3 + 6 = 10 \rightarrow u_3 = 4 \\u_3 + v_1 &= 3 \rightarrow 4 + v_1 = 3 \rightarrow v_1 = -1\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh:

$$u = (0, 6, 4)$$

$$v = (-1, 4, 6)$$

2. Menghitung Indeks Perbaikan (k_{ij})
 Nilai Indeks perbaikan dihitung menggunakan persamaan:

$$k_{ij} = c_{ij} - u_i - v_j$$

Untuk setiap sel non-basis diperoleh:

$$k_{11} = 9 - 0 - (-1) = 9$$

$$k_{12} = 5 - 0 - 4 = 1$$

$$k_{21} = 15 - 6 - (-1) = 10$$

$$k_{32} = 9 - 4 - 4 = 1$$

Seluruh nilai indeks memenuhi $k_{ij} \geq 0$. Hal ini menunjukkan tidak terdapat lagi peluang penurunan biaya, sehingga solusi distribusi telah mencapai optimal (Angel et al., 2025).

3. Pehitungan Biaya Minimum Optimal

Total biaya distribusi optimal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Z &= (300 \times 6) + (450 \times 10) + (50 \times 12) \\&\quad + (250 \times 3) + (150 \times 10) \\Z &= 1.800 + 4.500 + 600 + 750 + 1.500 \\Z &= 9.150\end{aligned}$$

Dengan demikian, penerapan metode MODI berhasil menurunkan total biaya distribusi dari biaya awal sebesar Rp9.450 menjadi Rp9.150, dengan total penghematan biaya sebesar Rp300.

Tabel 6.3.3 Solusi Optimal Hasil Metode MODI

Sumber/Tujuan	Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Supply
Pabrik 1	(8)	(5)	(6) 300	300
Pabrik 2	(15)	(10) 450	(12) 50	500

Pabrik 3	(3)	(9)	(10)	400
	250		150	
Demand	250	450	500	120
				0

3.3 Verifikasi Komputasi dan Analisis Perbandingan Hasil Menggunakan LINGO

Untuk memverifikasi keakuratan hasil perhitungan manual menggunakan metode VAM dan MODI, model transportasi selanjutnya diimplementasikan ke dalam software LINGO melalui formulasi pemrograman linear. Model disusun berdasarkan fungsi tujuan minimisasi total biaya distribusi dengan memperhatikan kendala kapasitas pasokan dan pemenuhan permintaan pada setiap titik distribusi.

LINGO/WIN64 22.0.147 (24 Mar 2026), LINDO API 16.0.7099.134		
Licensee info: Eval Use Only		
License expires: 8 NOV 2026		
Global optimal solution found.		
Objective value:		9150.0000
Infeasibilities:		0.000000
Total solver iterations:		5
Time to best solution seconds:		0.14
Elapsed runtime seconds:		0.14
Model Class:		LP
Total variables:	9	
Nonlinear variables:	0	
Integer variables:	0	
Total constraints:	7	
Nonlinear constraints:	0	
Total nonzeros:	27	
Nonlinear nonzeros:	0	
Variable	Value	Reduced Cost
X11	0.000000	9.000000
X12	0.000000	1.000000
X13	300.0000	0.000000
X21	0.000000	10.000000
X22	450.0000	0.000000
X23	50.000000	0.000000
X31	250.0000	0.000000
X32	0.000000	1.000000
X33	150.0000	0.000000
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	9150.000	-1.000000
2	0.000000	-4.000000
3	0.000000	-10.000000
4	0.000000	-8.000000
5	0.000000	5.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	-2.000000

Gambar 3.1. Tampilan Jendela *LINGO Solver Status* Hasil Optimasi Model Transportasi

Setelah proses komputasi dijalankan, LINGO menunjukkan status Global Opt, yang menandakan bahwa solver berhasil memperoleh solusi optimal global. Nilai fungsi tujuan (*objective value*) yang diperoleh adalah sebesar **9150**, dengan nilai *infeasibility* sebesar **0**, yang menunjukkan bahwa seluruh kendala model telah terpenuhi. Proses optimasi diselesaikan dalam 2 iterasi, dengan total 9 variabel keputusan dan 7 kendala model.

Berdasarkan laporan solusi (*solution report*), pola alokasi distribusi optimal yang diperoleh adalah:

$$x_{13} = 300, x_{22} = 450, x_{23} = 50, x_{31} = 250, x_{33} = 150$$

Sedangkan variabel:

$$x_{11} = 0, x_{12} = 0, x_{21} = 0, x_{32} = 0$$

Nilai *Reduced Cost* yang dihasilkan LINGO untuk sel non-basis adalah:

$$X_{11} = 9, X_{12} = 1, X_{21} = 10, X_{32} = 1$$

Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan metode MODI. Perbandingan menunjukkan bahwa nilai fungsi tujuan minimum, pola alokasi distribusi, serta nilai indeks perbaikan (k_{ij}) pada sel non-basis memiliki hasil yang identik.

Berdasarkan hasil verifikasi yang telah dilakukan, solusi optimal yang diperoleh melalui perhitungan manual menggunakan metode MODI menunjukkan hasil yang konsisten dengan output komputasi dari LINGO. Kesesuaian nilai fungsi tujuan, pola alokasi distribusi, serta indeks perbaikan pada setiap sel menunjukkan bahwa model transportasi yang dikembangkan telah memenuhi validitas matematis dan mampu menghasilkan solusi optimal secara akurat.

D. Kesimpulan

Kesimpulan Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Vogel's Approximation Method* (VAM) mampu menghasilkan solusi basis awal yang layak pada model transportasi dengan total biaya distribusi sebesar Rp 9.450. Solusi awal yang diperoleh memenuhi syarat non-degenerasi, yaitu sebanyak $m + n - 1 = 5$ variabel basis. Selanjutnya, melalui uji keoptimuman menggunakan metode *Modified Distribution* (MODI), diperoleh solusi distribusi optimal dengan total biaya minimum sebesar Rp 9.150. Hasil tersebut menunjukkan adanya penghematan biaya sebesar Rp 300 atau 3,17% dari solusi awal. Hasil perhitungan manual juga menunjukkan kesesuaian dengan output komputasi menggunakan software LINGO, sehingga model yang dikembangkan terbukti valid dan akurat.

Penelitian ini masih terbatas pada model transportasi seimbang dengan satu jenis produk dan parameter biaya yang bersifat deterministik. Oleh karena itu, studi selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model dengan jumlah sumber dan tujuan yang lebih kompleks, menerapkan kasus distribusi multi-produk, atau memasukkan unsur ketidakpastian parameter melalui pendekatan *fuzzy transportation* agar model yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi distribusi yang lebih realistis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaluna, M. I., Alamsyah, N., Khofia, R., & Fauzi, M. (2022). Mengoptimalkan Biaya Transportasi Menggunakan Metode North West Corner (NWC) Dan Software Lingo. *Jurnal Manajemen Teknologi Dan Teknik Industri Universitas Kadiri*, 4(1), 26–36.
- Angel, B., Iskandar, H., & Wibowo, P. A. (2025). Analisis Operation Research dengan Metode Transportasi, MODI dan Stepping Stone pada Proses Distribusi untuk Meminimasi Biaya Pengiriman di CV. Partoba Jakarta. *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(4), 4623–4634.
- Ariyanti, N., & Azizah, N. L. (2019). *Buku Ajar Mata Kuliah Teknik Optimasi*. UMSIDA Press.
- Liefofid, Y. M. V, Sentry, I. M., &

Uscha, C. M. (2023). Optimasi Biaya Distribusi Semen Menggunakan Uji Optimal Metode Stepping Stone Dan Metode Modified Distribution (MODI). *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik (JURRITEK)*, 2(2), 74–83.

LINDO Systems Inc. (2020). *LINGO User's Guide*.

Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Pearson Education Limited.