

# OPTIMASI PENENTUAN RUTE PENGUMPULAN SUSU SAPI DENGAN *LINEAR PROGRAMMING*

(Studi Kasus: Koperasi Unit Desa (KUD) BATU, Malang)

## OPTIMIZATION OF COLLECTING MILK ROUTES USING LINEAR PROGRAMMING

(A Case Study In The Koperasi Unit Desa (KUD) BATU, Malang)

Elvina Damayanti<sup>1)</sup>, Arif Rahman<sup>2)</sup>, Ratih Ardia Sari<sup>3)</sup>

Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail : [elvinadamay@gmail.com](mailto:elvinadamay@gmail.com)<sup>1)</sup>, [posku@ub.ac.id](mailto:posku@ub.ac.id)<sup>2)</sup>, [rath.ardiasari@ub.ac.id](mailto:rath.ardiasari@ub.ac.id)<sup>3)</sup>

### Abstrak

Aktivitas logistik yang ada di KUD BATU yaitu pengumpulan susu dari peternak ke pabrik. Aktivitas ini dilakukan 2 kali dalam sehari oleh 11 kendaraan di KUD yang mengumpulkan susu dari 19 pos penampungan ke pabrik. Perencanaan rute pengumpulan susu saat ini masih menggunakan metode intuitif. Hal ini menyebabkan 1 truk hanya dapat mengambil susu di 1 pos penampungan dalam 1 rute. Padahal, rute yang dilalui oleh truk memungkinkan untuk melakukan pengambilan susu lebih dari 1 pos penampungan. Oleh karena itu, dilakukan pemodelan sistem pengumpulan susu yang dapat meminimasi biaya transportasi menggunakan linear programming. Pada linear programming dilakukan formulasi matematis yaitu menentukan variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala. Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan model existing dengan model linear programming, diperoleh penurunan biaya sebesar Rp 52.850 (15,47%) dalam setiap jadwal pengumpulan susu. Dalam sehari, terdapat 2 kali jadwal pengumpulan susu sehingga KUD BATU dapat menghemat biaya sebesar Rp 3.171.000 dalam satu bulan.

**Kata kunci** : Optimasi Rute, Formulasi Matematis, Linear Programming, Minimasi Biaya.

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini *supply chain management* merupakan hal yang tidak asing lagi bagi perusahaan. Berbagai perusahaan telah menerapkan *supply chain management* dalam proses bisnisnya guna meminimalisasi total biaya rantai pasok. Biaya yang perlu diminimalisasi antara lain adalah biaya bahan baku dan biaya tambahan, biaya transportasi, biaya fasilitas investasi, biaya produksi langsung dan tak langsung, biaya persediaan, dan sebagainya (Stock, 2001). Salah satu bagian proses *supply chain management* adalah manajemen logistik untuk merencanakan, mengimplementasikan, mengatur efisiensi dan efektivitas aliran, penyimpanan produk, pelayanan, dan informasi yang berkaitan dari bahan mentah menjadi barang jadi yang siap dikonsumsi oleh konsumen (Bowersox, 1978).

Koperasi Unit Desa (KUD) BATU merupakan koperasi manufaktur yang menghasilkan suatu produk berupa susu segar, susu pasteurisasi, dan yogurt. KUD BATU memiliki dua macam produk susu pasteurisasi, yaitu Nandhi Murni dengan kemasan botol 1 liter dan 200 ml dan susu KSB dengan kemasan

cup 125 ml dan 140 ml. Dalam prosesnya untuk menghasilkan suatu produk akhir diperlukan bahan baku berupa susu sapi perah yang berasal dari peternak di wilayah Batu. Susu sapi ini merupakan bahan baku utama dalam melaksanakan proses bisnis di KUD Batu. KUD Batu melakukan aktivitas logistik dari hulu ke hilir. Aktivitas logistik dalam KUD Batu diantaranya adalah pengumpulan susu dari peternak ke pabrik yang dilakukan sebanyak 2 kali dalam sehari pada pagi dan sore hari. Pos pengumpulan sementara yang dikelola oleh KUD Batu sebanyak 19 pos yang tersebar di desa-desa yang terdapat di 3 kecamatan di kota Batu.

Pos-pos penampungan memiliki kapasitas dan waktu ketahanan susu yang berbeda-beda. Terdapat 2 karakteristik pos penampungan di KUD Batu yaitu pos penampungan berpendingin dan tidak berpendingin. Susu pada pos penampungan berpendingin dapat bertahan hingga waktu 90 menit, berbeda dengan pos penampungan tidak berpendingin yang hanya mampu bertahan selama 45 menit. Semua susu yang terdapat di masing-masing pos penampungan diangkut oleh armada KUD

Batu yang berjumlah 12 truk. Dalam proses pengumpulan susu yang terdapat di 19 pos penampungan KUD Batu membuat suatu rute pengumpulan susu. Tetapi, KUD Batu masih merencanakan rute pengumpulan susu dengan sederhana tanpa menggunakan metode apapun.

Truk KUD Batu yang dioperasikan untuk pengumpulan susu masih ada yang melayani 2 pos penampungan. Dan truk tersebut tidak dapat melayani 2 pos penampungan dengan 1 rute. Ketika melayani 2 pos penampungan, truk harus kembali ke pabrik kemudian ke pos penampungan kedua untuk mengambil susu. Dengan adanya aktivitas transportasi dalam pengumpulan susu seperti diuraikan diatas dapat menyebabkan pembengkakan biaya. Selain itu, dengan kondisi seperti ini, dapat terjadi keterlambatan pengumpulan susu di pabrik karena ada susu yang diambil tidak bersamaan.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan, diperlukan penentuan rute untuk pengumpulan susu dari masing-masing pos pengumpulan ke pabrik. Hal ini diperlukan agar dapat meminimasi biaya transportasi dalam aktivitas logistik pengumpulan susu ini. Masalah penentuan rute dapat diselesaikan dengan metode optimasi yaitu model *linear programming*. *Linear Programming* merupakan teknik permodelan matematika yang di desain untuk mengoptimalkan penggunaan sumber-sumber terbatas (Ignizio, 1994). Dengan adanya faktor-faktor seperti waktu ketahanan susu, jarak pos penampungan, dan kapasitas armada dapat dibuat pemodelan optimasi dengan *linear programming*. Dari pemodelan ini akan didapatkan rute pengumpulan susu yang biayanya dapat diminimalkan sehingga dapat dikatakan sebagai rute optimal.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini membahas mengenai penentuan rute optimal dari sistem pengumpulan susu sapi di KUD Batu. Metode penelitian yang digunakan adalah eksplanatif dengan menunjukkan hubungan variabel bebas yang berupa variabel keputusan akan mempengaruhi variabel terikat (Singarimbun, 2006) yang berupa fungsi tujuan. Fungsi tujuan yang dipengaruhi variabel keputusan dibatasi oleh fungsi kendala. Fungsi kendala ini terkait dengan variabel keputusan.

## 2.1 Langkah – langkah Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

### 1. Survei Pendahuluan dan Studi Pustaka

Survei pendahuluan mengenai kondisi dan situasi permasalahan yang terdapat di perusahaan serta melakukan studi pustaka atau literatur yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti serta referensi (literatur) seperti *Supply chain management*, manajemen logistik, dan *Linear programming* dan sebagainya yang akan digunakan dalam pengolahan data nantinya.

### 2. Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi pokok permasalahan yang muncul dari hasil survei pada objek penelitian.

### 3. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah, maka merumuskan masalah apa yang akan dijadikan fokus pembahasan dalam penelitian ini.

### 4. Penentuan Tujuan Penelitian

Penentuan tujuan penelitian dilakukan berdasarkan perumusan masalah sebelumnya.

### 5. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data yaitu data sistem pengumpulan susu, wilayah pos penampungan, jumlah susu yang dikumpulkan, jarak antar pos penampungan, jumlah truk, kapasitas truk, biaya pengumpulan susu, waktu ketahanan susu, dan waktu di pos penampungan.

### 6. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

- Membuat model struktur dengan peta dari sistem pengumpulan susu yang sudah ada.
- Membuat matriks jarak antar pos penampungan.
- Langkah-langkah dalam pembuatan formulasi model matematis adalah menyusun formulasi matematis berupa variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala (Aminudin, 2005).
- Menghitung biaya total *existing*.
- Menentukan biaya total akhir dan rute optimal dalam pengumpulan susu di 19 pos pengumpulan susu sementara menggunakan solver.
- Menghitung waktu pengumpulan susu *existing* dan *linear programming*.

### 7. Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini mengenai rute optimal dalam pengumpulan susu yang digunakan sebagai usulan kepada perusahaan untuk biaya

total yang lebih rendah dari biaya total awal. Selain itu juga dilakukan analisis terhadap waktu pelayanan truk.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Sistem Pengumpulan Susu

Pengumpulan susu dari peternak dilakukan sendiri oleh pihak KUD Batu. KUD Batu memiliki pos penampungan sementara di masing-masing desa untuk memfasilitasi pengumpulan susu dari peternak ke KUD Batu. Setelah susu terkumpul di pos penampungan sementara, susu tersebut diangkut oleh truk yang dimiliki oleh KUD Batu ke pabrik yang ada di Jalan Beji, Batu. Susu yang sudah dikumpulkan kemudian dijadikan satu di tangki pendingin yang ada di pabrik

#### 3.2 Data Wilayah Pos Penampungan

KUD Batu memiliki 19 Pos Penampungan yang tersebar di 3 kecamatan di kota Batu. Tabel 1 merupakan data wilayah Pos Penampungan.

**Tabel 1.** Wilayah Pos Penampungan

| Node | Pos Penampungan |
|------|-----------------|
| 1    | Pabrik          |
| 2    | Toyomerto       |
| 3    | Pesanggrahan    |
| 4    | Jantur          |
| 5    | Brau            |
| 6    | Dresel          |
| 7    | Tlekung         |
| 8    | Gangsiran Putuk |
| 9    | Jeding          |
| 10   | Junggo          |
| 11   | Gangsiran       |
| 12   | Songgoriti      |
| 13   | Sumber Brantas  |
| 14   | Sumber Gondo    |
| 15   | Gading          |
| 16   | Beji            |
| 17   | Giripurno       |
| 18   | Krajan          |
| 19   | Punten          |

#### 3.3 Data Jumlah Susu yang Dikumpulkan Peternak

Tabel 2 mendeskripsikan jumlah susu yang dikumpulkan peternak pada 19 pos penampungan pada 1 kali pengumpulan susu.

**Tabel 2** Jumlah Susu yang Dikumpulkan

| Node | Pos Penampungan | Jumlah (L) |
|------|-----------------|------------|
| 1    | Pabrik          | 2626       |
| 2    | Toyomerto       | 2017       |

**Lanjutan Tabel 1.** Wilayah Pos Penampungan

| Node | Pos Penampungan | Jumlah (L) |
|------|-----------------|------------|
| 3    | Pesanggrahan    | 1739       |
| 4    | Jantur          | 1052       |
| 5    | Brau            | 2158       |
| 6    | Dresel          | 1093       |
| 7    | Tlekung         | 464        |
| 8    | Gangsiran Putuk | 305        |
| 9    | Jeding          | 2626       |
| 10   | Junggo          | 404        |
| 11   | Gangsiran       | 217        |
| 12   | Songgoriti      | 245        |
| 13   | Sumber Brantas  | 250        |
| 14   | Sumber Gondo    | 92         |
| 15   | Gading          | 359        |
| 16   | Beji            | 263        |
| 17   | Giripurno       | 116        |
| 18   | Krajan          | 313        |
| 19   | Punten          | 215        |

#### 3.4 Data Kendaraan dan Kapasitas

Moda transportasi yang digunakan KUD BATU untuk mengangkut susu dari masing-masing pos penampungan adalah truk yang terdapat tangki untuk menampung susu. Jumlah truk yang dimiliki oleh KUD Batu adalah sebanyak 11 buah. Tabel 3 menjelaskan kapasitas dari masing-masing kendaraan.

**Tabel 3.** Kapasitas Kendaraan

| Node | Lokasi  | Jumlah (L) |
|------|---------|------------|
| 1    | Truk 1  | 3000       |
| 2    | Truk 2  | 3000       |
| 3    | Truk 3  | 1500       |
| 4    | Truk 4  | 2500       |
| 5    | Truk 5  | 2000       |
| 6    | Truk 6  | 2500       |
| 7    | Truk 7  | 1500       |
| 8    | Truk 8  | 1500       |
| 9    | Truk 9  | 1500       |
| 10   | Truk 10 | 1000       |
| 11   | Truk 11 | 1000       |

#### 3.5 Data Waktu Ketahanan Susu

Tabel 4 adalah data waktu ketahanan susu yang ada pada masing-masing pos penampungan. Tabel 4 adalah waktu ketahanan susu di 19 pos penampungan.

**Tabel 4.** Waktu Ketahanan Susu

| Node | Pos Penampungan | Waktu    |
|------|-----------------|----------|
| 1    | Pabrik          | 90 menit |
| 2    | Toyomerto       |          |
| 3    | Pesanggrahan    |          |
| 4    | Jantur          |          |
| 5    | Brau            |          |
| 6    | Dresel          |          |

Lanjutan Tabel 4 Waktu Ketahanan Susu

| Node | Pos Penampungan | Waktu    |
|------|-----------------|----------|
| 7    | Tlekung         | 45 menit |
| 8    | Gangsiran Putuk |          |
| 9    | Jeding          |          |
| 10   | Junggo          | 45 menit |
| 11   | Gangsiran       |          |
| 12   | Songgoriti      |          |
| 13   | Sumber Brantas  |          |
| 14   | Sumber Gondo    |          |
| 15   | Gading          |          |
| 16   | Beji            |          |
| 17   | Giripurno       |          |
| 18   | Krajan          |          |
| 19   | Punten          |          |

### 3.6 Data Biaya Pengumpulan Susu

Pada penelitian ini biaya pengumpulan susu yang dilakukan KUD BATU mencakup dua komponen biaya dalam sekali pengangkutan, yaitu *fixed cost* kendaraan dan *variabel cost*. *Fixed cost* kendaraan merupakan biaya tetap yang diperlukan suatu kendaraan dalam melakukan pengumpulan susu yaitu sebesar Rp 30.000.

*Variabel cost* yang terdapat pada pengumpulan susu adalah biaya transportasi. Biaya ini disebut *variabel cost* karena besarnya biaya dipengaruhi oleh jarak tempuh kendaraan. Biaya transportasi dalam pengumpulan susu yang dilakukan KUD BATU adalah biaya solar dikalikan jarak tempuh. Biaya solar dari truk yang melakukan aktivitas pengumpulan susu adalah Rp 1.750 perkilometer.

### 3.7 Data Waktu di Pos Penampungan

Di masing-masing pos penampungan memiliki waktu-waktu tertentu. Yaitu waktu pelayanan di pos penampungan, waktu buka pos penampungan, waktu tutup pos penampungan, dan lama perjalanan dari satu pos ke pos lain.

Waktu buka pos penampungan yang memiliki pendingin adalah pukul 8.15 sementara untuk pos penampungan yang tidak memiliki pendingin pukul adalah 8.10. Pukul 08.00 akan dinyatakan sebagai waktu 0, kemudian pukul 8.15 dan 8.10 dinyatakan sebagai waktu 15 dan 10.

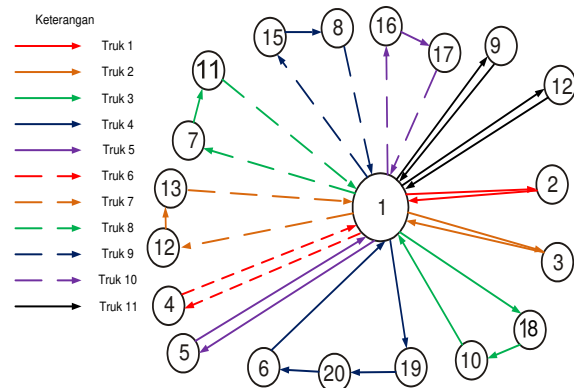
Waktu tutup/waktu terlama pelayanan pos penampungan adalah waktu ketika pos penampungan tidak bisa lagi melayani truk untuk melakukan pengumpulan susu. Waktu tutup pos penampungan yang memiliki pendingin adalah 9.45 sementara untuk pos penampungan yang tidak memiliki pendingin

adalah 8.55. Pukul 9.45 dan 8.55 dinyatakan sebagai waktu 90 dan 45.

Lama perjalanan merupakan waktu yang dibutuhkan suatu kendaraan dari pos penampungan satu ke pos penampungan lainnya. Lama waktu ini merupakan konversi dari perumusan yang bergantung pada kecepatan kendaraan dan jarak antar pos penampungan. Kecepatan kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 km/jam atau 0.5 km/menit.

### 3.8 Model Struktur Sistem Pengumpulan Susu

Untuk melakukan optimasi rute dalam pengumpulan susu dalam penelitian ini terlebih dahulu dibuat model. Model dibuat seperti network, di dalam network terdapat node yang merepresentasikan pos penampungan susu yang ada. Gambar 1 merupakan model struktur untuk menggambarkan sistem pengumpulan susu di KUD BATU.



Gambar 1. Struktur Sistem Pengumpulan Susu di KUD Batu

### 3.9 Formulasi Model

Formulasi model harus diketahui terlebih dahulu sebelum data diolah dengan program linier, diawali dengan menentukan variabel keputusan kemudian dilanjutkan dengan menentukan fungsi tujuan dan fungsi kendala untuk menentukan rute pengumpulan susu yang optimal.

#### 3.8.1 Menentukan Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah variabel-variabel yang mempengaruhi persoalan dalam pengambilan keputusan dan dapat dikendalikan oleh pengambil keputusan (Thie, 1988). Sehingga variabel keputusan yang terdapat pada penelitian ini adalah aktivitas transportasi yang dilakukan. Aktivitas transportasi yang dilakukan disimbolkan dengan (X). Variabel

keputusan dalam penelitian ini bernilai biner (0/1) yang akan bernilai 1 jika lintasan tersebut dilalui dan bernilai 0 jika lintasan tersebut tidak dilalui.

### 3.8.2 Menentukan Fungsi Tujuan

Pada sub bab 3.6 komponen-komponen biaya pengumpulan susu meliputi *fixed cost* dan *variabel cost*. *Fixed cost* yang terdapat pada penelitian ini merupakan biaya tetap masing-masing truk. Oleh karena itu, *fixed cost* pada penelitian kali ini tidak perlu dilakukan minimasi.

Biaya transportasi yang merupakan variabel cost yang tergantung pada aktivitas transportasi dilakukan atau tidak. *Variabel cost* ini dapat diminimasi karena tergantung pada aktivitas transportasi dan biaya solar.

Biaya transportasi

= Biaya solar per kilometer \* aktivitas transportasi yang dilakukan atau tidak =  $C * X$

Sehingga fungsi tujuan biaya pengumpulan susu dari pabrik ke n pos pengumpulan susu terdiri dari biaya kirim dari pabrik/pos penampungan ke i menuju pabrik/pos penampungan ke j menggunakan truk ke k dikalikan aktivitas transportasi yang dilakukan atau tidak. Karena penelitian ini berkaitan dengan biaya, maka fungsi tujuan model ini minimasi. Formulasi model fungsi tujuan penelitian ini ditunjukkan pada persamaan 1

$$\begin{aligned} \text{Min } Z \\ = \sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} \cdot X_{ijk} \end{aligned} \quad (\text{Pers. 1})$$

Parameter:

- N : Node (titik) pabrik dan pos penampungan,  $n = 1, 2, \dots, 20$   
 $n = 1$ , node pabrik  
 $n \neq 1$ , node pos penampungan
- I : indeks sumber
- J : indeks tujuan
- K : Himpunan kendaraan,  $k = 1, 2, \dots, 11$
- $C_{ijk}$  : Biaya untuk menempuh lokasi sumber i ke tujuan j menggunakan kendaraan k
- $X_{ijk}$  : Bernilai 1 (lintasan jalan i menuju j dilalui oleh kendaraan k)  
 Bernilai 0 (lintasan jalan i menuju j tidak dilalui oleh kendaraan k)
- $D_{ij}$  : Jarak antar pos penampungan i dan pos penampungan j
- $Y_i$  : Jumlah susu yang ada di pos penampungan
- $S_k$  : Kapasitas kendaraan k
- $V_k$  : Kecepatan kendaraan k
- $t_{ijk}$  : Lama perjalanan yang dibutuhkan dari

- pos penampungan i ke pos penampungan j
- $e_i$  : Waktu buka/waktu tercepat pelayanan pos penampungan i
- $l_i$  : Waktu tutup/waktu telama pelayanan pos penampungan i
- $r_i$  : Lama pelayanan pos penampungan i
- $B_{ik}$  : Waktu pos penampungan i dilayani oleh kendaraan k

### 3.8.3 Menentukan Fungsi Kendala

Tahap berikutnya adalah menentukan fungsi kendala. Fungsi kendala digunakan sebagai batasan atas sumber daya yang ada. Fungsi kendala dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Setiap pos harus dilewati sebagai tujuan satu kali.

Satu pos penampungan hanya dikunjungi oleh satu kendaraan yang berangkat dari satu sumber saja. Sehingga kendaraan yang lain tidak akan menuju pos yang sama dan kendaraan yang sama tidak akan berangkat dari banyak sumber. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 2.

$$\sum_{\forall i} \sum_{\forall k} X_{ijk} = 1 \quad \forall j, i \neq j, j \neq 1 \quad (\text{Pers. 2})$$

2. Setiap pos harus menjadi asal satu kali.

Kendaraan yang sampai di satu pos penampungan akan berangkat ke pos penampungan berikutnya atau kembali ke pabrik. Sehingga hanya ada satu truk yang meninggalkan satu pos penampungan dengan hanya memiliki satu tujuan. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 3.

$$\sum_{\forall i} \sum_{\forall k} X_{ijk} = 1 \quad \forall i, i \neq j, i \neq 1 \quad (\text{Pers. 3})$$

3. Setiap pos hanya dilayani satu kendaraan atau kekontinuan rute.

Kendaraan yang menuju satu pos penampungan dipastikan meninggalkan pos tersebut. Hal ini menentukan bahwa setiap kendaraan pos hanya dilayani oleh satu kendaraan dari elemen k. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 4.

$$\sum_{\forall i} X_{i q k} - \sum_{\forall j} X_{q j k} = 0 \quad \forall k \quad (\text{Pers. 4})$$

4. Semua kendaraan digunakan dan berangkat dari pabrik

Setiap kendaraan berangkat dari pabrik dengan tujuan salah satu pos penampungan. Sehingga untuk pos yang lainnya tidak akan

dituju oleh kendaraan tersebut saat berangkat dari pabrik. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 5.

$$\sum_{\forall i} X_{ijk} = 1 \quad \forall k, \quad j \neq 1 \quad (\text{Pers. 5})$$

5. Semua kendaraan digunakan dan kembali ke pabrik

Kendaraan yang telah mengambil susu dari pos penampungan terakhir, rutanya akan kembali ke pabrik. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 6.

$$\sum_{\forall i} X_{i1k} = 1 \quad \forall k, \quad i \neq 1 \quad (\text{Pers. 6})$$

6. Kapasitas kendaraan

Kapasitas kendaraan di permasalahan ini tidak boleh melebihi nilai akumulasi jumlah susu yang dikumpulkan dari masing-masing pos penampungan yang dilayani oleh kendaraan. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 7.

$$\sum_{\forall i} \sum_{\forall j} Y_i * X_{ijk} \leq S_k \quad \forall k, i \neq 1, j \neq 1 \quad (\text{Pers. 7})$$

7. Waktu pelayanan tiap pos penampungan

Waktu pelayanan pos penampungan yang dituju berikutnya merupakan akumulasi dari waktu tempuh kendaraan, waktu pelayanan di pos sebelumnya dan waktu mulai pelayanan pada pos sebelumnya. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 8.

$$b_{jk} \geq b_{ik} + r_i + t_{ijk} - M(1 - X_{ijk}) \quad \forall k, i \neq 1, j \neq 1 \quad (\text{Pers. 8})$$

8. Pos penampungan i mulai dilayani

Pada saat waktu terlama dari pos penampungan i tidak boleh dilakukan lagi proses pengumpulan susu sehingga nilai waktu untuk melayani agen i ( $b_{ik}$ ) ditambahkan dengan lama melayani agen i ( $r_i$ ) harus lebih kecil dari waktu terlama di pos penampungan. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 9.

$$e_i \leq b_{ik} \quad b_{ik} + r_i \leq l_i \quad (\text{Pers. 9})$$

9. Hubungan lama perjalanan, jarak dan kecepatan

Formula ini diperlukan agar matriks jarak yang dibutuhkan untuk menentukan nilai waktu perjalanan dari pos penampungan i ke j ( $t_{ijk}$ ). Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 10.

$$\frac{d_{ij}}{v_k} = t_{ijk} \quad i \neq j \quad (\text{Pers. 10})$$

10. Variabel  $b_{ik}$  merupakan variabel tak negatif

Formula ini yang membatasi bahwa variabel  $b_{ik}$  merupakan variabel yang nilainya lebih besar sama dengan 0. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 11.

$$b_{ik} \geq 0 \quad \forall k, \quad \forall i \quad (\text{Pers. 11})$$

11. Variabel keputusan  $x_{ijk}$  merupakan variabel biner

Formula ini menyatakan bahwa variabel keputusan  $x_{ijk}$  memiliki nilai 1 atau 0. Formulasi model kendala ini dijelaskan dalam persamaan 12.

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k, i \neq j \quad (\text{Pers. 12})$$

### 3.10 Perhitungan Biaya Existing

Dengan fungsi tujuan seperti pada Persamaan 1 maka dapat dihitung biaya *existing* pada proses pengumpulan susu di KUD Batu. Selama ini KUD Batu sudah memiliki rute yang dijalani. Rute tersebut ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Biaya Existing

| Truk                     | Rute Truk   | Biaya      |
|--------------------------|---|------------|
| 1                        | Pabrik (1) – Toyomerto (2) – Pabrik (1)                             | Rp 22.750  |
| 2                        | Pabrik (1) – Pesanggrahan (3) – Pabrik (1)                          | Rp 19.250  |
| 3                        | Pabrik (1) – Krajan (18) – Junggo (10)– Pabrik (1)                  | Rp 49.875  |
| 4                        | Pabrik (1) – Punten (19) – Claket (20) – Dresel (6) – Pabrik (1)    | Rp 39.025  |
| 5                        | Pabrik (1) – Brau (5) – Pabrik (1)                                  | Rp 31.500  |
| 6                        | Pabrik (1) – Jantur (4) – Pabrik (1)                                | Rp 24.500  |
| 7                        | Pabrik (1) – Sumber Brantas (13) – Sumber Gondo (14) – Pabrik (1)   | Rp 46.550  |
| 8                        | Pabrik (1) – Tlekung (7) – Gangsiran (11) – Pabrik (1)              | Rp 17.325  |
| 9                        | Pabrik (1) – Gading (15) – Gangsiran Putuk (8) – Pabrik (1)         | Rp 29.400  |
| 10                       | Pabrik (1) – Beji (16) – Giri Purno (17) – Pabrik (1)               | Rp 28.175  |
| 11                       | Pabrik (1) – Jeding (9) – Pabrik (1) – Songgoriti (12) – Pabrik (1) | Rp 33.250  |
| Total Biaya Transportasi |   | Rp 341.600 |

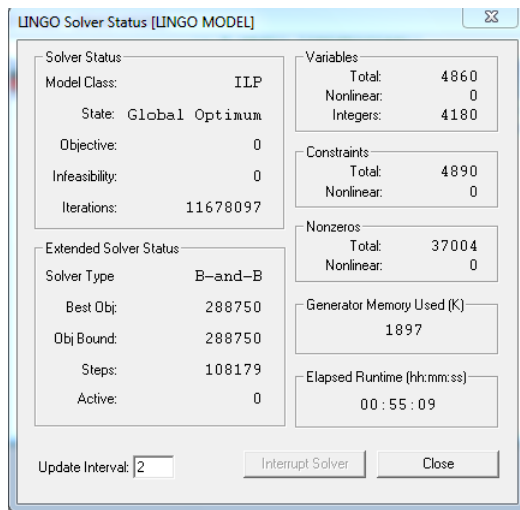
Tabel 5 menyajikan bahwa total biaya transportasi pada KUD “BATU” saat ini adalah Rp. 341.600. Contoh perhitungan biaya rute didapatkan dari jarak dikalikan dengan biaya transportasi per liter yaitu Rp 1.750,00. Contoh

dari perhitungan biaya rute dapat dilihat pada Persamaan 13.

$$\text{biaya rute } 1 - 2 = \text{jarak dari 1 ke 2} * 1750 = 6.5 * 1750 = 11.375 \quad (\text{Pers. 13})$$

### 3.11 Penyelesaian Model Linear Programming

Penyelesaian masalah pengumpulan susu dilakukan dengan bantuan *software* LINGO 8.0 *Unlimited*. Seluruh data, fungsi objektif, dan fungsi kendala yang telah didefinisikan sebelumnya diubah menjadi sintaks program sesuai dengan bahasa dari LINGO 8.0.



Gambar 2. Solver status software LINGO

Gambar 2 merupakan hasil *solver status* dari *Software* LINGO. Solusi yang diperoleh dari model ini merupakan solusi optimal dengan nilai fungsi objektif atau total biaya transportasi sebesar Rp. 288.750,00. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan solusi tersebut sekitar 55 menit. Untuk mendapatkan solusi yang optimal diperlukan iterasi sebanyak 11.678.097. Variabel dalam model ini sebanyak 4860 buah dan 4180 diantaranya adalah variabel keputusan sementara konstrain sebanyak 4890 buah. Penyelesaian model linear programming dilakukan menggunakan *software* karena jumlah iterasi, variabel, dan konstrain yang banyak.

Variabel keputusan  $X_{ijk}$  merupakan variabel penentu keputusan rute yang akan diambil. Untuk  $X_{ijk}$  yang memiliki nilai 1 merupakan lintasan  $i - j$  yang dilalui oleh kendaraan  $k$ . Rute didapatkan dari menyusun variabel  $X_{ijk}$  yang memiliki nilai 1. Tabel 4.8 menyajikan nilai  $X_{ijk}$  yang akan digunakan untuk membuat rute.

Tabel 6. Rekapitulasi Variabel Keputusan

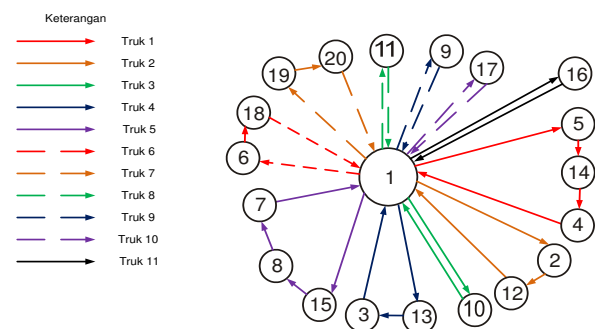
| Variabel Keputusan | Value  | Variabel Keputusan | Value  |
|--------------------|--------|--------------------|--------|
| X( 1, 2, 2)        | 1.0000 | X( 6, 18, 6)       | 1.0000 |
| X( 1, 5, 1)        | 1.0000 | X( 7, 1, 5)        | 1.0000 |
| X( 1, 6, 6)        | 1.0000 | X( 8, 7, 5)        | 1.0000 |
| X( 1, 9, 9)        | 1.0000 | X( 9, 1, 9)        | 1.0000 |
| X( 1, 10, 3)       | 1.0000 | X( 10, 1, 3)       | 1.0000 |
| X( 1, 11, 8)       | 1.0000 | X( 11, 1, 8)       | 1.0000 |
| X( 1, 13, 4)       | 1.0000 | X( 12, 1, 2)       | 1.0000 |
| X( 1, 15, 5)       | 1.0000 | X( 13, 3, 4)       | 1.0000 |
| X( 1, 16, 11)      | 1.0000 | X( 14, 4, 4)       | 1.0000 |
| X( 1, 17, 10)      | 1.0000 | X( 15, 8, 5)       | 1.0000 |
| X( 1, 19, 7)       | 1.0000 | X( 16, 1, 11)      | 1.0000 |
| X( 2, 12, 2)       | 1.0000 | X( 17, 1, 10)      | 1.0000 |
| X( 3, 1, 4)        | 1.0000 | X( 18, 1, 6)       | 1.0000 |
| X( 4, 1, 1)        | 1.0000 | X( 19, 20, 7)      | 1.0000 |
| X( 5, 14, 1)       | 1.0000 | X( 20, 1, 7)       | 1.0000 |

Dari variabel keputusan yang memiliki value 1 ditentukan rute yang dilewati oleh kendaraan  $k$ . Menentukan rute didasarkan dari  $k$  yang memiliki nilai sama,  $k$  yang memiliki nilai sama memiliki arti bahwa rute yang dilalui  $i - j$  dilayani oleh kendaraan  $k$ . Rute yang didapatkan disajikan dalam Tabel 7

Tabel 7. Rute Kendaraan Model Linear Programming

| Truk | Kapasitas Truk (L) | Rute               | Jumlah Susu (L) |
|------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1    | 3000               | 1 - 5 - 14 - 4 - 1 | 2937            |
| 2    | 3000               | 1 - 2 - 12 - 1     | 2871            |
| 3    | 1500               | 1 - 10 - 1         | 404             |
| 4    | 2500               | 1 - 13 - 3 - 1     | 2267            |
| 5    | 2000               | 1 - 15 - 8 - 7 - 1 | 1916            |
| 6    | 2500               | 1 - 6 - 18 - 1     | 2471            |
| 7    | 1500               | 1 - 19 - 20 - 1    | 294             |
| 8    | 1500               | 1 - 11 - 1         | 217             |
| 9    | 1500               | 1 - 9 - 1          | 305             |
| 10   | 1000               | 1 - 17 - 1         | 116             |
| 11   | 1000               | 1 - 16 - 1         | 263             |

Gambar 3 menjelaskan sistem pengumpulan susu optimal.



Gambar 3. Model Struktur Rute Optimal

### 3.12 Waktu Pengumpulan Susu Existing

Dengan melihat waktu ketahanan susu, waktu tempuh antar pos penampungan, serta waktu pelayanan di pos penampungan maka dibuat perhitungan waktu pengumpulan susu masing-masing truk. Pengolahan ini digunakan untuk membuat bagan waktu pengumpulan susu yang nantinya akan dianalisis dan dibandingkan dengan model *linear programming*. Tabel 8 menjelaskan waktu pengumpulan susu *existing*.

**Tabel 8.** Waktu Pengumpulan Susu Existing

| Truk | Waktu Existing |
|------|----------------|
| 1    | 42 menit       |
| 2    | 32 menit       |
| 3    | 56 menit       |
| 4    | 71.6 menit     |
| 5    | 46 menit       |
| 6    | 38 menit       |
| 7    | 73.2 menit     |
| 8    | 39.2 menit     |
| 9    | 53.6 menit     |
| 10   | 52.2 menit     |
| 11   | 68 menit       |

### 3.13 Waktu Pengumpulan Susu Model *Linear Programming*

Setelah didapatkan waktu pengumpulan susu *existing* berdasarkan rute yang ada di KUD saat ini, maka dibuat waktu pengumpulan susu model *linear programming* dengan biaya yang sudah optimal. Hal ini dilakukan untuk membandingkan waktu antara *existing* dan model *linear programming*. Tabel 9 mendeskripsikan mengenai waktu pengumpulan susu model *linear programming*.

**Tabel 9** Waktu Pengumpulan Susu *Linear Programming*

| Truk | Waktu Model <i>Linear Programming</i> |
|------|---------------------------------------|
| 1    | 72 menit                              |
| 2    | 56.4 menit                            |
| 3    | 66 menit                              |
| 4    | 69.6 menit                            |
| 5    | 61.8 menit                            |
| 6    | 38.4 menit                            |
| 7    | 52.6 menit                            |
| 8    | 23.2 menit                            |
| 9    | 22 menit                              |
| 10   | 42 menit                              |
| 11   | 15.6 menit                            |

### 3.14 Perbandingan Biaya Pengumpulan Susu

Biaya pengumpulan susu yang dikeluarkan dipengaruhi oleh jarak tempuh yang dilalui oleh

truk ke masing-masing pos penampungan. Biaya pengumpulan susu model *existing* didapatkan sebesar Rp. 341.600. Sedangkan biaya untuk pengumpulan susu model *linear programming* adalah Rp 288.750. Biaya pengumpulan susu mengalami penurunan dengan adanya model *linear programming*.

Perhitungan penurunan biaya diformulasikan dengan Persamaan 14

$$\begin{aligned} & \text{Penurunan biaya} && \text{(Pers. 14)} \\ & \frac{\text{Selisih biaya}}{\text{Biaya existing}} \\ & = \frac{341.600 - 288.750}{341.600} \times 100\% \\ & = 15.47\% \end{aligned}$$

Penurunan biaya sebesar 15,47% (Rp 52.850) merupakan penurunan biaya dalam 1 kali pengumpulan susu. Pengumpulan susu yang dilakukan KUD adalah 2 kali dalam sehari. Dengan adanya model *linear programming* ini maka dalam sehari KUD dapat melakukan penghematan sebesar Rp 105.700. Jika dihitung dalam jangka waktu 1 bulan, KUD dapat melakukan penghematan sebesar Rp 3.171.000.

### 3.15 Perbandingan Rute Pengumpulan Susu

Rute pengumpulan susu model *existing* dan model *linear programming* juga mengalami perbedaan. Tabel 10 merupakan rute *existing*

**Tabel 10.** Waktu Pengumpulan Susu Rute *Existing*

| Truk | Rute <i>Existing</i> | Jumlah Susu | Kapasitas Truk |
|------|----------------------|-------------|----------------|
| 1.   | 1 – 2 – 1            | 2626 L      | 3000 L         |
| 2.   | 1 – 3 – 1            | 2017 L      | 3000 L         |
| 3.   | 1 – 18 – 10 – 1      | 717 L       | 1500 L         |
| 4.   | 1 – 19 – 20 – 6 – 1  | 2452 L      | 2500 L         |
| 5.   | 1 – 5 – 1            | 1052 L      | 2000 L         |
| 6.   | 1 – 4 – 1            | 1739 L      | 2500 L         |
| 7.   | 1 – 13 – 14 – 1      | 342 L       | 1500 L         |
| 8.   | 1 – 7 – 11 – 1       | 1310 L      | 1500 L         |
| 9.   | 1 – 15 – 8 – 1       | 823 L       | 1500 L         |
| 10.  | 1 – 16 – 17 – 1      | 576 L       | 1000 L         |
| 11.  | 1 – 9 – 1 – 12 – 1   | 215 L       | 1000 L         |

Tabel 11 merupakan rute *linear programming* yang akan dibandingkan dengan rute *existing*.

**Tabel 11.** Waktu Pengumpulan Susu Rute *Linear Programming*

| Truk | Rute LP            | Jumlah Susu | Kapasitas Truk |
|------|--------------------|-------------|----------------|
| 1.   | 1 – 5 – 14 – 4 – 1 | 2937 L      | 3000 L         |



**Lanjutan Tabel 11.** Waktu Pengumpulan Susu Rute *Linear Programming*

| Truk | Rute Existing      | Jumlah Susu | Kapasitas Truk |
|------|--------------------|-------------|----------------|
| 2.   | 1 – 2 – 12 – 1     | 2871 L      | 3000 L         |
| 3.   | 1 – 10 – 1         | 404 L       | 1500 L         |
| 4.   | 1 – 13 – 3 – 1     | 2267 L      | 2500 L         |
| 5.   | 1 – 15 – 8 – 7 – 1 | 1916 L      | 2000 L         |
| 6.   | 1 – 6 – 18 – 1     | 2471 L      | 2500 L         |
| 7.   | 1 – 19 – 20 – 1    | 294 L       | 1500 L         |
| 8.   | 1 – 11 – 1         | 217 L       | 1500 L         |
| 9.   | 1 – 9 – 1          | 305 L       | 1500 L         |
| 10.  | 1 – 17 – 1         | 116 L       | 1000 L         |
| 11.  | 1 – 16 – 1         | 263 L       | 1000 L         |

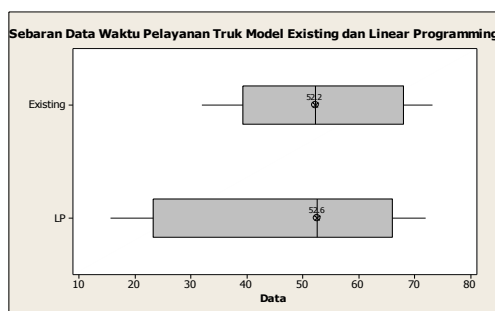
Jumlah susu yang diangkut oleh masing-masing truk tidak melebihi kapasitas truk, hal ini berarti rute dari masing-masing truk di kedua model dapat dilakukan. Model *linear programming* merupakan model optimal yang memiliki biaya lebih rendah daripada model *existing*.

### 3.16 Perbandingan Waktu Pengumpulan Susu

Berdasarkan waktu pengumpulan susu pada tabel 8 dan 9 dilakukan analisis perbedaan rata-rata waktu model *existing* dan model *linear programming*. Analisis perbedaan ini dilakukan menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari dua sampel, yaitu data waktu pelayanan truk pada model *existing* dan data waktu pelayanan truk pada model *linear programming*.

Hasil uji kesamaan dua rata-rata menyatakan bahwa waktu pelayanan model *existing* dan model *linear programming* tidak mengalami perbedaan. Hal ini berarti model optimal tidak membuat proses pengumpulan susu menjadi lebih lama ataupun lebih cepat.

Dari hasil waktu pelayanan model *existing* dan *linear programming* maka digambarkan sebaran data waktu pelayanan. Gambar 4 Menyajikan sebaran data dari model *existing* dan model *linear programming*.



**Gambar 4.** Sebaran Waktu Pelayanan Truk Model *Existing* Dan *Linear Programming*

Dari sebaran data yang ada dapat dilihat bahwa nilai kuartil atas ( $Q_1$ ), nilai *median* ( $Q_2$ ), dan nilai kuartil bawah ( $Q_3$ ) dari model *existing* sebesar 39,2 menit, 52,2 menit dan 68 menit. Sementara itu, nilai kuartil atas ( $Q_1$ ), nilai *median* ( $Q_2$ ), dan nilai kuartil bawah ( $Q_3$ ) dari model *linear programming* sebesar 23,2 menit, 52,6 menit dan 66 menit. Range sebaran data dari model *existing* berada diantara nilai 32 hingga 73,2 artinya model ini memiliki waktu minimum yaitu 32 menit dan waktu maksimum 73,2 menit. Sedangkan pada model *linear programming* berada pada range 15,6 hingga 72 yang berarti waktu minimum model ini adalah 15,6 menit dan waktu maksimumnya 72 menit.

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rute pengumpulan susu optimal yang didapatkan adalah truk 1 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Brau kemudian menuju Sumber Gondo kemudian ke pos Jantur kemudian kembali ke pabrik. Truk 2 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Toyomerto kemudian menuju Songgoriti dan kembali ke pabrik. Truk 3 berangkat dari pabrik hanya menuju pos penampungan Junggo kemudian kembali ke pabrik. Truk 4 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Sumber Brantas kemudian menuju Pesanggrahan dan kembali ke pabrik. Truk 5 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Gading kemudian menuju Gangsiran Putuk kemudian ke pos Tlekung kemudian kembali ke pabrik. Truk 6 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Dresel kemudian menuju Krajan dan kembali ke pabrik. Truk 7 berangkat dari pabrik menuju pos penampungan Punten kemudian menuju Claket dan kembali ke pabrik. Truk 8 berangkat dari pabrik hanya menuju pos penampungan Gansiran kemudian kembali ke pabrik. Truk 9 berangkat dari pabrik hanya menuju pos penampungan Jeding kemudian kembali ke pabrik. Truk 10 berangkat dari pabrik hanya menuju pos penampungan Giripurno kemudian kembali ke pabrik. Truk 11 berangkat dari pabrik hanya menuju pos penampungan Beji kemudian kembali ke pabrik.

2. Biaya total pengumpulan susu model existing sebesar Rp. 341.600, sedangkan biaya untuk model linear programming sebesar Rp. 288.750. Biaya ini mengalami penurunan sebesar 15.47% (Rp 52.850). Dalam sehari, terdapat 2 kali jadwal untuk pengumpulan susu sehingga KUD BATU dapat menghemat biaya sebesar Rp 105.700 dalam satu hari atau Rp 3.171.000 dalam satu bulan.
- Singarimbun, Masri dan Sofian Effendi, *Metode Penelitian Survei*. (2006). Jakarta: Pustaka LP3ES Indonesia.
- Stock, James R dan Douglas Lambert. (2001). *Strategic Logistic Management*. New York : McGraw – Hill.
- Thie, Paul R. (1988). *An Introduction to Linear Programming and Game Theory*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

### Daftar Pustaka

Aminudin. (2005). *Prinsip-prinsip Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga.

Bowersox, Donald J., dan Donald J. (1978). *Logistical Management: A System Integration of Physical Distribution Management and Material Management*. New York: Macmillan.

Ignizio, James P dan Tom M Cavalier. (1994). *Linear Programming*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.