

Optimasi Biaya Distribusi Telur Ayam menggunakan Model Transportasi *Stepping Stone*

Vera Devani¹, Chlarisyah Rahmadani²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Alamat, Jl. H.R Soebrantas No. 155 KM. 15 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru
e-mail: ¹veradevani@gmail.com, ²chlarisyarahmadani@gmail.com

Abstrak

PT. IA merupakan salah satu perusahaan negeri swasta yang bergerak dalam bidang pembuatan pakan ternak, penghasil telur ayam serta ternak ayam niaga pedaging. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan biaya distribusi telur ayam yang optimal dan membandingkan biaya distribusi telur ayam sebelum dan sesudah optimasi. Metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan transportasi ini adalah menggunakan Metode Vogel's Approximation Method sebagai solusi basis awal dan Metode Stepping Stone sebagai metode untuk mencari solusi optimal. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa total biaya minimum distribusi telur ayam dengan solusi optimal menggunakan Metode Stepping Stone adalah Rp. 585.300.000. Selisih biaya optimalnya Rp. 94.800.000 dari biaya sebelumnya yaitu Rp. 680.100.000, dengan demikian dapat menghemat biaya distribusi sebesar 13,9%.

Kata kunci: Model Transportasi, Stepping Stone, Vogel's Approximation Method

Abstract

PT. IA is one of the privately held company engaged in the manufacture of animal feed, producing chicken eggs and broiler chicken farm. This study was conducted to determine the optimal distribution costs of chicken eggs and compare the distribution costs of chicken eggs before and after optimization. The method used to solve this transportation problem is using Vogel's Approximation Method as the starting solution and Stepping Stone Method as a method to find the optimal solution. Based on the research results, it can be concluded that the minimum total cost of distribution chicken eggs with the optimal solution using the Stepping Stone Method is Rp. 585,300,000. The difference of optimal cost Rp. 94,800,000 from the previous cost Rp. 680.100.000, which mean it's saving distribution costs by 13.9%.

Keywords: Transportation Model, Stepping Stone, Vogel's Approximation Method

1. Pendahuluan

Perkembangan proses produksi telur ayam di Indonesia kian hari semakin berkembang pesat, hal ini dipengaruhi oleh meningkatnya kebutuhan konsumsi di masyarakat. Sebelum telur-telur ayam ditetaskan, telur-telur ayam harus melalui tahap distribusi terlebih dahulu oleh pihak perusahaan menggunakan alat transportasi. Sistem distribusi memerlukan biaya distribusi, dimana besar biaya tergantung dari jarak lokasi kandang ke tempat penetasan. Perusahaan yang ingin meminimalkan biaya yang dikeluarkan serta menghasilkan keuntungan yang lebih besar, maka harus mengoptimalkan biaya distribusinya.

Pengoptimalan biaya distribusi pada perusahaan, salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan model transportasi. Model transportasi merupakan metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah transportasi, dimana metode transportasi mengatur distribusi dari sumber yang menghasilkan produk menuju tempat tujuan yang membutuhkan produk. Terdapat dua unsur penting dalam transportasi yaitu perpindahan produk serta mengubah lokasi produk dari sumber ke tempat tujuan yang berbeda. Perbedaan biaya transportasi atau pengiriman produk dari beberapa sumber ke berbagai tujuan, menyebabkan penentuan pengiriman produk harus dapat disusun dengan baik [1].

Penelitian sebelumnya mengenai Pengoptimalan Biaya Transportasi dengan Metoda *North West Corner* (NWC) dan *Stepping Stone* (SS) untuk Distribusi Produk Farmasi.

Menunjukkan bahwa Metode *Stepping Stone* dapat menghasilkan biaya transportasi yang lebih optimal dibandingkan biaya awalnya *North West Corner* [2].

Penelitian terdahulu mengenai VAM-MODI Metode Pemodelan Matematika untuk Meminimalkan Biaya Pengangkutan Barang yang Mudah Rusak dari Pasar ke Kafetaria di Universitas Covenant. Menunjukkan bahwa Metode VAM sangat baik digunakan untuk menghasilkan solusi basis awal, sedangkan Metode MODI yang digunakan sebagai solusi optimal menunjukkan bahwa total biaya dapat diminimalkan [3].

Penelitian lainnya mengenai Optimalisasi Biaya Pengiriman Paket Menggunakan Metode *Least Cost* dan Lingo pada PT. Sicepat Ekspres Indonesia. Menunjukkan bahwa pendistribusian paket menggunakan Metode *Least Cost* sebagai solusi basis awal dan pengujian optimalitas dengan Metode *Stepping Stone* mendapatkan hasil yang optimal [4].

PT. IA merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan pakan ternak, penghasil telur ayam serta ternak ayam niaga pedaging. PT. IA menghasilkan rata-rata 80.000-120.000 telur/hari yang didistribusikan ke beberapa tempat penetasan. Biaya pendistribusian telur dinilai cukup mahal karena jarak tempuh antara sumber dengan tujuan jauh, maka perusahaan memerlukan metode pendistribusian telur untuk meminimasi biaya distribusi. Tabel 1 menunjukkan data biaya serta jarak tempuh (pulang pergi) distribusi telur ayam:

Tabel 1. Biaya dan Jarak Tempuh Distribusi Telur Ayam

| No. | Sumber | Jumlah Tujuan | Rata-rata Biaya (Rp) | Rata-rata Jarak (km) |
|-----|------------------|---------------|----------------------|----------------------|
| 1. | Bandar Masilam 1 | 10 | 3.930.000 | 2.070 |
| 2. | Bandar Masilam 3 | 10 | 3.930.000 | 2.074 |
| 3. | Kabanjahe | 10 | 4.190.000 | 2.226 |
| 4. | Padang 1 | 10 | 3.630.000 | 1.766 |
| 5. | Padang 2 | 10 | 3.630.000 | 1.810 |
| 6. | Parung Kuda | 10 | 4.820.000 | 2.585 |
| 7. | Pekanbaru 1 | 10 | 3.300.000 | 1.689 |
| 8. | Pekanbaru 3 | 10 | 3.300.000 | 1.704 |
| 9. | Talunkenas | 10 | 4.030.000 | 2.206 |

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa biaya distribusi telur ayam berbeda-beda, dimana semakin jauh jarak tempuh semakin besar biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan. *Stepping Stone* digunakan untuk memecahkan permasalahan transportasi, sehingga biaya distribusi menjadi optimal.

2. Metode Penelitian

Data pada penelitian ini adalah data permintaan telur ayam (mobil) periode September 2020-Februari 2021, data persediaan telur ayam (mobil) periode September 2020-Februari 2021, serta biaya distribusi dan jarak tempuh. PT. IA mendistribusikan telur ayam dari *farm* (sumber) Bandar Masilam 1 (S_1), Bandar Masilam 3 (S_2), Kabanjahe (S_3), Padang 1 (S_4), Padang 2 (S_5), Parung Kuda (S_6), Pekanbaru 1 (S_7), Pekanbaru 3 (S_8) dan Talunkenas (S_9) ke *hatchery* (tujuan) Bandar Masilam (D_1), Jambi (D_2), Padang (D_3), Pekanbaru (D_4), Segayam (D_5), Seulimeum (D_6), Sukajawa (D_7), Tg. Morawa (D_8), Teluk Bintan (D_9), dan Kronjo (D_{10}).

Model transportasi merupakan model yang dapat digunakan untuk mengatur pendistribusian secara optimal dari sumber yang menyediakan produk ke tempat yang membutuhkan produk [5]. Model transportasi dapat dikatakan seimbang jika total *supply* atau persediaan sama dengan total *demand* atau permintaan, batasan model transportasi dirumuskan sebagai berikut [6]:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Permasalahan dalam transportasi biasanya batasan tidak selalu terpenuhi, seperti jumlah *supply* atau persediaan yang tersedia terkadang lebih besar maupun lebih kecil daripada jumlah *demand* atau permintaan. Apabila masalah ini terjadi, maka perlu dibuat tambahan kolom *dummy* atau baris *dummy* agar masalah transportasi dapat seimbang.

Bentuk matematika model transportasi dirumuskan sebagai berikut [7]:

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

Batasan [8]:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i && \text{untuk } i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j && \text{untuk } j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0 && \text{untuk semua } i \text{ dan } j \end{aligned}$$

Dimana, pada penelitian:

- Z = Biaya total distribusi
- x_{ij} = Jumlah telur (mobil) dari i ke j
- c_{ij} = Biaya telur (mobil) dari i ke j
- a_i = Jumlah telur (mobil) yang ditawarkan di tempat asal i
- b_j = Jumlah telur (mobil) yang diminta di tempat tujuan j
- m = Banyak *farm*
- n = Banyak *hatchery*

Tahapan penyelesaian permasalahan transportasi:

- 1) Menentukan solusi basis awal
 Untuk penyelesaian basis awal digunakan Metode VAM. Metode *Vogel's Approximation Method* (VAM) merupakan metode transportasi yang didasarkan pada konsep biaya penalti. Prinsip metode VAM yang didasarkan pada konsep biaya penalti, yaitu selisih antara biaya transportasi terkecil pertama dan biaya terkecil berikutnya pada sel baris atau kolom. Langkah-langkah penyelesaian pada metode VAM adalah sebagai berikut [7]:
 - a. Menentukan biaya penalti pada setiap baris matriks dengan mengurangkan biaya sel terkecil pertama dengan biaya sel terkecil kedua selanjutnya dalam baris yang sama.
 - b. Menentukan biaya penalti pada setiap kolom matriks dengan mengurangkan biaya sel terkecil pertama dengan biaya sel terkecil selanjutnya dalam kolom yang sama.
 - c. Memilih baris atau kolom yang memiliki biaya penalti tertinggi.
 - d. Alokasikan sebanyak mungkin ke sel yang memiliki biaya transportasi terkecil pada baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi.
 - e. Hitung kembali seluruh biaya penalti, dan hilangkan biaya penalti tertinggi sebelumnya pada baris atau kolom.
 - f. Lakukan kembali langkah 1,2, 3, 4 dan 5 sampai semua persediaan habis dan permintaan terpenuhi.
- 2) Menentukan solusi optimal
 Setelah basis awal diperoleh dari Metode VAM, maka selanjutnya menentukan solusi optimal dengan Metode *Stepping Stone*. *Stepping Stone* merupakan metode berulang yang dilakukan setelah mendapat solusi basis awal ke solusi optimal pada metode transportasi. Setelah solusi basis awal didapat, selanjutnya dilakukan kegiatan untuk mengurangi biaya transportasi dengan memasukkan variabel *non* basis atau mengalokasikan produk ke dalam sel kosong pada solusi optimal [1]. Penyelesaian solusi optimal menggunakan metode *Stepping Stone* dilakukan dengan membuat siklus pengendalian alokasi ke sel yang tidak terisi atau variabel non basis, dengan memeriksa terlebih dahulu jumlah sel yang terisi pada solusi basis awal apakah sudah memenuhi jumlah $(m+n-1)$ atau belum, jika belum memenuhi maka diperlukan penambahan jumlah sel baris atau kolom dengan memberikan nilai nol pada sel yang kosong. Langkah-langkah penyelesaian pada metode *Stepping Stone* yaitu [7]:
 - a. Menentukan solusi basis awal menggunakan salah satu dari metode *North West Corner*, *Least Cost*, atau VAM.
 - b. Menentukan lintasan *Stepping Stone* serta perubahan biaya pada semua sel kosong dalam tabel matriks:
 1. Untuk mengetahui apakah setiap sel kosong pada matriks dapat menurunkan biaya transportasi, lakukan evaluasi pada sel tersebut.

2. Menentukan lintasan (*loop*) *Stepping Stone*, dimulai dari bagian sel kosong kemudian sel-sel yang telah dialokasikan akan membentuk lintasan tertutup. Langkah untuk membuat lintasan tertutup adalah sebagai berikut [9]:
 - a) Menentukan sel basis yang dihitung nilai $Z_{ij} - C_{ij}$.
 - b) Sel non basis dengan sel basis mempunyai pasangan pada kolom yang sama, dan seterusnya saling menyambung hingga kembali ke sel non basis.
 - c) Harga seluruh sel yang dilalui jalur akan membuat tanda berganti-ganti, yang dimulai dari sel basis dari tanda positif (+) ke tanda negatif (-).
3. Membuat perubahan biaya pengalokasian.
- c. Alokasikan sebanyak mungkin pada sel kosong yang dapat menurunkan biaya terbesar.
- d. Lakukan kembali langkah 2, 3 dan 4 hingga semua sel kosong memiliki perubahan biaya yang positif, dan menunjukkan bahwa solusi optimal telah tercapai.

3. Hasil dan Pembahasan

Permasalahan transportasi yang terjadi pada penelitian ini adalah transportasi tidak seimbang karena jumlah persediaan yang berlebih atau lebih besar dibanding dengan jumlah permintaan. Agar transportasi menjadi seimbang, maka di tambahkan kolom *dummy* pada tabel agar menyelesaikan permasalahan transportasi yang ada. Tabel 2 menunjukkan data permasalahan transportasi pada PT. IA:

Tabel 2. Data Permasalahan Transportasi PT. IA

| Demand Supply | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | D ₈ | D ₉ | D ₁₀ | Dummy | Supply |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|--------|
| S ₁ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 69 |
| | X ₁₁ | X ₁₂ | X ₁₃ | X ₁₄ | X ₁₅ | X ₁₆ | X ₁₇ | X ₁₈ | X ₁₉ | X ₁₁₀ | X ₁₁₁ | |
| S ₂ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 96 |
| | X ₂₁ | X ₂₂ | X ₂₃ | X ₂₄ | X ₂₅ | X ₂₆ | X ₂₇ | X ₂₈ | X ₂₉ | X ₂₁₀ | X ₂₁₁ | |
| S ₃ | 900.000 | 5.000.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 2.700.000 | 6.000.000 | 500.000 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 16 |
| | X ₃₁ | X ₃₂ | X ₃₃ | X ₃₄ | X ₃₅ | X ₃₆ | X ₃₇ | X ₃₈ | X ₃₉ | X ₃₁₀ | X ₃₁₁ | |
| S ₄ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 121 |
| | X ₄₁ | X ₄₂ | X ₄₃ | X ₄₄ | X ₄₅ | X ₄₆ | X ₄₇ | X ₄₈ | X ₄₉ | X ₄₁₀ | X ₄₁₁ | |
| S ₅ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 60 |
| | X ₅₁ | X ₅₂ | X ₅₃ | X ₅₄ | X ₅₅ | X ₅₆ | X ₅₇ | X ₅₈ | X ₅₉ | X ₅₁₀ | X ₅₁₁ | |
| S ₆ | 6.500.000 | 3.500.000 | 5.700.000 | 5.500.000 | 2.700.000 | 8.500.000 | 1.500.000 | 6.500.000 | 7.000.000 | 800.000 | 0 | 1 |
| | X ₆₁ | X ₆₂ | X ₆₃ | X ₆₄ | X ₆₅ | X ₆₆ | X ₆₇ | X ₆₈ | X ₆₉ | X ₆₁₀ | X ₆₁₁ | |
| S ₇ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 78 |
| | X ₇₁ | X ₇₂ | X ₇₃ | X ₇₄ | X ₇₅ | X ₇₆ | X ₇₇ | X ₇₈ | X ₇₉ | X ₇₁₀ | X ₇₁₁ | |
| S ₈ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 32 |
| | X ₈₁ | X ₈₂ | X ₈₃ | X ₈₄ | X ₈₅ | X ₈₆ | X ₈₇ | X ₈₈ | X ₈₉ | X ₈₁₀ | X ₈₁₁ | |
| S ₉ | 500.000 | 4.800.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 6.000.000 | 0 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 30 |
| | X ₉₁ | X ₉₂ | X ₉₃ | X ₉₄ | X ₉₅ | X ₉₆ | X ₉₇ | X ₉₈ | X ₉₉ | X ₉₁₀ | X ₉₁₁ | |
| Demand | 52 | 46 | 106 | 82 | 38 | 30 | 16 | 110 | 15 | 5 | 3 | 503 |

Permasalahan pendistribusian telur ayam bertujuan untuk meminimalkan biaya distribusi. Fungsi tujuan dari permasalahan pendistribusian pada Tabel 2 sebagai berikut:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

$$Z = 0x_{11} + 4.500.000x_{12} + 3.000.000x_{13} + 2.500.000x_{14} + 5.500.000x_{15} + 3.000.000x_{16} + 5.800.000x_{17} + 500.000x_{18} + 8.500.000x_{19} + 6.000.000x_{110} + 0x_{111} + 0x_{21} + 4.500.000x_{22} + 3.000.000x_{23} + 2.500.000x_{24} + 5.500.000x_{25} + 3.000.000x_{26} + 5.800.000x_{27} + 500.000x_{28} + 8.500.000x_{29} + 6.000.000x_{210} + 0x_{211} + 900.000x_{31} + 5.000.000x_{32} + 3.200.000x_{33} + 3.000.000x_{34} + 5.800.000x_{35} + 2.700.000x_{36} + 6.000.000x_{37} + 500.000x_{38} + 8.800.000x_{39} + 6.000.000x_{310} + 0x_{311} + 3.000.000x_{41} + 2.500.000x_{42} + 0x_{43} + 1.000.000x_{44} + 3.500.000x_{45} + 5.500.000x_{46} + 4.800.000x_{47} + 3.000.000x_{48} + 7.500.000x_{49} + 5.500.000x_{410} + 0x_{411} + 3.000.000x_{51} + 2.500.000x_{52} +$$

$$\begin{aligned}
 &0x_{53} + 1.000.000x_{54} + 3.500.000x_{55} + 5.500.000x_{56} + 4.800.000x_{57} + 3.000.000x_{58} + \\
 &7.500.000x_{59} + 5.500.000x_{510} + 0x_{511} + 6.500.000x_{61} + 3.500.000x_{62} + 5.700.000x_{63} + \\
 &5.500.000x_{64} + 2.700.000x_{65} + 8.500.000x_{66} + 1.500.000x_{67} + 6.500.000x_{68} + \\
 &7.000.000x_{69} + 800.000x_{610} + 0x_{611} + 2.500.000x_{71} + 2.000.000x_{72} + 1.000.000x_{73} + \\
 &0x_{74} + 3.000.000x_{75} + 5.000.000x_{76} + 4.500.000x_{77} + 3.000.000x_{78} + 7.000.000x_{79} + \\
 &5.000.000x_{710} + 0x_{711} + 2.500.000x_{81} + 2.000.000x_{82} + 1.000.000x_{83} + 0x_{84} + \\
 &3.000.000x_{85} + 5.000.000x_{86} + 4.500.000x_{87} + 3.000.000x_{88} + 7.000.000x_{89} + \\
 &5.000.000x_{810} + 0x_{811} + 500.000x_{91} + 4.800.000x_{92} + 3.200.000x_{93} + 3.000.000x_{94} + \\
 &5.500.000x_{95} + 2.500.000x_{96} + 6.000.000x_{97} + 0x_{98} + 8.800.000x_{99} + 6.000.000x_{910} \\
 &+0x_{911}
 \end{aligned}$$

Fungsi kendala dari permasalahan pendistribusian pada Tabel 2 sebagai berikut:

- Supply 1 : $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{110} + x_{111}$
- Supply 2 : $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{210} + x_{211}$
- Supply 3 : $x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{310} + x_{311}$
- Supply 4 : $x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{49} + x_{410} + x_{411}$
- Supply 5 : $x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{59} + x_{510} + x_{511}$
- Supply 6 : $x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} + x_{68} + x_{69} + x_{610} + x_{611}$
- Supply 7 : $x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} + x_{77} + x_{78} + x_{79} + x_{710} + x_{711}$
- Supply 8 : $x_{81} + x_{82} + x_{83} + x_{84} + x_{85} + x_{86} + x_{87} + x_{88} + x_{89} + x_{810} + x_{811}$
- Supply 9 : $x_{91} + x_{92} + x_{93} + x_{94} + x_{95} + x_{96} + x_{97} + x_{98} + x_{99} + x_{910} + x_{911}$
- Demand 1 : $x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} + x_{81} + x_{91}$
- Demand 2 : $x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} + x_{62} + x_{72} + x_{82} + x_{92}$
- Demand 3 : $x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{53} + x_{63} + x_{73} + x_{83} + x_{93}$
- Demand 4 : $x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} + x_{54} + x_{64} + x_{74} + x_{84} + x_{94}$
- Demand 5 : $x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{45} + x_{55} + x_{65} + x_{75} + x_{85} + x_{95}$
- Demand 6 : $x_{16} + x_{26} + x_{36} + x_{46} + x_{56} + x_{66} + x_{76} + x_{86} + x_{96}$
- Demand 7 : $x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{77} + x_{87} + x_{97}$
- Demand 8 : $x_{18} + x_{28} + x_{38} + x_{48} + x_{58} + x_{68} + x_{78} + x_{88} + x_{98}$
- Demand 9 : $x_{19} + x_{29} + x_{39} + x_{49} + x_{59} + x_{69} + x_{79} + x_{89} + x_{99}$
- Demand 10 : $x_{110} + x_{210} + x_{310} + x_{410} + x_{510} + x_{610} + x_{710} + x_{810} + x_{910}$
- Dummy : $x_{111} + x_{211} + x_{311} + x_{411} + x_{511} + x_{611} + x_{711} + x_{811} + x_{911}$

3.1. Solusi Basis Awal dengan Metode Vogel's Approximation Method (VAM)

Berdasarkan Tabel 2, terlebih dahulu mencari solusi basis awal menggunakan Metode Vogel's Approximation Method (VAM).

Tabel 3. Hasil Solusi Basis Awal Menggunakan Metode VAM

| Demand Supply | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | D ₈ | D ₉ | D ₁₀ | Dummy | Supply |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|--------|
| S ₁ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 69 |
| | 52 | | | | | | | 17 | | | | |
| S ₂ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 96 |
| | | 3 | | | | | | 93 | | | | |
| S ₃ | 900.000 | 5.000.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 2.700.000 | 6.000.000 | 500.000 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 16 |
| | | | | | | 13 | | | | | 3 | |
| S ₄ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 121 |
| | | 15 | 106 | | | | | | | | | |
| S ₅ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 60 |
| | | 28 | | | 10 | | 7 | | 15 | | | |
| S ₆ | 6.500.000 | 3.500.000 | 5.700.000 | 5.500.000 | 2.700.000 | 8.500.000 | 1.500.000 | 6.500.000 | 7.000.000 | 800.000 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | 1 | | | | |
| S ₇ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 78 |
| | | | | 78 | | | | | | | | |
| S ₈ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 32 |
| | | | | 4 | 28 | | | | | | | |
| S ₉ | 500.000 | 4.800.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 6.000.000 | 0 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 30 |
| | | | | | | 17 | 9 | | | 4 | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|---|---|-----|
| Demand | 52 | 46 | 106 | 82 | 38 | 30 | 16 | 110 | 15 | 5 | 3 | 503 |
|--------|----|----|-----|----|----|----|----|-----|----|---|---|-----|

Setelah melakukan perhitungan solusi basis awal pada Tabel 3, total biaya minimum menggunakan metode VAM (*Vogel's Approximation Method*) adalah Rp. 597.500.000.

3.2. Solusi Optimal dengan Metode *Stepping Stone*

Setelah mendapat solusi basis awal dengan metode VAM, selanjutnya menghitung solusi optimal menggunakan Metode *Stepping Stone*. Langkah berikutnya merupakan tahap mengevaluasi setiap sel kosong dengan membuat langkah perbaikan. Pada iterasi-1 nilai negatif terbesar berada di x_{17} , sehingga *loop* berawal dan berakhir di x_{17} .

Tabel 4. Menentukan *Entering Variable* pada Iterasi 1

| Demand Supply | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | D_5 | D_6 | D_7 | D_8 | D_9 | D_{10} | Dummy | Supply |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|
| S_1 | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 69 |
| S_2 | 0 | - | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 96 |
| S_3 | 900.000 | 5.000.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 2.700.000 | 6.000.000 | 500.000 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 16 |
| S_4 | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 121 |
| S_5 | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 60 |
| S_6 | 6.500.000 | 3.500.000 | 5.700.000 | 5.500.000 | 2.700.000 | 8.500.000 | 1.500.000 | 6.500.000 | 7.000.000 | 800.000 | 0 | 1 |
| S_7 | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 78 |
| S_8 | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 32 |
| S_9 | 500.000 | 4.800.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 6.000.000 | 0 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 30 |
| Demand | 52 | 46 | 106 | 82 | 38 | 30 | 16 | 110 | 15 | 5 | 3 | 503 |

Berdasarkan Tabel 4, *leaving variable* berada di sel x_{18} , x_{22} dan x_{57} . Pilih yang memiliki nilai *leaving variable* terkecil yaitu 3.

Tabel 5. Menentukan Hasil Iterasi 1

| Demand Supply | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 | D_5 | D_6 | D_7 | D_8 | D_9 | D_{10} | Dummy | Supply |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|--------|
| S_1 | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 69 |
| S_2 | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 96 |
| S_3 | 900.000 | 5.000.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 2.700.000 | 6.000.000 | 500.000 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 16 |
| S_4 | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 121 |
| S_5 | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 60 |
| S_6 | 6.500.000 | 3.500.000 | 5.700.000 | 5.500.000 | 2.700.000 | 8.500.000 | 1.500.000 | 6.500.000 | 7.000.000 | 800.000 | 0 | 1 |
| S_7 | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 78 |
| S_8 | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 32 |
| S_9 | 500.000 | 4.800.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 6.000.000 | 0 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 30 |
| Demand | 52 | 46 | 106 | 82 | 38 | 30 | 16 | 110 | 15 | 5 | 3 | 503 |

Lakukan kembali perhitungan perbaikan, sampai diperoleh semua sel kosong memiliki perubahan biaya positif (solusi optimal). Setelah dilakukan 6 kali iterasi, maka diperoleh solusi optimal (Tabel 6).

Tabel 6. Menunjukkan hasil solusi optimal menggunakan Metode *Stepping Stone*.

Tabel 6. Hasil Solusi Optimal dengan Metode *Stepping Stone*

| Demand Supply | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | D ₈ | D ₉ | D ₁₀ | Dummy | Supply |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-------|--------|
| S ₁ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 69 |
| | 50 | | | | | | 12 | | | 4 | 3 | |
| S ₂ | 0 | 4.500.000 | 3.000.000 | 2.500.000 | 5.500.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 500.000 | 8.500.000 | 6.000.000 | 0 | 96 |
| | 2 | | | | | | | 94 | | | | |
| S ₃ | 900.000 | 5.000.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.800.000 | 2.700.000 | 6.000.000 | 500.000 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 16 |
| | | | | | | 16 | | | | | | |
| S ₄ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 121 |
| | | 15 | 106 | | | | | | | | | |
| S ₅ | 3.000.000 | 2.500.000 | 0 | 1.000.000 | 3.500.000 | 5.500.000 | 4.800.000 | 3.000.000 | 7.500.000 | 5.500.000 | 0 | 60 |
| | | 31 | | | 10 | | 4 | | 15 | | | |
| S ₆ | 6.500.000 | 3.500.000 | 5.700.000 | 5.500.000 | 2.700.000 | 8.500.000 | 1.500.000 | 6.500.000 | 7.000.000 | 800.000 | 0 | 1 |
| | | | | | | | | | | 1 | | |
| S ₇ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 78 |
| | | | | 78 | | | | | | | | |
| S ₈ | 2.500.000 | 2.000.000 | 1.000.000 | 0 | 3.000.000 | 5.000.000 | 4.500.000 | 3.000.000 | 7.000.000 | 5.000.000 | 0 | 32 |
| | | | | 4 | 28 | | | | | | | |
| S ₉ | 500.000 | 4.800.000 | 3.200.000 | 3.000.000 | 5.500.000 | 2.500.000 | 6.000.000 | 0 | 8.800.000 | 6.000.000 | 0 | 30 |
| | | | | | | 14 | | 16 | | | | |
| Demand | 52 | 46 | 106 | 82 | 38 | 30 | 16 | 110 | 15 | 5 | 3 | 503 |

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \\
 &= C_{11}X_{11} + C_{17}X_{17} + C_{110}X_{110} + C_{111}X_{111} + C_{21}X_{21} + C_{28}X_{28} + C_{36}X_{36} + C_{42}X_{42} + C_{43}X_{43} + C_{52}X_{52} + \\
 &\quad C_{55}X_{55} + C_{57}X_{57} + C_{59}X_{59} + C_{610}X_{610} + C_{74}X_{74} + C_{84}X_{84} + C_{85}X_{85} + C_{96}X_{96} + C_{98}X_{98} \\
 &= 0(50) + 5.800.000(12) + 6.000.000(4) + 0(3) + 0(2) + 500.000(94) + 2.700.000(16) + \\
 &\quad 2.500.000(15) + 0(106) + 2.500.000(31) + 3.500.000(10) + 4.800.000(4) + \\
 &\quad 7.500.000(15) + 800.000(1) + 0(78) + 0(4) + 3.000.000(28) + 2.500.000(14) + 0(16) \\
 &= \text{Rp. } 585.300.000
 \end{aligned}$$

Metode VAM sebagai solusi basis awal menghasilkan total biaya sebesar Rp. 597.500.000, dan total biaya minimum dengan solusi optimal menggunakan Metode *Stepping Stone* sebesar Rp. 585.300.000, hal ini memperlihatkan bahwa adanya penurunan biaya dari solusi basis awal ke solusi optimal. Pada penelitian ini selisih hasil solusi basis awal Metode VAM dengan solusi optimalnya Metode *Stepping Stone* adalah 2,04%. Hasil penelitian menunjukkan Metode VAM baik digunakan untuk menentukan solusi basis awal, hanya saja hasilnya belum tentu optimal. Sedangkan Metode *Stepping Stone* dapat menghasilkan biaya distribusi yang optimal.

Pada penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penurunan biayanya dari Metode *North West Corner* ke Metode *Stepping Stone* adalah sebesar 37,6 % [2]. Sedangkan pada penelitian lainnya, menunjukkan hasil selisih yang didapatkan dari Metode *Least Cost* dengan Metode *Stepping Stone* adalah sebesar 4,5% [4]. Dapat disimpulkan bahwa Metode VAM baik digunakan untuk menentukan solusi basis awal dibandingkan menggunakan *North West Corner* dan Metode *Least Cost*, karena nilai penurunan biaya nya lebih mendekati hasil solusi optimal pada Metode *Stepping Stone*.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa menggunakan Metode *Stepping Stone* sebagai solusi untuk memecahkan permasalahan transportasi, memberikan hasil yang optimal.

Total biaya distribusi telur ayam menjadi Rp. 585.300.000, dimana sebelum di optimalkan total biayanya adalah Rp. 680.100.000. Sehingga, selisih biaya sebelum dan setelah dioptimalkan adalah Rp. 94.800.000, dengan penurunan biaya sebesar 13,9%.

Daftar Pustaka

- [1] Hendriawan., Nugraha, S., & Fauzi, M. (2020). Pengaplikasian Metode Stepping Stone pada Software Lingo untuk Mencari Optimasi Biaya (Studi Kasus di PT ASM Mobil). *Journal of Integrated System*, 3(1), 49-58.
- [2] Hasanah, T. U., Utami, P., & Fauzi, M. (2020). Pengoptimalan Biaya Transportasi dengan Metoda North West Corner (NWC) dan Stepping Stone (SS) untuk Distribusi Produk Farmasi. *Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, 6(1), 34-39.
- [3] Agarana, M. C., Omogbadegun, Z. O., & Makinde, S. O. (2018). VAM - MODI Mathematical Modelling Method for Minimizing Cost of Transporting Perishables from Markets to Cafeterias in Covenant University. *IEOM Society International*, 27(29), 2088-2103.
- [4] Rinaldi, D., Pribadi, N. A., Fadhil, M., Fauzi, M. (2021). Optimalisasi Biaya Pengiriman Paket Menggunakan Metode Least Cost dan Lingo pada PT. Sicepat Ekspres Indonesia. *Jurnal Ilmiah Statistika dan Ekonometrika*, 1(2), 121-132 .
- [5] Aqidawati, E. F., Rahadian, N., Haqqoni, Z., Yuniaristanto., & Sutopo, W. (2017). Optimasi Distribusi Semen PT. XYZ dengan Modifikasi Model Transportasi. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri*, 4(2), 187-191.
- [6] Arifin, L. S., Paendong, M. S., & Langi, Y. A. R. (2017). Implementasi Model Transportasi pada Distribusi LPG (Liquid Petroleum Gas) 3 Kg di Sulawesi Utara. *JdC*, 6(1), 45-55.
- [7] Meflinda, A., & Mahyarni. (2011). *Operations Research (Riset Operasi)*. Ur Press Pekanbaru.
- [8] Ratnasari, Y., Yuniarti, D., & Purnamasari, I. (2019). Optimasi Pendistribusian Barang dengan Menggunakan Vogel's Approximation Method dan Stepping Stone Method (Studi Kasus: Pendistribusian Tabung Gas LPG 3 Kg pada PT. Tri Pribumi Sejati). *Jurnal Eksponensial*, 10(2), 165-174.
- [9] Ardhyani, I. W. (2017). Mengoptimalkan Biaya Distribusi Pakan Ternak dengan Menggunakan Metode Transportasi (Studi Kasus di PT. X Krian). *Teknika : Engineering and Sains Journal*, 1(2), 95-100.