

# APLIKASI ALGORITMA *HYBRID* DALAM PENENTUAN RUTE PENDISTRIBUSIAN PRODUK (STUDI KASUS: PT. ENSEVAL PUTERA MEGATRADING)

Eri Wirdianto, Dhina Regenie, Wisnel  
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: [eri\\_wirdianto@ft.unand.ac.id](mailto:eri_wirdianto@ft.unand.ac.id) (Korespondensi)

## Abstract

*PT. Enseval Putera Megatrading is a company which operates in general business and distribution of pharmacy products, general needs, cosmetics, foods and hospital equipments. In their current practice, routing in products deliveries, which is limited by time windows, has not considered the utilisation of vehicles' maximum loading capacities. Distribution route from hybrid algorithm using heuristic clustering and Mixed-Integer Linear Programming approach can accommodate such problem with time windows and vehicles' capacities utilisation. Based on comparison between company's current route and the route from hybrid algorithm, it can be seen that the hybrid algorithm is able to decrease total distance and total cost of transportation. This new route concerns on vehicles allocation and time windows limit. This new route can minimize the total cost of transportation that company has to pay.*

**Keywords:** Routing, time windows, heuristic clustering, mixed-integer linear programming, transportation cost

## Abstrak

*PT. Enseval Putera Megatrading merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang perdagangan umum dan pendistribusian produk farmasi, keperluan umum, kosmetik, makanan, serta peralatan dan perlengkapan rumah sakit. Dilihat dari kondisi saat ini, rute pengiriman produk yang dibatasi oleh adanya time windows belum mempertimbangkan penugasan kendaraan berdasarkan pemanfaatan kapasitas muat maksimum. Rute distribusi yang dihasilkan dengan algoritma hybrid melalui pendekatan heuristic clustering dan metode Mixed-Integer Linear Programming mampu mengakomodir kedua hal tersebut. Berdasarkan perbandingan yang dilakukan terhadap rute distribusi yang digunakan perusahaan saat ini, rute yang dihasilkan dengan algoritma hybrid dapat menghemat jarak tempuh dan total biaya transportasi dengan memperhatikan alokasi kendaraan dan batasan time windows. Dengan demikian, rute yang dihasilkan dapat meminimasi total biaya transportasi yang harus dikeluarkan perusahaan.*

**Kata kunci:** Rute pendistribusian, time windows, heuristic clustering, mixed-integer linear programming, biaya transportasi

## 1. PENDAHULUAN

Persaingan bisnis yang terjadi saat ini mendorong setiap perusahaan untuk membuat keputusan strategis dalam rangka optimasi dan mengatur proses distribusi agar lebih efisien yang ditandai dengan biaya distribusi yang rendah dan tingginya kualitas pelayanan. Permasalahan distribusi produk ke lokasi pelanggan merupakan satu hal yang perlu diperhatikan karena masalah ini mempunyai proporsi yang besar terhadap biaya operasional secara keseluruhan yaitu berkisar antara sepertiga hingga dua pertiga dari biaya tersebut [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan manajemen yang baik terhadap transportasi

dan distribusi.

PT. Enseval Putera Megatrading merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang perdagangan umum dan pendistribusian produk farmasi, keperluan umum, kosmetik, makanan, serta peralatan dan perlengkapan rumah sakit. Pemasaran dan pendistribusian produk meliputi seluruh wilayah di Sumatera Barat. Pemasaran produk dilakukan oleh lima divisi yang bertanggung jawab terhadap item-item tertentu. Divisi tersebut adalah KWT (*Kalbe Wining Team*) yang bertanggung jawab terhadap penjualan dan distribusi produk-produk Kalbe Farma; CPP (*Consumer Product Plus*) yang bertanggung jawab terhadap

penjualan dan distribusi produk-produk Loreal, Mead Johnsons dan Kara; OTC Plus yang bertanggung jawab terhadap penjualan dan distribusi produk-produk Bintang Toedjoeh; *Ethical* yang bertanggung jawab terhadap penjualan dan distribusi produk-produk farmasi; dan MIDI yang bertanggung jawab terhadap penjualan dan distribusi produk-produk perlengkapan dan peralatan rumah sakit.

Pendistribusian produk divisi *Ethical* dilakukan dalam selang waktu empat jam setelah order diterima. Batasan waktu ini (*time windows*) menuntut kendaraan yang ditugaskan dapat melayani pelanggan tepat waktu dan tetap berada dalam interval waktu yang telah ditentukan pelanggan yang bersangkutan. Dengan demikian, pelanggaran terhadap *time windows* dapat dihindari. Dilihat dari kondisi saat ini, rute pengiriman produk yang dibatasi oleh adanya *time windows* belum mempertimbangkan penugasan kendaraan berdasarkan pemanfaatan kapasitas muat maksimum dan kendaraan yang ditugaskan tersebut cenderung sama untuk setiap *time slot*-nya. Hal ini akan berakibat keterlambatan kedatangan produk di lokasi pelanggan. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka perlu dilakukan penentuan rute dan penjadwalan pengiriman produk dengan memperhatikan *time windows* dengan mempertimbangkan penugasan kendaraan berdasarkan pemanfaatan kapasitas muat maksimum sehingga dapat meminimasi biaya transportasi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Manajemen Logistik

Menurut *Council of Logistics Management* istilah manajemen logistik didefinisikan sebagai suatu proses perencanaan, penerapan dan pengendalian efisiensi, aliran biaya dan penyimpanan bahan baku secara efisien dengan biaya yang efektif, pada tahap inventori, produk jadi, dan seluruh informasi terkait dari mulai titik awal sampai titik konsumsi dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan [1].

Tujuan manajemen logistik adalah menyampaikan barang jadi dan bermacam-macam material dalam jumlah yang tepat pada waktu dibutuhkan, dalam keadaan yang dapat dipakai, ke lokasi dimana ia dibutuhkan dan dengan total biaya yang terendah. Sasaran penyelenggaraan logistik adalah mencapai level pelayanan tertinggi antara manufaktur-pemasaran yang telah ditentukan sebelumnya dengan total biaya yang serendah mungkin. Sedangkan misi logistik adalah mengembangkan suatu sistem

yang dapat memenuhi kebijakan pelayanan dengan biaya pengeluaran yang serendah mungkin [2].

### 2.2. Transportasi

Transportasi adalah penghubung antar fasilitas-fasilitas dalam sistem logistik. Pada banyak perusahaan, pengeluaran untuk transportasi lebih besar dari pengeluaran unsur lainnya dalam proses logistik. Menurut Ballou [1], biaya transportasi bahkan dapat menyerap sepertiga sampai dua pertiga bagian dari total biaya logistik. Oleh karena itu diperlukan berbagai cara untuk mengurangi biaya transportasi terutama pada fasilitas dan pelayanan dalam sistem transportasi.

Sarana transportasi terdiri dari lima jenis yaitu [1]:

1. Kereta  
Kereta api biasanya digunakan untuk jumlah muatan yang banyak, tingkat pergerakan produk yang rendah (seperti batu bara, dan kayu) dan produk manufaktur yang bernilai rendah.
2. Truk  
Kebanyakan barang hasil manufaktur diangkut dengan menggunakan truk.
3. Pengangkutan lewat udara  
Dengan sarana ini, lingkup penggunaan lebih luas atau lebih banyak produk yang dapat dibawa, lebih luas wilayah geografis yang dapat dicapai, akan tetapi membutuhkan biaya yang lebih tinggi.
4. Kapal  
Pengangkutan dengan kapal sesuai untuk produk yang memiliki nilai massa atau nilai volume yang rendah dan digunakan untuk produk yang tidak mudah rusak.
5. Saluran pipa  
Transportasi dengan menggunakan saluran pipa membutuhkan investasi dana yang besar dan mengeluarkan biaya operasional yang paling rendah.

### 2.3. Vehicle Routing Problem

*Vehicle Routing Problem* (VRP) didefinisikan sebagai masalah perencanaan rute kendaraan untuk proses pemenuhan pesanan (dalam kapasitas tertentu) yang dioperasikan dari sebuah depot untuk memasok sejumlah pelanggan yang telah diketahui lokasi serta kebutuhannya untuk komoditas tertentu [3].

Inti permasalahan dari VRP adalah merancang rute bagi kendaraan sehingga memenuhi kendala tertentu dan bertujuan untuk meminimasi fungsi tujuan yang diberikan. Ciri-cirinya adalah [4]:

1. Depot (jumlah dan lokasi).
2. Kendaraan (kapasitas, biaya, waktu berangkat, waktu istirahat, jenis dan jumlah

- kendaraan serta waktu maksimum penggunaan).
- 3. Pelanggan (permintaan, *time windows*, *pickup* (pengambilan) dan *delivery* (pengiriman), *accessibility restriction* (batasan akses), *split demand* dan prioritas pelanggan).
- 4. Informasi rute (waktu tempuh atau jarak maksimum dan biaya antar jaringan).

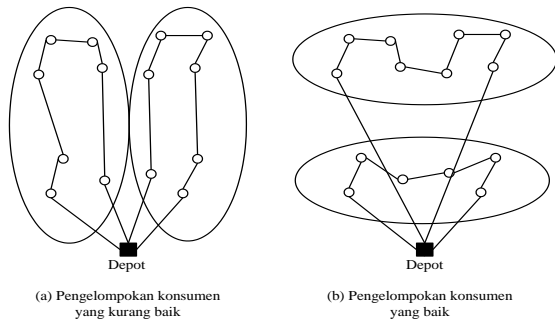
**2.3.1. Vehicle Routing and Scheduling**

*Vehicle routing and scheduling* merupakan perluasan dari VRP. Di sini, tercakup batasan yang lebih realistis seperti [1]:

1. Setiap konsumen dapat memiliki volume pengambilan sebanyak volume pengiriman,
2. Kendaraan-kendaraan yang digunakan dalam distribusi memiliki batasan kapasitas yang berbeda berdasarkan berat dan kubiknya,
3. Total maksimum waktu mengendarai yang diizinkan dalam suatu rute adalah tidak melebihi 8 jam,
4. Waktu pengambilan dan atau pengiriman mempunyai batasan waktu tertentu (*time windows*),
5. Pengambilan barang hanya dapat dilakukan setelah seluruh pengiriman barang selesai dilakukan,
6. Pengemudi hanya diperbolehkan untuk beristirahat atau makan siang pada waktu yang telah ditentukan, dan lain sebagainya.

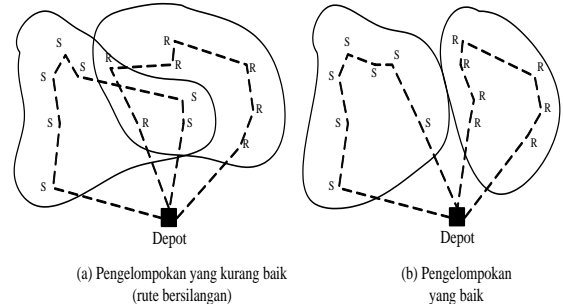
Prinsip-prinsip dalam pembuatan *routing and scheduling* yang baik adalah sebagai berikut [1]:

1. Mengisi truk sebanyak volume pemberhentian yang akan didatangi, dimana titik-titik pemberhentian tersebut letaknya berdekatan satu sama lain. Pengelompokan titik pemberhentian yang baik dan buruk dapat dilihat pada Gambar 1.



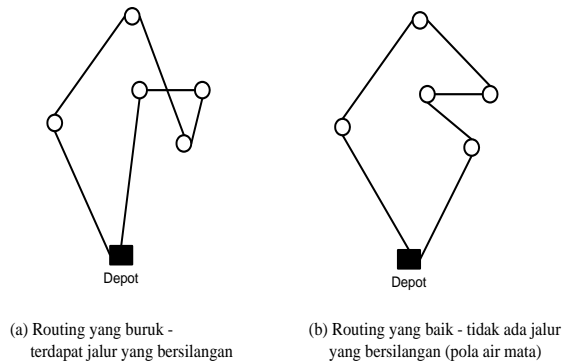
**Gambar 1.** Pengelompokan titik pemberhentian untuk penugasan volume pemberhentian pada kendaraan [1].

2. Titik-titik pemberhentian yang memiliki hari pengiriman yang berbeda-beda, sebaiknya diatur untuk memperoleh pengelompokan yang lebih dekat. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengelompokan titik pemberhentian berdasarkan hari pengiriman [1].

3. Dalam pembuatan rute dimulai dari titik pemberhentian terjauh dari depot agar mendapatkan rute yang efisien.
4. Urutan pemberhentian pada sebuah rute sebaiknya membentuk pola air mata (*teardrop pattern*). Pembuatan urutan pemberhentian yang baik dan buruk dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



**Gambar 3.** Contoh pembuatan urutan pemberhentian [1].

5. Rute yang paling efisien dibangun dengan menggunakan kendaraan dengan kapasitas terbesar.
6. Pengambilan barang (*pickup*) sebaiknya digabungkan dengan rute pengiriman barang (*delivery*), daripada pengambilan barang baru dilakukan setelah semua pengiriman dilakukan.
7. Titik pemberhentian yang terpisah dari pengelompokan rute adalah kandidat terbaik untuk penggunaan alat transportasi lain.
8. Batasan *time windows* titik pemberhentian yang berdekatan harus dihindari.

### 2.3.2. Metode Penyelesaian VRP

Secara garis besar metode penyelesaian VRP terbagi tiga yaitu [5]:

1. Metode Eksak  
Metode ini mengusulkan untuk menghitung setiap solusi yang mungkin sampai satu solusi terbaik diperoleh. Contoh metode ini adalah program dinamis, relaksasi *lagrangean*, *column generation* dan *integer linear programming*. Penggunaan metode eksak dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang maksimum memiliki 25 *node*.
2. Metode Heuristik  
Metode heuristik adalah metode berdasarkan penilaian dan pengalaman. Metode ini memperoleh solusi yang beralasan tetapi tidak dapat menjamin menghasilkan solusi optimal matematis. Contoh dari metode heuristik adalah *nearest neighbour*, *k-opt*, *k-insert*, metode *saving* dan metode *sweep*.
3. Metode Metaheuristik  
Metaheuristik adalah prosedur yang lebih baik dari heuristik yang didesain untuk memandu metode dan proses lain untuk memperoleh solusi dari permasalahan optimisasi matematis dengan kombinasi yang sulit. Contoh dari metode ini adalah *tabu search*, *simulated annealing* dan *genetic algorithm*.

### 2.4. Vehicle Routing Problem With Time Windows

*Vehicle Routing Problem With Time Windows* (VRPTW) merupakan pengembangan dari VRP dimana pelayanan pelanggan harus dimulai dan diselesaikan dalam waktu (*time windows*) yang telah ditentukan. Rute yang terdapat dalam permasalahan VRPTW dari sentral depot ke konsumen dirancang untuk kendaraan dengan kapasitas yang diketahui. Rute tersebut harus dimulai dan diakhiri di depot yang sama dan setiap konsumen hanya dikunjungi satu kali oleh satu kendaraan berdasarkan interval waktu yang diberikan dan harus dapat memenuhi kendala kapasitas.

*Time windows* dapat bersifat *hard* dan *soft*. Pada kasus *hard time window*, kendaraan yang datang terlalu cepat di lokasi konsumen diizinkan untuk menunggu sampai *customer window* dibuka. Kendaraan akan dilarang untuk mengunjungi konsumen jika telah melewati *latest time*. Sebaliknya pada kasus *soft time window* pelanggaran terhadap *time window* akan dikenakan biaya penalti [6].

### 2.5. Algoritma Hybrid

Algoritma *hybrid* bertujuan untuk mengeksploitasi kelebihan-kelebihan yang terdapat pada metode VRP yang ada dengan cara mengkombinasikan prinsip dari masing-masing metode atau dengan mengembangkan metode-metode tersebut [7]. Penyelesaian permasalahan VRPTW dengan menggunakan pendekatan algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan metode *Mixed-Integer Linear Programming* [MILP] dapat mengatasi batasan yang terdapat pada metode optimisasi eksak yaitu hanya efisien maksimum sampai dengan 25 *node*. Dengan menerapkan algoritma *hybrid*, jumlah konsumen (*node*) yang dapat terlayani dapat mencapai 100 konsumen atau lebih. Pendekatan ini terdiri dari dua langkah, yaitu [6]:

1. Pengelompokan konsumen ke dalam beberapa *cluster* dengan menggunakan algoritma *heuristic clustering*.
2. Pengurutan *node* yang terdapat di dalam *cluster*, pengurutan antar *cluster* sesuai dengan formulasi MILP dan penjadwalan waktu pelayanan di lokasi konsumen.

#### 2.5.1. Algoritma Heuristic Clustering

Tujuan dari prosedur atau algoritma ini adalah untuk mengidentifikasi *cluster* yang layak yang mengandung keseluruhan *node* konsumen. Adapun langkah-langkah dari algoritma *heuristic clustering* adalah [6]:

1. a. Buat sebuah *list node*  $L$  dan urutkan mulai dari nilai waktu kedatangan paling awal (*the earliest arrival times*)  $e_i$  terkecil sampai yang terbesar. Jika terdapat beberapa *node* yang memiliki  $e_i$  yang sama, susun mereka berdasarkan nilai waktu kedatangan paling lambat (*the latest arrival times*)  $l_i$  mulai dari yang terkecil sampai yang terbesar.
- b. Buat sebuah *list* kendaraan yang tersedia  $V$  dan urutkan mulai dari nilai rasio  $(q_v/cf_v)$  yang terbesar hingga terkecil.
- c. Pilih jarak maksimum yang diizinkan antara dua *node* yang berada pada *cluster* yang sama ( $d^{max}$ ) dan waktu tunggu maksimum yang diizinkan  $\Delta$ .
2. (Iterasi ke-) Buat *list*  $K_n$  yang menghubungkan ke *cluster* berikutnya  $C_n$ . Tugaskan *list* teratas yang terdapat pada *list*  $V$  ke *cluster*  $C_n$  dan hapus dari  $V$ .
3. a. Ambil *node*  $i$  teratas pada *list*  $L$  dan tempatkan di dasar dari *list*  $K_n$ . Inisialisasi parameter dari *cluster*  $C_n$ :

$$\begin{aligned} e_{C_n} &\leftarrow e_i & l_{C_n} &\leftarrow l_i \\ w_{C_n} &\leftarrow w_i & st_{C_n} &\leftarrow st_i \end{aligned}$$

- b. Hapus *node i* dari *list L* dan buat *copy* dari *list L* dan disebut *L'*.
4. Ambil *node j* teratas dari *list L'* dan verifikasi bahwa beban (*load*) yang ada untuk diambil dari *cluster C<sub>n</sub>* dan *w<sub>j</sub>* tidak melebihi kapasitas kargo *q<sub>v</sub>* yang ditugaskan pada kendaraan *v*. Jika melebihi kapasitas kendaraan, hapus *node j* dari *list L'* dan ulangi langkah 4. Jika tidak, lanjutkan ke langkah 5.
5. a. Hitung jarak *d<sub>ji</sub>* antara *node j* dengan *node i* terdekat pada *list K<sub>n</sub>*.  
b. Verifikasi bahwa *d<sub>ij</sub>* lebih kecil dari jarak maksimum yang diizinkan *d<sup>max</sup>*. Jika tidak, hapus *node j* dari *list L'* dan kembali ke langkah 4. Jika tidak, lanjutkan ke langkah 6.
6. Verifikasi bahwa batasan berikut ini dapat dipenuhi:  

$$eC_n + stC_{ni} + t_{ij}^v \leq \max(IC_n, I_j)$$
 Jika tidak, hapus *node j* dari *list L'* dan kembali ke langkah 4. Jika tidak, lanjutkan ke langkah 7.
7. Verifikasi bahwa batasan berikut ini dapat dipenuhi:  

$$eC_n + stC_n + t_{ij}^v + \Delta \geq e_j$$
 Jika tidak, tutup *cluster C<sub>n</sub>* dengan cara menghapus *list L'* dan menyimpan *list K<sub>n</sub>* yang mendefinisikan *C<sub>n</sub>* dan kembali ke langkah 4. Jika tidak, lanjutkan ke langkah 8.
8. a. Tempatkan *node j* di dasar *list K<sub>n</sub>* dan perbaharui parameter untuk *C<sub>n</sub>* sebagai berikut:  

$$wC_n \leftarrow wC_n + w_j$$

$$stC_n \leftarrow \max(stC_n + t_{ij}^v + st_j, e_j + st_j - e_i)$$
 b. Jika  $IC_n > I_j$ , maka:  

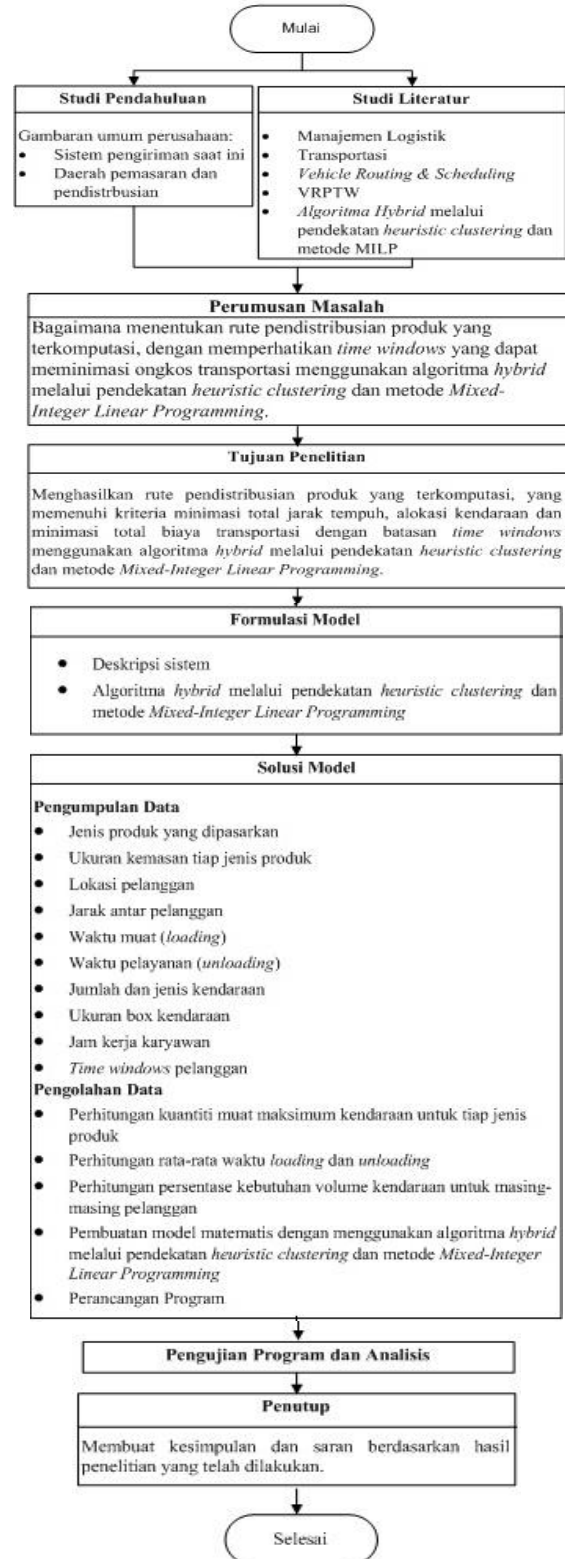
$$IC_n \leftarrow I_j$$
 Jika tidak, waktu kedatangan paling lambat *bC<sub>n</sub>* tidak berubah. Hapus *node j* dari *list L* dan *L'* dan lanjutkan ke langkah 9.
9. Jika *list L'* kosong, simpan *list K<sub>n</sub>* yang mendefinisikan *cluster C<sub>n</sub>* dan lanjutkan ke langkah j. Jika tidak, kembali ke langkah d.
10. Ulangi langkah 2 - 9 sampai *list L* kosong.

### 2.5.2. Mixed Integer Linear Programming

MILP merupakan pengembangan dari program linear dengan ketentuan bahwa sebagian variabel keputusan dibatasi harus berupa bilangan bulat (integer) pada solusi optimalnya [8]. Metode klasik yang umumnya digunakan untuk menyelesaikan masalah ini adalah *Branch and Bound*. Metode-metode alternatif, seperti algoritma genetika dan *evolutionary algorithm* juga dapat digunakan.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara sistematis, alur metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan alur metodologi penelitian

Langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan dalam solusi model dijelaskan sebagai berikut:

1. Penentuan kuantiti muat maksimum kendaraan, yang bertujuan untuk memaksimalkan kapasitas dari masing-masing kemasan produk.
2. Penentuan rata-rata waktu *loading* dan *unloading* kendaraan, yang bertujuan untuk mengetahui total waktu distribusi yang diperlukan kendaraan untuk mendistribusikan produk ke pelanggan.
3. Penentuan persentase kebutuhan volume kendaraan, bertujuan untuk mengetahui besarnya persentase penggunaan ruangan box kendaraan oleh produk yang dipesan oleh setiap pelanggan.
4. Pembuatan model matematis dengan menggunakan algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan metode *MILP* untuk menentukan rute pengiriman produk.
5. Perancangan program  
Program aplikasi untuk penentuan rute pendistribusian produk dalam penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Java.

#### 4. FORMULASI MODEL

Untuk mendapatkan penyelesaian distribusi dalam penelitian ini, dilakukan formulasi model yang terdiri dari empat bagian, yaitu:

1. Formulasi penentuan kuantiti muat maksimum kendaraan, dengan persamaan sebagai berikut:

$$AL1 = \left[ \frac{Pb}{Pp} \right] \times \left[ \frac{Lb}{Lp} \right] \times \left[ \frac{Tb}{Tp} \right] \quad (1)$$

$$AL2 = \left[ \frac{Pb}{Lp} \right] \times \left[ \frac{Lb}{Pp} \right] \times \left[ \frac{Tb}{Tp} \right] \quad (2)$$

$$K = \max[AL1, AL2] \quad (3)$$

2. Formulasi penentuan rata-rata waktu *loading* dan *unloading* kendaraan. Rata-rata waktu *loading* adalah sebesar 15 menit. Sedangkan data waktu *unloading* ditentukan untuk tiap pelanggan.
3. Formulasi penentuan persentase kebutuhan volume kendaraan.
4. Formulasi algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan metode *MILP* untuk menentukan rute pengiriman produk.

Langkah-langkah optimasi rute pengiriman menggunakan algoritma *hybrid* untuk

meminimasi total ongkos transportasi adalah sebagai berikut.

1. Pengelompokan titik-titik pelanggan ke dalam *cluster* dan penugasan kendaraan untuk setiap *cluster*.  
Proses *clustering* berfungsi untuk mengelompokkan pelanggan sekaligus penugasan kendaraan, yang ditentukan berdasarkan kapasitas maksimum setiap kendaraan. Proses *clustering* dibagi menjadi dua, yaitu:
  - a. *Clustering A* (sepeda motor-L300)
  - b. *Clustering B* (L300-sepeda motor)

Pada proses *clustering A*, kendaraan pertama yang ditugaskan untuk mendistribusikan produk ke pelanggan adalah sepeda motor. Jika kapasitas sepeda motor tidak dapat memuat total permintaan, maka sisa permintaan akan dipenuhi oleh L300 dengan ketentuan bahwa muatan untuk satu pelanggan tidak boleh dibagi, yang berarti satu pelanggan dilayani oleh satu kendaraan. Jika sepeda motor dapat memenuhi keseluruhan permintaan pelanggan, maka proses *clustering B* tidak perlu dilakukan. Kondisi ini juga berlaku untuk proses *clustering B*.

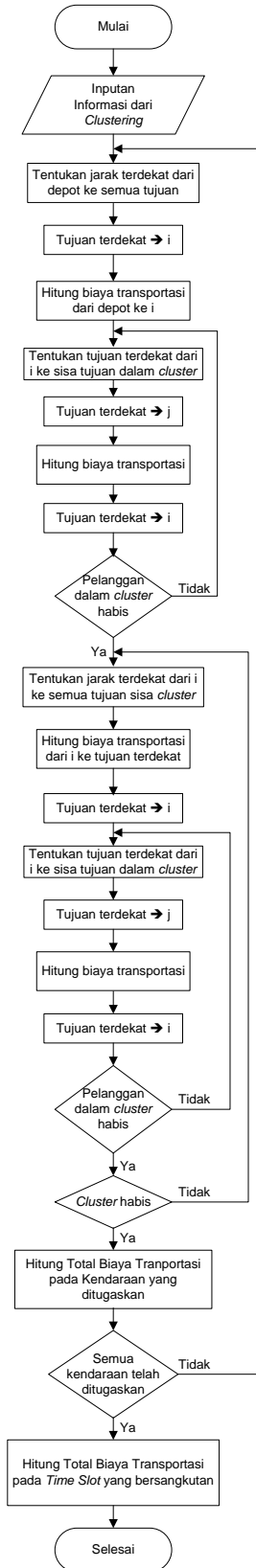
2. Pengurutan pelanggan yang terdapat pada masing-masing *cluster* dan antar *cluster* berdasarkan formulasi *MILP*.

Detail diagram alir untuk algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan *MILP* dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

##### 4.1. Asumsi dalam Metode *MILP*

1. Biaya depresiasi diasumsikan sebagai biaya tetap (*fixed cost = cf<sub>v</sub>*) dengan nilai sebagai berikut:  
 $BD_{\text{sepedamotor}} = \text{Rp } 810.000,00/\text{tahun}$   
 $BD_{L300} = \text{Rp } 4.150.000,00/\text{tahun}$
2. Upah *courrier* (*labor cost = c<sub>t</sub>*) adalah Rp 32.000,00 per hari atau sama dengan Rp 66,667/menit.
3. Biaya yang disebabkan oleh total jarak yang ditempuh pada kendaraan dan biaya akumulasi untuk sampai ke setiap pelanggan (*node*) dipengaruhi oleh biaya bahan bakar.
4. Biaya penalti terhadap kendaraan ( $\rho_v$ ) diasumsikan oleh lembur *courrier*, dengan nilai setengah dari gaji *courrier* [9], yaitu sebesar Rp 33,333/menit.
5. Biaya penalti terhadap *time window* ( $\rho_t$ ) ditetapkan sebesar Rp 10.000,00/jam = Rp 166,667/menit.





**Gambar 6.** Diagram alir pengurutan pelanggan menggunakan MILP

**4.2. Formulasi Model**

Formulasi model untuk menentukan rute pendistribusian produk dapat dilihat pada persamaan berikut:

Tujuan:

$$Min \sum_{v \in V} \left( c_f^v \sum_{p \in P} X_{pv} + c_i TV_v + CV_v \right) + \rho_v \Delta T_v + \sum_{i \in I} \rho_i \Delta e_i + \sum_{i \in I} \rho_i \Delta l_i \tag{4}$$

Pembatas:

$$\sum_{v \in V} Y_{iv} = 1 \tag{5}$$

$$\sum_{p \in P} X_{pv} \leq 1 \tag{6}$$

$$c_{pi}^v (X_{pv} + Y_{iv} - 1) \leq C_i \tag{7}$$

$$C_i + c_{ij}^v - M_c (1 - S_{ij}) - M_c (2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \leq C_j \tag{8}$$

$$C_j + c_{ji}^v - M_c S_{ij} - M_c (2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \leq C_i \tag{9}$$

$$C_i + c_{ip}^v - M_c (2 - X_{pv} - Y_{iv}) \leq CV_v \tag{10}$$

$$t_{pi}^v (X_{pv} + Y_{iv} - 1) \leq T_i \tag{11}$$

$$T_i + st_i + t_{ij}^v - M_T (1 - S_{ij}) - M (2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \leq T_j \tag{12}$$

$$T_j + st_j + t_{ji}^v - M_T S_{ij} - M (2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \leq T_i \tag{13}$$

$$T_i + st_i + t_{ip}^v - M_T (2 - X_{pv} - Y_{iv}) \leq TV_v \tag{14}$$

$$\Delta e_i = 0 \tag{15}$$

$$T_i - l_i \leq \Delta l_i \tag{16}$$

$$TV_v - tv_v^{\max} \leq \Delta T_v \tag{17}$$

$$q_v \sum_{p \in P} X_{pv} \geq \sum_{i \in I} w_i Y_{iv} \tag{18}$$

$$X_{pv} \text{ bernilai } 1 \text{ atau } 0 \tag{19}$$

**5. SOLUSI MODEL**

Berdasarkan formulasi model di atas selanjutnya dilakukan perhitungan solusi manual pada langkah (a) sampai dengan (d) untuk kemudian dibandingkan dengan hasil yang diberikan oleh program aplikasi yang dirancang pada langkah (e).

1. Perhitungan kuantiti muat maksimum kendaraan.

Contoh perhitungan untuk produk ETH350 pada kendaraan L300:  
 Panjang produk = 149 mm  
 Lebar produk = 63 mm



- Tinggi produk = 24 mm  
 Panjang box = 2600 mm  
 Lebar box = 1650 mm  
 Tinggi box = 1220 mm  
 $K1 = 17 \times 26 \times 50 = 22100$  unit  
 $K2 = 41 \times 11 \times 50 = 22550$  unit  
 $K = \max(22100, 22550) = 22550$  unit
- Perhitungan rata-rata waktu *loading* dan *unloading*. Data waktu *loading* dan *unloading* kendaraan berguna untuk menghitung waktu yang diperlukan kendaraan untuk mendistribusikan produk ke pelanggan. Rata-rata waktu *loading* adalah sebesar 15 menit. Sedangkan waktu *unloading* ditentukan untuk tiap pelanggan.
  - Perhitungan persentase kebutuhan volume kendaraan. Contoh perhitungan persentase kebutuhan volume kendaraan L300 pada pelanggan T006 untuk produk ETH350.  
 $K(L300) = 22550$  unit produk  
 $D = 1$  unit  
 $PV = 1/22550 \times 100\% = 0.004\%$   
 Berarti produk ETH250 hanya menempati 0,004% dari 100% ruang box kendaraan L300 yang tersedia.
  - Formulasi algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan MILP untuk menentukan rute pengiriman produk. Contoh perhitungan:

Penentuan rute distribusi dilakukan pada *time slot* I (Pukul: 10:00–12:00) tanggal dd/mm/yy.

*Clustering* A (Sepeda Motor-L300)

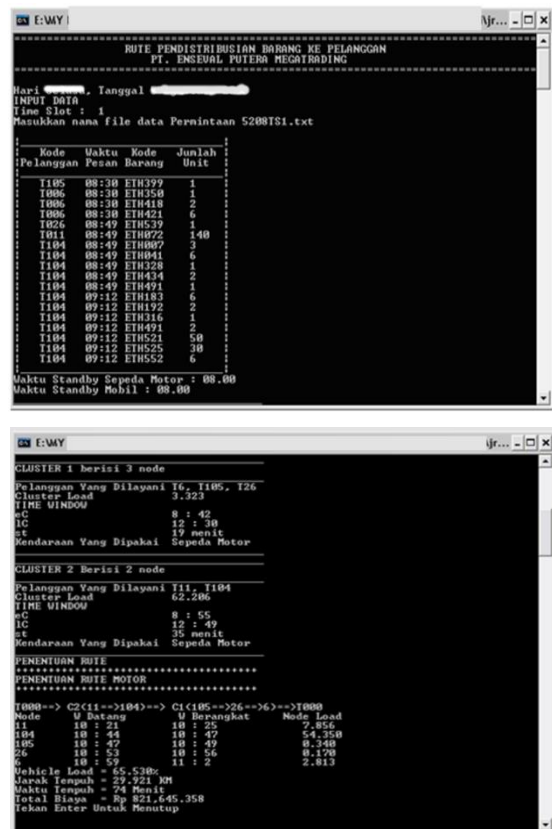
Langkah 1 Pengelompokan pelanggan ke dalam *cluster*. Hasil *clustering* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *clustering* pada *time slot* I

|                                 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| <b>Node yang dilayani</b>       | T006 T105 T026 | T011 T104      |
| <b>Cluster Load</b>             | 2.979%         | 61.871%        |
| <b>Time Window</b>              |                |                |
| <b>eC</b>                       | 8:42           | 8:55           |
| <b>IC</b>                       | 12:30          | 12:49          |
| <b>stC (menit)</b>              | 19             | 35             |
| <b>Kendaraan yang digunakan</b> | Sepeda Motor   | Sepeda Motor   |

Langkah 2 Penentuan dan penjadwalan rute pelanggan dengan menggunakan MILP. Hasil rute dan penjadwalan dapat dilihat pada Tabel 2. Perhitungan rinci untuk solusi manual di atas dapat diberikan.

- Pembuatan program Berdasarkan diagram alir pada Gambar 5 dan 6 di atas dan *listing* program yang telah dibangun, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan *running* program. Cara kerja program ini adalah data permintaan dan waktu pesan pelanggan yang terdapat pada file *notepad* akan dieksekusi oleh program untuk kemudian dijalankan. Sebagai contoh, data yang akan dijalankan adalah data yang sama pada solusi manual di atas. Hasil *running* program dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil *running* program

Tabel 2. Hasil penentuan dan penjadwalan rute optimal pelanggan pada *time slot* I

| Kendaraan                       | Cluster        | Node | Waktu Kedatangan | Waktu Keberangkatan | Node Load | Vehicle Load   | Jarak Tempuh (km) | Waktu Tempuh (menit) |
|---------------------------------|----------------|------|------------------|---------------------|-----------|----------------|-------------------|----------------------|
| Sepeda Motor                    | C <sub>2</sub> | T011 | 10:21            | 10:25               | 7.856%    | 64.850%        | 29.921            | 74                   |
|                                 |                | T104 | 10:44            | 10:47               | 54.015%   |                |                   |                      |
|                                 | C <sub>1</sub> | T105 | 10:47            | 10:49               | 0.115%    |                |                   |                      |
|                                 |                | T026 | 10:53            | 10:56               | 0.087%    |                |                   |                      |
|                                 |                | T006 | 10:59            | 11:02               | 2.777%    |                |                   |                      |
| <b>Total Biaya Transportasi</b> |                |      |                  |                     |           | Rp 821.645,358 |                   |                      |

## 6. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian program terdiri atas dua jenis yaitu verifikasi dan validasi program. Verifikasi diagram alir dan *listing* program yang bertujuan untuk mengetahui apakah diagram alir dan *listing* program yang dibuat sesuai dengan langkah-langkah algoritma *hybrid* yang didefinisikan sebelumnya. Verifikasi juga dilakukan untuk mengetahui apakah tidak terjadi kesalahan pada program yang dibuat, sehingga program tersebut dapat dijalankan. Setelah verifikasi, perlu dilakukan validasi. Validasi dilakukan untuk mendapatkan program penentuan rute pelanggan yang valid dengan kriteria bahwa *output* program itu sama dengan penentuan rute pelanggan dengan algoritma *hybrid* secara manual dengan bantuan *Microsoft Excel*. Berdasarkan contoh perhitungan di atas, hasil yang diperoleh dengan menggunakan *Microsoft Excel* sama dengan hasil yang diperoleh dengan menggunakan program aplikasi yang dibangun.

## 7. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian yang dilakukan untuk memperoleh urutan pendistribusian produk dengan menggunakan algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan metode *Mixed-Integer Linear Programming* untuk meminimasi total jarak tempuh, alokasi kendaraan dan total biaya transportasi telah menghasilkan suatu urutan rute pengiriman yang dapat mengakomodir kendala berupa *time windows*. Jika dibandingkan terhadap rute yang digunakan perusahaan saat ini, urutan rute yang dihasilkan dengan algoritma *hybrid* melalui pendekatan *heuristic clustering* dan metode MILP dapat menghemat jarak tempuh dan total biaya transportasi dengan memperhatikan alokasi kendaraan dan batasan *time windows*. Dengan demikian, rute yang dihasilkan dapat meminimasi total biaya transportasi yang harus dikeluarkan perusahaan.

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah agar mengakomodir keterbatasan stock gudang dan perbedaan *time windows* pada masing-masing pelanggan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ballou, R.H. (1998). *Business Logistic Management: Planning, Organizing, and Controlling The Supply Chain* (Ed. 3). New Jersey: Prentice Hall.
- [2] Bowersox, D.J., et.al. (2002). *Supply Chain Logistics Management*. Boston: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] Mester, D., et.al. (2007). A Multi-parametric Evolution Strategies Algorithm for Vehicle Routing Problems. *Expert Systems with Application*, 32, pp. 508-717.
- [4] Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithm, *European Journal of Operational Research*, 59, pp. 345-358.
- [5] Ozaydin, E. (2007) *Capacited Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Molde College, Norway.
- [6] Dondo, R. and Cerda, J. (2007). A Cluster-based Optimization Approach for Multi-depot Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem With Time Window, *European Journal of Operational Research*, 176, pp. 1478-1507.
- [7] Gendreau, M. and Potvin, J.Y. (2005). Metaheuristics in Combinatorial Optimization. *Annals of Operations Research*, 140, pp. 189-213.
- [8] Tjuju, T.D. dan Ahmad, D. (1994). *Operations Research: Model-model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Bandung.
- [9] Matz, A., et.al. (1990). *Akuntansi Biaya: Perencanaan dan Pengendalian*. Jakarta: Erlangga.