

Solusi Optimal Transportasi dengan Least-Looping Stepping-Stone-based ASM (LS-ASM)

Meylan^{1, a)} dan Pardi Affandi^{2, b)}

^{1,2} Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Lambung Mangkurat.

^{a)} 2211011320009@mhs.ulm.ac.id

^{b)} p_affandi@ulm.ac.id

Abstrak. Metode Least-Looping Stepping-Stone-based ASM (LS-ASM) adalah pendekatan penyelesaian masalah transportasi yang bertujuan untuk mencapai solusi optimal dengan langkah yang lebih efisien daripada metode klasik, dimulai dengan reduksi baris dan kolom untuk menyederhanakan matriks biaya, diikuti dengan alokasi bertahap berdasarkan pemilihan sel yang paling menguntungkan, dan kemudian menggunakan pembentukan loop tertutup untuk mengevaluasi perubahan biaya dan mencari potensi perbaikan terhadap solusi saat ini. Melalui tahapan sistematis ini, LS-ASM mampu meminimalkan jumlah iterasi yang diperlukan, menggunakan nilai perubahan biaya untuk pengecekan keoptimalan guna memastikan struktur alokasi akhir konsisten memenuhi kapasitas sumber dan kebutuhan tujuan, yang pada akhirnya menghasilkan solusi yang stabil, terarah, dan optimal untuk meminimalkan biaya distribusi.

Kata Kunci: Model Transportasi, *Least-Looping Stepping-Stone-based ASM*, Solusi, Optimalisasi

1. PENDAHULUAN

Masalah transportasi merupakan salah satu bentuk khusus dari masalah pemrograman linear yang bertujuan untuk menentukan distribusi optimal suatu barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan total biaya minimum. Permasalahan ini banyak diterapkan dalam bidang logistik, industri, serta manajemen rantai pasok, di mana efisiensi biaya distribusi menjadi faktor penting dalam pengambilan keputusan [1].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah transportasi. Metode konvensional seperti *North West Corner* (NWC), *Least Cost*, dan *Vogel's Approximation Method* (VAM) umumnya memerlukan solusi fisibel awal sebelum dilanjutkan dengan uji optimalitas menggunakan metode MODI atau *Stepping-Stone* [1]. Namun, metode-metode tersebut seringkali memerlukan iterasi yang panjang dan belum tentu langsung menghasilkan solusi optimal.

Sebagai alternatif, Abdul Quddoos et al. (2012) memperkenalkan metode ASM (*Abdul Quddoos, Shakeel Javaid, and M. M. Khalid*) yang mampu mencari solusi optimal tanpa memerlukan solusi fisibel awal. Metode ini mengandalkan proses reduksi biaya baris dan kolom, serta penentuan alokasi berdasarkan indeks angka nol terkecil [1]. Namun, dalam perkembangannya, ditemukan bahwa ASM tidak selalu konsisten menghasilkan solusi optimal untuk semua kasus [3].

Oleh karena itu, [3] mengusulkan perbaikan dengan menggabungkan ASM dan *Least-Looping Stepping-Stone Method*, yang kemudian disebut LS-ASM. Metode ini hanya memeriksa sejumlah terbatas sel non-basis yang memenuhi kondisi tertentu, sehingga mengurangi beban komputasi dan mempercepat konvergensi menuju solusi optimal. LS-ASM terbukti mampu menyelesaikan berbagai variasi masalah transportasi, baik dengan data tegas (crisp) maupun data fuzzy yang telah dikonversi menjadi nilai tegas melalui proses defuzzifikasi [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara konseptual penyelesaian model transportasi menggunakan metode LS-ASM dengan melakukan analisis komparatif terhadap dua scenario data input, yaitu data tegas dan data fuzzy trapesium yang telah dikonversi menjadi data tegas. Kajian ini diharapkan dapat menjelaskan keefektifan LS-ASM dalam menangani kedua jenis data tersebut serta memberikan landasan teoretis bagi penerapannya dalam masalah nyata.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model Transportasi

Masalah transportasi merupakan salah satu model optimasi linear yang banyak digunakan dalam perencanaan distribusi barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan tujuan meminimalkan total biaya distribusi. Model ini pertama kali dikembangkan dalam konteks *linear programming* dan hingga kini menjadi salah satu bentuk permasalahan paling klasik dalam riset operasi. Untuk menyelesaikan masalah transportasi, beberapa metode tradisional seperti *North-West Corner Method* (NWCN), *Least Cost Method* (LCM), dan *Vogel's Approximation Method* (VAM) digunakan untuk menentukan *Initial Basic Feasible Solution* (IBFS). Ketiga metode tersebut memiliki pendekatan yang berbeda dalam memilih sel awal alokasi, namun semuanya memiliki keterbatasan dalam efisiensi perhitungan. Metode klasik ini sering kali menghasilkan solusi awal yang layak tetapi belum tentu optimal, sehingga masih diperlukan tahapan perbaikan dengan metode lain seperti *Modified Distribution Method* (MODI) untuk mencapai solusi optimal [3].

Untuk meningkatkan kualitas solusi, dikembangkan beberapa metode optimal, seperti *Stepping-Stone Method* dan *Modified Distribution Method* (MODI). Kedua metode ini dirancang untuk menguji keoptimalan solusi awal dengan menghitung perubahan biaya apabila dilakukan pergeseran alokasi. Metode stepping-stone menelusuri jalur tertutup dari setiap sel kosong untuk mengevaluasi potensi perbaikan biaya total, sedangkan MODI menggunakan perhitungan nilai potensial (u dan v) untuk menentukan apakah solusi sudah optimal. Walaupun metode optimal dapat menghasilkan hasil terbaik, proses iterasi yang panjang dan kompleksitas perhitungan menjadi tantangan dalam penerapannya, terutama pada jumlah sumber dan tujuan yang besar [3].

Sebagai alternatif, beberapa peneliti memperkenalkan metode langsung (*direct method*) yang dapat memperoleh solusi optimal tanpa melalui tahapan pencarian solusi awal terlebih dahulu. Salah satu pendekatan populer adalah Abdul Quddoos, Shakeel Javaid, dan Mohd Masood Khalid (ASM) yang diperkenalkan oleh Abdul Quddoos, Shakeel Javaid, dan Mohd Masood Khalid dan dikembangkan lebih lanjut oleh peneliti lain. Metode ini memanfaatkan operasi matriks sederhana untuk menghitung total biaya optimal secara langsung, sehingga lebih cepat dibandingkan metode klasik maupun optimal yang berbasis iterasi [1]. Pendekatan ini juga memungkinkan penghematan waktu komputasi karena tidak memerlukan proses pengujian berulang terhadap keoptimalan solusi. Dengan demikian, ASM menjadi salah satu dasar penting bagi pengembangan *Least-Looping Stepping-Stone-based ASM* (LS-ASM) yang lebih efisien pada kasus data tegas maupun data fuzzy.

2.2 Metode ASM

Metode ASM (Abdul Quddoos, Shakeel Javaid, dan Mohd Masood Khalid) merupakan salah satu pendekatan baru dalam penyelesaian masalah transportasi yang dikembangkan untuk memperoleh solusi optimal tanpa perlu menentukan *Initial Basic Feasible Solution* (IBFS) terlebih dahulu. ASM dirancang untuk menyederhanakan proses perhitungan biaya total dengan mengurangi tahapan iteratif yang kompleks seperti pada metode klasik (NWCN, VAM, dan MODI). Berbeda dengan metode klasik yang harus menentukan solusi awal terlebih dahulu sebelum melakukan uji optimalitas, metode ASM langsung menghitung alokasi optimal dan biaya minimum menggunakan operasi matematis sederhana. Pendekatan ini memungkinkan proses penyelesaian lebih cepat dan efisien, terutama untuk kasus dengan ukuran matriks besar [1].

2.3 Metode LS-ASM (Least-Looping Stepping-Stone-based ASM)

Metode LS-ASM (*Least-Looping Stepping-Stone based ASM*) merupakan pengembangan dari metode ASM yang dikembangkan oleh [3]. Metode ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi perhitungan ASM dengan meminimalkan jumlah loop yang dibentuk selama proses evaluasi keoptimalan solusi. LS-ASM menggabungkan prinsip metode *stepping-stone* dengan pendekatan *least-looping*, sehingga hanya *loop* yang benar-benar diperlukan saja yang diperiksa dalam proses iterasi. Dengan demikian, jumlah langkah komputasi menjadi lebih sedikit tanpa mengurangi ketepatan solusi.

Secara umum, LS-ASM bekerja dengan cara membentuk jalur perbaikan (*loop*) antara sel kosong dan sel terisi pada tabel transportasi untuk menilai apakah perpindahan alokasi dapat menurunkan total biaya. Berbeda dengan metode *stepping-stone* konvensional yang memeriksa seluruh kemungkinan jalur, LS-ASM hanya mengevaluasi jalur dengan *potential improvement* terbesar. Proses ini menjadikan LS-ASM lebih efisien dan cepat, terutama ketika jumlah sumber (m) dan tujuan (n) besar [3].

Berdasarkan kajian literatur [3], metode *Least-Looping Stepping-Stone-based ASM* (LS-ASM) dirancang khusus untuk meminimalkan jumlah iterasi (*looping*) dalam proses pencarian solusi layak. Oleh karena itu, metode ini terbukti menghasilkan solusi optimal dengan jumlah langkah komputasi yang lebih sedikit dan waktu proses yang lebih cepat dibandingkan dengan metode ASM konvensional maupun MODI [3]. Efisiensi komputasi yang menjadi ciri khas LS-ASM ini menjadikannya sebagai pilihan yang kuat dalam menyelesaikan masalah transportasi.

3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian menggunakan metode *Least-Looping Stepping-Stone-based ASM* yang dikembangkan oleh K. N. Das, R. Das, dan D. P. Acharjya [3]. LS-ASM diterapkan dengan langkah-langkah sebagai berikut [3]:

1. Menyusun tabel biaya transportasi.
2. Menggunakan langkah-langkah metode ASM.
3. Menggunakan langkah-langkah metode *Least-Looping Stepping-Stone*.
4. Menghitung biaya total.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Langkah-Langkah Penyelesaian Permasalahan Transportasi Seimbang

Langkah 1

Menyusun table transportasi dari permasalahan yang diberikan.

Langkah 2

Selanjutnya, setiap elemen pada baris tabel transportasi dikurangi dengan nilai biaya terkecil dari baris tersebut.

Langkah 3

Melakukan reduksi pada setiap kolom dalam tabel transportasi dengan mengurangi elemen-elemennya menggunakan nilai biaya terkecil di kolom masing-masing.

Langkah 4

Memilih sel dengan biaya nol dan menghitung sum-zero.

Langkah 5

Mengalokasikan pasokan pada sel yang terpilih hingga semua permintaan terpenuhi.

Langkah 6

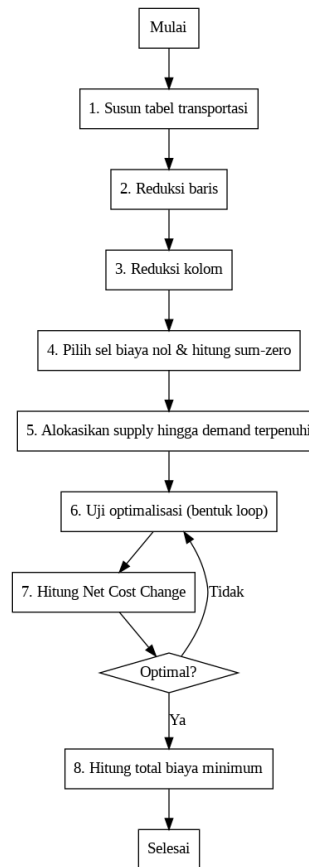
Melakukan uji optimalisasi dengan membentuk loop dari sel non-basic.

Langkah 7

Menghitung Net Cost Change hingga solusi optimal.

Langkah 8

Menghitung total biaya minimum.



Gambar 4.1 Flowchart LS-ASM

4.2 Ilustrasi Numerik

1. Masalah Transportasi Menggunakan Metode LS-ASM Pada Data Tegas

Diberikan ilustrasi numerik dengan menggunakan data yang diambil dari [9].

Langkah 1

Menyusun tabel awal transportasi. Sehingga terbentuk Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel Awal Transportasi

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	13	18	30	8	8
S_2	55	20	25	40	10
S_3	30	6	50	10	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 2

Mengurangi setiap entri baris dan kolom dengan biaya terkecil pada baris dan kolom. Sehingga terbentuk Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Reduksi Baris

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	5	10	22	0	8
S_2	35	0	5	20	10
S_3	24	0	44	4	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Tabel 4.3 Hasil Reduksi Kolom

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	0	10	17	0	8
S_2	30	0	0	20	10
S_3	19	0	39	4	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 3

Menghitung Sum-Zero sebagai jumlah nol lain pada baris dan kolom sel nol tersebut. Karena nilai minimum sum-zero adalah 1 dan terdapat 4 sel yang bernilai 1, maka dipilih sel dengan total biaya maksimum. Karena total biaya paling maksimum terdapat pada sel S_2T_3 , maka sel S_2T_3 yang dialokasikan terlebih dahulu. Sehingga terbentuk Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Alokasi Pertama

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	0	10	17 0	0	8
S_2	30	0	0 6	20	10
S_3	19	0	39 0	4	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 4

Demand pada T_3 telah terpenuhi, maka kolom T_3 dihapus seperti yang tertera pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Menghapus T_3

Sumber (i)	Tujuan (j)			(a_i)
	T_1	T_2	T_4	
S_1	0	10	17 0	8

S_2	30	0	0	20	10
			6		
S_3	19	0	39	4	11
			0		
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 5

Mengulangi langkah 3 sampai 4 hingga semua permintaan terpenuhi dan persediaan habis. Sehingga diperoleh hasil perhitungan seperti yang tertera dalam Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6 Semua Supply dan Demand Terpenuhi

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	0 4	10 0	17 0	0 4	8
S_2	30 0	0 4	0 6	20 0	10
S_3	19 0	0 3	39 0	4 8	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 6

Melakukan uji optimalitas dengan membentuk loop dari setiap sel non-basis. Sehingga didapat closed-loop seperti yang tertera pada Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Membentuk Closed-Loop

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	13 4	18 0	30 0	8 0	8
S_2	(-)55 ← 0	(+)20 4	25 6	40 4	10
S_3	(+)30 ↓ 0	(-)6 3	50 0	10 8	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 7

Mengitung Net Cost Change pada loop

$$NCC = (30 - 6) + (20 - 55) = -11$$

$NNC \leq 0$, tetapi loop perbaikan tidak dapat dilakukan. Sehingga solusi dianggap sudah optimal secara degenerasi.

Langkah 8

Mengulangi Langkah 6 hingga 7 ke semua sel non-basic. Sehingga didapat nilai semua sel non-basis ≥ 0 .

Langkah 9

Karena $NNC \geq 0$ artinya solusi LS-ASM sudah optimal. Sehingga terbentuk Tabel 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Solusi Optimal

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	

S_1	$\begin{array}{ c } \hline 13 \\ \hline 4 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 18 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 30 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 8 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	8
S_2	$\begin{array}{ c } \hline 55 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 20 \\ \hline 4 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 25 \\ \hline 6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 40 \\ \hline 4 \\ \hline \end{array}$	10
S_3	$\begin{array}{ c } \hline 30 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 6 \\ \hline 3 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 50 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 10 \\ \hline 8 \\ \hline \end{array}$	11
(b_j)	4	7	6	12	29

Langkah 10

Menghitung total biaya minimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z &= 4(13) + 4(20) + 6(25) + 4(40) + 3(6) + 8(10) \\ &= 52 + 80 + 150 + 160 + 18 + 80 \\ &= 540 \end{aligned}$$

Sehingga biaya minimum yang diperoleh adalah 540 satuan.

2. Masalah Transportasi Menggunakan Metode LS-ASM Pada Data Berbentuk bilangan Fuzzy Trapesium

Diberikan ilustrasi numerik dengan menggunakan data yang diambil dari [10].

Langkah 1

Menyusun tabel awal transportasi. Sehingga terbentuk Tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Tabel Awal Transportasi

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	$\begin{array}{ c } \hline (3,4,6,7) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (0,1,3,4) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (2,3,5,6) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (1,2,4,5) \\ \hline \end{array}$	(19,20,24,25)
S_2	$\begin{array}{ c } \hline (2,3,5,6) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (6,7,9,10) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (-1,0,2,3) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (4,5,7,8) \\ \hline \end{array}$	(12,13,17,18)
S_3	$\begin{array}{ c } \hline (2,3,5,6) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (4,5,7,8) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (5,6,8,9) \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline (3,4,6,7) \\ \hline \end{array}$	(6,7,9,10)
(b_j)	(5,6,8,9)	(10,11,13,14)	(15,16,18,19)	(7,8,10,11)	

Langkah 2

Mengubah data menjadi data crisp dengan melakukan defuzzifikasi. Sehingga terbentuk Tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Tabel Setelah Defuzzifikasi

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	$\begin{array}{ c } \hline 5 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 2 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 4 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 3 \\ \hline \end{array}$	22
S_2	$\begin{array}{ c } \hline 4 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 8 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 1 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 6 \\ \hline \end{array}$	15
S_3	$\begin{array}{ c } \hline 4 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 6 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 7 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{ c } \hline 5 \\ \hline \end{array}$	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 3

Mengurangi setiap entri baris dan kolom dengan biaya terkecil pada baris dan kolom. Sehingga terbentuk Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Reduksi Biaya Baris

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	3	0	2	1	22
S_2	3	7	0	5	15
S_3	0	2	3	1	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Tabel 4.12 Hasil Reduksi Biaya Kolom

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	3	0	2	0	22
S_2	3	7	0	4	15
S_3	0	2	3	0	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 4

Menghitung Sum-Zero sebagai jumlah nol lain pada baris dan kolom sel nol tersebut. Karena semua Sum-Zero adalah 0, maka pilih sel nol dengan total biaya awal maksimum sebagai pengalokasian pertama. Sehingga dibentuk Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13 Pengalokasian Pertama

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	3	0	2	0	22
S_2	3	7	0 15	4	15
S_3	0	2	3	0	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 5

Supply S_2 terpenuhi 5 dan demand T_3 tersisa 2 maka baris S_2 dihapus. Sehingga terbentuk Tabel 4.14 sebagai berikut:

Tabel 4.14 Menghapus Baris S_2

Sumber	Tujuan (j)				(a_i)
--------	------------	--	--	--	---------

(i)	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	3	0	2	0	22
S_2	3	7	0	4	15
			15		
S_3	0	2	3	0	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 6

Mengulangi langkah 4 sampai 5 hingga semua permintaan terpenuhi dan persediaan habis. Sehingga diperoleh hasil perhitungan seperti yang tertera dalam Tabel 4.15 sebagai berikut:

Tabel 4.15 Menghapus Semua Baris dan Kolom

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	3 7	0 12	2 2	0 1	22
S_2	3 0	7 0	0 15	4 0	15
S_3	0 0	2 0	3 0	0 8	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 7

Melakukan uji optimalitas dengan membentuk loop dari setiap sel non-basis. Sehingga didapat closed-loop seperti yang tertera pada Tabel 4.16 sebagai berikut:

Tabel 4.16 Membentuk Closed-Loop

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	(-)5 7	2 12	4 2	(+)3 1	22
S_2	4 0	8 0	1 15	6 0	15
S_3	(+)4 0	6 0	7 0	(-)5 8	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 8

Mengitung Net Cost Change pada loop

$$NCC = (4 - 5) + (3 - 5) = -3$$

Karena $NCC \leq 0$ maka solusi belum optimal dan perlu dilakukan loop perbaikan.

Langkah 9

Perbaikan basis dilakukan dengan memilih $\theta = 7$. Sehingga terbentuk Tabel 4.17 sebagai berikut:

Tabel 4.17 Perbaikan Basis

Sumber	Tujuan (j)	(a_i)
--------	------------	---------

(i)	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	$\begin{array}{c} (-)5 \\ 7-7 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2 \\ 12 \end{array}$	$\begin{array}{c} 4 \\ 2 \end{array}$	$\begin{array}{c} (+)3 \\ 1+7 \end{array}$	22
S_2	$\begin{array}{c} 4 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 8 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1 \\ 15 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	15
S_3	$\begin{array}{c} (+)4 \\ 0+7 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 7 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} (-)5 \\ 8-7 \end{array}$	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Sehingga diperoleh Tabel 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Tabel Baru

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	$\begin{array}{c} 5 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2 \\ 12 \end{array}$	$\begin{array}{c} 4 \\ 2 \end{array}$	$\begin{array}{c} 3 \\ 8 \end{array}$	22
S_2	$\begin{array}{c} 4 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 8 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1 \\ 15 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	15
S_3	$\begin{array}{c} 4 \\ 7 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 7 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 5 \\ 1 \end{array}$	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 10

Mengulangi Langkah 8 hingga 9 ke semua sel non-basic. Sehingga didapat nilai semua sel non-basis ≥ 0 .

Langkah 11

Karena $NNC \geq 0$ artinya solusi LS-ASM sudah optimal. Sehingga terbentuk Tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.19 Solusi Optimal

Sumber (i)	Tujuan (j)				(a_i)
	T_1	T_2	T_3	T_4	
S_1	$\begin{array}{c} 5 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 2 \\ 12 \end{array}$	$\begin{array}{c} 4 \\ 2 \end{array}$	$\begin{array}{c} 3 \\ 8 \end{array}$	22
S_2	$\begin{array}{c} 4 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 8 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 1 \\ 15 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	15
S_3	$\begin{array}{c} 4 \\ 7 \end{array}$	$\begin{array}{c} 6 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 7 \\ 0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 5 \\ 1 \end{array}$	8
(b_j)	7	12	17	9	45

Langkah 12

Menghitung total biaya minimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Z &= 12(2) + 2(4) + 8(3) + 15(1) + 7(4) + 1(5) \\
 &= 24 + 8 + 24 + 15 + 28 + 5 \\
 &= 104
 \end{aligned}$$

Sehingga biaya minimum yang diperoleh adalah 104 satuan.

5. KESIMPULAN

Metode LS-ASM (Least-Looping Stepping-Stone-based ASM) merupakan pendekatan penyelesaian masalah transportasi yang bertujuan mencari solusi terbaik dengan cara yang lebih efisien dibandingkan dengan metode klasik. Pendekatan ini dapat digunakan baik untuk masalah transportasi yang seimbang maupun yang tidak seimbang, dengan tujuan untuk meminimumkan biaya atau memaksimumkan keuntungan tanpa perlu mencari solusi awal yang layak.

LS-ASM menggabungkan prinsip pengurangan biaya dari baris dan kolom metode ASM untuk menyederhanakan matriks dan memudahkan penentuan alokasi awal yang lebih baik, dengan menekankan pada sel dengan biaya nol. Selanjutnya, metode ini menerapkan pengujian keoptimalan menggunakan prinsip Stepping-Stone yang diubah menjadi Least-Looping, di mana ia secara selektif meninjau sejumlah terbatas sel non-basis melalui pembuatan loop tertutup untuk mengevaluasi perubahan biaya. Proses ini secara signifikan mengurangi jumlah iterasi yang dibutuhkan, memastikan bahwa struktur alokasi akhir tetap memenuhi kapasitas sumber daya dan kebutuhan tujuan, dan pada akhirnya menghasilkan solusi yang stabil dan optimal.

REFERENSI

- [1] N. Iftitah, P. Affandi, and A. Yusuf, "PENYELESAIAN MODEL TRANSPORTASI MENGGUNAKAN METODE ASM," *PENYELESAIAN Model Transp. MENGGUNAKAN Metod. ASM*, vol. 14, no. 1, pp. 40–52, 2020.
- [2] M. A. K. Gita Sari Adriani, Pardi Affandi, "ANALISIS BIAYA FUZZY DALAM SISTEM TRANSPORTASI FUZZY FUZZY COST ANALYSIS IN FUZZY TRANSPORTATION SYSTEM," vol. 10, no. 2, 2016.
- [3] K. N. Das, R. Das, and D. P. Acharjya, "LEAST-LOOPING STEPPING-STONE-BASED ASM APPROACH FOR TRANSPORTATION AND TRIANGULAR INTUITIONISTIC FUZZY TRANSPORTATION PROBLEMS," *Complex Intell. Syst.*, vol. 7, no. 6, pp. 2885–2894, 2021, doi: 10.1007/s40747-021-00472-0.
- [4] P. Affandi, *BUKU AJAR RISET OPERASI*.
- [5] R. Aulia and P. Affandi, "ANALISIS KOMPARATIF VOGEL'S APPROXIMATION METHOD DAN MODIFIED VOGEL'S APPROXIMATION METHOD DALAM OPTIMALISASI TRANSPORTASI," vol. 3, pp. 1–8, 2025.
- [6] M. P. Haidi and P. Affandi, "PENERAPAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO) RUTE TERPENDEK STUDI KASUS DISTRIBUSI MINYAK GORENG TOKO," vol. 3, pp. 9–17, 2025.
- [7] A. Jufri, A. Yusuf, and Thresye, "METODE FUZZY MODIFIED DISTRIBUTION UNTUK MEMPREDIKSI," vol. 1, no. 1, pp. 38–47, 2017.
- [8] Nopiyana, P. Affandi, and A. S. Lestia, "SOLVING TRANSPORTATION PROBLEM USING MODIFIED ASM METHOD," 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2106/1/012029.
- [9] A. Quddoos, "A NEW METHOD FOR FINDING AN OPTIMAL SOLUTION FOR TRANSPORTATION PROBLEMS," vol. 4, no. 07, pp. 2010–2013, 2012.
- [10] A. Deshmukh, A. Mhaske, and P. U. Chopade, "FUZZY TRANSPORTATION PROBLEM BY USING TRAPEZOIDAL FUZZY," vol. 5, no. 3, pp. 261–265, 2018.