



Implementasi Metode Transportasi Seimbang pada PT Shaput Octo Jaya

Pesta Gultom ¹, Fransiska Tamara Br Simbolon ^{2*}, Dea Nabila Putri ³, Stefany Gloria Br Manullang ⁴, Angerago Firman Ndraha ⁵, Grace Lestari Putri Keisha Aritonang ⁶

¹⁻⁶ Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Eka Prasetya Medan, Indonesia

Email : fransiskatamarasimbolon@gmail.com *

Abstract, This paper discusses the methodologies for balanced transportation problems and their solutions, focusing on efficient and cost-effective distribution of goods from multiple sources to various destinations. The study highlights the importance of maintaining supply and demand balance and explores systematic approaches such as initial solution methods—North-West Corner, Least Cost, and Vogel Approximation Method—and the optimal solution technique, Stepping Stone. An illustrative case involving a company with multiple factories and markets demonstrates the application of these methods, resulting in minimized transportation costs. Additionally, the process of fertilizer allocation and cost analysis is examined, emphasizing the use of the Stepping Stone method to achieve cost minimization. The findings underscore the effectiveness of combining initial heuristics with iterative optimization to attain optimal transportation solutions, thereby enhancing logistical efficiency and reducing operational expenses.

Keywords: Balanced Transportation Problem, Goods Allocation, Goods Distribution, Initial Solution (North-West Corner, Least Cost, Vogel Approximation), Transportation Cost, Transportation Problem Balance, Transportation Method, Transportation Optimization, Transportation Problem Solving, Stepping Stone Method

Abstrak, Artikel ini membahas metode-metode untuk menyelesaikan masalah transportasi seimbang dan solusi yang efektif, dengan fokus pada distribusi barang secara efisien dan ekonomis dari beberapa sumber ke berbagai tujuan. Penelitian menyoroti pentingnya menjaga keseimbangan antara pasokan dan permintaan serta mengeksplorasi pendekatan sistematis seperti metode solusi awal—North-West Corner, Biaya Terendah, dan Vogel Approximation Method—serta teknik solusi optimal, Stepping Stone. Sebuah studi kasus yang melibatkan perusahaan dengan beberapa pabrik dan pasar menunjukkan penerapan metode tersebut, menghasilkan biaya transportasi yang minimal. Selain itu, proses alokasi pupuk dan analisis biaya juga dibahas, dengan penekanan pada penggunaan metode Stepping Stone untuk mencapai biaya minimum. Temuan ini menegaskan efektivitas kombinasi antara heuristik awal dan optimisasi iteratif dalam memperoleh solusi transportasi yang optimal, sehingga meningkatkan efisiensi logistik dan mengurangi biaya operasional.

Kata kunci: Alokasi Barang, Biaya Transportasi, Distribusi Barang, Keseimbangan Permasalahan Transportasi, Metode Stepping Stone, Metode Transportasi, Masalah Transportasi Seimbang, Penyelesaian Masalah Transportasi, Pengoptimalan Transportasi, Solusi Awal (North-West Corner, Least Cost, Vogel Approximation)

1. PENDAHULUAN

Secara umum arti transportasi adalah adanya perpindahan barang dari suatu tempat ke tempat lain dan dari beberapa tempat ke beberapa tempat lain. Tempat atau tempat-tempat asal barang disebut juga dengan istilah sumber atau sumber-sumber (resources). Sedangkan tempat atau tempat-tempat tujuan disebut destination. Hal ini merupakan bagian dari kehidupan nyata manusia untuk memindahkan barang dari satu tempat ke tempat lain sesuai dengan kebutuhannya. Misalnya, di suatu tempat asal barang mempunyai jumlah produk yang berlebih sehingga perlu ditransportasikan ke tempat lain yang memerlukannya (P, Suyadi, 2005).

Dalam arti sederhana, masalah transportasi berusaha menentukan sebuah rencana transportasi sebuah barang dari sejumlah sumber ke sejumlah tujuan. Masalah transportasi

berkaitan dengan penentuan rencana berbiaya rendah untuk mengirimkan suatu barang dari sejumlah sumber (misalnya, pabrik) ke sejumlah tujuan (misalnya, gudang). Dalam arti lain, transportasi adalah aplikasi yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama, ke tempat-tempat yang membutuhkan produk tersebut secara optimal. Masalah transportasi pada dasarnya merupakan (Gultom et al., 2022)

Menurut Andi Wijaya (2013) metode transportasi merupakan bagian dari Linier Programming yang digunakan untuk mengatur dan mendistribusikan sumber-sumber yang menyediakan produk ke tempat-tempat yang membutuhkan untuk mencapai efisiensi biaya transportasi. Alokasi produk harus memperhatikan biaya distribusi dari satu tempat ke tempat yang lain, hal ini dikarenakan adanya perbedaan dari biaya-biaya tersebut. Metode transportasi merupakan salah satu teknik manajemen dalam mendistribusikan produk dari gudang ke tempat yang dituju.". Metode transportasi sangat dibutuhkan oleh perusahaan yang melakukan kegiatan pengiriman barang dalam usahanya. Dengan adanya metode transportasi, perusahaan akan lebih efektif dan efisien dalam kegiatan pendistribusian produknya

Dari pendapat-pendapat di atas penulis menyimpulkan, bahwa pada dasarnya Metode Transportasi merupakan metode yang digunakan untuk mengalokasikan barang dari beberapa sumber ke berbagai tujuan agar pendistribusian barang dapat terlaksana sesuai permintaan dan penawaran dengan biaya transportasi yang minimum (Gultom et al., 2022)

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Keseimbangan Permasalahan Transportasi

Keseimbangan permasalahan transportasi adalah permasalahan biaya angkutan barang di mana jumlah barang yang dipasok dari tempat asal sama dengan jumlah barang yang diminta di tempat tujuan. Dalam kehidupan nyata, tidak selalu dapat dipastikan bahwa penawaran sama dengan permintaan. Tetapi, sebuah model transportasi dapat selalu berimbang. Pengimbangan ini, di samping kegunaannya dalam pemodelan situasi praktis tertentu, adalah penting untuk pengembangan sebuah metode pemecahan yang sepenuhnya memanfaatkan struktur khusus dari model transportasi ini (Gultom et al., 2022).

Metode transportasi dilakukan dengan menyusun tabel transportasi terlebih dahulu yang berisi sumber dan tujuan pendistribusian barang, serta jumlah kapasitas dan permintaan dari berbagai sumber dan tujuan tersebut (Gultom et al., 2022).

Metode Penyelesaian Masalah Transportasi

Terdapat dua tahapan dalam penyelesaian masalah transportasi, yaitu:

1. Solusi awal yang terdiri dari :
 - a. Metode sudut barat laut (north west corner rules/NWCR)
 - b. Biaya terendah (least cost), dan
 - c. Vogel Approximation (VAM)
2. Solusi optimal, yaitu :
 - a. Metode batu loncatan (stepping stone)

Metode Transportasi Menggunakan Solusi Awal

Metode North-West Corner

Metode Sudut Barat Laut (North West Corner Method) adalah sebuah metode untuk menyusun tabel awal dengan cara mengalokasikan distribusi mulai dari sel yang terletak pada sudut kiri atas. Itulah sebabnya dinamakan Metode Barat Laut" (Gultom et al., 2022). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Membuat tabel transportasi
- b. Pengalokasian pertama dimulai pada sudut kiri atas pojok barat laut tabel dan dialokasikan sebanyak mungkin pada tabel tanpa menyimpang dari kendala penawaran atau permintaan
- c. Ini akan menghabiskan penawaran pada sumber 1 dan atau permintaan pada tujuan 1. Akibatnya, tak ada lagi barang yang dapat dialokasikan ke kolom atau baris yang telah dihabiskan dan kemudian baris atau kolom itu tidak ada pengalokasian lagi.
- d. Alokasikan sebanyak mungkin ke kotak di dekatnya pada baris atau kolom yang masih memungkinkan. Jika kolom maupun baris telah dihabiskan, pindahlah secara diagonal ke kotak berikutnya.
- e. Lanjutkan dengan cara yang sama sampai semua penawaran telah dihabiskan dan keperluan permintaan telah dipenuhi

Metode Biaya Terendah (Least Cost Method)

Metode Biaya Terendah adalah metode yang membuat alokasi berdasarkan pada biaya yang terendah/terkecil LC bias digunakan sebagai langkah awal dari metode transportasi (Gultom et al., 2022). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Membuat table transportasi
- b. Mengidentifikasi sel dengan biaya yang paling rendah. jika pada sel terdapat biaya yang sama, pilih salah satu.
- c. Alokasikan unit sebanyak mungkin untuk sel tersebut tanpa melebihi pasokan atau permintaan. Kemudian coret kolom atau baris yang tidak mungkin di tambahkan lagi.
- d. Teruskan pengalokasian pada sel dengan biaya yang paling rendah dari sisa

- e. Ulangi langkah ke 2 dan 3 sampai semua unit habis dialokasikan.

Vogel Approximation Method (VAM)

Metode Vogel atau Vogel's Approximation Method (VAM) biasanya memberikan pemecahan awal yang lebih baik dari metode awal lainnya. Pada kenyataannya VAM memberikan hasil pemecahan awal yang lebih optimum atau mendekati optimum dalam mengalokasikan sumber daya dari beberapa sumber ke beberapa tujuan (daerah pemasaran) (Gultom et al., 2022). Langkah-langkahnya sebagai berikut.

- a. Membuat tabel transportasi
- b. Cari dua biaya terendah dari masing-masing baris dan kolom
- d. Pilih selisih biaya terbesar pada baris/kolom tersebut (apabila terdapat selisih terbesar yang sama, maka dapat dipilih salah satunya)
- b. Alokasikan produk sebanyak-banyaknya (d disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan) di sel yang memiliki biaya transport yang terendah pada baris/kolom yang memiliki selisih terbesar tersebut
- c. Baris atau Kolom yang sudah digunakan tidak dapat digunakan kembali.
- d. Ulangi langkah b sampai semua produk dialokasikan sesuai dengan kapasitas dan permintaan

Metode Transportasi Solusi Optimal

Metode batu loncatan (stepping stone)

Metode Stepping Stone adalah metode untuk mendapatkan solusi optimal dari masalah transportasi (biaya minimum), metode ini bersifat trial and error, yaitu dengan mencoba-coba memindahkan sel yang ada isinya (stone) ke sel yang kosong (water). Tujuan pemindahan ini adalah harus mengurangi biaya, untuk itu harus dipilih sedemikian rupa sel-sel kosong yang biaya transportasinya kecil dan memungkinkan dilakukan pemindahan (Gultom et al., 2022).

Metode Stepping Stone diawali dengan menggunakan metode langkah awal North West Corner (NWC), atau Least Cost, atau Vogel Aproximation Method (VAM).

Langkah-langkah penyelesaian dengan metode stepping stone:

- a. Tentukan langkah awal yang akan digunakan. Dapat menggunakan langkah awal North West Corner (NWC), Least Cost, atau Vogel Aproximation Method (VAM).
- b. Hitung nilai setiap kotak kosong
- c. Nilai untuk setiap kotak kosong bernilai positif (+).
- d. Perhitungan kotak kosong dimulai dari +,-,-diawali dengan + dan diakhiri dengan
Harus

- e. Dalam menghitung kotak kosong, pastikan anda dapat kembali ke kotak kosong.
- f. Setelah menghitung nilai dari semua kotak kosong. Pilih kotak kosong yang memiliki nilai minus (-) paling besar.
- g. Pilih dan pindahkan nilai terkecil yang bersebelahan dengan kotak kosong.

Lakukan kembali langkah (a) s.d (g) hingga tidak ada nilai minus (-)

Contoh Metode Transportasi yang Seimbang

PT. Shaput Octo Jaya memiliki tiga buah pabrik pupuk di Belawan, T. Morawa, dan Binjai dengan kapasitas masing-masing 2500 ton, 1700 ton, dan 1700 ton, dan memiliki daerah pemasaran di Asahan, Kabanjahe, dan Sibolga dengan permintaan masing-masing 3100 ton, 1500 ton, dan 1300 ton. Biaya angkut per ton (dalam ribuan) dari pabrik ke daerah pemasaran seperti tertera pada table di bawah ini.

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	17	11	13	2500
Jakarta	31	21	25	1700
Surabaya	7	19	21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Tentukan alokasi pupuk dari pabrik ke daerah pemasaran dan berapa biaya transportasinya.

3. SOLUSI AWAL

Metode Sudut Barat Laut (North-West Corner)

- a. Sebanyak mungkin dialokasikan ke X_{11}
- b. X_{11} minimum di antara [2500, 3100], berarti $X_{11} = 2500$ Ini menghabiskan penawaran pabrik 1 dan akibatnya, pada Langkah selanjutnya baris 1 dihilangkan.
- c. Karena $X_{11} = 2500$ maka permintaan pada tujuan 1 belum terpenuhi sebanyak 600. Kotak di dekatnya, X_{21} di alokasikan sebanyak mungkin sesuai dengan $X_{21} = \min [3100 - 2500, 1700] = 600$ ini menghilangkan kolom 1 pada langkah selanjutnya.
- d. Kemudian $X_{22} = \min [1700 - 600, 1500] = 1100$ yang menghilangkan baris 2
- e. $X_{23} = \min [1500 - 1100, 1700] = 400$

f. $X_{33} = \min[1700 - 400, 1300] = 1300$

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	2500 17	X 11	X 13	2500
Jakarta	600 31	1100 21	X 25	1700
Surabaya	X 7	400 19	1300 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Untuk alokasi ini, biaya transport total adalah:

$$\begin{aligned}
 Z &= (2500 \times 17000) + (600 \times 31000) + (1100 \times 21000) + (400 \times 19000) + (1300 \times 21000) \\
 &= 42.500.000 + 18.600.000 + 23.100.000 + 7.600.000 + 27.300.000 \\
 &= \mathbf{119.100.000}
 \end{aligned}$$

Ingat bahwa ini hanya solusi awal, belum optimal.

Metode Biaya Terendah (Least Cost)

- Alokasi pertama kali dilakukan pada biaya (ongkos) terkecil, yaitu Rp.7000.- dialokasikan pupuk sebesar 1700 ton diperoleh dari min (1700, 3100)
- Biaya (ongkos) terkecil kedua yaitu Rp. 10.000, dialokasikan pupuk sebesar 1500 ton diperoleh dari min (2500, 1500)
- Biaya (ongkos) terkecil ketiga yaitu Rp. 12.000, dialokasikan pupuk sebesar 1000 ton diperoleh dari min (2500-1500, 1300)
- Biaya (ongkos) terkecil keempat yaitu Rp. 25.000, dialokasikan pupuk sebesar 300 ton, diperoleh dari min (1700, 1300-1000)
- Biaya (ongkos) terkecil kelima yaitu Rp. 30.000, alokasikan pupuk sebesar 1400 ton, diperoleh dari min (1700-300, 3100-1700)

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	X 17	1500 11	1000 13	2500
Jakarta	1400 31	X 21	300 25	1700

Surabaya	1700 7	X 19	X 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Untuk alokasi ini, biaya transport total adalah:

$$\begin{aligned}
 Z &= (1500 \times 11000) + (1000 \times 13000) + (1400 \times 31000) + (300 \times 25000) + (1700 \times 7000) \\
 &= 16.500.000 + 13.000.000 + 43.400.000 + 7.500.000 + 11.900.000 \\
 &= \mathbf{92.300.000}
 \end{aligned}$$

Ingat bahwa ini hanya solusi awal, belum optimal.

Metode Vogel Approximation (VAM)

- Tentukan selisih ongkos terbesar dari baris ke baris, lalu alokasikan pupuk ke dalam sel yang memiliki ongkos terendah. Dalam kasus sel selisih terbesar yaitu 12 diperoleh dari $(C_{32}-C_{31})$ $(19-7)$. Karena X_3 memiliki ongkos terendah yaitu 6, maka dialokasikan pupuk ke sel X sebesar $\min(1700, 3100) = 1700$
- Tentukan selisih ongkos dari kolom ke kolom, lalu alokasikan pupuk ke dalam sel yang memiliki ongkos terendah. Dalam kasus sel X_n mempunyai selisih terbesar yaitu 14 diperoleh dari $(C_{21}-C_{11})=(31-17)$. Karena X , memiliki ongkos terendah yaitu 17, maka dialokasikan pupuk ke sel X_{11} sebesar $\min(2500, 3100-1700) = 1400$
- Tentukan selisih ongkos terbesar kedua dari baris ke baris, lalu alokasikan pupuk ke dalam sel yang memiliki ongkos terendah. Ke dalam sel X_{22} dialokasikan pupuk sebesar $\min(1700, 1500) = 1500$
- Tentukan selisih ongkos terbesar kedua dari kolom ke kolom, lalu alokasikan pupuk ke dalam sel yang memiliki ongkos terendah. Ke dalam sel X_{13} dialokasikan pupuk sebesar $\min(2500-1500, 1300) = 1100$
- Tentukan selisih ongkos terbesar ketiga dari baris ke baris, lalu alokasikan pupuk ke dalam sel yang memiliki ongkos terendah. Karena sel X_{22} yang memiliki ongkos terendah sudah terisi, untuk memenuhi jumlah permintaan, dan menyalurkan jumlah kapasitas maka pupuk dialokasikan ke sel X_{23} sebesar $\min(1700-1500, 1300-1100) = 200$

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	1400 17	X 11	1100 13	2500

Jakarta	X 31	1500 21	200 25	1700
Surabaya	1700 7	X 19	X 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Untuk alokasi ini, biaya transportasi total adalah:

$$\begin{aligned}
 Z &= (1400 \times 17000) + (1100 \times 13000) + (1500 \times 21000) + (200 \times 25000) + (1700 \times 7000) \\
 &= 23.800.000 + 14.300.000 + 31.500.000 + 5.000.000 + 11.900.000 \\
 &= 86.500.000
 \end{aligned}$$

Ingat bahwa ini hanya solusi awal, belum optimal.

Metode Stepping Stone (Batu Loncatan)

Langkah 1. Dengan menggunakan solusi awal yang telah

dikerjakan di atas (sudut barat laut) dilakukan pengujian menggunakan solusi optimal dengan menggunakan metode batu loncatan untuk memastikan apakah biaya transportasi tersebut telah minimum. Sebelum dilakukan pengujian solusi optimal, harus dipastikan tidak terdapat degenerasi dan redundansi, artinya sel yang terisi harus memenuhi syarat $b+k-1$ (dimana b =baris, dan k =kolom). Pada contoh kasus tidak terjadi degenerasi maupun redundansi karena jumlah sel yang terisi adalah 5 dan memenuhi persyaratan ($3+3-1=5$), maka dapat dilakukan pengujian menggunakan solusi optimal.

Langkah 2. Menentukan jalur tertutup dari sel kosong, setelah itu menentukan perubahan biaya dari sel tertutup tersebut.

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	2500 17	X 11	X 13	2500
Jakarta	600 31	1100 21	X 25	1700
Surabaya	X 7	400 19	1300 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Pergerakan batu loncatan (jalur tertutup) dari sel yang kosong

$$X_{12}$$

$$X_{12} - X_{11} - X_{21} - X_{22} - X_{12}$$

Jalur kosong untuk perubahan biaya C_{12}

$$C_{12} = 11 - 17 + 31 - 21 = 4$$

1. Pergerakan batu loncatan (jalur tertutup) dari sel yang kosong

$$X_{13}$$

$$X_{13} - X_{11} - X_{21} - X_{22} - X_{32} - X_{33} - X_{13}$$

Jalur kosong untuk perubahan biaya C_{13}

$$C_{13} = 13 - 17 + 31 - 21 + 19 - 21 = 4$$

2. Pergerakan batu loncatan (jalur tertutup) dari sel yang kosong

$$X_{23}$$

$$X_{23} - X_{22} - X_{32} - X_{33} - X_{23}$$

Jalur kosong untuk perubahan biaya C_{23}

$$C_{23} = 25 - 21 + 19 - 21 = 2$$

3. Pergerakan batu loncatan (jalur tertutup) dari sel yang kosong

$$X_{31}$$

$$X_{31} - X_{32} - X_{22} - X_{21} - X_{31}$$

Jalur kosong untuk perubahan biaya C_{31}

$$C_{31} = 7 - 19 + 21 - 31 = -22$$

Langkah 3. Menentukan perubahan alokasi berdasarkan jalur tertutup dari perubahan biaya yang bernilai negative.

Catatan:

1. Jika terdapat dua atau lebih bernilai negative dipilih satu yang memiliki negative terbesar,
2. Jika terdapat nilai kembar pilih secara sembarang.
3. Jika perubahan biaya semua sudah positive maka jawaban optimal sudah ditemukan.

Dari perubahan biaya di atas jalur X_{31} yang bernilai negative.

Jalur tertutupnya :

$$+ \quad - \quad + \quad - \quad +$$

$$X_{31}: X_{31} - X_{32} - X_{22} - X_{21} - X_{31}$$

Perubahan alokasi (yang minus):

1. $X_{31} = \min (X_{32}, X_{21}) = \min (400, 600) = 400$

$$X_{31} = X_{32} = 400$$

$$2. X_{21} = X_{21} - X_{31} = (600 - 400) = 200$$

$$3. X_{22} = X_{22} + X_{31} = (1100 + 400) = 1500$$

Langkah 4. Masukkan perubahan nilai sel baru kedalam tabel

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	2500 17	X 11	X 13	2500
Jakarta	200 31	1500 21	X 25	1700
Surabaya	400 7	X 19	1300 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Langkah 5. Tentukan kembali jalur tertutup dari sel yang kosong dan tentukan perubahan biaya.

Sel kosong, dan perubahan biaya

$$1. X_{12} : X_{12} - X_{11} - X_{21} - X_{22} - X_{12}$$

$$C_{12} = 11 - 17 + 31 - 21 = 4$$

$$2. X_{13} : X_{13} - X_{11} - X_{31} - X_{33} - X_{13}$$

$$C_{13} = 13 - 17 + 7 - 21 = -18$$

$$3. X_{23} : X_{23} - X_{21} - X_{31} - X_{33} - X_{23}$$

$$C_{23} = 25 - 31 + 7 - 21 = -20$$

$$4. X_{32} : X_{32} - X_{31} - X_{21} - X_{22} - X_{32}$$

$$C_{32} = 19 - 7 + 31 - 21 = 22$$

Karena perubahan masih ada yang bernilai negative, maka eksekusi dilanjutkan.

Langkah 6. Menentukan perubahan alokasi baru dan masukkan dalam tabel

Jalur X_{23} mempunyai perubahan biaya yang bernegative lebih besar

+ - + -

$$X_{23} : X_{23} - X_{21} - X_{31} - X_{33} - X_{23}$$

$$1. X_{23} = \min (X_{21}, X_{33}) = \min (200, 1300) = 200$$

$$X_{23} = X_{21} = 200$$

$$2. X_{33} = X_{33} - X_{23} = 1300 - 200 = 1100$$

$$3. X_{31} = X_{31} + X_{23} = 400 + 200 = 600$$

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	2500 17	X 11	X 13	2500
Jakarta	X 31	1500 21	200 25	1700
Surabaya	600 7	X 19	1100 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Langkah 7. Tentukan kembali jalur tertutup dari sel yang kosong dan tentukan perubahan biaya.

Sel kosong, dan perubahan biaya

$$1. X_{12} : X_{12} - X_{11} - X_{31} - X_{33} - X_{23} - X_{22} - X_{12}$$

$$C_{12} = 11 - 17 + 7 - 21 + 25 - 21 = -16$$

$$2. X_{13} : X_{13} - X_{11} - X_{31} - X_{33} - X_{13}$$

$$C_{13} = 13 - 17 + 7 - 21 = -18$$

$$3. X_{21} : X_{21} - X_{23} - X_{33} - X_{13} - X_{21}$$

$$C_{23} = 21 - 25 + 21 - 13 = 4$$

$$4. X_{32} : X_{32} - X_{33} - X_{23} - X_{22} - X_{32}$$

$$C_{32} = 19 - 21 + 25 - 21 = 2$$

Langkah 8. Menentukan perubahan alokasi baru dan masukkan dalam tabel.

Jalur X_{13} mempunyai perubahan biaya yang negative lebih besar

+ - + -

$$X_{13} : X_{13} - X_{11} - X_{31} - X_{33} - X_{13}$$

$$1. X_{13} = \min (X_{11}, X_{33}) = \min (2500, 1100) = 1100$$

$$X_{13} = X_{33} = 1100$$

$$2. X_{11} = X_{11} - X_{13} = 2500 - 1100 = 1400$$

$$3. X_{31} = X_{31} + X_{13} = 600 + 1100 = 1700$$

Sumber	Tujuan			Kapasitas
	Medan	Aceh	Langkat	
Bandung	1400 17	X 11	1100 13	2500

Jakarta	X 31	1500 21	200 25	1700
Surabaya	1700 7	X 19	X 21	1700
Permintaan	3100	1500	1300	5900

Langkah 9. Tentukan kembali jalur tertutup dari sel yang kosong dan tentukan perubahan biaya.

Sel kosong, dan perubahan biaya

1. $X_{12} : X_{12} - X_{13} - X_{23} - X_{22} - X_{12}$
 $C_{12} = 11 - 13 + 25 - 21 = 2$
2. $X_{21} : X_{21} - X_{23} - X_{13} - X_{11} - X_{21}$
 $C_{21} = 31 - 25 + 13 - 17 = 2$
3. $X_{32} : X_{32} - X_{31} - X_{11} - X_{13} - X_{23} - X_{22} - X_{32}$
 $C_{32} = 19 - 7 + 17 - 13 + 25 - 21 = 20$
4. $X_{33} : X_{33} - X_{13} - X_{11} - X_{13} - X_{33}$
 $C_{33} = 21 - 13 + 17 - 13 = 12$

Karena perubahan biaya semua sudah positif maka proses eksekusi telah selesai. Alokasi pupuk dari pabrik ke daerah pemasaran menurut metode sudut barat laut (north west corner) yang diuji dengan metode batu loncatan (stepping stone) adalah :

Dari	Ke	Jumlah (ton)	Ongkos/ton (Rp)	Biaya
Bandung	Medan	1400	17000	23.800.000
Bandung	Langkat	1100	13000	14.300.000
Jakarta	Aceh	1500	21000	31.500.000
Jakarta	Langkat	200	25000	5.000.000
Surabaya	Medan	1700	7000	11.900.000
Total Biaya				86.500.000

4. KESIMPULAN

Metode transportasi merupakan pendekatan sistematis yang efektif untuk mengalokasikan barang dan pupuk secara efisien dengan biaya minimal. Proses dimulai dari langkah awal menggunakan teknik seperti North-West Corner, Least Cost, atau Vogel Approximation Method untuk mendapatkan solusi awal. Selanjutnya, dilakukan

penyempurnaan melalui metode Stepping Stone untuk memastikan solusi tersebut benar-benar optimal dan biaya transportasi mencapai tingkat terendah. Dengan penerapan metode ini, perusahaan dapat mengelola distribusi barang secara efisien dan ekonomis, serta memperoleh solusi yang mendekati atau mencapai biaya minimum secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Gultom, P., Manik, D. E. M., Lazawardi, D., Nainggolan, S. G. V., & Simarmata, A. M. (2022). Pengantar Riset Operasi: Teori dan Praktek. Cipta Media Nusantara.
- Hal, J., Muhtarulloh, F., & Maulidina, A. (2022). Metode Sirisha-Viola untuk menemukan solusi optimal masalah transportasi. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 8(1), 19–26.
- Setiani, I. A., Helmi, & Pasaribu, M. (2023). Optimasi transportasi seimbang dan tak seimbang menggunakan metode modifikasi ASM. *Jurnal Matematika dan Aplikasi*, 12(5), 443–452.
- Siswanto, J. (2007). *Pengantar Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga.
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Pearson Education.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). *Introduction to Operations Research* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms* (4th ed.). Thomson Brooks/Cole.
- Nasution, M. N. (2005). *Riset Operasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Putri, A. Y., & Lestari, A. D. (2019). Implementasi metode Vogel's Approximation Method dan MODI dalam penentuan biaya minimum distribusi. *Jurnal Gaussian*, 8(3), 487–496.
- Aziz, M., & Surya, E. (2020). Penyelesaian masalah transportasi menggunakan metode MODI dan VAM. *Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 11(1), 23–31.