

## Optimasi Biaya Distribusi Helm KYT Menggunakan Metode Transportasi di PT. Tarakusuma Indah

Helena Sitorus<sup>1\*</sup>, Ratna Suminar Silalahi<sup>2</sup>, dan Dimas Adi Utomo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya  
Jl. Raya Perjuangan, Marga Mulya, Bekasi Utara, Jawa Barat  
Email: helena.sitorus@dsn.ubharajaya.ac.id<sup>\*</sup>, ratna.suminar@dsn.ubharajaya.ac.id, dan  
dimasadiutomo16@gmail.com

### Abstrak

PT. Tarakusuma Indah adalah perusahaan yang bergerak di bidang otomotif, salah satu produknya yaitu helm KYT. Masalah transportasi dalam alokasi pengiriman helm KYT dari tiap gudang ke tiap toko konsumen berubah-ubah bobotnya karena patokan pengiriman hanya berdasarkan gudang yang masih memiliki persediaan yang ada. Perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menentukan alokasi optimum pada distribusi helm KYT untuk mendapatkan biaya distribusi yang minimum dengan menggunakan metode transportasi dan mendapatkan perbandingan biaya distribusi helm KYT sebelum dan sesudah menggunakan metode transportasi. Hasil temuan penelitian menunjukkan bahwa alokasi optimum dapat diperoleh dengan metode *Stepping Stone*, *Modified Distribution*. dan perhitungan dengan *Software POM-QM for Windows*. Alokasi optimum ke 7 toko konsumen dari 3 gudang dengan metode transportasi memberikan penurunan biaya distribusi sebesar 1,5%.

**Kata kunci:** optimum; transportasi; *Stepping Stone*; *Modified Distribution*

### Abstract

*PT. Tarakusuma Indah is a company operating in the automotive sector, one of its products is KYT helmets. The transportation problem of allocation KYT helmet from each warehouse to each consumer store varies in weight because the allocation benchmark is only based on warehouses that still have existing inventory. Research needs to be carried out which aims to determine the optimum allocation for the distribution of KYT helmets to obtain minimum distribution costs using the transportation method and to obtain a comparison of the distribution costs of KYT helmets before and after using the transportation method. The research findings show that the optimum allocation can be obtained using the Stepping Stone, Modified Distribution method. and calculations with POM-QM Software for Windows. Optimum allocation to 7 consumer stores from 3 warehouses using transportation methods provides a reduction in distribution costs of 1.5%.*

**Keywords:** optimum; transportation; *Stepping Stone*; *Modified Distribution*

### PENDAHULUAN

Distribusi memindahkan produk dari produsen ke konsumen. Beberapa sumber dengan kemampuan yang beragam mendistribusikan untuk memenuhi permintaan pelanggan di beberapa lokasi dengan volume yang berbeda. Jarak dan kondisi memengaruhi biaya transportasi, yang dipertimbangkan selama distribusi. Metode transportasi mendistribusikan komoditas dengan biaya yang rendah (Sinaga, 2023). Distribusi barang dari berbagai sumber ke berbagai tujuan dengan biaya yang rendah merupakan masalah transportasi. Strategi transportasi awal dan optimal dapat memecahkan masalah. Solusi awal menggunakan *North West Corner*, *Least Cost*, dan *Vogel's Approximation* (Afiani et al.,

2019). Stepping Stone dan Modified Distribution merupakan pendekatan penyelesaian optimal (Basriati & Cahyani, 2017).

Transportasi merupakan bagian dari program linear yang mengatur dan mendistribusikan sumber produk ke lokasi yang membutuhkan untuk mengurangi biaya transportasi (Aqidawati, 2018). Gambar transportasi dengan  $m \times n$  sel dapat digunakan untuk mengatur masalah transportasi. Sebuah model transportasi dikatakan seimbang ketika penawaran sama dengan permintaan (Bu'ulölö, 2017). Transportasi membutuhkan keseimbangan. Variabel dummy dapat menyeimbangkan masalah transportasi. Variabel dummy mengisi kesenjangan pasokan jika permintaan melebihi pasokan (Wahab & Busrah, 2021). Jika total pasokan melebihi total permintaan, variabel dummy mengisi kesenjangan tersebut. Biaya distribusi per unit ( $C_{ij}$ ) untuk variabel dummy adalah nol untuk semua tujuan. Hal ini masuk akal karena variabel dummy tidak melakukan pengiriman (Lestari & Christy, 2018).

PT. Tarakusuma Indah merupakan perusahaan yang bergerak di bidang otomotif. Perusahaan ini memproduksi helm dengan merk KYT yang terdiri dari tipe *full face*, *open face*, *motorcross* dan modular (*flip up*). PT. Tarakusuma Indah memiliki tiga wilayah gudang operasional yaitu Cikarang Selatan EJIPC, Cikarang Selatan Delta Silicon 2, dan Cikarang Pusat. Helm KYT didistribusikan dari ketiga gudang tersebut ke tujuh wilayah toko konsumen yaitu Start Bike Mart, Sentra Variasi, Surya Motor, Jaya Karya, Indo Helmet Galerry, Suryo Margo Mulyo, dan Bintang Makmut.

*Supply* helm KYT dari satu gudang tertentu ke satu toko konsumen tertentu di dalam setiap bulan persentasenya berubah-ubah. Contoh toko konsumen Start Bike Mart pada Juli 2022 *disupply* dari gudang Cikarang Selatan EJIPC sebesar 21%, dari gudang Cikarang Selatan Delta Silicon 2 sebesar 41% dan dari gudang Cikarang Pusat sebesar 38%. Akan tetapi pada bulan Agustus 2022 terjadi perubahan dimana *supply* dari gudang Cikarang Selatan EJIPC 33%, gudang Cikarang Selatan Delta Silicon 2 sebesar 32%, gudang Cikarang Pusat 35%. Demikian seterusnya untuk bulan-bulan selanjutnya sepanjang satu tahun terjadi perubahan bobot kontribusi *supply* dari tiap-tiap gudang ke toko konsumen Start Bike Mart. Hal yang sama juga terjadi untuk keseluruhan toko konsumen dimana bobot jumlah *supply* dari tiap-tiap gudang sepanjang satu tahun adalah berubah-ubah. Hal ini menunjukkan belum adanya ketetapan bobot *supply* dari tiap gudang ke tiap toko konsumen tertentu. Jika ada permintaan maka pengiriman dilakukan dari gudang-gudang yang masih memiliki ketersediaan tanpa memberikan perhatian khusus terhadap pertimbangan biaya pengiriman. Hal ini berdampak terhadap total biaya keseluruhan pengiriman.

Rata – rata biaya transportasi pengiriman helm KYT per unit dari gudang ke toko konsumen setiap bulannya berbeda-beda. Sepanjang bulan Desember 2022-Mei 2023 biaya pengiriman per unit meningkat bahkan di bulan Mei 2023 mencapai biaya tertinggi yaitu sebesar Rp 13.540,-. Biaya ini sekitar 3,3 kali lipat dari biaya terendahnya di bulan September 2022 yaitu sebesar Rp 4.072,-. Variasi biaya pengiriman per unit ini terjadi karena belum adanya ketetapan yang tepat akan alokasi helm KYT dari tiap gudang ke tiap daerah tujuan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian akan alokasi optimum distribusi helm KYT untuk mendapatkan total biaya yang minimum, dimana hal ini dapat dilakukan dengan pendekatan metode transportasi.

Perusahaan harus memiliki kemampuan untuk meminimalkan biaya distribusi dengan menetapkan produk secara strategis ke setiap lokasi berdasarkan optimalisasi permintaan (Kartika et al., 2020). Karena tidak adanya sarana transportasi, biaya distribusi yang terkait dengan pengiriman produk ke daerah tujuan kini menjadi tidak efektif dan efisien bagi organisasi ini. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji sistem distribusi produk yang sesuai dari daerah asal hingga daerah tujuan agar dapat memenuhi permintaan produk

secara efisien di berbagai lokasi dan mengurangi biaya distribusi dengan menggunakan teknik transportasi yang efektif (Sinaga, 2023). Teknik transportasi mengacu pada strategi yang digunakan untuk mendistribusikan barang secara efisien dari berbagai asal ke berbagai tujuan, sekaligus meminimalkan biaya distribusi, berdasarkan permintaan atau kebutuhan tertentu (Septiana et al., 2020). Teknik transportasi dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pencarian solusi awal dan selanjutnya pengujian optimalitas. Dalam mencari jawaban awal, ada tiga strategi yang dapat digunakan: metode North-West Corner (NWC), metode Least Cost (LC), dan Vogel's Approximation Method (VAM). Dua strategi, yaitu metode Stepping Stone dan metode Modified Distribution (MODI), dapat digunakan untuk mendapatkan solusi yang paling efisien. Untuk penelitian ini, tiga pendekatan spesifik akan digunakan: North-West Corner (NWC), metode Least Cost (LC), dan Vogel's Approximation Method (VAM) (Azizah, 2018; Kanthi & Kristanto, 2020; Rusdiana et al., 2023). Cara-cara ini akan digunakan untuk menemukan jawaban awal. Selain itu, metode Distribusi Modifikasi (MODI) akan digunakan untuk memverifikasi apakah solusi ideal memiliki biaya paling aka.

## METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam penyelesaian model transportasi adalah sebagai berikut :

1. Langkah pertama adalah membuat matriks transportasi. Matriks transportasi menunjukkan asal dan tujuan komoditas.
2. Langkah kedua adalah menyusun gambar awal. Biaya transportasi, kapasitas sumber, dan permintaan dicantumkan pada gambar pertama. Jika jumlah sumber dan tujuan berbeda, tambahkan *dummy* ke jumlah yang lebih sedikit. Jika jumlah sumber lebih banyak daripada jumlah tujuan, sebuah *dummy* ditambahkan ke kolom tujuan. Biaya transportasi dari sumber ke tujuan *dummy* per unit adalah 0.
3. Langkah ketiga adalah melakukan penyelesaian awal dengan *North West Corner Rules*, *Least Cost Rules*, dan metode *Vogel's Approximation*. Pilih total biaya transportasi terkecil dari ketiga metode tersebut. Cek hasil metode yang terpilih dimana apabila jumlah sel yang berisi sebanyak  $m+n-1$  maka hasil metode tersebut dilanjutkan untuk diuji optimalitas.
4. Syarat dari metode transportasi adalah besarnya *demand* (tujuan toko konsumen) sama dengan besarnya *supply* (persediaan gudang). Pada gambar 2 ditambahkan variabel *dummy* pada kolom toko tujuan sebesar 51 supaya jumlah total *supply* sama dengan jumlah total *demand*. Biaya distribusi variabel *dummy* sebesar 0. Solusi awal dilakukan dengan *North West Corner Method*, *Least Cost Rules*, dan metode *Vogel's Approximation Method*.
5. Uji optimalitas dilakukan dengan metode *Stepping Stone* dan *MODI*. Jika hasil uji menunjukkan bahwa alokasi telah optimal maka alokasi tersebut sudah menunjukkan total biaya transportasi paling minimum. Sebaliknya jika belum optimal, maka perlu dilakukan revisi untuk sel yang masih memungkinkan untuk direvisi.
6. Hasil optimal dibandingkan dengan hasil pada POM-QM *for Windows*

Langkah-langkah yang terlibat dalam Aturan Sudut Barat Laut (*North West Corner Rules*) adalah sebagai berikut (Septiana et al., 2020):

1. Pada langkah ini, Anda mulai dari sudut kiri atas gambar transportasi, yang dianggap sebagai sudut Barat Laut. Sudut ini akan menjadi titik awal untuk mengalokasikan unit dari titik suplai ke titik permintaan.
2. Dari sudut Barat Laut, alokasikan unit ke sel sebanyak mungkin tanpa melebihi batasan pasokan atau permintaan. Ini berarti Anda akan mengalokasikan unit semaksimal mungkin ke sel berdasarkan pasokan yang tersedia di baris dan permintaan yang dibutuhkan di kolom.

3. Setelah mengalokasikan unit ke sel, perbarui nilai penawaran dan permintaan yang tersisa. Kurangi pasokan dengan unit yang dialokasikan dan kurangi permintaan dengan jumlah yang sama.
4. Pindah ke sel di sebelah kanan sel saat ini jika permintaan sel saat ini terpenuhi, atau pindah ke sel di bawahnya jika persediaan sel saat ini habis. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk sel yang baru.
5. Ulangi Langkah 2-4: Lanjutkan mengalokasikan unit dan memperbarui nilai penawaran dan permintaan hingga semua persyaratan penawaran dan permintaan terpenuhi. Proses ini melibatkan pergerakan secara horizontal dan vertikal melintasi gambar transportasi, mengalokasikan unit berdasarkan sudut Barat Laut dan memperbaharui nilai penawaran dan permintaan yang sesuai.
6. Proses akan berhenti ketika semua persyaratan penawaran dan permintaan terpenuhi. Pada titik ini, Anda akan mendapatkan solusi awal yang layak untuk masalah transportasi dengan menggunakan Aturan Sudut Barat Laut.

Langkah-langkah untuk Metode *Vogel's Approximation* adalah sebagai berikut (Afiani et al., 2019):

1. Hitung selisih antara dua biaya terkecil di setiap baris dan kolom. Selisih ini mewakili biaya penalti untuk setiap baris dan kolom.
2. Identifikasi baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi. Jika ada hasil seri, pilih secara acak.
3. Alokasikan unit ke sel dengan biaya terkecil di baris atau kolom dengan biaya penalti tertinggi. Perbarui nilai penawaran dan permintaan yang sesuai. Jika salah satu nilai penawaran atau permintaan menjadi nol, hilangkan baris atau kolom yang sesuai.
4. Hitung ulang biaya penalti untuk baris dan kolom yang tersisa. Ulangi Langkah 2 dan 3 sampai semua nilai penawaran dan permintaan terpenuhi.
5. Hitung total biaya dengan mengalokasikan unit yang dialokasikan dengan biaya masing-masing dan menjumlahkannya.

Metode *Vogel Approximation* adalah proses berulang yang menetapkan unit dari sumber ke tujuan berdasarkan biaya penalti untuk meminimalkan biaya transportasi secara keseluruhan. Sangat penting untuk diketahui bahwa meskipun VAM menawarkan jawaban awal yang memuaskan, metode ini tidak selalu memastikan solusi optimal untuk tantangan transportasi yang rumit. Oleh karena itu, metode optimasi lebih lanjut seperti *Modified Distribution Method* atau *Stepping Stone Method* dapat digunakan untuk meningkatkan solusi yang diperoleh dari VAM.

Untuk mencapai solusi optimal dalam masalah transportasi, kombinasi Metode Batu Loncatan dan Metode Modified Distribution (MODI) dapat digunakan. Metode Batu Loncatan digunakan untuk mengevaluasi secara sistematis semua rute yang mungkin dalam jaringan transportasi untuk mengidentifikasi solusi yang paling hemat biaya. Di sisi lain, Metode MODI digunakan untuk menyempurnakan solusi awal yang diperoleh dari metode seperti *Vogel's Approximation Method* (VAM) untuk mencapai solusi optimal.

Langkah-langkah untuk metode solusi optimal yang melibatkan Metode *Stepping Stone* dan MODI adalah sebagai berikut:

1. Gunakan metode seperti VAM untuk menemukan solusi awal yang layak untuk masalah transportasi.
2. Evaluasi semua rute yang memungkinkan (atau "batu loncatan") di dalam jaringan transportasi. Identifikasi putaran yang memberikan peluang pengurangan biaya terbesar.
3. Periksa apakah solusi saat ini sudah optimal. Jika belum, lanjutkan ke langkah berikutnya.

4. Gunakan Metode MODI untuk menyempurnakan solusi awal yang diperoleh. Perbarui alokasi dalam matriks transportasi untuk memperbaiki total biaya.
5. Kaji ulang solusi untuk memastikan bahwa tidak ada lagi pengurangan biaya yang dapat dilakukan. Jika solusinya sudah optimal, selesaikan rencana transportasi.

Dengan menggabungkan evaluasi rute secara sistematis melalui Metode *Stepping Stone* (Mariatul Kiftiah, 2019) dengan kemampuan penyempurnaan dari Metode MODI (Farida Pulansari & Nugraha, 2022), manajer transportasi dapat memperoleh solusi yang paling hemat biaya dan optimal untuk jaringan distribusi mereka. Pendekatan ini memastikan bahwa sumber daya digunakan secara efisien dan biaya transportasi diminimalkan sambil memenuhi semua kendala penawaran dan permintaan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan adalah data permintaan helm KYT dari bulan Juli 2022 – Juni 2023, data persediaan produksi helm KYT pada gudang dan data biaya pendistribusian helm KYT per unit. Data tersebut digunakan untuk membuat gambar awal transportasi seperti yang terlihat pada gambar 1.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galerry	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040	1.610	472	587	1.618	21.254	15.355	0	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017	2.391	501	704	1.864	21.113	15.758	0	14.000
Cikarang Pusat	928	2.000	543	784	1.764	21.340	14.991	0	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

**Gambar 1.** Awal Metode Transportasi

#### Metode Sudut Barat Laut (*North West Corner Rules*)

Isi terlebih dahulu sel pojok kiri atas sebesar min (Cikarang Selatan EJIPC ; Start Bike Mart) yaitu  $\min(12542 ; 2337) = 2337$ . Isian ini menunjukkan bahwa permintaan Start Bike Mart sudah dipenuhi seluruhnya sehingga tidak membutuhkan lagi *supply* dari Cikarang Selatan Delta Silicon2 dan Cikarang Pusat dengan menandai tanda “X” pada selnya. Isian ini menunjukkan bahwa masih ada sisa persediaan di Cikarang Selatan EJIPC sebesar  $12542 - 2337 = 10205$ . Selanjutnya sel pojok kiri atas yang kosong diisi lagi yaitu sebesar min (Cikarang Selatan EJIPC ; Sentra Variasi) yaitu  $\min(10205 ; 5001) = 5001$ . Demikian seterusnya cara pengisiannya sehingga diperoleh hasil pada gambar 2. Berdasarkan data distribusi yang diperoleh, maka model transportasi dapat digambarkan dalam bentuk gambar 2 berikut.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galerry	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040 2.337	1.610 5.001	472 5.204	587 X	1.618 X	21.254 X	15.355 X	0 X	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017 X	2.391 X	501 3.656	704 2.335	1.864 2.912	21.113 5.097	15.758 X	0 X	14.000
Cikarang Pusat	928 X	2.000 X	543 X	784 X	1.764 X	21.340 9.187	14.991 3.720	0 51	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

Gambar 2. Matriks Solusi Awal North West Corner Rules

Total biaya solusi awal dengan *North West Corner Rules*  $Z = 1.040 (2.337) + 1.610 (5.001) + 472 (5.204) + 501 (3.656) + 704 (2.335) + 1.864 (2.912) + 21.113 (5.097) + 21.340 (9.187) + 14.991 (3.720) + 0 (51) = 381.271.903$ .

**Metode Least Cost Rules**

Isi terlebih dahulu sel yang memiliki biaya transportasi per unit terkecil yaitu sebesar min (Cikarang Selatan EJIPC ; Surya Motor) yaitu min (12542 ; 8860) = 8860. Isian ini menunjukkan bahwa permintaan Surya Motor sudah dipenuhi seluruhnya sehingga tidak membutuhkan lagi *supply* dari Cikarang Selatan Delta Silicon2 dan Cikarang Pusat dengan menandai tanda “X” pada selnya. Isian ini menunjukkan bahwa masih ada sisa persediaan di Cikarang Selatan EJIPC sebesar  $12542 - 8860 = 3682$ . Selanjutnya sel kosong yang memiliki biaya transportasi per unit terkecil diisi lagi yaitu sebesar min (Cikarang Selatan EJIPC ; Jaya Karya) yaitu min (3682 ; 2335) = 2335. Demikian seterusnya cara pengisiannya sehingga diperoleh hasil pada gambar 3. Berdasarkan data distribusi yang diperoleh, maka model transportasi dengan solusi awal *Least Cost Rules* dapat digambarkan dalam bentuk gambar 3 berikut.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galerry	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040 X	1.610 1.347	472 8.860	587 2.335	1.618 X	21.254 X	15.355 X	0 X	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017 X	2.391 X	501 X	704 X	1.864 X	21.113 14.000	15.758 X	0 X	14.000
Cikarang Pusat	928 2.337	2.000 3.654	543 X	784 X	1.764 2.912	21.340 284	14.991 3.720	0 51	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

Gambar 3. Matriks Solusi Awal Least Cost Rules

Total biaya solusi awal dengan *Least Cost Rules*  $Z = 51 (0) + 472 (8.860) + 587 (2.335) + 928 (2.337) + 1.610 (1.347) + 1.764 (2.912) + 2.000 (3.654) + 14.991 (3.720) + 21.113 (14.000) + 21.340 (284) = 379.743.819$ .

**Metode Vogel Approximation (VAM)**

Solusi awal selanjutnya yang digunakan dalam metode transportasi adalah metode *Vogel Approximation (VAM)* dapat dilihat pada gambar 4.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							DUMMY	Persediaan	Selisih Baris
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut			
Cikarang Selatan EJIPC	1.040	1.610	472	587	1.618	21.254	15.355	0	12.542	472
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017	2.391	501	704	1.864	21.113	15.758	0	14.000	501
Cikarang Pusat	928	2.000	543	784	1.764	21.340	14.991	0	12.958	543
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500	
Selisih Kolom	89	390	29	117	146	141	364	0		

**Gambar 4.** Matriks Solusi Awal *Vogel Approximation Method (VAM)* Iterasi 1

Pada matriks metode *Vogel Approximation (VAM)* nilai selisih diperoleh dengan menghitung selisih 2 biaya transportasi per unit terendah setiap baris dan kolom. Pada iterasi 1 didapat selisih terbesar adalah angka 543 (543-0) yaitu selisih di baris Cikarang Pusat, Alokasikan pada baris Cikarang Pusat pada kolom yang biaya transportasi per unit terkecil yaitu kolom *dummy* bernilai 0. Besarnya alokasi adalah min (Cikarang Pusat ; *dummy*) yaitu min (12958 ; 51) = 51. Selanjutnya kolom *dummy* tidak dapat diikutsertakan kembali dalam proses perhitungan karena sudah dipenuhi permintaannya. Sisa persediaan Cikarang Pusat = 12958-51 = 12907. Perhitungan dengan cara yang sama dilakukan kembali pada iterasi 2 tetapi tidak menikutsertakan kolom *dummy* dan jumlah persediaan pada Cikarang Pusat sebesar 12907. Demikian dilakukan proses iterasi hingga diperoleh solusi awal VAM pada iterasi 10 yang ditunjukkan pada gambar 5.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040	1.610	472	587	1.618	21.254	15.355	0	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017	2.391	501	704	1.864	21.113	15.758	0	14.000
Cikarang Pusat	928	2.000	543	784	1.764	21.340	14.991	0	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

**Gambar 5.** Hasil Matriks Solusi Awal *Vogel Approximation Method (VAM)*

Total biaya solusi awal dengan *Vogel Approximation Method*  $Z = 0 (51) + 1.610 (5.001) + 14.991 (3.720) + 543 (8.860) + 587 (2.335) + 1.017 (2.337) + 1.618 (2.912) + 21.340 (327) + 21.254 (2.294) + 21.113 (11.663) = 379.063.875$ .

Diantara ketiga metode solusi awal didapatkan bahwa total biaya terendah adalah dengan menggunakan *Vogel Approximation Method*. Banyaknya sel yang berisi (variabel basis) pada VAM adalah 10 tidak mengalami degenerasi/redundansi dimana memenuhi nilai  $m + n - 1 = 3 + 8 - 1 = 10$ . Dengan demikian solusi awal ini bisa dilanjutkan untuk diuji optimalitasnya dengan metode *Stepping Stone* dan MODI.

### Metode Batu Loncatan (*Stepping Stone*)

Pengujian optimalitas dari hasil solusi awal VAM pada gambar 6 dilakukan dengan mencek apakah alokasi sel-sel kosong dapat menurunkan biaya yang ditandai dengan hasil perhitungan biaya negatif (-). Jika perhitungan biaya pada sel-sel kosong masih ada negatif, maka hal ini menunjukkan bahwa solusi yang ditunjukkan pada gambar transportasi tersebut masih belum optimal dimana masih bisa diturunkan jika sel kosong yang bernilai negatif diisikan sejumlah tertentu. Berikut perhitungan biaya sel-sel kosong table 6 :

1.  $X_{11}$  (Cikarang Selatan EJIPC – Start Bike Mart) =  $C_{11} - C_{21} + C_{26} - C_{16} = 1.040 - 1.017 + 21.113 - 21.254 = -118$
2.  $X_{13}$  (Cikarang Selatan EJIPC – Surya Motor) =  $C_{13} - C_{33} + C_{36} - C_{16} = 472 - 543 + 21.340 - 21.254 = 15$
3.  $X_{17}$  (Cikarang Selatan EJIPC – Bintang Makmut) =  $C_{17} - C_{16} + C_{36} - C_{37} = 15.355 - 21.254 + 21.340 - 14.991 = 450$
4.  $X_{18}$  (Cikarang Selatan EJIPC – dummy) =  $C_{18} - C_{16} + C_{36} - C_{38} = 0 - 21.254 + 21.340 - 0 = 86$
5.  $X_{22}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – Sentra Variasi) =  $C_{22} - C_{12} + C_{16} - C_{26} = 2.391 - 1.610 + 21.254 - 21.113 = 992$
6.  $X_{23}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – Surya Motor) =  $C_{23} - C_{33} + C_{37} - C_{27} = 501 - 543 + 21.340 - 21.113 = 185$
7.  $X_{24}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – Jaya Karya) =  $C_{24} - C_{14} + C_{16} - C_{26} = 704 - 587 + 21.254 - 21.113 = 258$
8.  $X_{25}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – Indo Helmet Galerry) =  $C_{25} - C_{15} + C_{16} - C_{26} = 1.864 - 1.618 + 21.254 - 21.113 = 387$
9.  $X_{27}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – Bintang Makmut) =  $C_{27} - C_{26} + C_{36} - C_{27} = 15.758 - 21.113 + 21.340 - 14.991 = 994$
10.  $X_{28}$  (Cikarang Selatan Delta Silicon 2 – dummy) =  $C_{28} - C_{26} + C_{36} - C_{38} = 0 - 21.113 + 21.340 - 0 = 227$
11.  $X_{31}$  (Cikarang Pusat – Start Bike Mart) =  $C_{31} - C_{21} + C_{26} - C_{36} = 928 - 1.017 + 21.113 - 21.340 = -316$
12.  $X_{32}$  (Cikarang Pusat – Sentra Variasi) =  $C_{32} - C_{12} + C_{16} - C_{36} = 2.000 - 1.610 + 21.254 - 21.340 = 304$
13.  $X_{34}$  (Cikarang Pusat – Jaya Karya) =  $C_{34} - C_{14} + C_{16} - C_{26} = 784 - 587 + 21.254 - 21.340 = 111$
14.  $X_{35}$  (Cikarang Pusat – Jaya Indo Helmet Galerry) =  $C_{35} - C_{15} + C_{16} - C_{36} = 1.764 - 1.618 + 21.254 - 21.340 = 60$

Dari hasil perhitungan ditemukan nilai negatif pada  $X_{11}$  dan  $X_{31}$  maka solusi optimum belum tercapai. Selanjutnya dipilih sel  $X_{31}$  untuk diisi karena nilai negatifnya terbesar yang artinya alokasi di sel  $X_{31}$  memberikan penurunan biaya yang lebih besar dibandingkan alokasi di sel  $X_{11}$ . Pada loop batu loncatan  $X_{31}$  yaitu  $X_{31} - X_{21} + X_{26} - X_{36}$  yang bertanda negative (-) adalah sel  $X_{21}$  berjumlah 2337 dan  $X_{36}$  berjumlah 327 maka pilih jumlah terkecil yaitu 327

untuk ditambahkan atau dikurangkan pada loop batu loncatan. Pada  $X_{31} - X_{21} + X_{26} - X_{36}$  berarti  $X_{31} = +327$ ;  $-X_{21} = 2337 - 327 = 2010$ ;  $+X_{26} = 116637 + 327 = 1990$ ;  $-X_{36} = 327 - 327 = 0$ . Hasil ini ditunjukkan pada gambar 6.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040 X	1.610 5.001	472 X	587 2.335	1.618 2.912	21.254 2.294	15.355 X	0 X	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017 2.010	2.391 X	501 X	704 X	1.864 X	21.113 11.990	15.758 X	0 X	14.000
Cikarang Pusat	928 327	2.000 X	543 8.860	784 X	1.764 X	21.340 X	14.991 3.720	0 51	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

Gambar 6. Hasil Perhitungan Ulang Stepping Stone  $X_{31}$

Hasil pada gambar 7 diuji optimalitasnya kembali yaitu dengan menghitung  $C_{ij}$  dimana ditemukan nilai negatif  $X_{11}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{18}$ ,  $X_{23}$  dan  $X_{28}$  maka solusi optimum belum tercapai. Untuk itu harus dilakukan perhitungan lagi sedemikian hingga seluruh nilai biaya sel kosong tidak ada lagi yang negatif. Hasil optimum ditunjukkan pada gambar 7 setelah 3 iterasi.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040 X	1.610 5.001	472 2.010	587 2.335	1.618 2.912	21.254 284	15.355 X	0 X	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017 X	2.391 X	501 X	704 X	1.864 X	21.113 14.000	15.758 X	0 X	14.000
Cikarang Pusat	928 2.337	2.000 X	543 6.850	784 X	1.764 X	21.340 X	14.991 3.720	0 51	12.958
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

Gambar 7. Solusi Optimum dengan Stepping Stone

Dari hasil perhitungan tidak ditemukan nilai negatif maka solusi optimum sudah ditemukan. Alokasi produk dari gudang ke toko konsumen menurut metode *Vogel Approximation* (VAM) yang di uji dengan metode Batu Loncatan (*Stepping Stone*) dari tiga iterasi biaya transportasinya adalah  $Z = 1.610 (5.001) + 472 (2.010) + 587 (2.335) + 1.618 (2.912) + 21.254 (284) + 21.113 (14.000) + 928 (2.337) + 543 (6.850) + 14.991 (3.720) + 0 (51) = 378.355.533$ .

**Metode Modified Distribution (MODI)**

Pengujian optimalitas dari hasil solusi awal VAM pada gambar 7 dilakukan dengan mengecek apakah alokasi sel-sel kosong dapat menurunkan biaya yang ditandai dengan hasil perhitungan biaya negatif (-). Jika perhitungan biaya pada sel-sel kosong masih ada negatif, maka hal ini menunjukkan bahwa solusi yang ditunjukkan pada gambar transportasi tersebut

masih belum optimal dimana masih bisa diturunkan jika sel kosong yang bernilai negatif diisikan sejumlah tertentu. Berikut pengujian yang dilakukan

1. Tentukan nilai baris ( $R_i$ ) dan kolom ( $K_j$ ) untuk setiap variabel baris dimana nilai  $R_1 = 0$

$$\begin{aligned} \text{a. } C_{12} &= R_1 + K_2 \\ 1610 &= 0 + K_2 \\ K_2 &= 1610 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } C_{14} &= R_1 + K_4 \\ 587 &= 0 + K_4 \\ K_4 &= 587 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C_{15} &= R_1 + K_5 \\ 1618 &= 0 + K_5 \\ K_5 &= 1618 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } C_{16} &= R_1 + K_6 \\ 21254 &= 0 + K_6 \\ K_6 &= 21254 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } C_{26} &= R_2 + K_6 \\ 21113 &= R_2 + 21254 \\ R_2 &= -141 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. } C_{21} &= R_2 + K_1 \\ 1017 &= (-141) + K_1 \\ K_1 &= 1158 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. } C_{36} &= R_3 + K_6 \\ 21340 &= R_3 + 21254 \\ R_3 &= 86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h. } C_{33} &= R_3 + K_3 \\ 543 &= 86 + K_3 \\ K_3 &= 457 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i. } C_{38} &= R_3 + K_8 \\ 0 &= 86 + K_8 \\ K_8 &= -86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j. } C_{37} &= R_3 + K_7 \\ 14991 &= 86 + K_7 \\ K_7 &= 14905 \end{aligned}$$

2. Hitung nilai indeks perbaikan pada sel kosong yaitu :

$$\begin{aligned} \text{a. } IP_{11} &= C_{11} - R_1 - K_1 \\ IP_{11} &= 1040 - 0 - 1158 \\ IP_{11} &= -118 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } IP_{13} &= C_{13} - R_1 - K_3 \\ IP_{13} &= 472 - 0 - 457 \\ IP_{13} &= 15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } IP_{17} &= C_{17} - R_1 - K_7 \\ IP_{17} &= 15355 - 0 - 14905 \\ IP_{17} &= 450 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. } IP_{18} &= C_{18} - R_1 - K_8 \\ IP_{18} &= 0 - 0 - (-86) \\ IP_{18} &= 86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. } IP_{22} &= C_{22} - R_2 - K_2 \\ IP_{22} &= 2391 - (-141) - 1610 \\ IP_{22} &= 922 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f. } IP_{23} &= C_{23} - R_2 - K_3 \\ IP_{23} &= 501 - (-141) - 457 \\ IP_{23} &= 185 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g. } IP_{24} &= C_{24} - R_2 - K_4 \\ IP_{24} &= 704 - (-141) - 587 \\ IP_{24} &= 258 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{j. } IP_{28} &= C_{28} - R_2 - K_8 \\ IP_{28} &= 0 - (-141) - (-86) \\ IP_{28} &= 227 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i. \quad IP_{27} &= C_{27} - R_2 - K_7 \\
 IP_{27} &= 15758 - (-141) - 14905 \\
 IP_{27} &= 994 \\
 h. \quad IP_{25} &= C_{25} - R_2 - K_5 \\
 IP_{25} &= 1864 - (-141) - 1618 \\
 IP_{25} &= 387 \\
 k. \quad IP_{31} &= C_{31} - R_3 - K_1 \\
 IP_{31} &= 928 - 86 - 1158 \\
 IP_{31} &= -316 \\
 l. \quad IP_{32} &= C_{32} - R_3 - K_2 \\
 IP_{32} &= 2000 - 86 - 1610 \\
 IP_{32} &= 304 \\
 m. \quad IP_{34} &= C_{34} - R_3 - K_4 \\
 IP_{34} &= 784 - 86 - 587 \\
 IP_{34} &= 111 \\
 n. \quad IP_{35} &= C_{35} - R_3 - K_5 \\
 IP_{35} &= 1764 - 86 - 1618 \\
 IP_{35} &= 60
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dipilih sel  $X_{31}$  untuk diisi karena nilai IP negatifnya terbesar yang artinya alokasi di sel  $X_{31}$  memberikan penurunan biaya yang lebih besar. Pada loop batu loncatan  $X_{31}$  yaitu  $X_{31} - X_{21} + X_{26} - X_{36}$  yang bertanda negative (-) adalah sel  $X_{21}$  berjumlah 2337 dan  $X_{36}$  berjumlah 327 maka pilih jumlah terkecil yaitu 327 untuk ditambahkan atau dikurangkan pada loop batu loncatan. Pada  $X_{31} - X_{21} + X_{26} - X_{36}$  berarti  $X_{31} = +327$ ;  $-X_{21} = 2337 - 327 = 2010$ ;  $+X_{26} = 116637 + 327 = 1990$ ;  $-X_{36} = 327 - 327 = 0$ . Hasil ini ditunjukkan pada gambar 8.

Tujuan Gudang	Toko Konsumen								Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galerry	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut			
Cikarang Selatan EJIPC	1.040 X	1.610 5.001	472 X	587 2.335	1.618 2.912	21.254 2.294	15.355 X	0 X	12.542	
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	1.017 2.010	2.391 X	501 X	704 X	1.864 X	21.113 11.990	15.758 X	0 X	14.000	
Cikarang Pusat	928 327	2.000 X	543 8.860	784 X	1.764 X	21.340 X	14.991 3.720	0 51	12.958	
Permintaan	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500	

Gambar 8. Hasil Perhitungan Ulang MODI  $X_{31}$

Selanjutnya dihitung kembali  $C_{ij}$  dan  $IP_{ij}$  dari gambar 9 sampai tidak ditemukan nilai negative pada IP nya. Setelah melalui 3 kali iterasi (perhitungan  $C_{ij}$  dan  $IP_{ij}$ ) maka ditemukan solusi optimum yang ditunjukkan pada gambar 10. Hasil optimum dengan MODI menunjukkan biaya transportasinya adalah sebesar  $Z = 1.610 (5.001) + 472 (2.010) + 587 (2.335) + 1.618 (2.912) + 21.254 (284) + 21.113 (14.000) + 928 (2.337) + 543 (6.850) + 14.991 (3.720) + 0 (51) = 378.355.533$ .

Tujuan Gudang	Toko Konsumen							Dummy	Persediaan
	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut		
Cikarang Selatan EJIPC	1.040	1.610	472	587	1.618	21.254	15.355	0	12.542
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	X	5.001	2.010	2.335	2.912	284	X	X	0
Cikarang Pusat	1.017	2.391	501	704	1.864	21.113	15.758	X	14.000
Permintaan	X	X	X	X	X	14.000	X	X	0
	928	2.000	543	784	1.764	21.340	14.991	0	12.958
	2.337	X	6.850	X	X	X	3.720	51	39.500
	2.337	5.001	8.860	2.335	2.912	14.284	3.720	51	39.500

**Gambar 9.** Solusi Optimum dengan MODI

Perhitungan permasalahan transportasi juga dilakukan dengan software POM-QM for Windows dimana hasilnya ditunjukkan pada gambar 10.

	Start Bike Mart	Sentra Variasi	Surya Motor	Jaya Karya	Indo Helmet Galery	Suryo Margo Mulyo	Bintang Makmut	Dummy
Iteration 1								
Cikarang Selatan EJIPC	(-98)	5001	(15)	2335	2912	2294	(450)	(86)
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	2337	(922)	(185)	(258)	(387)	11663	(994)	(227)
Cikarang Pusat	(-316)	(304)	8860	(111)	(60)	327	3720	51
Iteration 2								
Cikarang Selatan EJIPC	(-98)	5001	(-301)	2335	2912	2294	(134)	(-230)
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	2010	(922)	(-131)	(258)	(387)	11990	(678)	(-89)
Cikarang Pusat	327	(620)	8860	(427)	(376)	(316)	3720	51
Iteration 3								
Cikarang Selatan EJIPC	(203)	5001	2010	2335	2912	284	(435)	(71)
Cikarang Selatan Delta Silicon 2	(301)	(922)	(170)	(258)	(387)	14000	(979)	(212)
Cikarang Pusat	2337	(319)	6850	(126)	(75)	(15)	3720	51

**Gambar 10.** Iterasi POM-QM

Hasil iterasi 3 pada POM QM menunjukkan solusi optimum dimana nilai biaya jika sel kosong diisi (angka yang di dalam kurung) sudah tidak ada yang negatif.

Hasil optimum yang sama ditunjukkan oleh perhitungan dengan ketiganya yaitu *Stepping Stone*, MODI, dan POM QM. Hasil optimum alokasi dari 3 gudang ke 7 toko tujuan adalah :

1. Start Bike Mart *disupply* seluruhnya dari gudang Cikarang Pusat sebanyak 2.337 unit (100%)
2. Sentra Variasi *disupply* seluruhnya dari gudang Cikarang Selatan EJIPC sebanyak 5.001 unit (100%)
3. Surya Motor *disupply* dari Gudang Selatan EJIPC sebanyak 2.010 unit (23%) dan Gudang Cikarang Pusat sebanyak 6850 unit (73%).
4. Jaya Karya *disupply* seluruhnya dari Gudang Selatan EJIPC sebanyak 2.335 unit (100%)
5. Indo Helmet Galery *disupply* seluruhnya dari Gudang Cikarang Selatan EJIPC sebanyak 2.912 unit (100%)
6. Suryo Margo Mulyo *disupply* dari Gudang Cikarang Selatan EJIPC sebanyak 284 (2%) dan Gudang Cikarang Selatan Delta Silicon2 sebanyak 14.000 unit (98)%.
7. Bintang Makmut *disupply* seluruhnya dari Gudang Cikarang Pusat sebanyak 3.720 (100%).

Total biaya transportasi per bulan sebelumnya adalah sebesar Rp 384.204.544,- dan setelah adanya perhitungan menggunakan metode transportasi sebesar Rp. 378.355.533,- per bulan. Ada penurunan biaya sebesar Rp 5.849.011,- atau sebesar 1.5% per bulannya.

### **Pembahasan**

Ketika menghitung solusi awal dalam masalah transportasi dengan menggunakan ketiga metode tersebut, setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode *North West Corner* sangat sederhana dan cepat untuk alokasi, tetapi tidak efisien dalam meminimalkan biaya karena tidak mempertimbangkan biaya setiap sel (Mariatul Kiftiah, 2019). Metode *Least Cost* merupakan pendekatan yang mudah dan efisien untuk mengalokasikan produk dalam matriks. Metode ini memprioritaskan sel dengan biaya terendah, sehingga menghasilkan proses alokasi yang lebih efisien dibandingkan dengan metode *North West Corner* (Nteseo et al., 2021). Namun, perlu dicatat bahwa metode *Least Cost* terkadang menghasilkan solusi yang lebih mahal. Selain itu, jika beberapa sel memiliki biaya yang sama, hal ini dapat menyebabkan iterasi atau kemungkinan alokasi yang berbeda, yang pada akhirnya menghasilkan solusi yang berbeda.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan maka didapat alokasi optimum distribusi helm KYT pada PT. Tarakusuma Indah dapat diperoleh dengan metode Transportas yaitu Batu Loncatan (*Stepping Stone*) dan metode *Modified Distribution* (MODI) yang dapat juga dilakukan dengan software POM-QM *for Windows*. Penggunaan metode Transportasi dapat menurunkan biaya transportasi sebesar 1.5% per bulan. . Alokasi optimum tersebut yaitu toko Start Bike Mart *disupply* seluruhnya 100% dari gudang Cikarang Pusat. toko Sentra Variasi *disupply* seluruhnya 100% dari gudang Cikarang Selatan EJIPC, toko Surya Motor *disupply* dari gudang Selatan EJIPC sebesar 23% dan gudang Cikarang Pusat sebesar 73%, toko Jaya Karya *disupply* seluruhnya 100% dari Gudang Selatan EJIPC. Sementara untuk toko Indo Helmet Galerry *disupply* seluruhnya 100% dari gudang Cikarang Selatan EJIPC, toko Suryo Margo Mulyo *disupply* dari gudang Cikarang Selatan EJIPC sebesar 2% dan Gudang Cikarang Selatan Delta Silicon 2 sebesar 98%, toko Bintang Makmut *disupply* seluruhnya 100% dari gudang Cikarang Pusat.

### **PENUTUP**

Pendekatan transportasi merupakan varian dari metode *Linear Programming* yang telah menunjukkan efektivitas dan efisiensi dalam menyelesaikan masalah distribusi logistik, khususnya dalam mengoptimalkan pergerakan barang dari pabrik ke gudang. Pendekatan transportasi *Least Cost* (LC), yang digunakan sebagai solusi awal, dan metode *Modified Distribution* (MODI), yang digunakan sebagai solusi optimasi, telah terbukti secara efektif mengatasi masalah transportasi secara langsung. Kemampuan pendekatan transportasi dasar dalam mengoptimalkan distribusi dan mengurangi biaya distribusi telah dibuktikan. Masalah transportasi dapat dioptimalkan dengan mengasumsikan bahwa komoditas yang diproduksi oleh pabrik dan yang dibutuhkan oleh gudang adalah identik, dan bahwa jumlah produksi pabrik sesuai dengan jumlah kebutuhan gudang.

Penelitian selanjutnya dapat menambahkan batasan atau kondisi aktual lainnya, seperti mempertimbangkan kemacetan, waktu tempuh, biaya tol, dan lain-lain. Penentuan nilai denda yang dapat dibedakan untuk setiap pelanggaran. Kriteria pemberhentian algoritma genetika pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan konvergensi fitness. Rentang pengujian parameter dapat dilakukan lebih bervariasi untuk mendapatkan perbandingan fitness tertinggi yang lebih variatif. Pengembangan web atau aplikasi juga sangat disarankan agar lebih mudah digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afiani, M., Setiawani, S., & Setiawan, T. B. (2019). Penerapan Modified *Vogel'S Approximation Method* (MVAM) untuk Meminimumkan Biaya Transportasi (Studi Kasus: Pabrik Tahu Taufik). *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, Vol. 16(2), 143-149.
- Aqidawati, E. F. (2018). Optimasi Distribusi Semen PT. XYZ dengan Modifikasi Model Transportasi. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, Vol. 4(02). 187-191.
- Azizah, N. L. (2018). Aplikasi Metode Transportasi dalam Optimasi Biaya Distribusi Beras Sejahtera pada Perum Bulog Sub-Divre Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah Soulmath : Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, Vol. 6(1), 15–23.
- Basriati, S., & Cahyani, D. (2017). Penyelesaian Model Transportasi Menggunakan Metode ASM, RDI dan MODI (Studi Kasus : PT. Melayu Bumi Lestari). *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, Vol. 3(2), 67–73.
- Bu'ulölö, F. (2017). *Operasi Riset Program Linier*. Medan: USU Press.
- Dimasuharto, N., Subagyo, A. M., & Fitriani, R. (2021). Optimalisasi Biaya Pendistribusian Produk Kaca Menggunakan Model Transportasi dan Metode *Stepping Stone*. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, Vol. 7(2), 81–88.
- Farida, P., & Nugraha, I. (2022). Optimasi Biaya Distribusi Perusahaan Pestisida dengan Kombinasi Metode Transportasi North West Corner Method dan Modified Distribution Method Berbasis POM-QM. *Waluyo Jatmiko Proceeding*, 15(1), 198–204. <https://doi.org/10.33005/waluyojatmiko.v15i1.44>,
- Kanthi, Y. A., & Kristanto, B. K. (2020). Implementasi Metode *North-West Corner* dan *Stepping Stone* Pengiriman Barang Galeri Bimasakti. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Vol. 7(4), 845-852.
- Kartika, R., Taufik, N., & Nur Lestari, M. (2020). Distribution Optimization With The Transportation Method. *Jurnal Sains Manajemen dan Bisnis Indonesia* , Vol. 10(2), 246–254.
- Lestari, O. D., & Christy, T. (2018). Analisis Perbandingan Pengiriman Barang Menggunakan Metode *Vogel'S Approximation Method* (VAM) dan *Modified Distribution* MODI (Studi Kasus: PT. Coca Cola Amatil Indonesia Surabaya. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informas*, Vol. V(1), 51–58.
- Mariatul, K, F. H. (2019). Perbandingan Metode ASM, *Stepping Stone* dan Metode MODI pada Biaya Angkut Transportasi (Kasus Studi: Data Pendistribusian Raskin Perum Bulog Divre Kalimantan Barat Tahun 2018 pada Bulan Januari-September). *Bimaster : Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, Vol. 8(3), 387–392.
- Nteseo, S., Katili, M. R., Nurwan, N., & Wungguli, D. (2021). Metode *North West Corner* untuk Meminimumkan Biaya ransportasi dengan Uji Optimasi *Stepping Stone* pada Distribusi Tabung LPG 3 kg. *Jurnal Edukasi dan Sains Matematika (JES-MAT)*, Vol. 7(2), 115–126.
- Rusdiana, S., Murdani, S.T., & Handayani, M.U. (2023). Application of Transportation Methods in Optimizing Transportation Cost for Fleet Product Distribution. *Transcendent Journal of Mathematics and Application*, Vol. 2(1), 20–26.
- Septiana, M. A., Hidayattulloh, R., Machmudin, J., & Anggraeni, N. F. (2020). Optimasi Biaya Pengiriman Kelapa Menggunakan Model Transportasi Metode *Stepping Stone*. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, Vol. 5(2), 111–115.
- Sinaga, R. (2023). Penerapan Metode *Stepping Stone* untuk Transportasi Pengiriman Barang. *Journal Global Technology Computer*, Vol. 2(2), 54–60.
- Wahab, A., & Busrah, Z. (2021). Analisis Perbandingan Metode Layak Dasar dalam Pendistribusian Barang dengan Model Transportasi. *Prosiding SEMANTIK*, Vol.3(1), 1–10. <https://www.journal.uncp.ac.id/index.php/semantik/article/view/1595/1407>