

Penerapan Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) dalam Optimasi Masalah Transportasi untuk Meminimalkan Biaya Distribusi

Ahmad Yazid Halim^{1, a)} dan Pardi Affandi^{2, b)}

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

^{a)} 23011310012@mhs.ulm.ac.id

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

Abstrak. Masalah transportasi merupakan salah satu permasalahan penting dalam riset operasi yang berkaitan dengan pendistribusian barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan biaya minimum. Permasalahan ini bertujuan untuk menentukan jumlah barang yang harus dikirim dari setiap sumber ke setiap tujuan agar seluruh permintaan terpenuhi dengan total biaya distribusi yang serendah mungkin. Penelitian ini menerapkan Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) sebagai pendekatan langsung (*direct method*) dalam menyelesaikan masalah transportasi tanpa perlu menentukan solusi awal yang layak. Metode SS menawarkan langkah-langkah sistematis melalui proses reduksi baris dan kolom serta perhitungan nilai reduksi biaya untuk memperoleh solusi optimal baik pada kasus transportasi seimbang maupun tidak seimbang. Hasil penerapan metode ini menunjukkan bahwa Metode SS mampu memberikan solusi optimal secara efisien dengan waktu perhitungan yang lebih singkat dibandingkan metode konvensional seperti North West Corner, Least Cost, maupun Vogel's Approximation. Dengan demikian, Metode SS dapat dijadikan alternatif yang efektif dalam optimasi biaya distribusi pada sistem logistik modern.

Kata Kunci : *Transportasi, Optimasi Biaya, Metode SS, Sheethalakshmy–Srinivasan, Riset Operasi.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan salah satu elemen penting dalam sistem distribusi yang berperan dalam menghubungkan sumber pasokan dengan tujuan permintaan. Efisiensi dalam sistem transportasi berpengaruh besar terhadap pengendalian biaya operasional dan peningkatan daya saing perusahaan [1]. Ketidakefisienan dalam proses distribusi dapat menyebabkan pemborosan sumber daya dan menurunkan produktivitas, sehingga diperlukan model matematis yang mampu menentukan pola distribusi optimal dengan biaya minimum tanpa mengabaikan keseimbangan antara pasokan dan permintaan [2].

Dalam bidang riset operasi, permasalahan ini dikenal sebagai transportation problem, yang termasuk dalam kategori linear programming problem [1], [2], [3]. Tujuan utamanya adalah menentukan alokasi pengiriman dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan total biaya minimum, di mana seluruh

kebutuhan permintaan dapat terpenuhi oleh kapasitas pasokan yang tersedia [4]. Model transportasi memberikan kerangka sistematis bagi pengambil keputusan untuk menentukan kombinasi pengiriman yang efisien berdasarkan parameter biaya, pasokan, dan permintaan [5].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah transportasi, seperti North West Corner, Least Cost, Vogel's Approximation Method (VAM), dan Modified Distribution Method (MODI) [4], [6], [7]. Metode-metode tersebut pada umumnya memerlukan pencarian solusi awal yang layak (initial feasible solution) sebelum dilakukan pengujian optimalitas. Namun, tahapan ini sering kali membutuhkan waktu dan proses perhitungan yang panjang, terutama pada kasus dengan ukuran matriks besar.

Sebagai alternatif dari pendekatan konvensional tersebut, Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) dikembangkan oleh A. Seethalakshmy dan N. Srinivasan (2016) untuk memperoleh solusi optimal secara langsung (direct method) tanpa perlu menentukan solusi awal terlebih dahulu [7], [8]. Metode ini menggunakan proses reduksi baris dan kolom serta perhitungan nilai reduksi biaya (cost reduction value) untuk mencapai solusi optimal. Pendekatan ini terbukti efektif baik pada kasus balanced transportation maupun unbalanced transportation, serta mampu menekan waktu komputasi dibandingkan metode konvensional [9], [10], [7].

Dengan demikian, penerapan Metode SS diharapkan dapat menjadi alternatif yang efisien dalam menyelesaikan masalah transportasi modern, khususnya dalam konteks optimasi biaya distribusi. Selain memberikan hasil yang optimal, metode ini juga menawarkan penyelesaian yang lebih sederhana dan sistematis dibandingkan pendekatan tradisional, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi sistem logistik secara keseluruhan.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah transportasi merupakan salah satu bentuk penerapan riset operasi yang bertujuan untuk menentukan pola pendistribusian barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan total biaya minimum [1], [2], [11]. Dalam penyelesaiannya, dibutuhkan metode yang tidak hanya mampu memberikan hasil optimal, tetapi juga efisien dari segi waktu dan langkah komputasi.

Metode konvensional seperti North West Corner, Least Cost, dan Vogel's Approximation Method (VAM) biasanya digunakan untuk memperoleh solusi awal yang layak sebelum dilakukan pengujian optimalitas menggunakan metode seperti Modified Distribution Method (MODI) [4], [6]. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam hal jumlah iterasi dan efisiensi proses, terutama pada kasus transportasi berskala besar yang kompleks.

Sebagai alternatif, Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) diperkenalkan untuk menyelesaikan masalah transportasi secara langsung (direct method) tanpa memerlukan solusi awal yang layak [7], [12]. Metode ini mengombinasikan proses reduksi baris dan kolom dengan perhitungan nilai reduksi biaya untuk menemukan solusi optimal dengan langkah perhitungan yang lebih singkat [10], [13]. Pendekatan ini memberikan efisiensi tinggi serta keakuratan hasil yang setara atau bahkan lebih baik dibandingkan metode konvensional.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) dalam menentukan solusi optimal pada masalah transportasi dengan biaya minimum?

2. Bagaimana kinerja Metode SS dibandingkan dengan metode konvensional dalam hal efisiensi perhitungan dan hasil optimasi biaya distribusi?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan menganalisis kinerja Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) dalam penyelesaian masalah transportasi guna meminimalkan biaya distribusi. Metode ini dikembangkan sebagai pendekatan langsung (direct method) untuk memperoleh solusi optimal tanpa memerlukan solusi awal yang layak [7]. Dengan pendekatan ini, proses penyelesaian menjadi lebih efisien dibandingkan metode konvensional seperti North West Corner, Least Cost, atau Vogel's Approximation Method, yang umumnya memerlukan beberapa tahap iterasi untuk mencapai hasil optimal [4], [6].

Secara khusus, tujuan penelitian ini meliputi:

1. Menerapkan Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) dalam menentukan solusi optimal masalah transportasi dengan biaya distribusi minimum.
2. Menganalisis efektivitas dan efisiensi Metode SS dibandingkan dengan metode konvensional dalam hal waktu perhitungan dan keakuratan hasil optimasi.

Melalui tujuan tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan metode optimasi di bidang riset operasi, khususnya dalam penerapan model transportasi yang mampu menghasilkan solusi lebih cepat dan akurat [10], [1], [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Program Linear

Program linier (Linear Programming) merupakan salah satu cabang penting dalam riset operasi yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi dengan model matematis berbentuk fungsi tujuan dan kendala yang bersifat linier [1], [4]. Pendekatan ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti ekonomi, industri, logistik, dan manajemen karena mampu membantu pengambil keputusan menentukan alokasi sumber daya secara efisien. Dalam praktiknya, program linier digunakan untuk memaksimalkan keuntungan, meminimalkan biaya, atau mengoptimalkan penggunaan sumber daya dengan mempertimbangkan batasan-batasan tertentu yang tidak dapat dilanggar. Dengan demikian, program linier menjadi dasar dari banyak model optimasi yang digunakan dalam perencanaan dan pengendalian sistem operasional di dunia nyata.

Tujuan utama dari program linier adalah menentukan kombinasi variabel keputusan yang menghasilkan nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi tujuan dengan tetap memenuhi batasan-batasan yang berlaku. Model program linier secara umum terdiri dari tiga komponen utama, yaitu fungsi tujuan (objective function), fungsi kendala (constraints), dan variabel keputusan (decision variables). Fungsi tujuan menunjukkan besarnya keuntungan yang akan dimaksimalkan atau biaya yang akan diminimalkan, fungsi kendala menggambarkan keterbatasan sumber daya seperti bahan baku, waktu, tenaga kerja, atau kapasitas distribusi, sedangkan variabel keputusan merupakan nilai-nilai yang harus ditentukan agar fungsi tujuan mencapai hasil optimal [1].

Secara matematis, bentuk umum model program linier dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Optimalkan } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

dengan kendala:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Himpunan semua solusi yang memenuhi seluruh kendala disebut daerah layak (feasible region), sedangkan solusi yang menghasilkan nilai terbaik bagi fungsi tujuan disebut solusi optimal (optimal solution) [2]. Program linier memiliki berbagai metode penyelesaian, seperti metode grafik, metode Simplex, serta metode-metode khusus untuk masalah tertentu seperti masalah transportasi [4], [6]. Dalam konteks penelitian ini, model program linier digunakan sebagai dasar matematis dalam penyusunan model transportasi, di mana tujuan utamanya adalah meminimalkan biaya distribusi antara sumber dan tujuan [10], [7].

Model transportasi merupakan bentuk khusus dari program linier yang mengatur proses pendistribusian barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan secara efisien. Pada penelitian ini, penyelesaiannya dilakukan menggunakan Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan), yaitu metode langsung (direct method) yang mampu menghasilkan solusi optimal tanpa menentukan solusi awal terlebih dahulu [10], [7].

2.2 Model Transportasi

Model transportasi merupakan salah satu bentuk khusus dari program linier yang digunakan untuk mengatur proses pendistribusian barang dari sejumlah sumber (supply points) ke sejumlah tujuan (demand points) dengan tujuan untuk meminimalkan total biaya transportasi [1], [2]. Permasalahan ini banyak dijumpai dalam dunia industri, logistik, dan manajemen rantai pasok, di mana efisiensi sistem distribusi sangat berpengaruh terhadap biaya operasional dan kinerja perusahaan. Dalam konteks riset operasi, masalah transportasi dikategorikan sebagai model optimasi yang berfungsi menentukan pola pengiriman optimal agar seluruh permintaan dapat terpenuhi dengan pasokan yang tersedia tanpa terjadi kelebihan atau kekurangan [4].

Secara umum, model transportasi bertujuan menentukan jumlah barang yang harus dikirim dari setiap sumber ke setiap tujuan dengan mempertimbangkan kapasitas pasokan di masing-masing sumber dan jumlah permintaan di setiap tujuan. Tujuannya adalah agar total biaya transportasi menjadi sekecil mungkin. Bentuk umum model matematis dari masalah transportasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Dengan kendala:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = s_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

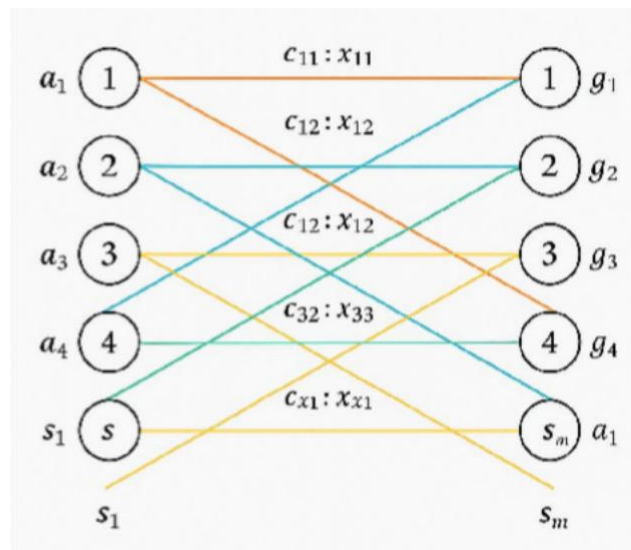
$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Keterangan:

1. Z adalah total biaya transportasi yang akan diminimalkan,
2. c_{ij} adalah biaya pengiriman per unit barang dari sumber ke- i ke tujuan ke- j ,
3. x_{ij} adalah barang yang dikirim dari sumber ke- i ke tujuan ke- j ,
4. s_i menunjukkan kapasitas pasokan sumber ke- i , dan
5. d_j menunjukkan jumlah permintaan di tujuan ke- j .

Model ini dapat direpresentasikan secara grafis menggunakan diagram jaringan transportasi, di mana setiap simpul di sisi kiri mewakili sumber (supply), sedangkan simpul di sisi kanan mewakili tujuan (demand). Setiap garis penghubung antara sumber dan tujuan menunjukkan jalur distribusi yang dilengkapi dengan biaya transportasi c_{ij} dan jumlah barang yang dikirim x_{ij} .



Gambar 2.1 Diagram Jaringan Model Transportasi

Selain bentuk grafis, model transportasi juga dapat disajikan dalam bentuk tabel umum model transportasi, di mana setiap baris mewakili sumber dan setiap kolom mewakili tujuan. Tabel ini membantu menggambarkan hubungan antara kapasitas pasokan dan jumlah permintaan secara terstruktur, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

| Ke Dari | g_1 | g_2 | ... | g_j | Supply |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| k_1 | X_{11} | X_{21} | ... | X_{1j} | s_1 |
| k_2 | X_{21} | X_{22} | ... | X_{2j} | s_2 |
| \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots | \vdots |
| k_m | X_{m1} | X_{m2} | ... | X_{ij} | s_m |
| Demand | d_1 | d_2 | ... | d_j | |

Tabel 2.1 Tabel Umum Model Transportasi

Masalah transportasi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu masalah transportasi seimbang (balanced transportation problem) dan masalah transportasi tidak seimbang (unbalanced transportation problem) [4], [6]. Suatu masalah dikatakan seimbang apabila total pasokan sama dengan total permintaan ($\sum s_i = \sum d_i$). Sedangkan disebut tidak seimbang jika total pasokan dan permintaan tidak sama. Untuk menyeimbangkan model, dapat ditambahkan variabel dummy supply atau dummy demand dengan biaya transportasi nol agar perhitungan tetap konsisten [5].

Penyelesaian masalah transportasi umumnya dilakukan melalui dua tahap, yaitu penentuan solusi awal layak (initial feasible solution) dan pengujian optimalitas (optimality test). Metode konvensional

seperti North West Corner, Least Cost, Vogel's Approximation Method (VAM), dan Modified Distribution Method (MODI) telah lama digunakan untuk tujuan tersebut [4], [5], [6]. Namun, metode-metode tersebut cenderung memerlukan beberapa iterasi untuk memperoleh solusi optimal, sehingga kurang efisien untuk kasus dengan jumlah sumber dan tujuan yang besar.

Sebagai pengembangan dari pendekatan konvensional tersebut, Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) diperkenalkan sebagai metode langsung (direct method) untuk memperoleh solusi optimal tanpa memerlukan tahap penentuan solusi awal terlebih dahulu [7]. Metode ini menggunakan proses reduksi baris dan kolom serta perhitungan nilai reduksi biaya (cost reduction value) untuk menentukan solusi optimal dengan langkah perhitungan yang lebih sederhana dan cepat. Dengan demikian, Metode SS mampu menghasilkan solusi yang efisien baik untuk masalah transportasi seimbang maupun tidak seimbang, serta menjadi alternatif efektif dalam optimasi biaya distribusi [10], [7].

2.3 Metode Penyelesaian Masalah Transportasi

Dalam penyelesaian masalah transportasi, terdapat beberapa pendekatan yang digunakan untuk memperoleh pola distribusi optimal antara sumber (supply) dan tujuan (demand). Setiap pendekatan memiliki karakteristik dan tahapan berbeda, baik dari segi kompleksitas perhitungan maupun efisiensi hasil yang diperoleh. Secara umum, metode penyelesaian masalah transportasi dapat dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu metode solusi awal (initial solution method), metode solusi optimal (optimal solution method), dan metode solusi langsung (direct method) [1], [4], [2].

1. Solusi Awal (Initial Basic Feasible Solution / IBFS)

Solusi awal layak atau Initial Basic Feasible Solution (IBFS) merupakan tahap awal dalam penyelesaian masalah transportasi yang bertujuan untuk memperoleh distribusi awal yang memenuhi seluruh batasan kapasitas pasokan dan permintaan [4], [5]. Solusi awal ini belum tentu optimal, tetapi menjadi titik awal untuk dilakukan pengujian lebih lanjut.

Beberapa metode yang sering digunakan untuk menentukan solusi awal antara lain North West Corner (NWC), Least Cost Method (LCM), dan Vogel's Approximation Method (VAM) [4], [6]. Masing-masing metode memiliki prinsip perhitungan yang berbeda:

- a. North-West Corner Method (NWC)
- b. Least Cost Method (LCM)
- c. Vogel's Approximation Method (VAM)

Meskipun metode-metode tersebut relatif sederhana dan mudah diterapkan, hasil yang diperoleh tidak selalu optimal. Oleh karena itu, tahap berikutnya adalah pengujian optimalitas untuk memastikan bahwa biaya total yang dihasilkan benar-benar minimum [2].

2. Solusi Optimal (Optimal Solution)

Solusi optimal dalam konteks masalah transportasi adalah alokasi distribusi barang antara sumber dan tujuan yang menghasilkan biaya transportasi total minimum dengan tetap memenuhi seluruh batasan yang ada [1], [2]. Proses untuk mencapai solusi optimal biasanya dilakukan setelah solusi awal

layak diperoleh. Pada tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap jalur pengiriman untuk mengetahui apakah masih terdapat kombinasi rute yang dapat mengurangi total biaya transportasi.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk melakukan pengujian optimalitas, di antaranya:

- a. Modified Distribution Method (MODI)
- b. Stepping Stone Method
- c. Russell's Approximation Method (RAM)

Semua metode tersebut memiliki kelebihan masing-masing. Namun, metode seperti MODI dan Stepping Stone tetap menjadi acuan utama dalam literatur klasik karena kemampuannya menguji optimalitas secara sistematis [4], [6]. Kekurangannya terletak pada kebutuhan iterasi yang relatif panjang dan potensi terjebak pada solusi lokal. Oleh karena itu, dikembangkan metode solusi langsung (direct method) untuk meningkatkan efisiensi perhitungan [10], [7].

3. Solusi Langsung (Direct Method)

Solusi langsung atau direct method adalah pendekatan penyelesaian masalah transportasi yang memungkinkan diperolehnya solusi optimal tanpa melalui tahap penentuan solusi awal. Pendekatan ini menggabungkan prinsip optimasi linier dengan algoritma reduksi untuk mengurangi langkah iterasi yang biasanya dibutuhkan dalam metode konvensional [7].

Beberapa metode yang termasuk dalam kategori solusi langsung antara lain:

- a. ASM (Algorithmic Simplified Method)
- b. Improved Zero Point Method (IZPM)
- c. Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) Method

Metode-metode di atas dikembangkan untuk mempercepat proses pencarian solusi tanpa mengorbankan keakuratan hasil. Metode SS (Sheethalakshmy–Srinivasan) menjadi salah satu pendekatan paling efisien karena menyatukan kedua tahap konvensional — penentuan solusi awal dan pengujian optimalitas ke dalam satu proses komputasi tunggal [10], [7]. Pendekatan ini juga efektif diterapkan baik pada masalah transportasi seimbang maupun tidak seimbang, menjadikannya solusi yang fleksibel dan modern untuk optimasi distribusi barang.

Dengan demikian, solusi langsung menjadi alternatif penting dalam riset optimasi karena mampu menghemat waktu perhitungan, meminimalkan kompleksitas algoritmik, serta tetap memberikan hasil yang sama optimalnya dengan metode konvensional.

2.4 Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS)

Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) merupakan salah satu metode penyelesaian masalah transportasi yang termasuk dalam kategori direct method. Metode ini dikembangkan oleh A. Seethalakshmy dan N. Srinivasan (2016) untuk memperoleh solusi optimal secara langsung tanpa melalui tahapan penentuan solusi awal layak (Initial Basic Feasible Solution / IBFS) [10], [7]. Pendekatan ini bekerja dengan prinsip reduksi baris dan kolom untuk menyederhanakan matriks biaya transportasi dan menentukan rute distribusi dengan efisiensi tertinggi. Dengan karakteristik tersebut,

metode SS dinilai lebih cepat, sistematis, dan akurat dibandingkan metode konvensional seperti VAM, LCM, atau MODI, serta sangat cocok diterapkan untuk optimasi biaya transportasi pada sistem distribusi berskala besar [10], [6], [7].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian terapan (applied research) dengan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini digunakan karena penelitian berfokus pada penerapan metode matematis dalam menyelesaikan permasalahan optimasi biaya transportasi. Melalui pendekatan kuantitatif, penelitian ini memanfaatkan data numerik yang dianalisis menggunakan model matematis untuk memperoleh solusi optimal secara objektif dan terukur.

Jenis penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif, yaitu menggambarkan secara sistematis proses dan hasil penerapan metode matematis dalam menentukan solusi optimal masalah transportasi. Dalam penelitian ini digunakan model transportasi linier yang diselesaikan menggunakan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS). Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan solusi optimal secara langsung (direct method) tanpa memerlukan penentuan solusi awal maupun pengujian optimalitas terpisah [10], [7].

Pendekatan kuantitatif diterapkan karena seluruh data yang digunakan berupa angka, seperti biaya transportasi, kapasitas pasokan (supply), dan kebutuhan permintaan (demand), yang diolah melalui perhitungan matematis berbasis algoritma optimasi. Hasil akhir penelitian ini berupa nilai biaya transportasi minimum yang menunjukkan tingkat efisiensi sistem distribusi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjelaskan proses teoritis, tetapi juga memberikan solusi praktis dan terukur dalam pengambilan keputusan untuk pengendalian biaya distribusi barang.

3.2 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari jurnal ilmiah berjudul “Penerapan Metode Lowest Supply Lowest Cost dan Stepping Stone dalam Meminimumkan Biaya Transportasi Laris Buah Pekanbaru” yang ditulis oleh Sri Basriati, Elfira Safitri, dan Nur Azizah Br Barus dalam Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 19, No. 1, Desember 2021, halaman 136–140 [14].

Data dalam jurnal tersebut memuat informasi mengenai biaya transportasi buah lemon organik dari beberapa sumber ke beberapa tujuan pada Toko Laris Buah Pekanbaru. Data ini digunakan kembali dalam penelitian ini dengan tujuan menguji penerapan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) sebagai alternatif penyelesaian masalah transportasi yang dapat memberikan hasil optimal secara langsung. Dengan demikian, penelitian ini tidak mengubah struktur maupun nilai data, melainkan menerapkan model matematis baru untuk memperoleh hasil pembandingan dari metode konvensional yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya.

| | Duri (Dr) | Selat Panjang (SP) | Sorek (Sr) | Padang (Pd) | Tembilahan (Tb) | Supply |
|------|-----------|--------------------|------------|-------------|-----------------|--------|
| Aceh | 18 | 20 | 19 | 16 | 17 | 1500 |

| | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Palembang | 28 | 30 | 29 | 26 | 27 | 500 |
| Temanggung | 23 | 25 | 24 | 21 | 22 | 1000 |
| Malang | 38 | 40 | 39 | 36 | 37 | 500 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | - |

Adapun data yang digunakan terdiri atas empat sumber dan lima tujuan, dengan masing-masing nilai biaya transportasi, kapasitas pasokan (supply), dan kebutuhan permintaan (demand). Data tersebut disajikan dalam bentuk tabel biaya transportasi seperti berikut:

Seluruh nilai biaya transportasi di atas dinyatakan dalam satuan ribu rupiah per unit. Total pasokan (3.500 unit) dan total permintaan (2.400 unit) menunjukkan kondisi tidak seimbang, sehingga perlu dilakukan penambahan tujuan dummy agar model menjadi seimbang sebelum dilakukan penyelesaian menggunakan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS).

Tabel 3.1. Data Biaya Transportasi Laris Buah Pekanbaru

Data ini menjadi dasar utama dalam tahap analisis optimasi biaya transportasi yang dilakukan pada bab selanjutnya. Hasil penerapan metode SS terhadap dataset tersebut akan dibandingkan dengan hasil metode konvensional dari penelitian sumber, untuk menilai efektivitas metode SS dalam menghasilkan biaya distribusi minimum secara langsung.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini menggambarkan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam menerapkan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) untuk menyelesaikan masalah optimasi biaya transportasi pada kasus pendistribusian buah di Laris Buah Pekanbaru. Penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang terstruktur, dimulai dari pengumpulan data sekunder, formulasi model matematis transportasi, penyeimbangan model, penerapan metode SS, hingga analisis serta interpretasi hasil.

Tahapan-tahapan tersebut dirancang agar menghasilkan prosedur penelitian yang sistematis, objektif, dan dapat direplikasi pada kasus serupa di bidang logistik dan distribusi. Adapun langkah-langkah penelitian dijelaskan sebagai berikut.

1. Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian

Tahap awal dilakukan untuk memahami permasalahan pokok yang dihadapi oleh sistem distribusi, yaitu bagaimana menentukan pola pengiriman barang dari beberapa sumber ke beberapa tujuan dengan biaya total minimum. Dalam kasus ini, masalah yang diidentifikasi berkaitan dengan pendistribusian buah dari empat daerah asal (Aceh, Palembang, Temanggung, dan Malang) menuju lima daerah tujuan (Duri, Selat Panjang, Sorek, Padang, dan Tembilahan). Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengoptimalkan biaya transportasi melalui penerapan metode matematis yang efisien dan akurat, yaitu Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS).

2. Pengumpulan dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari jurnal ilmiah berjudul “Penerapan Metode Lowest Supply Lowest Cost dan Stepping Stone dalam

Meminimumkan Biaya Transportasi Laris Buah Pekanbaru” oleh Basriati, Safitri, dan Barus (2021) [14].

Data tersebut berisi informasi tentang biaya transportasi per unit, kapasitas pasokan (supply), serta kebutuhan permintaan (demand) antara setiap daerah sumber dan tujuan distribusi.

Data ini digunakan kembali (re-used data) dengan pendekatan berbeda, yakni menggunakan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) sebagai model alternatif untuk memperoleh hasil optimal langsung (direct solution). Pemanfaatan data sekunder ini memungkinkan peneliti melakukan analisis komparatif antara hasil metode SS dan metode konvensional LSLC–Stepping Stone yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

3. Formulasi Model Transportasi

Tahapan ini bertujuan untuk mengubah data deskriptif menjadi bentuk model matematis. Model transportasi linier disusun untuk menggambarkan hubungan antara sumber (i) dan tujuan (j) melalui fungsi objektif dan kendala linear sebagai berikut:

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

Dengan kendala:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = s_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Keterangan:

1. Z adalah total biaya transportasi yang akan diminimalkan,
2. c_{ij} adalah biaya pengiriman per unit barang dari sumber ke- i ke tujuan ke- j ,
3. x_{ij} adalah barang yang dikirim dari sumber ke- i ke tujuan ke- j ,
4. s_i menunjukkan kapasitas pasokan sumber ke- i , dan
5. d_j menunjukkan jumlah permintaan di tujuan ke- j .

4. Penyeimbangan Model Transportasi

Sebelum dilakukan penyelesaian menggunakan metode SS, model transportasi harus berada dalam kondisi seimbang, yaitu jumlah total pasokan sama dengan total permintaan. Apabila total pasokan dan permintaan tidak seimbang, maka dilakukan penambahan dummy baik pada sisi sumber maupun tujuan agar sistem memenuhi syarat keseimbangan.

Dalam data yang digunakan, total pasokan berjumlah 3.500 unit, sedangkan total permintaan hanya 2.400 unit. Oleh karena itu, ditambahkan satu tujuan dummy sebesar 1.100 unit dengan biaya

pengiriman nol. Tujuan dummy ini berfungsi menyerap kelebihan pasokan sehingga model transportasi dapat diolah dengan prosedur matematis yang valid dan konsisten [4], [5].

5. Penerapan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS)

Tahapan ini merupakan inti dari penelitian yang secara langsung menerapkan prosedur algoritmik Metode SS untuk memperoleh solusi optimal. Metode ini dipilih karena mampu mengintegrasikan proses reduksi biaya dan alokasi dalam satu tahapan penyelesaian, tanpa perlu menentukan solusi awal atau melakukan pengujian optimalitas tambahan.

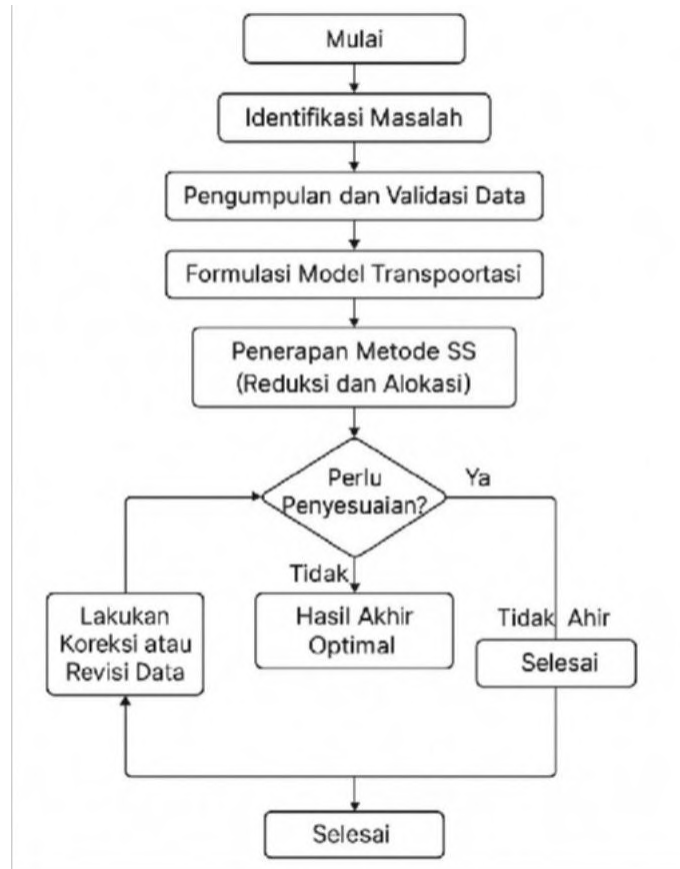
Langkah-langkah penerapan Metode SS dijelaskan sebagai berikut [10], [7]:

- a. Menyiapkan tabel transportasi
Susun matriks biaya c_{ij} beserta nilai pasokan dan permintaan yang telah disesuaikan (termasuk dummy bila diperlukan).
- b. Reduksi baris (Row Reduction)
Untuk setiap baris, kurangkan setiap elemen biaya dengan nilai terkecil pada baris tersebut. Nilai minimum ini disimpan sebagai r_i .
- c. Reduksi kolom (Column Reduction)
Lakukan pengurangan pada setiap elemen kolom hasil reduksi baris dengan nilai terkecil di kolom tersebut. Nilai minimum kolom disimpan sebagai k_j .
- d. Hitung nilai reduksi biaya total
Tentukan nilai reduksi biaya untuk setiap sel dengan rumus:
$$c'_{ij} = c_{ij} - (r_i + k_j)$$
di mana c'_{ij} merepresentasikan efisiensi relatif dari setiap kombinasi sumber dan tujuan.
- e. Menentukan sel prioritas dan alokasi optimal
Pilih sel dengan nilai reduksi biaya terkecil (atau nol) sebagai prioritas utama. Alokasikan barang sebesar nilai minimum antara s_i dan d_j .
- f. Perbarui kapasitas pasokan dan permintaan
Kurangi nilai s_i dan d_j sesuai hasil alokasi. Jika salah satu mencapai nol, baris atau kolomnya dihapus dari tabel.
- g. Ulangi proses hingga semua alokasi terpenuhi
Lanjutkan reduksi dan alokasi hingga seluruh pasokan dan permintaan tersalurkan serta tidak ada nilai reduksi negatif yang tersisa.

Hasil akhir dari langkah-langkah ini adalah matriks alokasi optimal yang secara langsung menghasilkan biaya transportasi minimum tanpa perlu pengujian ulang seperti pada metode MODI atau Stepping Stone.

6. Analisis dan Validasi Hasil

Tahapan ini bertujuan untuk menilai efektivitas Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) dalam menghasilkan solusi optimal. Hasil yang diperoleh berupa tabel alokasi optimal dan biaya total minimum (Z_{\min}). Validasi dilakukan dengan menilai efisiensi perhitungan, ketepatan hasil, serta konsistensi algoritma dalam mencapai kondisi optimal. Berdasarkan hasil tersebut, metode SS diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih cepat, sistematis, dan akurat untuk permasalahan transportasi dengan skala data menengah hingga besar.



Gambar 3.3. Diagram Penyelesaian Masalah Transportasi

Sebelum penerapan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS), model transportasi harus dalam kondisi seimbang antara total pasokan dan permintaan. Berdasarkan data, total pasokan sebesar 3.500 unit, sedangkan total permintaan hanya 2.400 unit, sehingga terdapat kelebihan 1.100 unit. Untuk menyeimbangkannya, ditambahkan satu tujuan dummy dengan biaya transportasi nol (0). Model hasil penyeimbangan tersebut ditunjukkan pada tabel berikut.

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-----|-------|-------|--------|
| Ke | g_1 | g_2 | ... | g_j | Dummy | Supply |
|----|-------|-------|-----|-------|-------|--------|

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| Dari | | | | | | |
| k_1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1j} | x_{1D} | s_1 |
| k_2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2j} | x_{2D} | s_2 |
| \vdots | \vdots | \vdots | \ddots | \vdots | \vdots | \vdots |
| k_m | x_{m1} | x_{m2} | ... | x_{mj} | x_{mD} | s_m |
| Demmand | d_1 | d_2 | ... | d_j | d_D | (Total Supply) |

Tabel 3.3. Tabel Umum Masalah Transportasi

Model transportasi yang telah seimbang ini menjadi dasar untuk penerapan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS). Setelah keseimbangan antara total pasokan dan permintaan tercapai, proses optimasi dapat dilakukan secara sistematis. Langkah selanjutnya adalah melakukan reduksi baris dan kolom untuk memperoleh matriks biaya minimum, yang akan digunakan sebagai tahap awal dalam menentukan pola distribusi serta alokasi optimal antar sumber dan tujuan. Proses ini merupakan inti dari metode SS dalam menghasilkan solusi optimal secara langsung.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Menggunakan Metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS)

Perhitungan metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) diterapkan langsung pada data biaya transportasi, kapasitas pasokan, serta kebutuhan permintaan pada pendistribusian komoditas buah. Total pasokan yang tersedia adalah 3.500 unit, sedangkan total kebutuhan 2.400 unit, sehingga ditambahkan satu tujuan dummy sebesar 1.100 unit dengan biaya pengiriman nol untuk menyeimbangkan model.

Tahapan penyelesaian SS dilakukan melalui reduksi biaya, perhitungan nilai reduksi total (Δ_{ij}), pemilihan sel prioritas dengan nilai reduksi minimum, serta alokasi berdasarkan kapasitas pasokan dan permintaan. Proses ini dilakukan secara berulang hingga seluruh alokasi terpenuhi tanpa memerlukan evaluasi kembali seperti pada metode MODI maupun metode Stepping Stone.

Ilustrasi numerik menunjukkan bahwa metode SS memberikan alokasi biaya secara langsung pada sel dengan nilai reduksi minimum pada setiap iterasi, sehingga perhitungan menjadi lebih efisien dan

tidak memerlukan solusi awal yang layak. Hal ini membuktikan keunggulan metode SS sebagai pendekatan solusi langsung (direct method).

4.2 Perhitungan Nilai Alokasi dan Biaya Transportasi

Langkah 1 Pembentukan Tabel Transportasi Awal

Tahap pertama dalam ilustrasi numerik adalah menyusun seluruh data terkait proses distribusi ke dalam tabel transportasi. Data ini diperoleh dari jurnal mengenai pendistribusian buah oleh beberapa pemasok menuju daerah tujuan tertentu menggunakan kendaraan angkut dengan biaya yang sudah ditentukan. Dalam kasus ini, terdapat empat daerah pemasok yang masing-masing menyediakan pasokan buah dengan jumlah tertentu, serta lima daerah tujuan yang memiliki kebutuhan permintaan yang harus dipenuhi. Setiap rute pengiriman dari pemasok ke tujuan memiliki biaya transportasi per unit yang berbeda-beda, sehingga pemilihan rute optimal menjadi penting dalam meminimalkan total biaya distribusi.

Dalam penyusunan tabel awal, jumlah pasokan (supply) dan kebutuhan permintaan (demand) harus dibandingkan terlebih dahulu. Berdasarkan data pada jurnal, total supply mencapai 3500 unit, sedangkan total demand hanya 2400 unit. Ketidakseimbangan ini menyebabkan model belum dapat diselesaikan secara langsung karena metode transportasi mensyaratkan bahwa total supply dan total demand harus sama. Oleh karena itu, dilakukan penambahan satu kolom Dummy dengan nilai demand sebesar 1100 unit, yang merepresentasikan tujuan fiktif tanpa pengiriman nyata. Biaya pengiriman pada kolom Dummy ditetapkan nol, karena tidak ada transaksi fisik pada tujuan tersebut. Penambahan kolom Dummy ini hanya bersifat matematis untuk menyeimbangkan model agar dapat diproses dengan metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS).

Setiap sel pada tabel transportasi memuat dua informasi, yaitu: biaya pengiriman c_{ij} pada baris pertama dan variabel keputusan x_{ij} pada baris kedua. Biaya c_{ij} menunjukkan besarnya ongkos transportasi dari sumber i ke tujuan j . Sementara itu, variabel x_{ij} menunjukkan jumlah barang yang akan dialokasikan melalui rute tersebut. Nilai x_{ij} sengaja tidak diisi pada tahap ini karena proses alokasi baru akan dilakukan setelah perhitungan reduksi dan pemilihan sel prioritas pada langkah selanjutnya. Dengan demikian, tabel ini tidak hanya menampilkan data dasar distribusi, tetapi juga membentuk struktur model matematika yang akan digunakan untuk menentukan solusi optimal.

| Ke | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy | Supply |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Dari | | | | | | | |
| Ac | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | 1500 |
| | | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 |

| | | | | | | | |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| Pl | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | 500 |
| Tg | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | 1000 |
| Mg | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | 500 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | 1100 | 3500 |

Tabel 4.3.1. Tabel Transportasi Awal

Keterangan Tabel

1. Singkatan Daerah Sumber (*Supply*)
 - a. Ac = Aceh
 - b. Pl = Palembang
 - c. Tg = Temanggung
 - d. Mg = Malang
2. Singkatan Daerah Tujuan (*Demmand*)
 - a. Dr = Duri
 - b. SP = Selipar Panjang
 - c. Sr = Sorek
 - d. Pd = Padang
 - e. Tb = Tembilahan
3. Keterangan Format Tabel
 - a. Baris atas = biaya transportasi (c_{ij}),
 - b. Baris bawah = variabel alokasi (x_{ij}), yang akan diisi pada langkah perhitungan selanjutnya,
 - c. Kolom *Dummy* ditambahkan untuk menyeimbangkan *supply* dan *demmand*, dengan biaya pengiriman bernilai nol.

Langkah 2 Reduksi Baris

Pada langkah ini dilakukan proses reduksi baris (row reduction) terhadap Tabel 4.3.1. Tujuan utama reduksi baris adalah menyederhanakan struktur biaya pada setiap baris dengan cara mengurangi setiap elemen biaya pada baris tersebut oleh suatu nilai referensi, yaitu biaya terkecil di baris yang sama. Dengan cara ini, setiap baris akan memiliki paling tidak satu elemen bernilai nol, yang kemudian menjadi acuan dalam tahapan perhitungan berikutnya (misalnya untuk perhitungan nilai reduksi total dan penentuan sel prioritas).

Secara umum, untuk setiap baris ke- i , langkah reduksi baris dilakukan sebagai berikut. Pertama, tentukan biaya minimum pada baris tersebut:

$$r_i = \min_j \{c_{ij}\}$$

Dalam kasus ilustrasi numerik ini, terdapat kolom Dummy dengan biaya pengiriman 0 pada setiap baris. Hal ini menyebabkan nilai minimum pada setiap baris pasti bernilai nol, karena 0 lebih kecil daripada seluruh biaya nyata pada kolom tujuan lainnya. Secara rinci, perhitungan nilai minimum tiap baris adalah:

1. Baris Ac: $r_1 = \min(18, 20, 19, 16, 17, 0) = 0$
2. Baris Pl: $r_2 = \min(28, 30, 29, 26, 27, 0) = 0$
3. Baris Tg: $r_3 = \min(23, 25, 24, 21, 22, 0) = 0$
4. Baris Mg: $r_4 = \min(38, 40, 39, 36, 37, 0) = 0$

Dengan demikian, untuk setiap baris berlaku:

$$c'_{ij} = c_{ij} - r_i = c_{ij} - 0 = c_{ij}$$

Artinya, secara numerik tidak ada perubahan nilai biaya pada tabel setelah reduksi baris dilakukan, karena kehadiran kolom Dummy dengan biaya nol menjadikan nilai reduksi baris r_i sama dengan nol untuk seluruh baris. Meskipun tidak terjadi perubahan angka, langkah reduksi baris tetap penting dicatat sebagai bagian dari prosedur metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS), agar alur penyelesaian masalah transportasi terdokumentasi lengkap dan konsisten dengan tahapan teoritis yang telah dijelaskan pada landasan teori.

Dengan kondisi tersebut, bentuk Tabel 4.2 sebagai hasil reduksi baris tetap sama dengan tabel

awal dari sisi nilai biaya, namun secara konsep sudah dianggap melalui tahapan reduksi baris sehingga siap untuk memasuki proses selanjutnya, yaitu reduksi kolom.

| Ke Dari | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy | Supply |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Ac | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | 1500 |
| PI | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | 500 |
| Tg | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | 1000 |
| Mg | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | 500 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | 1100 | 3500 |

Tabel 4.3.2. Hasil Reduksi Baris

Langkah 3 Reduksi Kolom

Setelah reduksi baris dilakukan pada Tabel 4.2, langkah berikutnya adalah melakukan reduksi kolom. Tujuan reduksi kolom adalah menyederhanakan nilai biaya pada setiap kolom sehingga setiap kolom memiliki setidaknya satu elemen bernilai nol. Nilai nol ini nantinya akan menjadi acuan dalam penentuan efisiensi rute pada langkah-langkah berikutnya.

Reduksi kolom dilakukan dengan cara:

1. Untuk setiap kolom, cari biaya terkecil pada kolom tersebut. Nilai ini disebut nilai reduksi kolom.
2. Kurangkan nilai minimum kolom itu dari seluruh elemen di kolom yang sama.

Secara umum dapat dituliskan:

1. Nilai minimum kolom ke- j :

$$k_j = \min \{c_{ij} \text{ untuk semua } i\}$$

2. Biaya baru setelah reduksi kolom

$$c''_{ij} = c_{ij} - k_j$$

Pada data ilustrasi ini, Tabel 4.2 (hasil reduksi baris) secara nilai masih sama dengan Tabel 4.1, yaitu:

| Ke Dari | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy | Supply |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Ac | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | 1500 |
| | | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| PI | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | 500 |
| | | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Tg | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | 1000 |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Mg | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | 500 |
| | | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 0 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | 1100 | 3500 |

Tabel 4.3.2. Hasil Reduksi Baris

Sehingga nilai reduksi kolom yang digunakan Adalah:

1. $k_1 \text{ Dr} = 18$

2. $k_2 \text{ Sp} = 20$
3. $k_3 \text{ Sr} = 19$
4. $k_4 \text{ Sr} = 19$
5. $k_5 \text{ Tb} = 17$
6. $k_6 (\text{Dummy}) = 0$

Setelah itu, setiap nilai biaya pada kolom dikurangi oleh nilai minimum kolom masing-masing. Hasilnya adalah:

A. Untuk kolom Dr (kurangi 18):

1. Ac: $18 - 18 = 0$
2. Pl: $28 - 18 = 10$
3. Tg: $23 - 18 = 5$
4. Mg: $38 - 18 = 20$

B. Untuk kolom SP (kurangi 20):

1. Ac: $20 - 20 = 0$
2. Pl: $30 - 20 = 10$
3. Tg: $25 - 20 = 5$
4. Mg: $40 - 20 = 20$

C. Untuk kolom Sr (kurangi 19):

1. Ac: $19 - 19 = 0$
2. Pl: $29 - 19 = 10$
3. Tg: $24 - 19 = 5$
4. Mg: $39 - 19 = 20$

D. Untuk kolom Pd (kurangi 16):

1. Ac: $16 - 16 = 0$
2. Pl: $26 - 16 = 10$
3. Tg: $21 - 16 = 5$
4. Mg: $36 - 16 = 20$

E. Untuk kolom Tb (kurangi 17):

1. Ac: $17 - 17 = 0$
2. Pl: $27 - 17 = 10$
3. Tg: $22 - 17 = 5$
4. Mg: $37 - 17 = 20$

- F. Untuk kolom Dummy (kurangi 0):
a. Semua tetap 0.

Dengan demikian, diperoleh tabel biaya tereduksi dua kali (setelah reduksi baris dan kolom).
Tabel ini akan digunakan pada langkah berikutnya.

Tabel 4.3. 3. Hasil Reduksi Kolom

| Ke | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy | Supply |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Dari | | | | | | | |
| Ac | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | 1500 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pl | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | 500 |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Tg | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | 1000 |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| Mg | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | 500 |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | 1100 | 3500 |

Keterangan:

1. Angka di baris pertama setiap sel adalah biaya baru setelah reduksi baris dan kolom (c_{ij})
2. Baris kedua setiap sel (x_{ij}) masih kosong karena alokasi belum dilakukan pada langkah ini.

- Setelah langkah 3 ini, setiap kolom sudah memiliki setidaknya satu nilai nol sehingga siap untuk digunakan dalam perhitungan langkah berikutnya (perhitungan nilai reduksi total / pemilihan sel prioritas, sesuai versi metode yang kamu pakai di teori).

Langkah 4 Perhitungan Nilai Reduksi Total dan Penentuan Sel Prioritas

Setelah nilai reduksi baris r_i dan reduksi kolom k_j ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai reduksi total Δ_{ij} pada setiap sel. Nilai Δ_{ij} digunakan untuk menilai efisiensi relatif setiap rute dan menjadi dasar pemilihan sel prioritas yang akan dialokasikan terlebih dahulu.

Secara umum, nilai reduksi total untuk sel pada baris ke- i dan kolom ke- j didefinisikan sebagai

$$\Delta_{ij} = c_{ij} - (r_i + k_j)$$

Dengan

- c_{ij} = biaya pengiriman dari sumber ke- i ke tujuan ke- j ,
- r_i = nilai reduksi baris untuk baris ke- i ,
- k_j = nilai reduksi kolom untuk kolom ke- j .

Pada ilustrasi numerik ini diperoleh $r_i = 0$ untuk semua baris, sedangkan nilai reduksi kolom adalah

$$k_1 = 18, \quad k_2 = 20, \quad k_3 = 19, \quad k_4 = 16, \quad k_5 = 17, \quad k_6 = 0$$

masing-masing untuk kolom Dr, SP, Sr, Pd, Tb, dan Dummy. Dengan demikian, rumus di atas dapat disederhanakan menjadi

$$\Delta_{ij} = c_{ij} - k_j$$

Sebagai contoh:

$$\begin{aligned} \Delta_{Ac, Dr} &= 18 - 18 = 0, \\ \Delta_{Pl, Dr} &= 28 - 18 = 10, \\ \Delta_{Tg, Dr} &= 25 - 20 = 5, \\ \Delta_{Mg, Tb} &= 37 - 17 = 20, \\ \Delta_{i, Dummy} &= 0 - 0 = 0 \quad \text{Untuk semua } i. \end{aligned}$$

Perhitungan serupa dilakukan untuk seluruh sel sehingga diperoleh matriks Δ_{ij} sebagai berikut.

| | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|-------|
| Ke | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy |
|----|----|----|----|----|----|-------|

Tabel 4.3.4. Matriks Nilai Reduksi Total

| Dari | | | | | | | |
|------|---|---|---------------|---|---|---|---|
| Ac | 0 | 0 | Δ_{ij} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pl | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Tg | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| Mg | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |

Sel prioritas pertama ditentukan berdasarkan kriteria yang digunakan dalam metode Sheethalakshmy–Srinivasan untuk memilih sel yang paling memenuhi syarat sebagai titik awal penentuan alokasi. Sel prioritas ditentukan berdasarkan kriteria:

1. Pilih sel dengan nilai Δ_{ij} terkecil.
2. Jika terdapat lebih dari satu sel dengan nilai minimum yang sama, pilih baris dengan indeks terkecil.
3. Jika dalam baris tersebut masih terdapat lebih dari satu kandidat, pilih kolom dengan indeks terkecil.

Dari Tabel 4.3.4. terlihat bahwa nilai terkecil adalah $\Delta_{ij} = 0$, yang muncul pada seluruh sel di baris Ac (Dr, SP, Sr, Pd, Tb, Dummy) dan seluruh sel pada kolom Dummy. Dengan menerapkan aturan di atas:

- a. baris dengan indeks terkecil adalah baris Ac,
- b. pada baris Ac, kolom dengan indeks terkecil adalah kolom Dr.

Maka sel prioritas pertama adalah

$$(Ac, Dr) \text{ Dengan } \Delta_{Ac,Dr} = 0.$$

Sel ini akan digunakan pada langkah berikutnya untuk melakukan alokasi pertama dengan

$$x_{11} = \min\{s_{Ac}, d_{Dr}\} = \min\{1500, 500\} = 500,$$

yang pembahasannya akan dijelaskan secara rinci pada langkah alokasi (langkah selanjutnya).

Langkah 5 Alokasi pada Sel Prioritas Pertama dan Pembaruan Tabel

Setelah sel prioritas pertama diperoleh pada rute Aceh–Darel (Ac,Dr), metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) melanjutkan proses alokasi secara bertahap berdasarkan nilai reduksi total Δ_{ij} yang paling rendah pada sel-sel berikutnya. Setiap alokasi ditentukan dengan membandingkan nilai pasokan (supply) dan permintaan (demand) untuk sel prioritas menggunakan persamaan:

$$x_{ij} = \min\{s_i, d_j\}$$

Pada proses ilustrasi numerik ini, rincian setiap iterasi dijelaskan sebagai berikut.

Iterasi 1 Alokasi pada Sel Prioritas Pertama

Sel terpilih adalah (Ac,Dr) dengan nilai $\Delta_{Ac,Dr} = 0$.

Dengan supply Aceh sebesar 1500 dan demand Darel sebesar 500, maka:

$$x_{Ac, Dr} = \min\{1500, 500\} = 500$$

Pembaruan supply dan demand:

$$s_{Ac} = 1500 - 500 = 1000, \quad d_{Dr} = 500 - 500 = 0$$

Karena demand Darel sudah terpenuhi, kolom Dr dikeluarkan dari iterasi berikutnya.

Iterasi 2 Memilih Sel Prioritas Berikutnya

Nilai Δ_{ij} terkecil pada kolom yang masih aktif terdapat pada baris Aceh, kolom Sukoharjo (SP).

Dengan $s_{Ac} = 1000$ dan $d_{SP} = 450$:

$$x_{Ac, SP} = \min\{1000, 450\} = 450$$

Pembaruan:

$$s_{Ac} = 1000 - 450 = 550, \quad d_{Dr} = 450 - 450 = 0$$

Iterasi 3 Sel Prioritas Masih pada Baris Aceh

Tujuan berikutnya yang memiliki $\Delta = 0$ adalah Sragen (Sr).

Dengan $s_{Ac} = 550$ dan $d_{Sr} = 250$:

$$x_{Ac,SP} = \min\{550, 250\} = 250$$

Pembaruan:

$$s_{Ac} = 550 - 250 = 300, \quad d_{Dr} = 250 - 250 = 0$$

Iterasi 4 Alokasi Terakhir untuk Aceh

Nilai $\Delta_{ij} = 0$ berikutnya terdapat pada Pandan (Pd).

Dengan $s_{Ac} = 300$ dan $d_{Pd} = 600$:

$$x_{Ac,Pd} = \min\{300, 600\} = 300$$

Pembaruan:

$$s_{Ac} = 550 - 250 = 300, \quad d_{Pd} = 600 - 300 = 300$$

Karena supply Aceh sudah habis, baris Aceh dikeluarkan dari perhitungan selanjutnya.

Iterasi 5 Prioritas Minimum pada Kolom Dummy

Tujuan berikutnya yang memiliki $\Delta = 0$ adalah Sragen (Sr).

Dengan $s_{Ac} = 550$ dan $d_{Sr} = 250$:

$$x_{Ac,SP} = \min\{550, 250\} = 250$$

Pembaruan:

$$s_{Pl} = 500 - 500 = 0, \quad d_{Dummy} = 1100 - 500 = 600$$

Baris Palembang selesai.

Iterasi 6 Kolom Dummy Kembali Terpilih

Nilai Δ_{ij} minimum berikutnya terdapat pada Temanggung (Tg) menuju Dummy..

Dengan $s_{Tg} = 1000$ dan $d_{dummy} = 600$:

$$x_{Tg,Dummy} = \min\{1000, 600\} = 600$$

Pembaruan:

$$s_{Tg} = 1000 - 600 = 400, \quad d_{Dr} = 600 - 600 = 0$$

Kolom Dummy tidak digunakan lagi.

Iterasi 7 Prioritas Menuju Pandan (Pd)

Nilai Δ_{ij} terkecil terdapat pada Temanggung menuju Pandan.

Dengan $s_{Tg} = 400$ dan $d_{Pd} = 300$:

$$x_{Tg,SP} = \min\{400, 300\} = 300$$

Pembaruan:

$$s_{Tg} = 400 - 300 = 100, \quad d_{Dr} = 300 - 300 = 0$$

Iterasi 8 Penyelesaian Sisa Alokasi pada Tebing Tinggi (Tb)

Dengan kolom Tb satu-satunya yang tersisa:

Untuk Temanggung:

$$x_{Tg,Tb} = \min\{100, 600\} = 100$$

Pembaruan

$$s_{Tg} = 400 - 300 = 100, \quad d_{Tb} = 300 - 300 = 0$$

Untuk Malang:

$$x_{Mg,Tb} = \min\{500, 500\} = 500$$

Pembaruan

$$s_{Mg} = 500 - 500 = 0, \quad d_{Tb} = 500 - 500 = 0$$

Seluruh supply dan demand telah terpenuhi \rightarrow proses selesai.

| Ke Dari | Dr | Sp | Sr | Pd | Tb | Dummy | Suppy |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| Ac | 500 | 450 | 250 | 300 | 0 | 0 | 1500 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pl | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 | 500 |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Tg | 0 | 0 | 0 | 300 | 100 | 600 | 1000 |
| | | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| Mg | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 | 0 | 500 |
| | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| Demmand | 500 | 450 | 250 | 600 | 600 | 1100 | 3500 |

Tabel 4.3.5. Rekapitulasi Akhir Alokasi

Karena semua alokasi ke kolom Dummy memiliki biaya $c_{ij} = 0$, yang kita hitung hanya sel-sel dengan biaya non-nol dan $x_{ij} > 0$.

Dari tabel alokasi akhir:

1. Aceh \rightarrow Dr: $c = 18, x = 500$
2. Aceh \rightarrow SP: $c = 20, x = 450$
3. Aceh \rightarrow Sr: $c = 19, x = 250$
4. Aceh \rightarrow Pd: $c = 16, x = 300$
5. Temanggung \rightarrow Pd $c = 21, x = 300$
6. Temanggung \rightarrow Tb: $c = 22, x = 100$

7. Malang \rightarrow Tb: $c = 37, x = 500$

Sehingga:

$$Z = 18(500) + 20(450) + 19(250) + 16(300) + 21(300) + 22(100) + 37(500)$$

Hitung satu per satu:

1. $18 \times 500 = 9000$
2. $20 \times 450 = 9000$
3. $19 \times 250 = 4750$
4. $16 \times 300 = 4800$
5. $21 \times 300 = 6300$
6. $22 \times 100 = 2200$
7. $37 \times 500 = 18500$

Jumlahkan:

$$\begin{aligned} Z &= 9000 + 9000 + 4750 + 4800 + 6300 + 2200 + 18500 \\ &= 54.550 \end{aligned}$$

Jadi total biaya transportasi untuk solusi metode SS adalah:

$$54.550$$

Kalau satuan biaya c_{ij} dinyatakan per 1.000 rupiah, maka bisa ditulis sebagai Rp 54.550.000.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini membahas penerapan metode Sheethalakshmy–Srinivasan (SS) dalam penyelesaian masalah transportasi untuk memperoleh pola distribusi yang efisien dan biaya pengiriman yang minimum. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diperoleh bahwa metode SS mampu menentukan solusi optimal secara langsung tanpa memerlukan proses perbaikan atau evaluasi lanjutan seperti pada metode Vogel's Approximation Method (VAM), Modified Distribution (MODI), maupun Stepping Stone. Proses perhitungan

pada metode ini dilakukan berdasarkan pemilihan sel dengan nilai reduksi total terkecil (Δ_{ij}) dari setiap kolom dan baris, sehingga alokasi dapat dilakukan secara bertahap dan sistematis mengikuti sisa supply dan demand yang tersedia.

Melalui ilustrasi numerik yang disusun dalam penelitian ini, metode SS terbukti menghasilkan pola distribusi yang memenuhi seluruh kebutuhan permintaan dan kapasitas pasokan pada model transportasi yang seimbang. Mekanisme tie-breaking yang digunakan pada saat terjadi kesamaan nilai Δ_{ij} juga membuat proses penentuan alokasi tidak membutuhkan asumsi tambahan ataupun penghitungan penalti, sehingga prosedurnya menjadi lebih sederhana dibandingkan metode lain yang telah banyak digunakan. Kemampuan metode SS dalam memberikan solusi langsung menjadikannya potensial sebagai alternatif penyelesaian transportasi, terutama pada kondisi

distribusi yang melibatkan banyak rute, tujuan, atau sumber pasokan.

Dengan karakteristik tersebut, metode SS dapat dikategorikan sebagai teknik optimasi yang kompetitif karena memberikan efisiensi komputasi tanpa mengurangi akurasi dalam perhitungan biaya distribusi. Oleh karena itu, metode ini berpotensi untuk diterapkan pada kasus nyata dalam bidang logistik, distribusi barang, serta perencanaan rantai pasok pada perusahaan yang memerlukan minimasi biaya transportasi untuk mendukung pengambilan keputusan strategis.

5.2 Referensi

- [1] F. S. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to operations research*. McGraw-Hill Education, 2021.
- [2] Hamdy A. Taha, "Operations Research An Introduction," 2017.
- [3] R. Aulia *et al.*, "Analisis Komparatif Vogel's Approximation Method dan Modified Vogel's Approximation Method dalam Optimalisasi Transportasi," *EQUIVA Journal of Mathematics & Information Technology*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [4] T. Chandra, "Penerapan Algoritma North West Corner Dalam Penyelesaian Masalah Transportasi," 2016.
- [5] E. L. Pratiwi *et al.*, "MASALAH TRANSPORTASI FUZZY BILANGAN TRAPEZOIDAL DENGAN METODE ZERO POINT," 2016.
- [6] W. Karnila, H. Syarifuddin, and M. P. Dewi, "Optimasi Biaya Distribusi Beras Sejahtera Menggunakan Metode Zero Suffix dan Metode ASM," 2019.
- [7] A. Seethalakshmy and DR. N. Srinivasan, "A DIRECT METHOD TO OBTAIN AN OPTIMAL SOLUTION IN THE TRANSPORTATION PROBLEM.," *Int J Adv Res (Indore)*, vol. 4, no. 10, pp. 473–477, Oct. 2016, doi: 10.21474/IJAR01/1817.
- [8] Andry Nor Indrawan and Pardi Affandi, "PENGUNAAN JUMAN & HOQUE METHOD (JHM) PADA PENENTUAN SOLUSI AWAL MASALAH TRANSPORTASI," *Jurnal Matematika Murni dan Terapan "epsilon"*, vol. 15, no. Transportasi, pp. 27–45, Jun. 2021.
- [9] M. P. Haidi and P. Affandi, "PENERAPAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO) RUTE TERPENDEK STUDI KASUS DISTRIBUSI MINYAK GORENG TOKO CAHAYA BERKAH," *EQUIVA Journal of Mathematics & Information Technology*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [10] S. M. R. Shafira, Susilawati, and Ida Hamidah, "SS Method to Obtain an Optimal Solution of Transportation Problem," *International Journal of Mathematics and Mathematics Education*, pp. 1–17, Mar. 2023, doi: 10.56855/ijmme.v1i1.219.
- [11] P. Affandi, *BUKU AJAR Riset Operasi*. 2019. [Online]. Available: www.irdhcenter.com
- [12] Nopiyana, P. Affandi, and A. S. Lestia, "Solving transportation problem using modified ASM method," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2106/1/012029.
- [13] N. Iftitah, P. Affandi, and A. Yusuf, "PENYELESAIAN MODEL TRANSPORTASI MENGGUNAKAN METODE ASM 1*," vol. 14, no. 1, pp. 40–52, 2020, [Online]. Available: <http://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon>
- [14] S. Basriati *et al.*, "PENERAPAN METODE LOWEST SUPPLY LOWEST COST DAN STEPPING STONE DALAM MEMINIMUMKAN BIAYA TRANSPORTASI LARIS BUAH PEKANBARU," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 19, no. 1, pp. 136–140, 2021.