

# Optimasi Biaya Pengiriman Buah Kelapa Sawit (Studi Kasus PT. Agro Muko)

Ramli Murgani

Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta  
E-Mail: ramli.gani@gmail.com

**Abstrak**— PT. Agro Muko adalah perusahaan perkebunan kelapa sawit dan melakukan pengiriman buah kelapa sawit dari perkebunan di tiga tempat yaitu Talang Petai Estate, Sei Kiang Estate, dan Tanah Rekah Estate. Dari ketiga lokasi ini akan melakukan pengiriman buah kelapa sawit ke beberapa pabrik yaitu, Muko-Muko, Bunga Tanjung, Air Bikuk, dan Air Hitam. Pengiriman buah kelapa sawit menggunakan alat transportasi darat berupa truk-truk terbuka dengan kapasitas pengiriman 7,5 ton. Frekuensi pengiriman menjadi hal yang penting perhitungan biaya transportasi dengan daya tampung pabrik yang terbatas. Biaya pengiriman akan disesuaikan dengan jumlah kapasitasnya dimana untuk pengiriman diatas kapasitas akan dihitung dan sisanya dihitung satu kali pengiriman sebagai biaya tambahan. Hasil perhitungan langsung biaya transportasi dari 3 kebun ke 4 pabrik adalah Rp.51.392.000,- Dengan metode *Northwest Corner* (NWC) diperoleh Rp.48.597.000,- dan solusi optimal *modified distribution method* (MODI) Rp.48.597.000,-. Output aplikasi POM 5 untuk sains manajemen oleh Taylor Rp.48.597.000,- pada modul *linear programming* dan *transportation*. Walaupun hasil optimal sama tetapi jalur distribusi berbeda. Berdasarkan perhitungan langsung dibandingkan optimisasi secara manual maupun dengan *output* program POM-5. terjadi penurunan biaya transportasi sebesar Rp.2.795.000,- atau 5,44% dan perusahaan memiliki alternatif jadwal pengiriman yang diinginkan.

**Kata kunci**— program linier, biaya transportasi, NWC, MODI, optimalisasi.

**Abstract**— P.T. Agro Muko is an oil palm plantation company and delivers oil palm fruit from plantations in three places, namely Talang Petai Estate, Sei Kiang Estate, and Tanah Rekah Estate. Of the three locations, the oil palm fruit will be shipped to several factories, namely, Muko-Muko, Bunga Tanjung, Bikuk Water, and Air Hitam. Delivery of oil palm fruit using land transportation in the form of open trucks with a delivery capacity of 7.5 tons. The frequency of shipments is an important calculation of transportation costs with limited factory capacity. Shipping costs will be adjusted according to the amount of capacity where shipping above capacity will be calculated and the remainder is calculated as one-time delivery as an additional fee. The result of direct calculation of transportation costs from 3 gardens to 4 factories is Rp.51,392,000,-. With the Northwest Corner (NWC) method, Rp.48,597,000,- is obtained and the optimal modified distribution method (MODI) solution is Rp.48,597,000,-. POM 5 application output for management science by Taylor Rp.48,597,000,- in linear programming and transportation modules. Although the optimal results are the same but the distribution channels are different. Based on direct calculations compared to optimization manually or with the output of the POM-5 program, there was a decrease in transportation costs of Rp.2,795,000,- or 5.44% and the company had an alternative delivery schedule desired

**Keywords**— linear programming, transportations cost, NWC, MODI, optimization.

## I. PENDAHULUAN

Optimalisasi, terkait erat pada tujuan-tujuan perusahaan dalam mengelola sumberdaya yang efisien yaitu memaksimalkan produksi, laba dan meminimalkan biaya-biaya. Transportasi adalah salah satu aspek atau komponen biaya yang harus diminimalkan. Besar kecilnya biaya yang timbul tergantung pada cara atau metode yang dipilih pada solusi biaya transportasi. Berdasarkan penelitian terdahulu penyelesaian tabel awal menggunakan (NWC), *Least Cost* dan VAM dioptimalkan dengan metode MODI dan *Stepping Stones* [2, 5, 11, 12]. Artikel ini merupakan pengembangan dari kasus minimalisasi biaya pengiriman buah kelapa sawit PT. Agro Muko menggunakan optimalisasi transportasi metode tabel awal NWC dan optimalisasi dengan metode MODI. Perhitungan manual menggunakan tabel menurut penulis adalah cara yang lebih mudah dibandingkan dengan cara optimalisasi program linier menggunakan tabel simpleks dengan pengulangan hingga 14 kali (*iteration-14*). Sebagai pembandingan penulis menggunakan perangkat lunak POM 5 pada *module linear programming* dan *transportations*, Tabel. 13-17 dengan hasil optimal dan menurunkan total biaya perhitungan langsung, Tabel. 9-11.

## II. METODE PENELITIAN

### 1. Sampel dan Populasi

Penelitian ini menggunakan data deret berkala (*time series*) produksi tahun 2016 sebagai sampel dari populasi sepanjang usia perkebunan sejak berdiri pada tahun sebelum 2016 dan sesudahnya [4].

### 2. Sumber Data

Penulis menggunakan data sekunder berupa data historis tahun 2016 dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mustadin di PT. Agro Muko mempunyai perkebunan di kabupaten Muko-muko yaitu Talang Petai Estate, Sei Kiang Estate, dan Tanah Rekah Estate. Dari ketiga lokasi ini akan melakukan pengiriman buah kelapa sawit ke beberapa pabrik yaitu, Muko-Muko, Bunga Tanjung, Air Bikuk, dan Air Hitam [4]. Distribusi pengiriman dari masing –masing kebun ke pabrik dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 1. Distribusi Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Talang Petai Estate

Dari	Ke	Kapasitas (Ton)	Frekuensi	Jumlah (Ton)	Total (Ton)
Talang Petai Estate	Muko-Muko	7,5	10	75	80
		5	1	5	
Talang Petai Estate	Bunga Tanjung	7,5	9	67,5	70
		2,5	1	2,5	
Talang Petai Estate	Air Bikuk	7,5	10	75	80
		5	1	5	
Talang Petai Estate	Air Hitam	7,5	2	15	20
		5	1	5	
Total (Ton)					250

Tabel 2. Distribusi Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Sei Kiang Estate

Dari	Ke	Kapasitas (Ton)	Frekuensi	Jumlah (Ton)	Total (Ton)
Sei Kiang Estate	Muko-Muko	7,5	3	15	20
	Muko	5	1	5	
Sei Kiang Estate	Bunga Tanjung	7,5	9	67,5	70
	Tanjung	2,5	1	2,5	
Sei Kiang Estate	Air Bikuk	7,5	5	37,5	40
	Bikuk	2,5	1	2,5	
Sei Kiang Estate	Air Hitam	7,5	2	15	20
	Hitam	5	1	5	
Total (Ton)					150

Tabel 3. Distribusi Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Tanah Rekah Estate

Dari	Ke	Kapasitas (Ton)	Frekuensi	Jumlah (Ton)	Total (Ton)
Tanah Rekah Estate	Muko-Muko	7,5	2	15	20
	Muko	5	1	5	
Tanah Rekah Estate	Bunga Tanjung	7,5	4	30	30
	Tanjung				
Tanah Rekah Estate	Air Bikuk	7,5	9	67,5	70
	Bikuk	2,5	1	2,5	
Tanah Rekah Estate	Air Hitam	7,5	10	75	80
	Hitam	5	1	5	
Total (Ton)					200

Biaya pengiriman dengan kapasitas 7,5 ton sekali kirim. Pengiriman diatas 7,5 ton akan diakumulasi menjadi 1 pengiriman dengan biaya tambahan sesuai tarif yang ditetapkan untuk masing-masing dari kebun ke pabrik (Tabel 4. – Tabel 6.).

Tabel 4. Tarif Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Talang Petai Estate

Dari	Ke Pabrik	Tarif/Kirim
Kebun Talang Petai Estate	Muko-Muko	Rp. 728.000
Kebun Talang Petai Estate	Bunga Tanjung	Rp. 680.000
Kebun Talang Petai Estate	Air Bikuk	Rp. 823.000
Kebun Talang Petai Estate	Air Hitam	Rp. 919.000

Tabel 5. Tarif Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Sei Kiang Estate

Dari	Ke Pabrik	Tarif/Kirim
Kebun Sei Kiang Estate	Muko-Muko	Rp. 490.000
Kebun Sei Kiang Estate	Bunga Tanjung	Rp. 442.000
Kebun Sei Kiang Estate	Air Bikuk	Rp. 585.000
Kebun Sei Kiang Estate	Air Hitam	Rp. 680.000

Tabel 6. Tarif Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Tanah Rekah Estate

Dari	Ke Pabrik	Tarif/Kirim
Kebun Tanah Rekah Estate	Muko-Muko	Rp. 357.000
Kebun Tanah Rekah Estate	Bunga Tanjung	Rp. 309.000
Kebun Tanah Rekah Estate	Air Bikuk	Rp. 452.000
Kebun Tanah Rekah Estate	Air Hitam	Rp. 547.000

3. Waktu dan Tempat

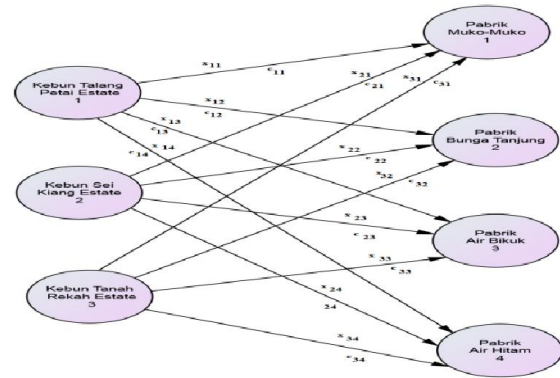
Penelitian ini telah dilakukan oleh Mustadin di perusahaan perkebunan dan pengolahan kelapa sawit PT. Agro Muko Batam Kepulauan Riau [4].

4. Variabel Penelitian

Variabel penelitian menggunakan variabel kuantitatif yaitu jumlah produk buah kelapa sawit (ton) dan tarif pengiriman dari perkebunan ke pabrik (Rp. per kirim).

5. Kerangka Penelitian

Secara deskriptif jalur pengiriman dari perkebunan ke pabrik di tujukan oleh gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Jalur Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Perkebunan ke Pabrik PT. Agro Muko

6. Teknis Analisis

Beberapa metode pemecahan permasalahan transportasi yaitu: Program linier (*Linear Programming*). Metode tabel Awal: Baratlaut atau pojok kiri atas (*Northwest Corner (NWC)*), Biaya Sel Minimum (*Least Cost Method (LCM)*) dan VAM (*Vogel Aproximation Method*) dan metode tabel Optimal menggunakan metode: Batu Loncatan (*Stepping Stones*), dan MODI (*Modified Distribution Method*), [3,6,7,8,9,10].

7. Tabel Transportasi

Tabel transportasi terdiri dari sel-sel biaya pengiriman dari sumber ke pabrik, jumlah pasokan dari sumber dan jumlah permintaan pabrik tersimpan di gudang sesuai kapasitas penyimpanan. Matrikulasi masalah transportasi berdasarkan Tabel1.- Tabel 6. dan Gambar 1 maka tabel transportasinya Tabel 7. adalah:

Tabel 7. Tabel Transportasi PT. Agro Muko

Ke	Muko-Muko	Bunga Tanjung	Air Bikuk	Air Hitam	Supply
Dari	1	2	3	4	\$
Kebun Talang Petai Estate	Rp. 728.000	Rp. 680.000	Rp. 823.000	Rp. 919.000	250
1					
Kebun Sei Kiang Estate	Rp. 490.000	Rp. 442.000	Rp. 585.000	Rp. 680.000	150
2					
Kebun Tanah Rekah Estate	Rp. 357.000	Rp. 309.000	Rp. 452.000	Rp. 547.000	200
3					
Demand	120	170	190	120	600

Dengan kapasitas pengiriman 7,5 Ton sekali kirim maka batasan *supply* dan *demand* dinyatakan dengan frekuensi pengiriman misalnya dari Talang Petai Estate jumlah pasokan 250 Ton setara dengan  $250/7,5 = 33,33$  dibulatkan menjadi 34 kali pengiriman sehingga tabel transportasi berikut Tabel 8:

Tabel 8. Tabel Transportasi Pengiriman Buah Kelapa Sawit P.T. Agro Muko

Ke	Muko-Muko	Bunga Tanjung	Air Bikuk	Air Hitam	Supply
Dari	1	2	3	4	\$
Talang Petai Estate	Rp. 728.000	Rp. 680.000	Rp. 823.000	Rp. 919.000	34
1					
Sei Kiang Estate	Rp. 490.000	Rp. 442.000	Rp. 585.000	Rp. 680.000	20
2					
Tanah Rekah Estate	Rp. 357.000	Rp. 309.000	Rp. 452.000	Rp. 547.000	27
3					
Demand	16	23	26	16	81

Penulis menggunakan pemecahan masalah transportasi dengan metode tabel awal NWC dan optimisasi metode MODI serta output program aplikasi POM-5 pada modul *Linear Programming* dan *Transportations*.

8. Program Linier (*Linear Programming*)

Program linier memiliki 2 kelompok persamaan dan pertidaksamaan yaitu persamaan fungsi tujuan (*objective*) dalam kasus ini adalah mencari total biaya transportasi minimum dan kelompok pertidaksamaan fungsi kendala (*constraint*). Tiga pasokan dari kebun pada kota Talang Petai Estate, Sei Kiang Estate, dan Tanah Rekah Estate dengan tujuan ke empat pabrik yang ada di Muko Muko, Bunga Tanjung, Air Bikuk, dan Air Hitam menghasilkan 7 pertidaksamaan sebanyak 3 pertidaksamaan pada sisi pasokan (*supply*) dan 4 pertidaksamaan pada sisi permintaan (*demand*). Tahapan penyelesaian program linier dengan membuat definisi variabel, persamaan dan pertidaksamaan dan transformasi ke solusi tabel simpleks. Definisi untuk masing-masing variabel pada kasus ini secara umum berdasarkan informasi sejumlah pasokan dan permintaan dan biaya variabel pengiriman adalah sebagai berikut [3,6,7,8,9,10]:

$x_{ij}$  = jumlah buah kelapa sawit yang dikirim dari kebun  $i$  ke pabrik  $j$ , ( $i, j = 1, 2, 3, \dots$ )  
 $c_{ij}$  = biaya pengiriman buah kelapa sawit dari kebun  $i$  ke pabrik  $j$ , ( $i, j = 1, 2, 3, \dots$ )

$$\min = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} \tag{1}$$

terbatas pada:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq S_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad \text{(Batasan Pasokan)} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq D_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{(Batasan Permintaan)} \tag{3}$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad \text{dan} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \tag{4}$$

Untuk transportasi berkeseimbangan (*balance transportation problems*) jumlah pasokan dan permintaan buah kelapa sawit sama dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j \tag{5}$$

9. Algoritma Simpleks Masalah Minimum

Ada 2 cara menurut Winstone yaitu (1) dengan mengalikan negatif pada fungsi tujuan lalu selesaikan dengan algoritma masalah maksimum; (2). Pemecahan langsung dengan merubah langkah 3 (f) pada baris  $C_j$ -Z untuk optimal dengan nilai nol atau positif, [10].

- a. Ubah Program Linier ke bentuk standar  
 Bentuk Standar dimana pertidaksamaan diubah menjadi persamaan dengan menambahkan variabel

slack pada fungsi tujuan dan kendala. Nilai fungsi tujuan setelah ditambah variabel slack adalah nol

- b. Ubah ke Tabel dari bentuk standar
- c. Tentukan Optimalisasi berdasarkan Tabel sebagai berikut:
  - 1) Pilih nilai positif terbesar dari fungsi tujuan sebagai kolom kunci.
  - 2) Tentukan baris kunci dengan menghitung rasio kuantitas dengan elemen kolom kunci pilih rasio terkecil.
  - 3) Tentukan Elemen pivot yaitu perpotongan Kolom Kunci dengan Baris kunci.
  - 4) Hitung baris baru *entering* variabel dengan membagi baris kunci dengan *elemet pivot*.
  - 5) Hitung Baris Baru Variabel lainnya menggunakan ERO atau Elimanasi Gauss -Jordan secara baris
  - 6) Periksa baris  $C_j$ - Z pada Tabel hasil iterasi 2 apakah masih ada nilai nol atau positif
- d. Jika belum optimal lanjutkan ke Iterasi ke3 berdasarkan tabel Iterasi 2 dengan mengulangi langkah

10. Metode Tabel Transportasi Solusi awal tabel transportasi ada 3 yaitu NWC, Biaya Sel Minimum dan VAM. Pada artikel ini penulis menggunakan solusi awal NWC dengan alasan algoritma mudah lebih mudah dibanding solusi tabel awal metode *Least Cost* dan VAM.

11. Metode Tabel Awal NWC

Algoritma NWC Algoritma penyelesaian total biaya minimal [3,6,7,8.9.10] menggunakan matriks pada perhitungan berulang (itersi) untuk solusi optimal simpleks lebih sulit fi dibandingkan dengan solusi tabel transportasi metode *Northwest Corner* (NWC) menurut *Charnes* dan *Cooper*, kemudian dikembangkan oleh *Danzig* [4] sebagai berikut:

- a. Alokasikan sebanyak-banyaknya jumlah pasokan barang ke pojok kiri atas sesuai permintaan.
- b. Apakah pengiriman dari sumber ke tujuan sudah dipenuhi jika “ya” tutup jalur tersebut dan jika “tidak” ulangi langkah ke 1.
- c. Jika semua permintaan sudah dipenuhi oleh pasokan buat jadwal pengiriman,
- d. Hitung total biaya minimum sesuai jadwal pengiriman.

12. Metode Tabel Optimal MODI

Metode ini memperhitungkan *Opportunity cost* ( $O_{ij}$ ) dengan 2 tahap yaitu, 1).Evaluasi sel isi untuk menentukan angka kunci baris dan kolom. 2). Evaluasi sel kosong untuk memperoleh *Opportunity cost* ( $O_{ij}$ ) menggunakan angka kunci dari langkah 1). Jika hasil evaluasi sel kosong memiliki opportunity cost nol atau negative atau tabel dinyatakan optimal jika dan hanya jika  $U_i + V_j - C_{ij} \leq 0$ . Persamaan *Opportunity cost* ( $O_{ij}$ ) adalah:

$$O_{ij} = (U_i + V_j) - C_{ij} \tag{6}$$

dimana,  $U_i$  = Angka kunci pada setiap baris  $i$ ,  $V_j$  = Angka kunci pada setiap kolom  $j$   
 $C_{ij}$  = Biaya distribusi yang nyata pada sel  $ij$

Algoritma Metode MODI sebagai berikut:

- Menentukan tabel awal yang fisibel dengan menggunakan metode NWCatau metode ongkos terkecil atau VAM.
- Menambahkan variabel  $U_i$  dan  $V_j$  pada setiap baris dan kolom.
- Mencari nilai Rimaupun  $K_{juntuk}$  setiap sel basis dengan menggunakan rumus  $U_i + V_j = C_{ij}$  dengan memisahkan salah satu nilai  $U_i$  atau  $V_j$  sama dengan nol.
- Menghitung semua nilai sel bukan basis dengan menggunakan rumus  $C_{ij} - U_i - V_j$ .
- Menentukan sel yang akan masuk basis dengan memilih nilai sel bukan basis yang memiliki nilai negatif terbesar. Kemudian membuat closed path untuk menentukan sel yang akan keluar dengan memilih jumlah unit terkecil dari sel yang bertanda negatif.
- Tabel optimum tercapai apabila sel bukan basis semuanya memiliki nilai = 0.
- Jika tabel belum optimum, kembali ke langkah b sehingga ditemukan tabel optimum.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Perhitungan Biaya Total Secara Langsung

Perhitungan biaya pengiriman buah kelapa sawit dan total biaya berdasarkan tariff sekali kirim dari kebun ke pabrik (Tabel 1. –Tabel6.) disajikan pada (Tabel 9) untuk biaya pengiriman Kebun Talang Petai Estate, Dari Kebun Sei Kiang Estate (Tabel 10) dan dari Kebun Tanah Rekah Estate (Tabel 11.) masing-masing sebagai berikut.

Tabel 9. Distribusi Biaya Pengiriman Buah Kelapa Sawit dari Kebun Talang Petai Estate

Dari	Ke	Frekuensi	Tarif (Rp/ Kirim)	Biaya (Rp)
Talang Petai Estate	Muko-Muko	11	728.000	8.008.000
Talang Petai Estate	Bunga Tanjung	10	680.000	6.800.000
Talang Petai Estate	Air Bikuk	11	823.000	9.053.000
Talang Petai Estate	Air Hitam	3	919.000	2.757.000
Biaya Total(Rp)				26.618.000

Tabel 10. Distribusi Biaya Pengiriman Buah Lelapa Sawit dari Kebun Sei Kiang Estate

Dari	Ke	Frekuensi	Tarif (Rp/Kirim)	Biaya (Rp)
Sei Kiang Estate	Muko-Muko	4	490.000	1.960.000
Sei Kiang Estate	Bunga Tanjung	10	442.000	4.420.000
Sei Kiang Estate	Air Bikuk	6	585.000	3.510.000
Sei Kiang Estate	Air Hitam	3	680.000	2.040.000
Biaya Total (Rp)				11.930.000

Tabel 11. Distribusi Biaya pengiriman buah kelapa sawit dari Kebun Tanah Rekah Estate

Dari	Ke	Frekuensi	Tarif (Rp/Kirim)	Biaya (Rp)
Tanah Rekah Estate	Muko-Muko	3	357.000	1.071.000
Tanah Rekah Estate	Bunga Tanjung	4	309.000	1.236.000
Tanah Rekah Estate	Air Bikuk	10	452.000	4.520.000
Tanah Rekah Estate	Air Hitam	11	547.000	6.017.000
Biaya Total (Rp)				12.844.000

Total biaya transportasi sebelum dioptimalisasi berdasarkan Tabel 9-11 adalah **Rp. 51.392.000,-**

#### 2. Program Linier

Program Linier menggunakan definisi variabel persamaan (1)-(5) diubah menjadi persamaan standar pada tujuan  $Z$  dikalikan negatif dengan menambahkan variabel slack ( $S$ ) dan artificial ( $A$ ) berkoefisien nol (7). Pada persamaan (8)-(10) kendala *supply* tambahkan *slack positif*. Persamaan (11)-(15) untuk kendala *demand* tambahkan *slack negative* dan *artificial* sehinggadengan penyederhanaan per 1000 unit maka LP adalah:

$$\text{Min } (-Z) = 728X_1 + 680X_2 + 823X_3 + 919X_4 + 490X_5 + 442X_6 + 585X_7 + 680X_8 + 357X_9 + 309X_{10} + 452X_{11} + 547X_{12} + 0S_1 + 0S_2 + 0S_3 + 0A_4 + 0S_4 + 0A_5 + 0S_5 + 0A_6 + 0S_6 + 0A_7 + 0S_7$$

terbatas pada

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + S_1 &= 34 \text{ (Batasan Pasokan Talang Petai Estate)} \\ X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + S_2 &= 20 \text{ (Batasan Pasokan Sei Kiang Estate)} \\ X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + S_3 &= 27 \text{ (Batasan Pasokan Tanah Rekah Estate)} \\ X_1 + X_5 + X_9 + A_4 - S_4 &= 16 \text{ (Batasan Permintaan Muko-muko)} \\ X_2 + X_6 + X_{10} + A_5 - S_5 &= 23 \text{ (Batasan Permintaan Bunga Tanjung)} \\ X_3 + X_7 + X_{11} + A_6 - S_6 &= 26 \text{ (Batasan Permintaan Air Bikuk)} \\ X_4 + X_8 + X_{12} + A_7 - S_7 &= 16 \text{ (Batasan Permintaan Air Hitam)} \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12} &\geq 0 \text{ (Non Negatif),} \end{aligned}$$

dimana:

$$\begin{aligned} X_1 &= \text{Talang Petai Estate - Muko-Muko} \\ X_2 &= \text{Talang Petai Estate - Bunga Tanjung} \\ X_3 &= \text{Talang Petai Estate- Air Bikuk} \\ X_4 &= \text{Talang Petai Estate- Air Hitam} \\ X_5 &= \text{Sei Kiang Estate- Muko-Muko} \\ X_6 &= \text{Sei Kiang Estate- Bunga Tanjung} \\ X_7 &= \text{Sei Kiang Estate- Air Bikuk} \\ X_8 &= \text{Sei Kiang Estate- Air Hitam} \\ X_9 &= \text{Tanah Rekah Estate- Muko-Muko} \\ X_{10} &= \text{Tanah Rekah Estate- Bunga Tanjung} \\ X_{11} &= \text{Tanah Rekah Estate- Air Bikuk} \\ X_{12} &= \text{Tanah Rekah Estate- Air Hitam} \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah dengan transformasi bentuk standar ke tabel 12 simpleks berikut:

Perhitungan biaya total optimal dan jalur pengiriman Tabel 14 program linier menggunakan Tabel Simpleks Tabel 13 adalah sebagai berikut:

#### 3. Metode Tabel Transportasi

Prosedur perhitungan dimulai dengan merumuskan permasalahan kedalan program liner kemudian transformasi bentuk program liner ke tabel transportasi untuk pemecahan menggunakan metode NWC dan MODI.

Tabel 12. Simpleks- Optimal-Iterasi 14

Cj	Basic Variables	Quantity	728. X <sub>1</sub>	680. X <sub>2</sub>	823. X <sub>3</sub>	919. X <sub>4</sub>	490. X <sub>5</sub>	442. X <sub>6</sub>	9	680. X <sub>8</sub>	357. X <sub>9</sub>	309. X <sub>10</sub>	452. X <sub>11</sub>	547. X <sub>12</sub>	0A <sub>4</sub>	0S <sub>4</sub>	0A <sub>5</sub>	0S <sub>5</sub>	0A <sub>6</sub>	0S <sub>6</sub>	0A <sub>7</sub>	0S <sub>7</sub>
309	X <sub>10</sub>	19	0	1	0	1	-1	-1	-1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
442	X <sub>6</sub>	4	0	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
680	X <sub>8</sub>	16	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
823	X <sub>5</sub>	26	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
728	X <sub>1</sub>	8	1	1	0	1	0	0	-1	0	0	0	-1	0	1	-1	1	-1	0	0	0	0
357	X <sub>9</sub>	8	0	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	-1	0	1	-1	0	0
0	S <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	0	0	1	-1
	Z <sub>j</sub>	48,597	728	680	823	920	490	442	585	680	357	309	452	547	-728	728	-680	1	1	1	1	1
	C <sub>j</sub> -Z <sub>j</sub>		0	0	0	-1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	728	-728	680	-1	0	-1	0	-1

Tabel 13. Perhitungan Biaya Total dan Jalur Pengiriman Optimal

Jalur	Frekuensi	Biaya per kirim	Jumlah
Talang Petai Estate - Bunga Tanjung	19	Rp. 309.000	Rp. 5.871.000
Sei Kiang Estate - Bunga Tanjung	4	Rp. 442.000	Rp. 1.768.000
Sei Kiang Estate - Air Hitam	16	Rp. 680.000	Rp.10.880.000
Sei Kiang Estate - Muko-Muko	26	Rp. 823.000	Rp.21.398.000
Talang Petai Estate - Muko-Muko	8	Rp. 728.000	Rp. 5.824.000
Tanah Rekah Estate - Muko-Muko	8	Rp. 357.000	Rp. 2.856.000
<b>Biaya Total</b>		<b>Rp.48.597.000</b>	

Tabel 15. Perhitungan Biaya Total dan Jalur Pengiriman Metode NWC

Jalur	Frekuensi	Biaya per kirim	Jumlah
Talang Petai Estate-Muko-Muko	16	Rp. 728.000	Rp. 11.648.000
Talang Petai Estate-Bunga Tanjung	18	Rp. 680.000	Rp. 12.240.000
Sei Kiang Estate-Bunga Tanjung	6	Rp. 442.000	Rp. 2.210.000
Sei Kiang Estate-Air Bikuk	15	Rp. 585.000	Rp. 8.775.000
Tanah Rekah -Estate Air Bikuk	11	Rp. 452.000	Rp. 4.972.000
Tanah Rekah Estate-Air Hitam	16	Rp. 547.000	Rp. 8.752.000
<b>Biaya Total</b>		<b>Rp. 48.597.000</b>	

4. Program Linier

$$\text{Min } Z = 728.000 x_{11} + 680.000 x_{12} + 823.000 x_{13} + 919.000 x_{14} + 490.000 x_{21} + 442.000 x_{22} + 585.000 x_{23} + 680.000 x_{24} + 357.000 x_{31} + 309.000 x_{32} + 452.000 x_{33} + 547.000 x_{34}$$

terbatas pada

- $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq 34$  (Batasan Pasokan Talang Petai Estate)
- $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 20$  (Batasan Pasokan Sei Kiang Estate)
- $x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \geq 27$  (Batasan Pasokan Tanah Rekah Estate)
- $x_{11} + x_{21} + x_{31} \geq 16$  (Batasan Permintaan Muko-muko)
- $x_{12} + x_{22} + x_{32} \geq 23$  (Batasan Permintaan Bunga Tanjung)
- $x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq 26$  (Batasan Permintaan Air Bikuk)
- $x_{14} + x_{24} + x_{34} \geq 16$  (Batasan Permintaan Air Hitam)
- $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{34} \geq 0$  (Non Negatif)

Dimana:

- $x_{11}$  = Talang Petai Estate - Muko-Muko
- $x_{12}$  = Talang Petai Estate - Bunga Tanjung
- $x_{13}$  = Talang Petai Estate - Air Bikuk
- $x_{14}$  = Talang Petai Estate - Air Hitam
- $x_{21}$  = Sei Kiang Estate - Muko-Muko
- $x_{22}$  = Sei Kiang Estate - Bunga Tanjung
- $x_{23}$  = Sei Kiang Estate - Air Bikuk
- $x_{24}$  = Sei Kiang Estate - Air Hitam
- $x_{31}$  = Tanah Rekah Estate - Bunga Tanjung
- $x_{32}$  = Tanah Rekah Estate- Air Bikuk
- $x_{33}$  = Tanah Rekah Estate- Air Hitam

5. Metode Tabel Awal NWC

Solusi tabel transportasi menggunakan algoritma NWC (Tabel 14.) dan jadwal pengirimannya Tabel 16. masing-masing diperoleh sebagai berikut:

Tabel 14. Solusi Transportasi Metode NWC

Ke	Muko- Muko	Bunga Tanjung	Air Bikuk	Air Hitam	Supply
Dari	1	2	3	4	S
Talang Petai Estate	Rp. 728.000	Rp. 680.000	Rp. 823.000	Rp. 919.000	
1	16	18			34
Sei Kiang Estate	Rp. 490.000	Rp. 442.000	Rp. 585.000	Rp. 680.000	
2		5	15		20
Tanah Rekah Estate	Rp. 357.000	Rp. 309.000	Rp. 452.000	Rp. 547.000	
3			11	16	27
Demand	16	23	26	16	81

6. Metode Tabel Optimal MODI

Solusi tabel NWC belum optimal artinya biaya total minimal masih dapat diturunkan. Optimalisasi menggunakan tabel MODI menurut Siswanto dengan mengevaluasi sel isi untuk dialokasikan ke tabel kosong menggunakan algoritma berikut [6]:

Menentukan angka kunci pada  $U_i$  dan  $V_j$  sebarang menurut baris atau kolom untuk menentukan angka kunci yang lain. Uji sel kosong menurut tabel NWC berikut:

Tabel 16. Solusi Transportasi Metode NWC

Ke	Muko- Muko	Bunga Tanjung	Air Bikuk	Air Hitam	Supply
Dari	1	2	3	4	S
Talang Petai Estate	Rp. 728.000	Rp. 680.000	Rp. 823.000	Rp. 919.000	
1	16	18			34
Sei Kiang Estate	Rp. 490.000	Rp. 442.000	Rp. 585.000	Rp. 680.000	
2		5	15		20
Tanah Rekah Estate	Rp. 357.000	Rp. 309.000	Rp. 452.000	Rp. 547.000	
3			11	16	27
Demand	16	23	26	16	81

1). Perhitungan angka kunci pada Sel Isi:

Sel isi  $x_{11}$  dengan,  $i=1$  dan  $j=1$  untuk seluruh sel isi  $O_{ij} = 0$

$$O_{11} = U_1 + V_1 - C_{11}; 0 = U_1 + V_1 - C_{11} \text{ maka } U_1 + V_1 = C_{11}$$

$U_1$  diberikana angka sembarang misalnya  $U_1 = 0$  (boleh angka lain) maka  $V_1 = C_{11} = 728.000$

Sel isi  $x_{12}$  dengan  $i=1$  dan  $j=2$  untuk sel isi  $O_{12} = 0$

$$O_{12} = U_1 + V_2 - C_{12}; 0 = U_1 + V_2 - C_{12} \text{ maka } U_1 + V_2 = C_{12}$$

untuk  $U_1 = 0$  maka  $V_2 = C_{12} = 680.000$

Sel isi  $x_{22}$  dengan  $i=2$  dan  $j=2$  untuk sel isi  $O_{22} = 0$

$$O_{22} = U_2 + V_2 - C_{22}; 0 = U_2 + 680.000 - 442.000 \text{ maka } U_2 = 442.000 - 680.000 = -238.000$$

Sel isi  $x_{23}$  dengan  $i=2$  dan  $j=3$  untuk sel isi  $O_{23} = 0$

$$O_{23} = U_2 + V_3 - C_{23}; 0 = -238.000 + V_3 - 585.000 \text{ maka } V_3 = 585.000 + 238.000 = 823.000$$

Sel isi  $x_{33}$  dengan  $i=3$  dan  $j=3$  untuk sel isi  $O_{33} = 0$

$$O_{33} = U_3 + V_3 - C_{33}; 0 = U_3 + 823.000 - 452.000 \text{ maka } U_3 = 452.000 - 823.000 = -371.000$$

Sel isi  $x_{34}$  dengan  $i=3$  dan  $j=4$  untuk sel isi  $O_{34} = 0$   
 $O_{34} = U_3 + V_4 - C_{34}, 0 = -371.000 + V_4 - 547.000$  maka  $V_4 = 371.000 + 547.000 = 918.000$

**2). Perhitungan Opportunity Cost Sel Kosong**

Sel kosong  $x_{13}$  maka  $O_{13} = U_1 + V_3 - C_{13}$  ;  $O_{13} = 0 + 823.000 - 823.000 = 0$

Sel kosong  $x_{14}$  maka  $O_{14} = U_1 + V_4 - C_{14}$  ;  $O_{14} = 0 + 918.000 - 919.000 = - 1.000$

Sel kosong  $x_{21}$  maka  $O_{21} = U_2 + V_1 - C_{21}$  ;  $O_{21} = -238.000 + 728.000 - 490.000 = 0$

Sel kosong  $x_{24}$  maka  $O_{24} = U_2 + V_4 - C_{24}$  ;  $O_{24} = -238.000 + 918.000 - 680.000 = 0$

Sel kosong  $x_{31}$  maka  $O_{31} = U_3 + V_1 - C_{31}$  ;  $O_{21} = -371.000 + 728.000 - 357.000 = 0$

Sel kosong  $x_{32}$  maka  $O_{32} = U_3 + V_2 - C_{32}$  ;  $O_{24} = -371.000 + 680.000 - 309.000 = 0$

*Opportunity Cost*  $\leq 0$  artinya solusi sudah optimal. Evaluasi sel pada metode NWC dengan MODI pada kasus ini ternyata optimal Tabel 16.

Tabel 16. Perhitungan Biaya Total dan Jalur Pengiriman Metode NWC-MODI

Jalur	Frekuensi	Biaya per kirim	Jumlah
Talang Petai Estate-Muko-Muko	16	Rp. 728.000	Rp. 11.648.000
Talang Petai Estate-Bunga Tanjung	18	Rp. 680.000	Rp. 12.240.000
Sei Kiang Estate-Bunga Tanjung	6	Rp. 442.000	Rp. 2.210.000
Sei Kiang Estate-Air Bikuk	15	Rp. 585.000	Rp. 8.775.000
Tanah Rekah -Estate Air Bikuk	11	Rp. 452.000	Rp. 4.972.000
Tanah Rekah Estate-Air Hitam	16	Rp. 547.000	Rp. 8.752.000
<b>Biaya Total</b>			<b>Rp. 48.597.000</b>

*Output Module Transportation* POM-5 biaya total dan jadwal pengiriman Tabel 18 berikut.

Tabel 17. Perhitungan Biaya Total dan Jalur Pengiriman Optimal

From	To	Shipment	Cost per unit	Shipment cost
Talang Petai Estate	Bunga Tanjung	23	Rp.680;000	Rp.15.640.000
Talang Petai Estate	Air Bikuk	11	Rp.823.000	Rp. 9,053,000
Sei Kiang Estate	Air Bikuk	4	Rp.585.000	Rp. 2.340.000
Sei Kiang Estate	Air Hitam	16	Rp.680.000	Rp.10.880.000
Tanah Rekah Estate	Muko-Muko	16	Rp.357.000	Rp.5.712.000
Tanah Rekah Estate	Air Bikuk	11	Rp.452000	Rp.4.972.000
<b>Biaya Total</b>				<b>Rp.48.597.000</b>

Dengan demikian hasil optimal simplek Tabel 14., NWC Tabel 15, NWC-MODI Tabel 16. dan *output module transportation* pada POM 5 Tabel 17 adalah sama yaitu Rp.48.597.000,-

IV. SIMPULAN

Hasil optimal metode tabel transportasi NWC, optimisasi (NWC-MODI) serta *output* POM 5 pada *Module Linear Programming* dan *Module Transportation* sama yaitu Rp.48,597.000,- Hasil optimal biaya transportasi Rp.48,597.000,- lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan langsung yaitu Rp. 51.392.000,- atau terjadi penurunan biaya transportasi sebesar Rp. 2.795.000,- atau 5,44% lebih tinggi dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mustadin sebesar 3,66%. Hasil optimal dengan total biaya sama tetapi kapasitas dan jalur pengiriman berbeda memberikan alternatif jalur pilihan sesuai kapasitas pengiriman yang dikehendaki PT. Agro Muko.

Peneliti yang tertarik dapat melakukan penelitian ulang dengan metode perhitungan NWC dioptimalkan dengan metode *stepping stones*, metode awal biaya sel minimal dioptimalkan dengan MODI dan *stepping stones* dan metode awal VAM dioptimalkan dengan MODI dan *stepping stones* menggunakan data empiris terakhir (2019) di PT. Agro Muko.

REVERENS

[1] I. W. Ardhyani, Mengoptimalkan Biaya Distribusi Pakan Ternak dengan menggunakan Metode Transportasi (Studi Kasus di PT. X Krian), *Teknika Engineering and Sains Journal*, No.2, Vol.1, 95-100. 2017.

[2] N. L. Azizah, M. Suryawinata. Aplikasi Metode Transportasi Dalam Optimasi Biaya Distribusi Beras Sejahtera Pada Perum Bulog Sub-Divisi Sidoarjo, *Jurnal Ilmiah :Soulmath*, No.1, Vol. 6,15-23. 2018

[3] F. Hillier and G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*, Ed.7, McGraw-Hill, New York. 2001

[4] Mustadin, Optimalisasi Teknik Riset Operasional Untuk Penghematan Biaya Transportasi Pengiriman Buah Kelapa Sawit Dengan Metode North West Corner (Studi Kasus PT.Agro Muko). *Jursima(Jurnal Sistem Informasi Dan Manajemen*, Sekolah Tinggi Ilmu Manajemen Dan Komputer Gici – Batam, No.2, Vol.4,1-8, 2016

[5] A. S. Primadiarta dan F. A. Narto, Optimasi Distribusi Produk dengan Metode Transportasi Berdasarkan Permintaan Produk di PT. XYZ Surabaya, *Prosiding SNST*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 1 Juni 2017

[6] Siswanto, *Operation Research*, Jilid II, Erlangga, Jakarta. 2006

[7] H. Taha, *Operation Research An Introduction*, Ed.8, Pearson Education Inc.,New Jersey. 2007

[8] Taylor dan W. Bernard, *Introduction to Management Science*, Eighth Edition, diterjemahkan oleh Chairul D Djalman, Vita Silvira, Yanivi S Bachtiar, Salemba Empat, Jakarta. 2005

[9] Taylor dan W. Bernard, *Introduction to Management Science*, Seventh Edition, diterjemahkan oleh Chairul

D Djalman, Vita Silvira, Yanivi S Bachtiar, Salemba Empat, Jakarta. 2003.

- [10] W. Winstone, *Operation Research Application and Algorithms*, Ed. 4, Duxbury, Indiana University, USA. 2004.
- [11] Y. A. S. Yahya, Solusi Optimum Model Transportasi Pada CV. Manurindo di Makassar, *Skripsi*, Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar. 2004
- [12] M. Zulhijah, Pengoptimalan Biaya Distribusi Barang Dengan Menggunakan Metode Transportasi Pada PT. Yusindo Mitra Persada, 2017.