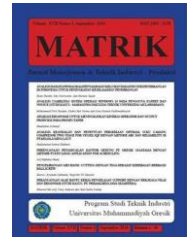




MATRIK

Jurnal Manajemen dan Teknik Industri-Produksi

Journal homepage: <http://www.journal.umg.ac.id/index.php/matriks>



Perancangan Rute Distribusi Air Minum Dalam Kemasan dengan *Capacitated Vehicle Routing Problem*

Ghea Almira Mafaza^{1*}, Erlinda Muslim²

Departemen Teknik Industri – Universitas Indonesia,
Depok, Jawa Barat, Indonesia
ghea.almira@ui.ac.id, erlinda@eng.ui.ac.id
*corresponding author

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v23i2.4366

Jejak Artikel :

Upload artikel
05 Agustus 2022
Revisi
23 Februari 2023
Publish
24 Maret 2023

Kata Kunci :

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), *Air Minum Dalam Kemasan (AMDK)*, *Branch and Bound*

ABSTRAK

Perusahaan distributor Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang berlokasi di Semarang memiliki dua kendaraan untuk melakukan distribusi ke 16 lokasi distribusi di dalam Semarang. Permasalahan yang dihadapi yaitu perusahaan melakukan distribusi tanpa memperhitungkan jarak tempuh, kuantitas permintaan yang berbeda-beda di setiap lokasi, keterbatasan jumlah dan kapasitas kendaraan, serta lokasi pelanggan yang tersebar di Semarang. Penelitian perlu dilakukan dengan menggunakan *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* untuk mendapatkan rute distribusi dengan jarak dan waktu tempuh distribusi optimal. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Mixed Integer Linear Programming (MILP)* dengan metode *Branch and Bound*. Model matematika dibuat dan diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman LINGO untuk dijalankan dan menghasilkan rute optimal. Hasil pada penelitian ini yaitu didapatkan dua rute optimal untuk setiap kendaraan 1 dan 2 melakukan distribusi AMDK ke 16 lokasi. Jumlah muatan juga didapatkan untuk masing-masing rute dengan tidak melebihi kapasitas kendaraan. Total jarak yang ditempuh berkurang sebesar 28% dan dapat menghemat total waktu tempuh sebesar 11%. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah parameter permintaan dan hasilnya yaitu terjadi penambahan rute menjadi 3 rute ketika kondisi kenaikan permintaan sebesar 5%, 10%, dan 15% serta terdapat pengaruh perubahan pada rute, jarak, dan waktu tempuh ketika kondisi penurunan permintaan 15% serta kondisi kenaikan permintaan 5%, 10%, dan 15%.



1. Pendahuluan

Seiring dengan bertambahnya merek dagang air minum, para agen atau distributor juga diperlukan untuk mendistribusikan produk air minum dalam kemasan. Pendistribusian ini bertujuan untuk menyalurkan produk, memberikan manfaat produk kepada konsumen, memudahkan konsumen mendapatkan barang yang diinginkan, serta memberikan jaminan proses produksi kepada para konsumen. Salah satu distributor air minum dalam kemasan yang berlokasi di Semarang mendistribusikan AMDK ke daerah Semarang, Demak, Kudus, Blora, dan Surakarta. Alur distribusi AMDK oleh perusahaan dibagi menjadi dua macam yaitu distribusi di dalam Semarang dan distribusi ke luar Semarang. Studi ini akan membahas alur distribusi di dalam Semarang yang memiliki 16 lokasi berupa hotel, resto, dan kafe. Saat ini, perusahaan sedang mengembangkan bisnisnya ke beberapa daerah sehingga distributor harus dapat mempertahankan pelanggan dan penjualan di Semarang.

Namun, perusahaan menghadapi beberapa masalah seperti kuantitas permintaan yang berbeda di setiap lokasi, terbatasnya jumlah dan kapasitas kendaraan, lokasi pelanggan yang tersebar di daerah Semarang, dan penentuan rute yang hanya berdasarkan pengalaman. Kendaraan yang dimiliki oleh perusahaan untuk mendistribusikan air minum dalam kemasan adalah dua mobil bak terbuka dengan masing-masing berkapasitas satu ton. Rute distribusi yang dilakukan saat ini masih ditentukan menggunakan *Google Maps* berdasarkan urutan jarak titik terdekat antara satu lokasi dengan yang lainnya. Hal ini membuat perusahaan sulit untuk menentukan rute optimal untuk melakukan distribusi. Rute yang tidak optimal dapat berdampak kepada peningkatan biaya distribusi dan keterlambatan waktu pengiriman. Keterlambatan waktu pengiriman ini tentunya akan berdampak terhadap kepuasan pelanggan dan mengancam ketahanan pelanggan terhadap produk dan jasa yang ditawarkan. Oleh karena itu, penentuan rute optimal sangat penting agar perusahaan dapat melayani pelanggan dengan tepat waktu dengan jumlah permintaan yang sesuai.

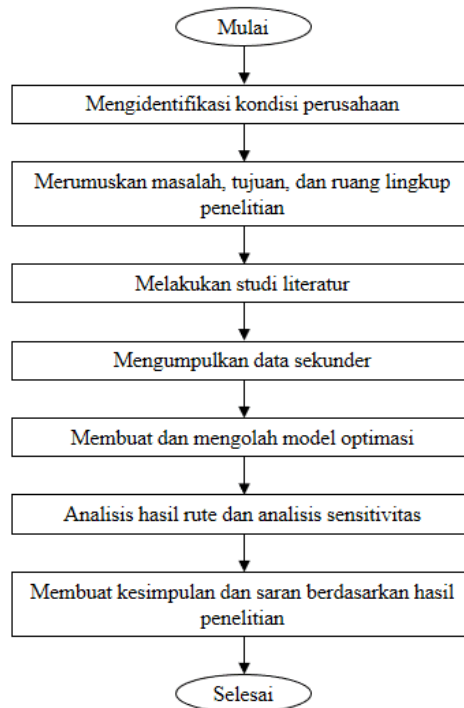
Penelitian ini mengangkat permasalahan sebelumnya dan menyelesaikannya dengan merancang rute distribusi dan mendapatkan jarak tempuh optimal yang perlu dimiliki oleh

perusahaan. Dalam dunia riset operasi, permasalahan rancangan rute distribusi dapat dilakukan dengan menyelesaikan *vehicle routing problem* atau VRP. VRP didefinisikan sebagai tugas dalam merancang rute distribusi untuk melayani pelanggan dalam sistem rantai pasok perusahaan [12]. Seiring dengan perkembangan yang ada, jenis dan metode penyelesaian VRP sangat beragam. Stavropoulou [4], menyelesaikan *consistent vehicle routing problem* dengan armada heterogen. Penelitian tersebut menggunakan metode heuristik untuk penyelesaiannya dan membuat beberapa skenario untuk melihat peningkatan biaya yang mungkin. Sedangkan, Ibrahim, dkk. [1] melakukan penelitian yang menyelesaikan masalah *capacitated vehicle routing problem* dengan beberapa metode penyelesaian. Penelitian tersebut menemukan bahwa penyelesaian dengan *Reinforcement Learning* mampu menghasilkan nilai solusi paling kecil walaupun waktu yang dibutuhkan sedikit lebih lama. Penelitian lainnya dilakukan oleh Hartono, dkk. [16] yang melakukan optimasi transportasi angkutan sampah menggunakan *robust counterpart model of open capacitated vehicle routing problem* dengan mengambil data jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, rute setiap kendaraan, volume permintaan setiap TPS, dan jarak yang ditempuh dari TPS ke TPS dan TPA lainnya. Kemudian menentukan *distance matrix* memodelkan data, serta mengaplikasikan model ke dalam *software LINGO*.

2. Metode Penelitian

Vehicle Routing Problem merupakan permasalahan optimasi dalam menyusun jalur armada untuk meminimalisasi jarak tempuh dengan harus memenuhi kapasitas yang ada. VRP dapat merancang optimalisasi rute pengiriman dengan kendala setiap kendaraan hanya menempuh satu rute, memiliki kesamaan karakteristik di setiap kendaraan, dan hanya terdapat satu depot pusat [9].

Mixed Integer Linear Programming (MILP) digunakan dalam penelitian ini dengan metode *branch and bound* untuk mencari solusi optimal dengan mereplikasi variabel keputusan yang penyelesaiannya tidak bulat. Replikasi akan terus dilakukan hingga memperoleh penyelesaian yang bulat dan semua variabel keputusan bernilai bulat.. Alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



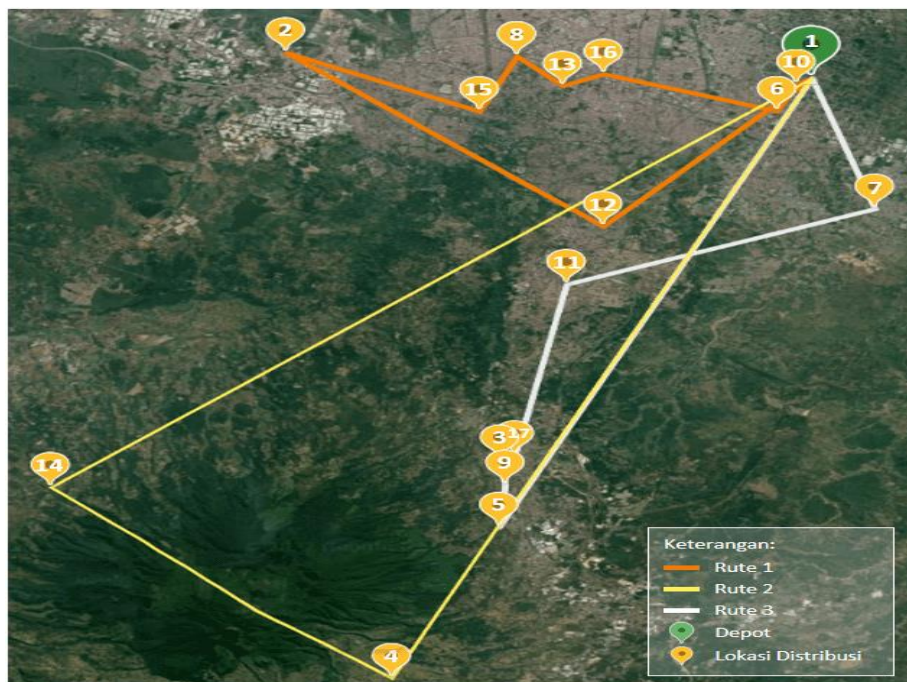
Gambar 1. Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder yang berupa data varian AMDK, lokasi pelanggan, permintaan pada setiap lokasi, dan kendaraan yang digunakan yang didapatkan dari perusahaan. Sedangkan

data jarak dan waktu yang ditempuh antar lokasi didapatkan dari *Google Maps*.

Saat ini rute distribusi diasumsikan berdasarkan jarak terdekat sesuai intuisi pengemudi. Gambar 2. merupakan gambaran rute saat ini berdasarkan jarak terdekat.



Gambar 2. Rute Distribusi saat ini

Pada rute distribusi saat ini, terlihat terdapat 16 lokasi distribusi dengan tiga rute yang harus ditempuh hanya dengan menggunakan dua kendaraan saja. Garis berwarna jingga menunjukkan rute pertama, garis berwarna kuning menunjukkan rute kedua, dan garis berwarna putih menunjukkan rute ketiga. Terdapat tiga rute pada rute saat ini dikarenakan menyesuaikan dengan kapasitas yang dibawa. Oleh karena itu, salah satu kendaraan perlu kembali melakukan perjalanan untuk dapat memenuhi rute ke-3 setelah selesai menyelesaikan distribusi pada perjalanan pertama.

Pengolahan data dilakukan dengan menentukan model matematika. Model matematika diterapkan pada *software* LINGO dan dijalankan untuk mendapatkan rute optimal. Berikut merupakan model matematika yang digunakan pada penelitian ini.

1. Sets

$$Location = \{1, \dots, 17\}$$

$$Vehicle = \{1, 2\}$$

2. Parameter

Cap_k = Kapasitas kendaraan k

$Demand_i$ = Kuantitas permintaan lokasi i

$Distance_{i,j}$ = Jarak perjalanan lokasi i ke j

3. Variabel Keputusan

X_{ij} = Variabel biner yang bernilai 1 jika kota i merupakan pendahulu langsung dari kota j, dan 0 jika sebaliknya

$Quantity_i$ = Kuantitas yang sudah dikirim ketika meninggalkan lokasi i

4. Fungsi Tujuan

$$\min \sum_{i \in location} \sum_{j \in location, i \neq j} Distance_{ij} \cdot X_{ij}$$

Bertujuan untuk meminimalkan jumlah total jarak yang ditempuh.

5. Kendala

a. Kendala 1: Pengiriman menuju setiap lokasi tepat satu kali.

$$\forall j \in Customer: \sum_{i \in Location, i \neq j} X_{ij} = 1$$

b. Kendala 2: Pengiriman meninggalkan setiap lokasi tepat satu kali.

$$\forall i \in Customer: \sum_{j \in Location, i \neq j} X_{ij} = 1$$

c. Kendala 3: Kuantitas yang dibawa ke lokasi i setidaknya sama besarnya dengan kuantitas yang dipesan lokasi i dan tetap dalam batas kapasitas kendaraan.

$$\forall i \in Customer: Demand_i \leq Quantity_i \leq Cap$$

d. Kendala 4: Jika lokasi i adalah lokasi pertama, maka kuantitas yang dikirim lebih kecil atau sama dengan dari kuantitas yang dipesan oleh lokasi tersebut.

$$\forall i \in Customer: Quantity_i \leq Cap + (Demand_i - Cap) \cdot X_{1i}$$

e. Kendala 5: Kuantitas yang sudah dikirim lebih besar atau sama dengan dari jumlah permintaan lokasi sebelumnya.

$$\forall i, j \in Customer, i \neq j: Quantity_i \geq Quantity_j + Demand_j - Cap + Cap \cdot X_{ij} + (Cap - Demand_j - Demand_i) \cdot X_{ij}$$

f. Kendala 6: Variabel kuantitas tidak negatif.

$$\forall i \in Customer: Quantity_i \geq 0$$

g. Kendala 7: Variabel X merupakan variabel biner.

$$\forall i, j \in Location, i \neq j: X_{ij} \in \{0,1\}$$

Model matematika kemudian diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman LINGO. Gambar 3 adalah penulisan model matematika di dalam *software* LINGO.

```
MODEL :
!Perancangan Rute Distribusi Air Minum Dalam Kemasan Dengan Vehicle Routing Problem;

TITLE
Penentuan Rute Distribusi Air Minum Dalam Kemasan;

SETS :
    Location/1..17/:Demand,Quantity;           ![i];
    Vehicle/1 2/:Kapasitas;                       ![k];
    LINK2 (Location, Location):X;                 !X(i,j,k);
    LINK1 (Location, Location) :Distance; !c(i,j);
ENDSETS
```

(a)


```

DATA :
    Cap = 1000;
    Demand = 0 79 86 144 59 144 144 144 72 42 528 72 40 106 190 53 72;
    Distance =
0      18.3  24.1  36.4  27.1  2.2   6.9  11.3  25.1  .6   16.9  13.7  9.1   35.3  12.4  7.9   23.8
17.0  0     24.5  39.2  28.5  15.4  19.7  7.3   26.5  16.4  15.6  13.1  8.9   21.2  7.9   9.6   24.3
23.7  24.0  0     12.5  3.2   22.0  23.2  18.7  1.2   23.0  9.0   11.6  16.8  21.9  16.8  17.6  .6
37.1  36.8  12.6  0     10.6  36.9  32.1  31.6  12.8  38.1  21.8  24.4  29.6  25.5  29.7  30.4  13.5
29.4  27.1  3.2   10.5  0     25.9  25.0  21.8  3.0   26.9  12.0  14.6  19.8  24.9  20.0  20.6  3.7
2.4   16.1  21.0  34.2  25.0  0     6.1   8.3   22.9  1.8   14.0  11.5  7.1   33.1  10.2  5.7   20.8
7.1   22.8  23.3  32.7  25.1  5.9   0     13.1  23.0  7.1   13.2  11.9  11.8  42.1  14.9  10.4  22.8
10.4  6.4   18.8  31.2  22.0  9.0   13.2  0     20.0  9.8   12.0  9.4   3.0   25.6  3.5   3.0   18.7
25.1  25.5  1.5   11.6  2.3   25.0  23.6  20.2  0     26.2  10.4  13.0  18.2  23.1  18.1  19.0  1.6
.6    17.7  23.4  35.8  26.5  1.6   7.1   9.9   24.5  0     15.5  13.0  8.6   34.7  11.7  7.2   23.2
16.5  14.6  9.0   21.3  12.0  14.7  13.3  11.7  10.0  15.9  0     4.5   9.7   26.8  9.9   10.5  8.7
14.9  12.2  11.6  23.9  14.6  13.3  12.4  9.3   12.6  14.3  4.6   0     7.3   29.4  7.5   8.1   11.3
9.3   8.3   16.8  29.1  19.9  7.9   12.0  2.6   17.9  8.7   9.8   7.3  0     26.1  3.3   1.9   16.6
36.1  21.0  22.3  25.6  25.4  35.4  39.0  26.1  23.4  36.6  26.9  29.4  26.4  0     25.5  28.3  22.1
12.9  7.4   17.0  29.3  20.1  11.7  14.9  3.4   18.1  12.4  10.0  7.5   3.4   25.1  0     5.3   16.8
7.8   9.3   17.7  35.1  20.8  6.2   10.4  3.0   18.7  7.2   10.7  8.2   1.6   27.6  4.9  0     17.5
23.4  23.8  .6    13.0  3.7   21.8  23.9  18.5  1.6   22.8  8.7   11.3  16.5  22.0  16.7  17.3  0;
ENDDATA
    
```

(b)

```

!Tujuan: Meminimalkan total jarak yang ditempuh;
MIN=@SUM(Location(i):@SUM(Location(j)|j#NE#i:Distance(i,j)*X(i,j)));

!Kendala 1: Pengiriman menuju setiap lokasi tepat satu kali;
@FOR(Location(j)|j#GT#1:@SUM(Location(i)|i#NE#j:X(i,j))=1);

!Kendala 2: Pengiriman meninggalkan setiap lokasi tepat satu kali;
@FOR(Location(i)|i#GT#1:@SUM(Location(j)|i#NE#j:X(i,j))=1);

!Kendala 3: Kuantitas yang dibawa ke lokasi i setidaknya sama besarnya dengan kuantitas yang dipesan lokasi i dan tetap dalam
batas kapasitas kendaraan;
@FOR(Location(i)|i#GT#1:Demand(i)<=Quantity(i));
@FOR(Location(i)|i#GT#1:Quantity(i)<=Cap);

!Kendala 4: Jika lokasi i adalah lokasi pertama, maka kuantitas yang dikirim lebih kecil atau sama dengan dari kuantitas yang
dipesan oleh lokasi tersebut;
@FOR(Location(i)|i#GT#1:Quantity(i)<=Cap+(Demand(i)-Cap)*X(1,i));

!Kendala 5: Kuantitas yang sudah dikirim lebih besar atau sama dengan dari jumlah permintaan lokasi sebelumnya;
@FOR(Location(i)|i#GT#1:@FOR(Location(j)|j#GT#1 #AND# j#NE#i:Quantity(j)>=Quantity(i)+Demand(j)-Cap+Cap*X(i,j)+(Cap-Demand(j)
-Demand(i))*X(j,i));

!Kendala 6: Variabel kuantitas tidak negatif;
@FOR(Location(i)|i#GT#1:Quantity(i)>=0);

!Kendala 7: Variabel X merupakan variabel biner;
@FOR(Location(i):@FOR(Location(j)|i#NE#j:@BIN(X)));

END
    
```

(c)

Gambar 3. Penulisan *Sets* dan Variabel Keputusan (a), Parameter (b), Fungsi Tujuan dan Kendala (c) di LINGO

Hasil atau *output* dari LINGO adalah jarak tempuh optimal, hasil rute, dan kuantitas yang

dibawa oleh setiap kendaraan. *Output* dari LINGO adalah sebagai berikut.

```

Global optimal solution found.
Objective value:                146.9000
Objective bound:                146.9000
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:         1462163
Total solver iterations:        58711274
Elapsed runtime seconds:        10056.70

Model Class:                    MILP

Total variables:                306
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              272

Total constraints:              337
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                1824
Nonlinear nonzeros:            0
    
```

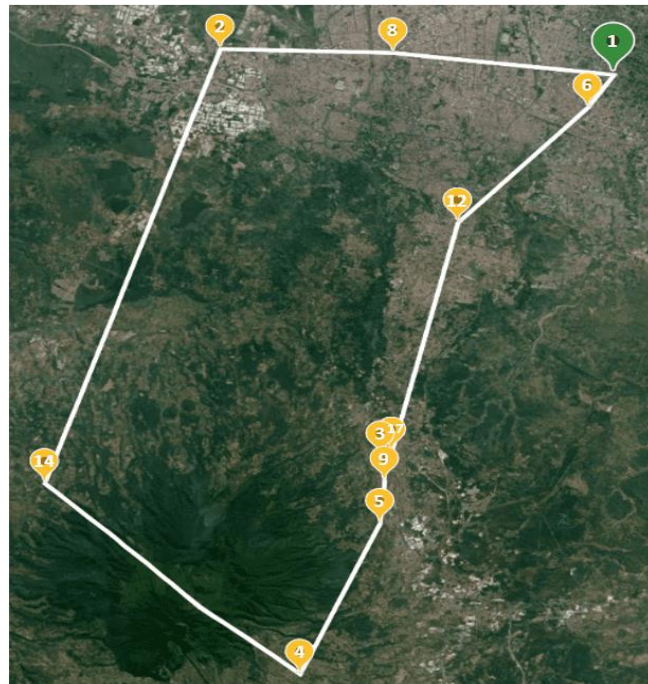
Gambar 4. *Output* LINGO

Gambar 4 menunjukkan *infeasibilities* yang dihasilkan adalah 0 sehingga model yang dijalankan tidak melanggar kendala yang telah ditentukan. Solusi *global optimal* juga berhasil didapatkan sehingga model sudah mencapai hasil yang optimal.

Berdasarkan tabel 1, didapatkan dua rute optimal yang dapat dilakukan distribusi dengan menggunakan dua buah kendaraan. Total jarak tempuh optimal dari kedua rute yang dihasilkan adalah 146,9 km. Rute pertama dirancang untuk mengunjungi 10 lokasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Hasil Rute Optimal

| | |
|--------|----------------------------|
| Rute 1 | 1-6-12-17-3-9-5-4-14-2-8-1 |
| Rute 2 | 1-10-16-13-15-11-7-1 |



Gambar 5. Visualisasi Letak Lokasi dan Rute Distribusi Kendaraan 1

Sedangkan, rute kedua yang ditempuh akan mendistribusikan AMDK ke 6 lokasi dan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Visualisasi Letak Lokasi dan Rute Distribusi Kendaraan 2

Setelah melakukan optimasi, rute yang digunakan sebelumnya dibandingkan dengan rute hasil optimasi. Perbandingan ditampilkan pada Tabel 2. Yang membandingkan antara jarak dan waktu yang ditempuh antara rute awal dengan rute hasil optimasi.

Tabel 2. Perbandingan Jarak dan Waktu pada Rute Awal dan Rute Hasil Optimasi

| Rute Awal | | | |
|---------------------|----------------------------|--------------|---------------|
| Kendaraan | Rute | Jarak (km) | Waktu (Menit) |
| Kendaraan 1 Trip 1 | 1-10-6-16-13-8-15-2-12-1 | 51 | 354 |
| Kendaraan 2 Trip 1 | 1-7-11-17-3-9-5-1 | 55,4 | 308 |
| Kendaraan 2 Trip 2 | 1-14-4-1 | 98 | 246 |
| Total | | 204,4 | 908 |
| Rute Hasil Optimasi | | | |
| Kendaraan | Rute | Jarak (km) | Waktu (Menit) |
| Kendaraan 1 | 1-6-12-17-3-9-5-4-14-2-8-1 | 103,8 | 522 |
| Kendaraan 2 | 1-10-16-13-15-11-7-1 | 43,1 | 289 |
| Total | | 146,9 | 811 |

Berdasarkan tabel di atas, terdapat perubahan pada jarak tempuh dan waktu tempuh yang dilalui oleh kendaraan 1 dan 2. Terdapat pengurangan total jarak tempuh dari rute awal dengan rute akhir sebesar 28%, serta terdapat pengurangan pada total waktu tempuh antara rute awal dengan rute akhir sebesar 11%. Dapat dikatakan bahwa rute optimal berhasil didapatkan karena telah berhasil mengurangi total jarak tempuh dan waktu tempuh dari rute awal.

Hasil studi ini juga memperkuat studi Ibrahim, dkk. [1] bahwa CVRP dapat diterapkan untuk menemukan rute distribusi optimal dari depot awal menuju lokasi para pelanggan dan kemudian kembali lagi ke depot dengan mempertimbangkan kapasitas muatan kendaraan yang digunakan.

Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat adanya kemungkinan perubahan suatu variabel pada model yang asli yang akan mengubah solusi optimal. Parameter yang akan diubah pada penelitian ini adalah parameter kenaikan dan penurunan jumlah permintaan. Perubahan jumlah permintaan dapat berubah sesuai dengan kesepakatan antara perusahaan dengan pelanggan. Parameter permintaan dinaikkan dan diturunkan masing-masing sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, Terdapat beberapa perubahan baik pada rute, muatan, waktu tempuh, dan jarak tempuh. Tidak terdapat perubahan yang besar pada skenario dengan kondisi penurunan permintaan sebesar 5% dan 10%. Perubahan pada rute, jarak tempuh, dan waktu tempuh yang dilalui oleh kendaraan 1 dan 2 dialami ketika kondisi penurunan parameter permintaan sebesar 15%. Pada kondisi kenaikan parameter permintaan sebesar 5%, 10%, dan 15%, rute distribusi terbagi menjadi tiga rute dengan pembagian berupa dua rute dilalui menggunakan kendaraan 1 serta satu rute dilalui menggunakan kendaraan 2. Urutan lokasi rute distribusi, jarak tempuh, dan waktu tempuh juga berubah dalam seluruh kondisi kenaikan parameter permintaan.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rute distribusi yang optimal serta mendapatkan jarak dan waktu tempuh distribusi yang optimal. Penelitian ini menggunakan *Vehicle Routing Problem* untuk menentukan rute distribusi optimal. Dua rute distribusi AMDK yang optimal dihasilkan untuk masing-masing kendaraan. Total jarak tempuh optimal didapatkan untuk kedua rute tersebut yaitu sebesar 146,9 km. Waktu tempuh optimal juga didapat dalam mendistribusikan AMDK pada dua rute optimal yaitu 522 menit untuk kendaraan 1 dan 289 menit untuk kendaraan 2. Perhitungan waktu tersebut sudah termasuk waktu pelayanan yang dilakukan di setiap lokasi.

Jumlah muatan yang didistribusikan menggunakan kendaraan 1 yaitu 75 dus AMDK dan 1 galon dengan total muatan 978 kg. Sedangkan kendaraan 2 mendistribusikan 74 dus AMDK dan 10 galon dengan total muatan 997 kg. Pada kondisi kenaikan permintaan 5%, 10%, dan 15% terjadi penambahan rute menjadi 3 rute sehingga mempengaruhi rute, jarak, dan

waktu tempuh. Selain itu, pengaruh pada rute, jarak, dan waktu tempuh juga dialami pada kondisi penurunan permintaan 15%.

Untuk penelitian selanjutnya, rute pada penelitian ini berikatan erat dengan kondisi jalan sehingga jika ada perubahan berupa penambahan atau pengurangan lokasi distribusi dapat mempengaruhi hasil rute. Analisis lanjutan perlu dilakukan bila hal tersebut terjadi. Kendala yang ada setelah dilakukannya penelitian ini dapat bertambah sesuai dengan kompleksitas sistem distribusi kedepannya sehingga dapat dilakukan penelitian selanjutnya agar dapat menghasilkan rute yang optimal yang telah disesuaikan dengan kondisi saat itu dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi AMDK tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] A. A. Ibrahim, N. Lo, R. O. Abdulaziz, and J. A. Ishaya, "Capacitated Vehicle Routing Problem," *International Journal of Research – Granthaalayah*, vol. 7, no. 3, pp. 310–327, 2019.
- [2] A. Aguirre, M. Coccola, M. Zamarripa, C. Méndez, and A. Espuña, "A robust MILP-based approach to vehicle routing problems with uncertain demands," vol. 29, 2011. doi: 10.1016/B978-0-444-53711-9.50127-9.
- [3] E. Castillo, R. Mínguez, and C. Castillo, "Sensitivity analysis in optimization and reliability problems," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 93, no. 12, 2008, doi: 10.1016/j.res.2008.03.010.
- [4] F. Stavropoulou, "The Consistent Vehicle Routing Problem with heterogeneous fleet," *Comput Oper Res*, vol. 140, 2022, doi: 10.1016/j.cor.2021.105644.
- [5] F. Theurich, A. Fischer, and G. Scheithauer, "A branch-and-bound approach for a Vehicle Routing Problem with Customer Costs," *EURO Journal on Computational Optimization*, vol. 9, 2021, doi: 10.1016/j.ejco.2020.100003.
- [6] I. Kantor, J. L. Robineau, H. Bütün, and F. Maréchal, "A Mixed-Integer Linear Programming Formulation for Optimizing Multi-Scale Material and Energy Integration," *Front Energy Res*, vol. 8, 2020, doi: 10.3389/fenrg.2020.00049.
- [7] M. A. Takan and R. Kasimbeyii, "MULTIOBJECTIVE MATHEMATICAL MODELS AND SOLUTION APPROACHES FOR HETEROGENEOUS FIXED FLEET VEHICLE ROUTING PROBLEMS," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 17, no. 4, 2021, doi: 10.3934/jimo.2020059.
- [8] N. A. Kyriakakis, I. Sevastopoulos, M. Marinaki, and Y. Marinakis, "A hybrid Tabu search – Variable neighborhood descent algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem with time windows in humanitarian applications," *Comput Ind Eng*, vol. 164, 2022, doi: 10.1016/j.cie.2021.107868.
- [9] N. Giedelmann-L, W. J. Guerrero, and E. L. Solano-Charris, "On the Emergency Water Distribution Problem: Optimizing Vehicle Routing Decisions with Deprivation Costs Considerations," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 10, pp. 3166–3171, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.IFACOL.2022.10.216.
- [10] P. Sitek, J. Wikarek, K. Rutezyńska-Wdowiak, G. Bocewicz, and Z. Banaszak, "Optimization of capacitated vehicle routing problem with alternative delivery, pick-up and time windows: A modified hybrid approach," *Neurocomputing*, vol. 423, 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2020.02.126.
- [11] S. Allahyari, S. Yaghoubi, and T. van Woensel, "The secure time-dependent vehicle routing problem with uncertain demands," *Comput Oper Res*, vol. 131, 2021, doi: 10.1016/j.cor.2021.105253.
- [12] S. K. Sharma, S. Routroy, and U. Yadav, "Vehicle routing problem: Recent literature review of its variants," *International Journal of Operational Research*, vol. 33, no. 1, 2018. doi: 10.1504/IJOR.2018.094229.
- [13] V. S. Nguyen, Q. D. Pham, T. H. Nguyen, and Q. T. Bui, "Modeling and solving a multi-trip multi-distribution center vehicle routing problem with lower-bound capacity constraints," *Comput Ind Eng*, vol. 172, p. 108597, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.CIE.2022.108597.
- [14] X. Zhang, L. Chen, M. Gendreau, and A. Langevin, "A branch-and-cut algorithm for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints," *Eur J Oper Res*, vol. 302, no. 1, 2022, doi: 10.1016/j.ejor.2021.12.050.



- [15] Y. Chen, D. Li, Z. Zhang, M. I. M. Wahab, and Y. Jiang, “Solving the battery swap station location-routing problem with a mixed fleet of electric and conventional vehicles using a heuristic branch-and-price algorithm with an adaptive selection scheme,” *Expert Syst Appl*, vol. 186, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.115683.
- [16] Y. Hartono, F. M. Puspita, D. I. Permatasari, and B. Arisha, “LINGO-based on robust counterpart open capacitated vehicle routing problem (RC-OCVRP) model of waste transportation in Palembang,” in *2018 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2018*, 2018, vol. 2018-January. doi: 10.1109/ICOIACT.2018.8350689.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

