

Optimalisasi Biaya Transportasi Pendistribusian Produk *Frozen Food* Menggunakan Metode *Vogel's Approximation* dan Metode *Stepping Stone* (Studi Kasus: PT. Ciomas Adisatwa Balikpapan)

Zindy Anitasari¹, Wasono Wasono^{1,*}, Fidia Deny Tisna Amijaya¹

¹ *Laboratorium Matematika Komputasi, Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Mulawarman*

Dikirim: Juli 2023;

Diterima: Maret 2024;

Dipublikasi: Maret 2024

Alamat Email Korespondensi: wasono@fmipa.unmul.ac.id

Abstrak

Distribusi bagi setiap perusahaan merupakan suatu kegiatan penting karena terdapat aspek-aspek transaksi pemasaran seperti pembelian dan penjualan suatu barang atau produk. Kegiatan distribusi dapat mengalami suatu permasalahan dalam transportasi, yaitu pada jalur rute pengiriman barang ke tempat tujuan yang dapat mempengaruhi biaya pendistribusian. Salah satu permasalahan transportasi dalam proses pendistribusian terjadi pada perusahaan PT. Ciomas Adisatwa Balikpapan dalam menentukan jalur dan memperoleh biaya pengangkutan yang tidak optimal. Tujuan dari penelitian ini yaitu mendapatkan solusi optimal pendistribusian produk PT. Ciomas Adisatwa sehingga dapat memperoleh keuntungan yang maksimal dan meminimumkan biaya pengangkutan. Penyelesaian masalah transportasi pada penelitian menggunakan metode *North West Corner* (NWC), metode *Least Cost*, dan metode *Vogel's Approximation* (VAM) sebagai solusi layak awal dan menggunakan metode *Stepping Stone* sebagai uji optimalitasnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data jumlah kapasitas di tempat sumber, jumlah permintaan dari tempat tujuan, dan data biaya distribusi dari sumber ke tempat tujuan. Berdasarkan hasil analisis dari solusi layak awal, metode NWC menghasilkan biaya sebesar Rp 9.211.000,00, metode *Least Cost* menghasilkan biaya sebesar Rp 10.436.400,00 dan metode VAM menghasilkan biaya sebesar Rp 6.249.000,00. Uji optimalitas dilanjutkan menggunakan kombinasi metode VAM dan *Stepping Stone* yang menghasilkan nilai biaya pembayaran yang lebih rendah yaitu sebesar Rp 6.098.200,00. Dibandingkan dengan metode VAM, uji optimalitas menggunakan metode *Stepping Stone* dapat menghemat biaya distribusi sebesar Rp 150.800,00.

Kata Kunci:

Metode Least Cost, Metode North West Corner, Metode Stepping Stone, Metode Transportasi, Metode Vogel's Approximation

PENDAHULUAN

Pada umumnya model transportasi berhubungan dengan pengoptimalan pengaturan pendistribusian terhadap suatu produk dengan jenis yang sama, dari beberapa sumber asal menuju ke beberapa tempat tujuan tertentu. Model transportasi ditujukan agar dapat mencari biaya termurah dalam mendistribusikan produk dari beberapa sumber ke beberapa tujuan. Titik asal produk dapat berupa pabrik, gudang, agen, atau lainnya. Adapun yang dimaksud titik tujuan yaitu tempat yang menerima produk tersebut [1]. Kegiatan distribusi dapat mengalami suatu permasalahan dalam transportasi, yaitu pada jalur rute pengiriman barang ke tempat tujuan yang dapat

mempengaruhi biaya pendistribusian, masalah transportasi dapat diselesaikan dengan beberapa metode dasar yaitu *Least Cost Method* atau Metode Biaya Terkecil, *North West Corner* atau Metode Sudut Barat Laut, *Vogel's Approximation Method* (VAM), dan *Russel's Approximation Method* (RAM). Kemudian dapat dioptimalkan menggunakan dua macam metode transportasi pengujian yaitu *Stepping Stone Method* dan *Modified Distribution Method* (MODI) sehingga dapat memperoleh biaya distribusi yang lebih optimal dari sebelumnya [2].

Distribusi bagi setiap perusahaan merupakan suatu kegiatan penting karena distribusi menjaga aspek-aspek transaksi pemasaran seperti pembelian dan penjualan suatu barang atau produk. Distribusi merupakan suatu kegiatan pemasaran yang bertujuan untuk memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dan jasa dari produsen kepada konsumennya sehingga penggunaannya dapat sesuai dengan yang dibutuhkan [3].

Metode transportasi dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam meningkatkan hasil pencapaian produksi suatu perusahaan yang bergerak di bidang industri, salah satunya adalah perusahaan PT. Ciomas Adisatwa cabang kota Balikpapan. Perusahaan PT. Ciomas Adisatwa merupakan salah satu perusahaan terintegrasi yang bergerak di bidang *commercial farm* dan Rumah Potong Ayam (RPA) di bawah naungan PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Perusahaan ini didirikan pada tahun 1987 dan memiliki kantor pusat di Jakarta. PT. Ciomas Adisatwa menyajikan lebih dari 100 produk olahan protein hewani baik dalam bentuk mentahan maupun produk yang sudah diolah. Agar mendapatkan hasil keuntungan produksi yang maksimal pada perusahaan, maka diperlukan teknik perhitungan matematika sebagai bahan pertimbangan yang baik agar keuntungan maksimum produksi dapat tercapai.

LANDASAN TEORI

Model transportasi dapat dituliskan dalam sebuah matriks sebagai gambaran mengenai kasus distribusi. Sebuah matriks transportasi memiliki m baris dan n kolom. Ilustrasi model transportasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Transportasi

Sumber	Tujuan				Kapasitas Sumber Per Periode
	T_1	T_2	...	T_n	
S_1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	...	C_{1n} X_{1n}	s_1
S_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	...	C_{2n} X_{2n}	s_2
...	\ddots
S_m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	...	C_{mn} X_{mn}	s_m
Kebutuhan Tujuan Per Periode	t_1	t_2	...	t_n	$\sum t_j$ $\sum s_i$

Berdasarkan Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa sumber-sumber berjajar pada baris ke-1 hingga ke- m , sedangkan tujuan-tujuan berbanjar pada kolom ke-1 hingga ke- n . Sehingga secara model matematika diperoleh [2],

$$\text{Minimumkan } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

dengan kendala

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = s_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = t_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ dan } j = 1, 2, 3, \dots, n),$$

dengan

- Z : biaya total transportasi,
 X_{ij} : satuan barang yang harus diangkut dari sumber i ke tujuan j ,
 C_{ij} : biaya angkut per satuan barang dari sumber i ke tujuan j ,
 s_i : banyaknya barang yang tersedia di tempat asal ke- i ,
 t_j : banyaknya permintaan barang di tempat tujuan ke- j ,
 m : jumlah tempat asal, dan
 n : jumlah tempat tujuan.

Menurut Rosta dan Tannady [4], dalam masalah transportasi jumlah kapasitas barang pada sumber dapat lebih besar maupun lebih kecil sehingga tidak sesuai dengan jumlah permintaannya. Kondisi tersebut tidak setimbang, sehingga harus dibuat setimbang dengan menambahkan sumber/tujuan yang bersifat *dummy*.

1. Jika $supply \geq demand$, persoalan ini dapat diselesaikan dengan menambahkan *dummy* pada kolom tujuan yang memenuhi kekurangan di permintaan:

$$dummy = \sum_{i=1}^m s_i - \sum_{j=1}^n t_j. \quad (4)$$

2. Jika $demand \geq supply$, persoalan ini dapat diselesaikan dengan menambahkan *dummy* pada kolom sumber yang memenuhi kekurangan di penawaran

$$dummy = \sum_{j=1}^n t_j - \sum_{i=1}^m s_i. \quad (5)$$

Terdapat tiga metode yang dapat digunakan untuk menentukan solusi awal dalam masalah transportasi yaitu sebagai berikut [5]:

1. Metode Sudut Barat Laut merupakan sebuah metode transportasi untuk menyusun tabel awal dengan cara mengalokasikan distribusi dari sel yang terletak pada sudut kiri atas;
2. Metode Biaya Terkecil merupakan metode yang membuat alokasi berdasarkan kepada biaya terendah; dan
3. Metode *Vogel's Approximation* merupakan metode yang membuat alokasi dengan cara mencari selisih biaya terkecil dengan biaya terkecil berikutnya untuk setiap kolom maupun baris.

Dari ketiga metode solusi layak awal tersebut, dapat dilanjutkan dengan uji optimalitas menggunakan metode solusi layak akhir *Stepping Stone* untuk memperoleh biaya yang lebih optimal.

Permasalahan transportasi pada PT. Ciomas Adisatwa akan dikaji pada penelitian ini. PT. Ciomas Adisatwa merupakan perusahaan terintegrasi yang memiliki banyak cabang tersebar luas di Indonesia, salah satu kantor cabang berada di kota Balikpapan

Kalimantan Timur. Perusahaan ini bergerak di bidang usaha pemotongan ayam dan pengolahan produk hasil ternak. Permasalahan transportasi dalam proses pendistribusian yang terjadi pada PT. Ciomas Adisatwa Balikpapan yaitu dalam menentukan jalur dan memperoleh biaya pengangkutan yang tidak optimal. Untuk itu diperlukan perencanaan menggunakan metode transportasi yang bertujuan agar perusahaan memperoleh keuntungan yang maksimal dan meminimumkan biaya pengangkutan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan menggunakan teknik pengumpulan data yang terdiri dari data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif adalah data yang diperoleh dari perusahaan PT. Ciomas Adisatwa cabang kota Balikpapan dalam bentuk angka-angka mengenai jumlah persediaan barang dan biaya pendistribusiannya. Data kualitatif pada penelitian ini diperoleh dari perusahaan dalam bentuk informasi secara lisan maupun tulisan yang sifatnya bukan dalam bentuk angka yaitu informasi mengenai jumlah distributor, daerah tujuan transportasi, dan alat transportasi yang digunakan.

Populasi pada penelitian menggunakan data pendistribusian produk makanan beku di PT. Ciomas Adisatwa. Adapun sampel pada penelitian ini adalah data jumlah persediaan barang, jumlah permintaan barang ke sumber, biaya transportasi untuk setiap pengiriman barang di PT. Ciomas Adisatwa pada bulan Januari tahun 2022.

Teknik Analisis Data

Berikut merupakan langkah-langkah analisis data dalam penelitian ini.

1. Mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu jumlah persediaan, jumlah permintaan dan biaya distribusi pada PT. Ciomas Adisatwa.
2. Menghitung data penyelesaian awal menggunakan metode pojok barat laut atau *North West Corner* (NWC) sebagai berikut:
 - a. Metode ini dimulai dari pojok barat laut, sel kiri paling atas tabel matriks transportasi. Bandingkan jumlah penawaran pada sumber 1 (S_1) dengan jumlah permintaan pada tempat tujuan 1 (T_1).
 - b. Jika $T_1 < S_1$, jika banyaknya jumlah permintaan T_1 kurang dari banyaknya unit yang tersedia pada S_1 maka alokasikan pada sel X_{11} sama dengan jumlah T_1 .
 - c. Jika $T_1 = S_1$, maka alokasikan ke dalam sel X_{11} sebanyak permintaan T_1 .
 - d. Jika $T_1 > S_1$, alokasikan ke sel X_{11} sebanyak jumlah penawaran dari S_1 , hitung keseimbangan penawaran dan permintaan, kemudian alokasi secara vertikal ke sel (X_{21}) dari sumber S_2 untuk memenuhi sisa permintaan dari tujuan (T_1).
 - e. Lanjutkan dengan cara yang sama sampai semua penawaran telah dihabiskan dan keperluan permintaan telah terpenuhi.
3. Menghitung data penyelesaian awal menggunakan Metode Biaya Terkecil sebagai berikut.
 - a. Identifikasi sel dengan biaya C_{ij} terendah pada tabel matriks transportasi. Sebagai contoh khusus adalah 0 untuk masalah yang memuat variabel *dummy*. Jika lebih dari satu sel yang memiliki jumlah biaya terendah yang sama, maka dipilih sembarang untuk memenuhi syarat kendala.
 - b. Alokasikan X_{ij} pada sel yang dipilih sesuai dengan ketersediaan penawaran dan keperluan permintaan.
 - c. Coret atau silang kolom atau baris yang telah memenuhi kendala penawaran atau permintaan.

- d. Sesuaikan penawaran dan permintaan untuk baris dan kolom yang tidak dicoret, dan lakukan proses yang sama untuk memenuhi kendala.
4. Menghitung data penyelesaian awal menggunakan metode *Vogel's Approximation (VAM)* sebagai berikut:
 - a. Hitung *opportunity cost* untuk setiap baris dan kolom. *Opportunity cost* untuk setiap baris i dihitung dengan mengurangi nilai C_{ij} terkecil pada baris tersebut dari nilai C_{ij} satu tingkat lebih besar pada baris yang sama. *Opportunity cost* kolom diperoleh dengan cara yang sama.
 - b. Pilih baris atau kolom dengan *opportunity cost* terbesar (jika terdapat nilai yang sama, pilih secara sembarang). Alokasikan sebanyak mungkin ke kotak dengan nilai C_{ij} minimum pada baris atau kolom yang dipilih.
 - c. Sesuaikan penawaran dan permintaan untuk menunjukkan alokasi yang sudah dilakukan. Hilangkan semua baris dan kolom dimana penawaran dan permintaan sudah dihabiskan.
 - d. Jika semua penawaran dan permintaan masih belum terpenuhi, ulangi ke langkah awal dan hitung kembali *opportunity cost* yang baru.
5. Membanding hasil data penyelesaian awal metode NWC, *Least Cost*, VAM dan mengambil biaya distribusi terkecil.
6. Menghitung penyelesaian metode yang dipilih pada langkah 5 dilanjutkan dengan metode *Stepping Stone*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dikumpulkan merupakan data distribusi produk bulan Januari 2022. Data lokasi dan kapasitas persediaan sumber dan permintaan tujuan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kapasitas Persediaan Produk Ciomas Bulan Januari 2022

No	Sumber	Lokasi	Persediaan (pcs)
1.	Distributor 1	Jl. Loa Janan Ilir Samarinda Seberang	3.522
2.	Distributor 2	Jl. Berlian XII Sepinggian Balikpapan	2.776
3.	Distributor 3	Jl. Dr. Soetomo Karang Rejo Balikpapan	2.188
4.	Distributor 4	Jl. Letjen. S. Parman Bontang	2.144
JUMLAH			10.630

Tabel 3. Jumlah Permintaan Produk Bulan Januari 2022

No	Tujuan	Lokasi	Permintaan (pcs)
1	(Toko 1)	Sungai Keledang Samarinda Sebrang	1.650
2	(Toko 2)	Handil 3 Kutai Kartanegara	1.510
3	(Toko 3)	Samarinada Ilir	1.060
4	(Toko 4)	Klandasan Ilir Balikpapan	920
5	(Toko 5)	Sepinggian Balikpapan	950
6	(Toko 6)	Telaga Sari Balikpapan	1.080
7	(Toko 7)	Handil 2 Samboja	1.200
8	(Toko 8)	Bontang Utara	1.130
JUMLAH			9.500

Biaya distribusi dihitung dalam satuan produk (pcs), data biaya distribusi di peroleh dari hasil pengolahan data PT. Ciomas Adisatwa dan Google Maps untuk memperoleh

jarak tempuh dari tempat sumber ke tempat tujuan sehingga diperoleh biaya distribusi yang tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya Distribusi dari Sumber ke Tempat Tujuan

Tujuan	Biaya Distribusi Produk Ciomas/pcs							
	Distributor 1		Distributor 2		Distributor 3		Distributor 4	
Toko 1	Rp	100,00	Rp	3.800,00	Rp	3.800,00	Rp	3.700,00
Toko 2	Rp	1.500,00	Rp	2.600,00	Rp	2.800,00	Rp	6.100,00
Toko 3	Rp	300,00	Rp	4.000,00	Rp	4.000,00	Rp	3.400,00
Toko 4	Rp	3.800,00	Rp	300,00	Rp	100,00	Rp	7.500,00
Toko 5	Rp	3.800,00	Rp	100,00	Rp	300,00	Rp	7.500,00
Toko 6	Rp	3.800,00	Rp	300,00	Rp	100,00	Rp	7.500,00
Toko 7	Rp	2.500,00	Rp	1.800,00	Rp	2.000,00	Rp	6.300,00
Toko 8	Rp	3.800,00	Rp	7.400,00	Rp	7.400,00	Rp	100,00

Penambahan *dummy* pada tabel dilakukan karena terjadi ketidakseimbangan antara jumlah kapasitas penawaran (*supply*) dengan jumlah permintaan (*demand*). Pada Tabel 5, diketahui bahwa jumlah persediaan (*supply*) sebanyak 10.630 pcs produk, sedangkan jumlah permintaan toko (*demand*) sebanyak 9.500 pcs produk ($supply \geq demand$). Hal ini disebut dengan model transportasi tidak seimbang. Agar menjadi seimbang, perlu ditambahkan kolom *dummy* yang bertujuan sebagai kolom tambahan selisih antara persediaan dan permintaan, sesuai dengan persamaan (4) diperoleh hasil *dummy* sebagai berikut:

$$Dummy = \sum_{i=1}^m s_i - \sum_{j=1}^n t_j$$

$$Dummy = 10.630 \text{ pcs} - 9.500 \text{ pcs}$$

$$Dummy = 1.130 \text{ pcs}$$

Tabel 5. Matriks transportasi

Sumber	Tujuan									Supply
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)	
S1	100	1.50 0	300	3.80 0	3.80 0	3.80 0	2.50 0	3.80 0	0	3.522
S2	3.80 0	2.60 0	4.00 0	300	100	300	1.80 0	7.40 0	0	2.776
S3	3.80 0	2.80 0	4.00 0	100	300	100	2.00 0	7.40 0	0	2.188
S4	3.70 0	6.10 0	3.40 0	7.50 0	7.50 0	7.50 0	6.30 0	100	0	2.144
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630

1. Metode *North West Corner*

Pengolahan data dengan menggunakan metode *North West Corner* dilakukan dengan cara alokasi pertama pada sel pojok kiri atas (sudut barat laut) kemudian dilanjutkan ke arah samping kanan atau ke arah bawah selama masih ada sel yang masih memungkinkan untuk diisi. Cara ini dilakukan hingga semua sel kapasitas terpakai dan seluruh permintaan terpenuhi. Matriks hasil perhitungan dengan menggunakan metode *North West Corner* tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Matriks Hasil pada Metode *North West Corner*

Sumber	Tujuan									Supply
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)	
S1	100	1.500	300	3.800	3.800	3.800	2.500	3.800	0	3.522
	1.650	1.510	362	X	X	X	X	X	X	
S2	3.800	2.600	4.000	300	100	300	1.800	7.400	0	2.776
	X	X	698	920	950	208	X	X	X	
S3	3.800	2.800	4.000	100	300	100	2.000	7.400	0	2.188
	X	X	X	X	X	872	1.200	116	X	
S4	3.700	6.100	3.400	7.500	7.500	7.500	6.300	100	0	2.144
	X	X	X	X	X	X	X	1.014	1.130	
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630

$$\begin{aligned}
 Z &= C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{23}X_{23} + C_{24}X_{24} + C_{25}X_{25} + C_{26}X_{26} \\
 &\quad + C_{36}X_{36} + C_{37}X_{37} + C_{38}X_{38} + C_{48}X_{48} + C_{49}X_{49} \\
 &= (100)1.650 + (1.500)1.510 + (300)362 + (4.000)698 + (300)920 + (100)950 \\
 &\quad + (300)208 + (100)872 + (2.000)1.200 + (7.400)116 + (100)1.014 + (0)1.130 \\
 &= \text{Rp } 9.211.000.
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan dengan menggunakan metode *North West Corner*, diperoleh biaya distribusi sebesar Rp 9.211.000.

2. Metode *Least Cost*

Pengolahan data dengan menggunakan metode *Least Cost* atau metode yang di mulai dari biaya termurah. Alokasi pertama pada sel dilakukan pada pemilihan sel dengan biaya pengangkutan paling terendah. Sel dengan biaya terendah ini diisi sebanyak mungkin dengan mengingat persyaratan kapasitas sumber maupun permintaan tempat tujuan. Kemudian akan dilanjutkan ke sel terendah berikutnya hingga seluruh sel permintaan terpenuhi. Matriks hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Least Cost* tersaji pada Tabel 7.

$$\begin{aligned}
 Z &= C_{11}X_{11} + C_{13}X_{13} + C_{19}X_{19} + C_{22}X_{22} + C_{25}X_{25} + C_{27}X_{27} + C_{32}X_{32} \\
 &\quad + C_{34}X_{34} + C_{36}X_{36} + C_{42}X_{42} + C_{43}X_{43} + C_{48}X_{48} \\
 &= (100)1.650 + (300)742 + (0)1.130 + (2.600)626 + (100)950 + (1.800)1.200 \\
 &\quad + (2.800)188 + (100)920 + (100)1.080 + (6.100)696 + (3.400)318 + (100)1.130 \\
 &= \text{Rp } 10.436.400,00
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan dengan menggunakan metode *Least Cost*, diperoleh biaya distribusi sebesar Rp 10.436.400,00.

Tabel 7. Matriks Hasil pada Metode *Least Cost*

Sumber	Tujuan									Supply
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)	
S1	100	1.500	300	3.800	3.800	3.800	2.500	3.800	0	3.522
	1.650	X	742	X	X	X	X	X	1.130	
S2	3.800	2.600	4.000	300	100	300	1.800	7.400	0	2.776
	X	626	X	X	950	X	1.200	X	X	
S3	3.800	2.800	4.000	100	300	100	2.000	7.400	0	2.188
	X	188	X	920	X	1.080	X	X	X	
S4	3.700	6.100	3.400	7.500	7.500	7.500	6.300	100	0	2.144
	X	696	318	X	X	X	X	1.130	X	
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630

3. Metode *Vogel's Approximation (VAM)*

Metode *Vogel Approximation* merupakan salah satu metode pengembang dari metode-metode sebelumnya yaitu metode *North West Corner* dan *Least Cost*. Langkah awal dalam pengerjaan metode *vogel* yaitu mencari nilai *opportunity cost* untuk setiap baris dan kolom. *Opportunity cost* untuk setiap baris i dihitung dengan mengurangkan nilai C_{ij} terkecil pada baris tersebut dari nilai C_{ij} satu tingkat lebih besar pada baris yang sama. Pilih baris atau kolom dengan *opportunity cost* terbesar (jika terdapat nilai yang sama, pilih secara sembarang). Alokasikan sebanyak mungkin ke kotak dengan nilai C_{ij} minimum pada baris atau kolom yang dipilih. Cara ini dilakukan hingga semua sel kapasitas terpakai dan seluruh permintaan terpenuhi. Matriks hasil perhitungan dengan menggunakan metode *VAM* tersaji pada Tabel 8.

Tabel 8. Matriks Hasil pada Metode *Vogel's Approximation (VAM)*

Sumber	Tujuan									Supply	Kolom Pinalti
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)		
S1	100	1.500	300	3.800	3.800	3.800	2.500	3.800	0	3.522	-
	1.650	696	1.060	X	X	X	X	X	116		
S2	3.800	2.600	4.000	300	100	300	1.800	7.400	0	2.776	-
	X	626	X	X	950	X	1.200	X	X		
S3	3.800	2.800	4.000	100	300	100	2.000	7.400	0	2.188	-
	X	188	X	920	X	1.080	X	X	X		
S4	3.700	6.100	3.400	7.500	7.500	7.500	6.300	100	0	2.144	-
	X	X	X	X	X	X	X	1.130	1.014		
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630	
Baris Pinalti	-	200	-	-	-	-	-	-			

$$\begin{aligned}
 Z &= C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{19}X_{19} + C_{22}X_{22} + C_{25}X_{25} + C_{27}X_{27} \\
 &\quad + C_{32}X_{32} + C_{34}X_{34} + C_{36}X_{36} + C_{48}X_{48} + C_{49}X_{49} \\
 &= (100)1.650 + (1.500)696 + (300)1.060 + (0)116 + (2.600)626 + (100)950 \\
 &\quad + (1.800)1.200 + (2.800)188 + (100)920 + (100)1.080 + (100)1.130 + (0)1.014 \\
 &= \text{Rp } 6.249.000
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan dengan menggunakan metode *Vogel's Approximation (VAM)*, diperoleh biaya distribusi sebesar Rp 6.249.000.

4. Metode *Stepping Stone*

Dari ketiga metode solusi layak awal yang digunakan penulis dalam menentukan biaya transportasi, metode VAM menghasilkan biaya distribusi lebih optimal dari metode yang lain, sehingga uji keoptimalan menggunakan metode *Stepping Stone* dapat dilanjutkan menggunakan hasil akhir metode VAM. Pada hasil matriks metode VAM di atas terdapat 24 sel kosong yaitu $X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{21}, X_{23}, X_{24}, X_{26}, X_{28}, X_{29}, X_{31}, X_{33}, X_{35}, X_{37}, X_{38}, X_{39}, X_{41}, X_{42}, X_{43}, X_{44}, X_{45}, X_{46}$, dan X_{47} , sel-sel tersebut merepresentasikan rute yang tidak digunakan.

Langkah pertama pada metode *Stepping Stone* adalah untuk mengevaluasi sel-sel kosong tersebut untuk melihat apakah dengan menggunakan sel-sel tersebut bisa menghasilkan total biaya pengangkutan lebih rendah dari sebelumnya. Sel kosong pertama yang akan dialokasikan di beri tanda positif ' + ' maka akan terjadi peningkatan penawaran sebesar 1 nilai, agar memenuhi kembali batasan penawaran dan permintaan awal, maka harus dikurangi 1 nilai dengan memberi tanda negatif ' - ' pada salah satu sel dengan kolom dan baris yang sama sehingga dapat memenuhi kembali jumlah batasan penawaran dan permintaan awal, hal ini berdasarkan ketentuan metode bahwa proses penambahan dan pengurangan unit dari sel-sel alokasi adalah analogi menyeberangi sebuah kolom dengan melangkah pada batu-batu.

Tabel 9. Iterasi 1 Metode *Stepping Stone* dari Jalur X_{39}

Sumber	Tujuan									Supply
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)	
S1	100 1.650	+ 1.500 696 + 116	300 1.060	3.800	3.800	3.800	2.500	3.800	- 0 116 - 116	3.522
S2	3.800	2.600 626	4.000	300	100 950	300	1.800 1.200	7.400	0	2.776
S3	3.800	- 2.800 188 - 116	4.000	100 920	300	100 1.080	2.000	7.400	+ 0 0 + 116	2.188
S4	3.700	6.100	3.400	7.500	7.500	7.500	6.300	100 1.130	0 1.014	2.144
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630

Tabel dengan nilai komoditas paling rendah pada jalur tertutup X_{39} terdapat pada sel $X_{19} = 116$ (memiliki tanda negatif), maka nilai komoditas tersebut dipilih sebagai koefisien yang mengurangi dan menambah setiap komoditas pada jalur sel X_{39} , sehingga diperoleh hasil matriks iterasi 1 yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Iterasi 1 Metode *Stepping Stone*

Sumber	Tujuan									Supply
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9 (Dummy)	
S1	100	1.500	300	3.800	3.800	3.800	2.500	3.800	0	3.522
	1.650	812	1.060							
S2	3.800	2.600	4.000	300	100	300	1.800	7.400	0	2.776
		626			950		1.200			
S3	3.800	2.800	4.000	100	300	100	2.000	7.400	0	2.188
		72		920		1.080			116	
S4	3.700	6.100	3.400	7.500	7.500	7.500	6.300	100	0	2.144
								1.130	1.014	
Demand	1.650	1.510	1.060	920	950	1.080	1.200	1.130	1.130	10.630

$$\begin{aligned}
 Z &= C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{22}X_{22} + C_{25}X_{25} + C_{27}X_{27} + C_{32}X_{32} \\
 &\quad + C_{34}X_{34} + C_{36}X_{36} + C_{39}X_{39} + C_{48}X_{48} + C_{49}X_{49} \\
 &= 1.650(100) + 812(1.500) + 1.060(300) + 626(2.600) + 950(100) + 1.200(1.800) \\
 &\quad + 72(2.800) + 920(100) + 1.080(100) + 116(0) + 1.130(100) + 1.014(0) \\
 &= \text{Rp } 6.098.200,00
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan dengan menggunakan metode *Stepping Stone*, diperoleh biaya distribusi sebesar Rp 6.098.200,00.

Tabel 11. Perbandingan Biaya Distribusi

No	Metode Penyelesaian	Besar Biaya Distribusi
1.	Metode <i>North West Corner</i> (NWC)	Rp 9.211.000,00
2.	Metode <i>Least Cost</i>	Rp 10.436.400,00
3.	Metode <i>Vogel's Approximation</i> (VAM)	Rp 6.249.000,00
4.	VAM - Metode <i>Stepping Stone</i>	Rp 6.098.200,00

Berdasarkan Tabel 11, diperoleh perbandingan analisis perhitungan dari empat metode transportasi. Metode *Stepping Stone* menghasilkan biaya distribusi lebih rendah dari metode transportasi lainnya.

PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan metode transportasi solusi layak awal dan metode uji optimalitas dalam optimalitas biaya distribusi di PT. Ciomas Adisatwa Kantor Cabang Balikpapan, diperoleh hasil perhitungan yaitu menggunakan metode *North West Corner* (NWC) sebesar Rp9.211.000,00, metode *Least Cost* memperoleh biaya sebesar Rp10.436.400,00 dan metode *Vogel's Approximation* (VAM) sebesar Rp 6.249.000,00. Uji optimalitas dilanjutkan menggunakan kombinasi metode VAM dan *Stepping Stone* yang menghasilkan nilai biaya pembayaran yang lebih rendah yaitu sebesar Rp 6.098.200,00. Dibandingkan dengan metode VAM, uji optimalitas menggunakan metode *Stepping Stone* dapat menghemat biaya distribusi sebesar Rp 150.800,00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhardi. (2011). *MANAJEMEN OPERASI Suatu Pendekatan Kuantitatif Untuk Pengambilan Keputusan*. Bandung: Redaksi Refika Aditama.
- [2] Siswanto. (2007). *Operations Research*. Jakarta : Erlangga.

- [3] Mandey, Jilly Bernadette. (2013). Promosi, Distribusi, Harga Pengaruhnya Terhadap Keputusan Pembelian Rokok Surya Promild. *Jurnal EMBA*, Vol.1, No.4, 95-104.
- [4] Rosta, Jevi., dan Tannady, Hendy. (2012). Pendistribusian Produk Yang Optimal Dengan Metode Transportasi (*Optimum Product Distribution Using Transportation Method*). *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 01(04), 347-352.
- [5] Simangunsong, A.,(2018). Analisis Optimalisasi Biaya Transportasi Pengangkutan Kayu Menggunakan Metode *Stepping Stone* Pada PT.TPL Tobasa. *Jurnal Mantik Penusa*, 2(2), 185-190.