

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang masalah

Seiring dengan keadaan dunia usaha yang terus berkembang pada saat ini, perusahaan dihadapkan pada persaingan yang semakin ketat. Persaingan dapat terjadi baik pada perusahaan yang baru berdiri maupun perusahaan yang telah ada. Oleh karena itu, perusahaan harus dapat bertahan dan memiliki daya saing yang kuat untuk mempertahankan kelangsungan usahanya. Salah satu hal penting yang harus diperhatikan agar suatu perusahaan dapat bertahan adalah dengan pengoptimalan biaya.

Optimasi biaya perlu diterapkan pada berbagai kegiatan perusahaan, dan salah satu yang dilakukan perusahaan adalah dengan melakukan optimasi pada biaya transportasi. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut maka dirancang suatu model yaitu model transportasi. Tujuan dari model transportasi ini adalah menentukan jumlah barang yang harus dikirimkan dari setiap sumber kesetiap tujuan sedemikian rupa sehingga biaya total transportasi menjadi minimum (Pranati, 2018).

Metode transportasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama ke tempat-tempat yang membutuhkan secara optimal. Alokasi produk ini harus diatur sedemikian rupa, karena terdapat perbedaan biaya-biaya alokasi dari satu sumber ke tempat-tempat tujuan. Ada beberapa macam metode transportasi, yang semuanya terarah pada penyelesaian optimal dari masalah-masalah transportasi yang terjadi.

Permasalahan transportasi merupakan permasalahan program linear. Aplikasi dari teknik program linear pertama kali ialah merumuskan persoalan transportasi dan memecahkannya (Taufiq, 2017). Metode penyelesaian awal dari transportasi merupakan *North West Conner (NWC)*, *Least Cost*, dan *Vogel's Approximation Method (VAM)*, solusi awal dalam metode transportasi bisa mengatasi permasalahan pengoptimalan distribusi. Solusi awal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Vogel's Approximation Method (VAM)*. Namun solusi ini belum dikatakan

optimal, karena solusi ini hanya untuk mencari suatu pengalokasian barang/produk yang mungkin dari setiap sumber ke setiap tujuan. Maka dari itu diperlukan solusi optimum dengan menggunakan metode *Stepping Stone*.

PT. Musi Mas merupakan tempat produksi minyak makan merek sunco. Hasil produksi didistribusikan ke beberapa tempat di provinsi Sumatera Utara. Pendistribusian dari sumber ke tempat tujuan memiliki anggaran yang berbeda-beda karena memiliki tempat tujuan yang berbeda-beda, dalam hal pendistribusian PT. Musi Mas masih menggunakan cara yang manual sehingga pendistribusian barang dan biaya distribusi kurang optimal maka dari itu pendistribusian suatu produk harus dilakukan secara optimal.

Metode transportasi dapat membantu menyelesaikan masalah pendistribusian produk dari sumber ke beberapa tempat tujuan dan menekan total biaya distribusi. Oleh sebab itu metode transportasi berguna untuk membantu pendistribusian yang optimal. Untuk mengoptimalkan biaya distribusi maka dibutuhkan metode yang tepat supaya produk dapat terdistribusi ke tujuan dengan biaya minimum. Untuk memecahkan masalah ini dapat digunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) untuk solusi awal dan metode *Stepping Stone* untuk solusi optimal dalam pengiriman barang. Berdasarkan uraian di atas, maka jadi landasan penulis untuk melakukan penelitian dengan mengangkat judul "**Optimasi Biaya Pengiriman Minyak Sunco Metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan Metode *Stepping Stone***".

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan biaya pengiriman barang menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi ruang lingkup permasalahan penelitian antara lain:

1. Mencari solusi awal untuk biaya transportasi menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) untuk solusi awal.

2. Mencari solusi optimum biaya transportasi menggunakan metode *Stepping Stone*.
3. Penelitian ini dilakukan di PT. Musi Mas
4. Data yang dianalisis merupakan data biaya pengiriman, data kapasitas dari setiap gudang, dan data permintaan produk dari setiap tujuan di PT. Musi Mas.

1.4 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan biaya pengiriman barang menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone* di UD Yosarita.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis, dapat menerapkan ilmu yang didapat dari bangku perkuliahan kedalam praktek dunia usaha yang nyata, dan menambah pemahaman penulis tentang pengoptimalan biaya pengiriman barang menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone*.
2. Bagi pembaca, dapat memberi informasi dan menambah pengetahuan mengenai pengoptimalan biaya pengiriman barang menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone*.
3. Bagi perusahaan terkait, sebagai bahan pertimbangan perusahaan agar dapat mengoptimalkan biaya pengiriman barang menggunakan metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone*.

1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar batas dan luasnya penelitian, maka peneliti akan merancang hasil penelitian ini dengan deskripsi singkat sistematika penulisan penelitian sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini terdiri dari teori mengenai metode transportasi yang berfokus pada metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan metode *Stepping Stone*.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini terdiri dari tempat dan waktu penelitian, jenis penelitian, objek penelitian, variabel penelitian, kerangka penelitian, metode pengumpulan dan pengolahan data.

BAB IV Pengolahan Data

Bab ini terdiri dari pengumpulan dan pengolahan data, baik data primer dan sekunder, serta langkah-langkah dalam melakukan perhitungan metode yang digunakan.

BAB V Analisa dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil pembahasan dari hasil perhitungan yang didapat dan juga factor-faktor yang mempengaruhinya.

BAB VI Kesimpulan Dan Saran

Bab ini terdiri dari kesimpulan dan saran yang merupakan pernyataan singkat, jelas dan tepat yang telah didapatkan dari hasil penelitian.

Daftar Pustaka**Lampiran**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Transportasi

2.1.1 Pengertian Metode Transportasi

Metode transportasi merupakan bagian dari program linier 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 lain, hal ini dikarenakan adanya perbedaan dari biaya-biaya tersebut. Syarat dari metode transportasi adalah besarnya kebutuhan (permintaan) sama dengan kapasitas, apabila kebutuhan tidak sama dengan kapasitas maka untuk menyamakannya ditambahkan variabel *dummy* dengan biaya distribusi sebesar nol.

Terdapat dua solusi dalam metode transportasi, yaitu : solusi awal, yang terdiri dari metode *North West Corner*, metode *Least Cost Combination*, *Vogel Approximation Method* dan solusi optimal, yang terdiri dari metode *SteppingStone* dan metode *Modified Distribution*.

Metode transportasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama ke tempat-tempat yang membutuhkan secara optimal dengan biaya yang termurah.

Model transportasi adalah suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi suatu produk (barang-barang) dari sumber- sumber yang menyediakan produk (misalnya pabrik) ke tempat-tempat tujuan (misalnya gudang) secara optimal. Tujuan dari model ini adalah menentukan jumlah yang harus dikirim dari setiap sumber ke setiap tujuan sedemikian rupa dengan total biaya transportasi minimum.

Metode transportasi merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama, ke tempat-tempat yang membutuhkan secara optimal. Alokasi produk ini harus diatursedemikian rupa, karena terdapat perbedaan biaya-biaya alokasi dari satu sumber ke tempat-tempat

tujuan berbeda-beda, dan dari beberapa sumber ke tempat-tempat tujuan juga berbeda-beda (Subagyo et al. 1990).

Noer (2010) mengemukakan bahwa metode transportasi dimaksudkan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan transportasi (pengangkutan) barang atau produk dari gudang/pabrik ke pasar tujuan dengan biaya termurah. Bila telah dapat diidentifikasi biaya angkut dari pabrik ke pasar, serta kapasitas pabrik dan permintaan pasar pun telah diketahui maka persoalan bagaimana cara pengalokasian terbaiknya dapat dikerjakan.

Beberapa permasalahan yang dapat diselesaikan dengan metode transportasi adalah mengalokasikan barang/jasa dari suatu tempat (sumber/supply) ke tempat lainnya (demand/destination) secara optimal dengan mempertimbangkan biaya minimal, pengalokasian periklanan yang efektif, pembelanjaan modal dan alokasi dana untuk investasi, analisis pemilihan lokasi usaha yang tepat, keseimbangan lini perakitan, dan penjadwalan produksi.

2.1.2 Metode Transportasi Menggunakan Solusi Awal

2.1.2.1 Metode *North West Corner*

Metode Least Cost adalah metode yang membuat alokasi berdasarkan kepada biaya yang terendah. Metode ini merupakan sebuah pendekatan yang sederhana, yang menggunakan langkah-langkah berikut: Pilih sel yang biayanya terkecil dan sesuaikan dengan permintaan dan kapasitas

Langkah-langkah pada metode *North West Corner* adalah (Andi Wijaya, 2012):

1. Membuat tabel transportasi.
2. Dimulai dari sel pada sudut kitri atas yang diisi dengan angka sebanyak-banyaknya yang disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan (pilih yang paling kecil).
3. Lakukan langkah yang sama pada langkah 2 untuk mengisi sel-sel lain yang disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan sampai seluruh kapasitas dan permintaan terpenuhi.

2.1.2.2 Metode Least Cost Combination

Persoalan least cost combination adalah menentukan kombinasi input mana

yang memerlukan biaya terendah apabila jumlah produksi yang ingin dihasilkan telah ditentukan.

Langkah-langkah pada metode Least Cost Combination adalah (Andi Wijaya, 2012) :

1. Membuat tabel transportasi.
2. Dimulai dari mengisi sel pada biaya terendah dengan angka sebanyak- banyaknya yang disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan (pilih yang paling kecil).
3. Lakukan langkah yang sama pada langkah b untuk mengisi sel-sel lain yang disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan sampai seluruh kapasitas permintaan terpenuhi.

2.1.2.3 Vogel Approximation Method

Metode vogel approximation merupakan salah satu metode transportasi menggunakan solusi awal. Metode transportasi merupakan bagian dari program linier yang digunakan untuk mengatur dan mendistribusikan sumber-sumber yang menyediakan produk ke tempat-tempat yang membutuhkan untuk mencapai efisiensi biaya transportasi.

Langkah-langkah pada metode Vogel Approximation Method adalah (Andi Wijaya, 2012) :

1. Cari dua biaya terendah dari masing-masing baris dan kolom.
2. Selisihkan dua biaya terendah tersebut.
3. Pilih selisih biaya terbesar pada baris atau kolom tersebut (apabila terdapat selisih sebesar yang sama, maka dapat dipilih salah satunya).
4. Alokasikan produk sebanyak-banyaknya (d disesuaikan dengan kapasitas dan permintaan) di sel yang memiliki biaya terendah pada baris atau kolom yang memiliki selisih terbesar tersebut.
5. Baris atau kolom yang telah diisi penuh tidak dapat diikutsertakan kembali dalam proses perhitungan pencarian selisih biaya berikutnya.
6. Lakukan kembali pada langkah a sampai semua produk dialokasikan sesuai dengan kapasitas dan permintaan.

2.1.3 Metode Transportasi Menggunakan Solusi Optimal

2.1.2.3 Metode *Stepping Stone*

Metode *Stepping Stone* adalah metode yang digunakan dalam merubah alokasi produk untuk mendapatkan alokasi produksi yang optimal menggunakan cara trial and error atau coba – coba.

Langkah-langkah metode *Stepping Stone* adalah (Andi Wijaya, 2012) :

1. Mencari sel yang kosong
2. Melakukan loncatan pada sel yang terisi,
3. Loncatan dapat dilakukan secara vertikal atau horizontal.
4. Dalam suatu loncatan tidak boleh dilakukan lebih dari satu kali loncatan pada baris atau kolom yang sama tersebut.
5. Loncatan dapat dilakukan melewati sel lain selama sel tersebut terisi.
6. Setelah loncatan pada baris langkah selanjutnya pada kolom dan sebaliknya.
7. Jumlah loncatan bersifat genap.
8. Perhatikan sel yang terisi pada loncatan berikutnya untuk memastikan proses tidak terlambat
9. Lakukan perhitungan biaya pada sel yang kosong tersebut, dimulai dari sel yang kosong.
10. Perhitungan dilakukan dengan cara menghitung biaya, sel yang kosong diberi tanda positif selanjutnya negatif, positif, negatif, dst.
11. Apabila semua telah bernilai positif berarti solusi awal yang telah dikerjakan sebelumnya telah menghasilkan biaya transportasi minimum, tetapi apabila masih terdapat nilai negatif, maka dicari nilai negatif terbesar (penghematan terbesar).
12. Apabila terdapat tanda negatif, alokasikan produk dengan melihat proses e, akan tetapi yang dilihat adalah isi dari sel tersebut. Tambahkan dan kurangkan dengan isi sel negatif terkecil pada seluruh sel.
13. Lakukan langkah yang sama dengan mengulang dari langkah b sampai hasil perhitungan biaya tidak ada bernilai negatif.

2.1.3.2 Metode Modified Distribution

Langkah-langkah metode Modified Distribution adalah (Andi Wijaya,2012):

1. Menghitung nilai indeks pada masing-masing baris dan kolom, dengan menggugalkan rumus $R_i + K_j - C_{ij}$, di mana R_i adalah nilai indeks pada baris i , K_j merupakan nilai indeks pada kolom j dan C_{ij} adalah biaya transportasi dari sumber i ke tujuan j . Pemberian nilai indeks ini harus berdasarkan pada sel yang telah terisi atau digunakan. Sebagai alat bantu untuk memulai pencarian nilai indeks, maka nilai baris pertama (R_1) ditetapkan sama dengan nol.
2. Nilai indeks seluruh baris dan kolom diperoleh dengan rumus $R_i + K_j = C_{ij}$.
- 3 Mencari sel-sel yang kosong atau sel yang belum terisi
- 4 Mengitung besarnya nilai pada sel-sel kosong tersebut dengan rumus I_{ij}
- 5 $= C_{ij} - R_i - K_j$.
- 6 Apabila nilai sel-sel kosong tersebut keseluruhannya bernilai positif berarti proses tersebut telah menghasilkan biaya transportasi minimum.
- 7 Apabila masih terdapat nilai negative berarti masih terdapat sel yang memiliki angka negatif.
- 8 Proses pengalokasian dilakukan menggunakan pendekatan yang serupa dengan metode *Stepping Stone*.
- 9 Lakukan langkah a untuk memastikan semua nilai sel kosong tidak ada yang bernilai negatif.

2.2 Degenerasi

Degenerasi (turun derajat) terjadi apabila jumlah sel yang terisi pada tabel transportasi kurang dari $m+n-1$ (m merupakan jumlah baris dan n merupakan jumlah kolom). Hal ini dapat diatasi dengan melakukan penambahan set terisi dengan cara memasukkan nilai 0 sebanyak yang dibutuhkan ke dalam sel hingga jumlah sel yang terisi mencapai $m+n-1$. Pemilihan ini sembarang dan biasanya diberikan pada variabel-variabel dengan biaya pengiriman terendah. Memperbaiki suatu pemecahan yang turun derajat dapat berkesudahan dengan penggantian suatu variabel dasar yang bernilai nol dengan variabel dasar lain yang juga bernilai nol. Meskipun kedua pemecahan yang

turun derajat ini secara efektif adalah sama (hanya penamaan variabel-variabel dasar yang telah berubah sedangkan nilainya tetap) tetapi iterasi tambahan ini perlu agar metode transportasi dapat dilanjutkan .

2.3 Persoalan Transportasi

Kasus transportasi timbul ketika dicoba menentukan cara pengiriman (distribusi) suatu jenis barang (item) dari beberapa sumber (lokasi penawaran) ke beberapa tujuan (lokasi permintaan) yang dapat meminimumkan biaya. Biasanya jumlah barang yang dapat disalurkan dari setiap lokasi penawaran adalah tetap atau terbatas, namun jumlah permintaan pada setiap lokasi permintaan adalah bervariasi.

Permasalahan transportasi termasuk permasalahan program linier yang khusus yang dapat diselesaikan dengan metode transportasi. Persoalan dasar transportasi pada mulanya dikembangkan oleh F. L. Hitchcock pada tahun 1941 dalam studinya yang berjudul: *The distribution of a product from several source to numerous locations*. Pada awal 1947, T. C. Koopmans secara terpisah menerbitkan suatu hasil studi mengenai: *Optimal utilization of the transportation system*. Selanjutnya, perumusan persoalan *linear programming*, dan cara pemecahan yang sistematis dikembangkan oleh Prof. George Dantzig yang sering disebut bapak *linear programming* (Rangkuti, 2013).

Masalah transportasi adalah cabang dari riset operasi, merupakan masalah pendistribusian barang dari beberapa sumber (persediaan atau supply) ke beberapa tujuan (permintaan atau demand) dengan tujuan untuk meminimumkan biaya transportasi atau memaksimalkan keuntungan.

Gambaran umum dari persoalan angkutan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sebuah perusahaan yang menghasilkan barang atau komoditi tertentu melalui sejumlah pabrik pada lokasi yang berbeda, akan mengirim barang ke berbagai tempat yang memerlukan dengan jumlah kebutuhan yang sudah tertentu.
2. Sejumlah barang atau komoditi hendak dikirim dari sejumlah pelabuhan asal kepada sejumlah pelabuhan tujuan, masing-masing dengan tingkat kebutuhan yang sudah diketahui.
3. Sasaran dalam masalah transportasi ini ialah mengalokasikan barang yang ada

pada pelabuhan asal sedemikian rupa hingga terpenuhi semua kebutuhan pada pelabuhan tujuan. Sedangkan tujuan utama dari persoalan angkutan ini ialah untuk mencapai jumlah biaya yang serendah-rendahnya (minimum) atau mencapai jumlah laba yang sebesar-besarnya (maksimum).

Pada umumnya, masalah transportasi berhubungan dengan distribusi suatu produk tunggal dari beberapa sumber, dengan penawaran terbatas, menuju beberapa tujuan dengan permintaan tertentu, pada biaya transportasi minimum. Karena bentuk masalah transportasi yang khas untuk menghitung minimasi biaya transportasi dalam bentuk tabel khusus yang dinamakan tabel transportasi.

2.4 Metode Transportasi

Metode transportasi yang dapat digunakan untuk mencari solusi awal adalah Metode Sudut Barat Laut (*North West Corner Method*) dan Metode Biaya Terendah (*Least-Cost Method*).

1. Metode Sudut Barat Laut (*North West Corner Method*)

Metode sudut barat laut adalah metode yang paling sederhana untuk mencari solusi awal dari transportasi. Ciri dari metode ini adalah alokasi satuan belum memandang biaya transportasi (Rangkuti, 2013). Metode *North West Corner Rule* atau yang dikenal dengan metode sudut barat laut merupakan salah satu pemecahan awal yang digunakan dalam menyelesaikan persoalan transportasi.

2. Metode Biaya Terendah (*Least-Cost Method*)

Metode biaya terendah atau *Least-Cost Method* berusaha mencapai tujuan minimalisasi biaya dengan alokasi sistematis kepada kotak-kotak sesuai dengan besarnya biaya transportasi per unit (Rangkuti, 2013).

Metode transportasi yang dapat digunakan untuk mencari solusi optimal adalah Metode Batu Loncatan (*Stepping Stone Method*) dan Metode Potensial.

1. Metode Batu Loncatan (*Stepping Stone Method*)

Salah satu metode transportasi adalah metode batu loncatan (*stepping stone method*) yang digunakan untuk menghasilkan pemecahan layak bagi masalah dengan biaya-biaya operasi (biaya pabrik dan biaya transportasi), sehingga mendapatkan biaya

pengiriman relatif minimal. Jumlah rute atau sel yang mendapat alokasi harus sebanyak

2. Metode Potensial

Dalam memecahkan masalah transportasi, metode potensial dapat juga dipergunakan untuk mencari solusi optimum. Metode potensial (metode U-V) melakukan evaluasi dari suatu lokasi transportasi secara matriks. Solusi dengan menggunakan metode potensial adalah suatu variasi dari metode *stepping stone* yang didasarkan pada rumusan dual. Perbedaan utama dari metode potensial dengan metode *stepping stone* ialah cara mengevaluasi setiap sel dalam matriks. Dalam *stepping stone*, lingkaran evaluasi harus dicari untuk semua sel, yaitu sebanyak sel, yang tidak terletak dalam basis.

Dalam metode potensial, lingkaran evaluasi hanya dicari untuk sel yang mempunyai harga paling negatif pada matriks evaluasi. Dalam proses mencari harga-harga sel evaluasi matriks, metode potensial terlebih dahulu harus menyusun satu matriks perubahan biaya. Matriks biaya awal dari transportasi dinyatakan dengan , matriks perubahan biaya yang akan dijelaskan dinyatakan dengan , sedangkan matriks evaluasi dinyatakan dengan.

2.4.1 Metode Awal *Vogel Approximation Method*

Vogel's Approximation Method (VAM) biasanya menghasilkan solusi awal yang lebih baik daripada metode *North West Corner* (NWC) dan *Least Cost* (Amaliah dkk, 2016). Langkah-langkah metode *Vogel's Approximation Method* sebagai berikut:

1. Menghitung penalti dari setiap baris dan kolom. Nilai penalti didapat dari selisih antara nilai terkecil dari baris dan kolom dengan nilai terkecil kedua dari baris dan kolom yang sama.
2. Memilih nilai penalti terbesar.
3. Berdasarkan langkah ke-2 alokasikan sebanyak mungkin barang pada sel dengan biaya terkecil.
4. Menghentikan proses apabila semua alokasi terpenuhi.
5. Menghitung total biaya yang diperoleh.

2.4.2 Improved Vogel's Approximation Method (IVAM)

IVAM adalah salah satu metode untuk mendapatkan solusi fisibel awal dalam masalah transportasi, IVAM merupakan metode modifikasi dari VAM. VAM dimodifikasi dengan menggunakan matriks *Total Opportunity Cost* (TOC) dan biaya alokasi alternatif. Adapun langkah-langkah *Improved Vogel's Approximation* sebagai berikut :

1. Membuat matriks *Total Opportunity Cost* (TOC) yang didapat dari penjumlahan *Opportunity Cost* (OC) baris dan OC kolom, dimana untuk OC baris hitung selisih setiap baris dengan nilai terkecil dari baris tersebut. Sedangkan untuk OC kolom hitung selisih setiap kolom dengan nilai terkecil pada kolom tersebut. Tabel TOC dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.1 Matriks TOC

Sumber	Tujuan				a_i
	d_1	d_2	...	d_n	
S_1	TOC_{11} x_{11}	TOC_{12} x_{12}	...	TOC_{1n} x_{1n}	a_1
...
S_m	TOC_{m1} x_{m1}	TOC_{m2} x_{m2}	...	TOC_{mn} x_{mn}	a_m
b_j	b_1	b_2	...	b_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

2. Menghitung penalti dari setiap baris dan kolom. Nilai penalti didapat dari selisih antara nilai terkecil dari baris dan kolom dengan nilai terkecil kedua dari baris dan kolom yang sama.
3. Memilih baris dan kolom dengan tiga biaya penalti tertinggi.
4. Berdasarkan langkah ke-3 pilih biaya transportasi terkecil dari ketiga penalti tertinggi.
5. Mengulangi langkah 2-4 hingga semua alokasi terpenuhi.

6. Menghitung total biaya transportasi dengan menggunakan biaya transportasi yang awal.

2.4.3 *Max-Min Vogel's Approximation Method (MM-VAM)*

Metode MM-VAM merupakan modifikasi dari VAM. MM-VAM dapat menghasilkan nilai yang lebih optimal dari VAM, karena memodifikasi beberapa langkah yang ada di VAM (Amaliah dkk, 2016). Modifikasi yang dilakukan yaitu pertama mencari matriks *Total Opportunity Cost* (TOC), selanjutnya mencari penalti dengan cara mengurangi antara biaya terbesar (*Max*) dengan biaya terkecil (*Min*), selanjutnya pilih dua penalti terbesar dan terakhir menggunakan biaya transportasi minimal untuk memilih sel. Langkah-langkah *Max-Min* MM-VAM sebagai berikut (Amaliah dkk, 2016):

1. Membuat matriks *Total Opportunity Cost* (TOC) yang didapat dari penjumlahan *Opportunity Cost* (OC) baris dan OC kolom, dimana untuk OC baris hitung selisih setiap baris dengan nilai terkecil dari baris tersebut. Sedangkan untuk OC kolom hitung selisih setiap kolom dengan nilai terkecil pada kolom tersebut.
2. Menghitung penalti dari setiap baris dan kolom. Nilai penalti didapat dari pengurangan nilai maksimal dengan nilai minimal dari setiap baris dan kolom.
3. Memilih dua penalti tertinggi. Jika terdapat nilai penalti yang sama pilih semua.
4. Diantara dua sel yang terpilih berdasarkan langkah ke-3, pilih sel yang memiliki biaya transportasi terkecil dan alokasi tertinggi.
5. Menghentikan proses bila semua barang telah dialokasikan dan semua permintaan telah dipenuhi. Kemudian hitung hasil solusi fisibel awal.

2.4.4 *Modified Vogel's Approximation Method (MVAM)*

Modified Vogel's Approximation Method (MVAM) merupakan salah satu hasil modifikasi dari VAM, MVAM menghasilkan solusi fisibel awal yang lebih optimal dari metode lain (Ullah, 2016). Beberapa langkah yang dimodifikasi dari VAM, pertama mencari matriks tereduksi, selanjutnya mencari penalti dengan cara mencari selisih antara dua nilai terbesar pada setiap baris dan kolom, selanjutnya pilih penalti terbesar dan memilih sel dengan biaya transportasi (matriks tereduksi) tertinggi. Menurut Ullah (2016) langkah-langkah *Modified Vogel's Approximation Method*

sebagai berikut:

1. Mengurangi biaya transportasi terbesar pada setiap baris dengan masing- masing elemen setiap baris tabel transportasi dan letakkan disebelah kiri atas elemen yang sesuai.
2. Mengurangi biaya transportasi terbesar pada setiap kolom dengan masing- masing elemen setiap kolom tabel transportasi dan letakkan disebelah kiri bawah elemen yang sesuai.
3. Membentuk matriks tereduksi yang elemennya adalah penjumlahan dari elemen kiri atas dan kiri bawah pada langkah satu dan langkah dua. Lalu tukar biaya transportasi yang awal dengan matriks tereduksi
4. Menghitung penalti dengan mencari selisih dua angka terbesar pada setiap baris dan kolom.
5. Memilih nilai penalti tertinggi, jika ada dua atau lebih yang sama, pilih sel dengan biaya transportasi (matriks tereduksi) tertinggi.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5 hingga semua alokasi terpenuhi.
7. Memasukkan semua alokasi sel dari matriks tereduksi ke tabel transportasi, lalu hitung hasil solusi fisibel awal.

2.4.5. Metode *Stepping Stone*

Menurut Basriati (2018) metode *stepping stone* merupakan metode yang merubah alokasi produk untuk mendapatkan alokasi produksi yang optimal menggunakan cara *trial error* (coba-coba). Langkah-langkah mencari solusi optimal masalah transportasi dengan metode *stepping stone* menurut Shafarda (2019) adalah sebagai berikut:

1. Melakukan evaluasi pada sel kosong dengan cara melakukan lompatan secara horizontal atau vertikal secara bergantian dengan berpijak pada sel yang sudah terisi. Lompatan dilakukan sampai kembali ke sel kosong awal.
2. Melakukan perhitungan biaya dari sel yang kosong menggunakan dasar jalur tertutup (+) atau (-). Tanda (+) diberikan pada sel kosong pertama, selanjutnya diberikan tanda (-) pada sel berikutnya. Penggunaan tanda (+) dan (-) dilakukan secara bergantian pada sel-sel berikutnya sampai kembali ke sel kosong awal.

3. Jika semua hasil perhitungan pada evaluasi sel kosong bernilai positif, maka matriks transportasi sudah optimal. Jika menghasilkan nilai negatif, maka matriks transportasi belum optimal dan dipilih nilai negatif terbesar pada perhitungan indeks perbaikan.
4. Setelah dipilih perhitungan indeks perbaikan yang menghasilkan nilai negatif terbesar, pilih sel dengan unit terkecil pada lompatan yang bernilai negatif. Tambahkan unit terkecil tersebut ke lompatan yang bernilai positif, kurangkan ke lompatan yang bernilai negatif.
5. Melakukan revisi tabel pada langkah ketiga sampai tidak ada nilai negatif pada evaluasi sel kosong