

ALGORITMA PENENTUAN RUTE KENDARAAN DENGAN MEMPERHATIKAN KEMACETAN

Muhammad Nashir Ardiansyah

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University

nashir.ardiansyah@gmail.com

Abstrak—Transportasi merupakan salah satu aspek pada logistik yang memberikan kontribusi biaya paling besar [1]. Efisiensi pada aktivitas transportasi dapat memberikan penghematan yang besar pada keseluruhan logistik suatu organisasi. Salah satu penyebab tidak effisiennya aktivitas transportasi adalah kemacetan. Kemacetan dapat menambah waktu dan biaya transportasi yang berimbas kepada menurunnya tingkat pelayanan kepada konsumen. Pada tulisan ini, peneliti akan membahas mengenai pencarian rute aktivitas transportasi yang memperhatikan kemacetan. Algoritma heuristik disusun untuk menghasilkan solusi rute transportasi yang dapat digunakan untuk mengatasi kemacetan.

Kata kunci – Transportasi, *Time Dependent Vehicle Routing Problem*, Kemacetan, Algoritma Heuristik

I. PENDAHULUAN

Kemacetan merupakan salah satu penyebab terjadinya keterlambatan dalam aktivitas transportasi karena mempunyai efek terhadap berfluktuasinya waktu perjalanan [2]. Hal ini tentu saja akan berakibat pada waktu transportasi yang semakin panjang dan kemungkinan keterlambatan yang semakin tinggi. Penurunan tingkat pelayanan kepada konsumen merupakan hal utama yang perlu dihindari. Perencanaan transportasi yang tidak memperhatikan permasalahan kemacetan akan menghasilkan rute transportasi yang tidak efektif karena dimungkinkan akan mengarahkan ke rute yang terkena macet sehingga waktu yang telah direncanakan menjadi tidak sesuai dan terlambat.

Kemacetan terjadi pada waktu-waktu tertentu. Kemacetan biasanya terjadi pada jam sibuk yaitu jam keberangkatan penduduk untuk bekerja dan jam kepulangan penduduk dari bekerja. Hal ini menyebabkan kemacetan mempunyai pola yang dapat diprediksi. Kemacetan akan mengurangi waktu perjalanan karena kecepatan rata-rata kendaraan menurun diakibatkan kepadatan kendaraan di jalan. Pola penurunan kemacetan akan dimodelkan menjadi perubahan waktu tempuh yang akan bergantung kepada waktu atau jam.

Pada tulisan ini, solusi permasalahan kemacetan yang ada pada aktivitas transportasi adalah dengan mengkategorikan ke permasalahan pencarian rute kendaraan atau *vehicle routing problem* (VRP) yang memperhatikan kemacetan. Kemacetan yang menjadi permasalahan utama pada aktivitas transportasi dimodelkan dengan perubahan waktu tempuh dari suatu titik awal ke titik tujuan. Perubahan waktu tempuh diakibatkan oleh

perubahan rata-rata kecepatan kendaraan bergantung kepada waktu keberangkatan.

Permasalahan pada penentuan rute kendaraan ini termasuk pada kategori permasalahan rute kendaraan dengan ketergantungan pada waktu atau *Time dependent vehicle routing problem* (TDVRP) [3]. Salah satu *paper* awal yang membahas TDVRP dengan memperlakukan waktu tempuh diantara dua kunjungan sebagai fungsi dari jarak dan waktu dalam satu hari adalah [4]. Penelitian tentang TDVRP dengan menggunakan waktu bergantung kepada jam dalam suatu horizon perencanaan telah dibahas dengan pola perubahan waktu diskrit oleh [3]. Pemberlakuan perubahan waktu tempuh secara kotinu sehingga dapat menerima segala variasi dari waktu tempuh telah dibahas oleh [2]. TDVRP dengan pola waktu tempuh bersifat stokastik telah diteliti oleh [5].

Tulisan ini dimotivasi oleh permasalahan nyata pada perusahaan pengantar produk makanan ringan. Kategori produk yang diantar adalah produk *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG), sehingga produk bergerak sangat cepat dan harus diantar tepat waktu untuk menghindari penumpukan pengantaran. Rata-rata pengantaran dilakukan dengan angkutan darat dengan beberapa jenis moda truk. Permasalahan utama yang terjadi adalah keterlambatan pengantaran yang disebabkan oleh kesalahan prediksi waktu tempuh yang disebabkan oleh kemacetan.

II. PENDEFINISIAN PERMASALAHAN

Secara umum, permasalahan pencarian rute dimulai dari pen definisian sebuah jaringan $G = \{V, A\}$, dimana $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ adalah kumpulan dari titik kunjungan dengan depot merupakan titik (0) dan pelanggan adalah $(1, 2, \dots, n)$. $A = \{(i, j) | i, j \in V\}$ adalah jaringan yang menghubungkan setiap titik atau kunjungan.

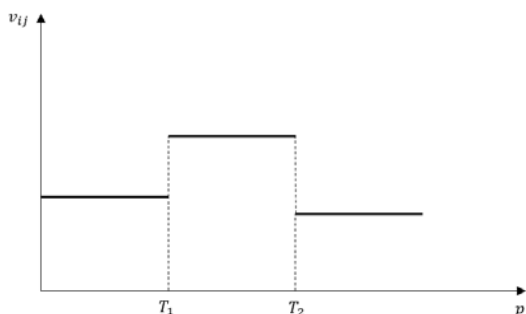
Setiap kunjungan kepada pelanggan mempunyai permintaan dan rentang waktu pengantaran (satu hari). Rentang waktu pengantaran dibagi menjadi p waktu. p adalah jumlah pembagian rentang waktu sesuai dengan karakteristik perubahan yang kecepatan disebabkan oleh kemacetan ataupun hambatan lain. Pembagian rentang waktu membentuk rentang waktu T_1, T_2, \dots, T_p .

Kendaraan berangkat dari depot menuju beberapa titik tujuan atau konsumen $i = 1, 2, \dots, n$ untuk mengantarkan produk yang mempunyai kapasitas q_i . Kendaraan mempunyai batasan kapasitas pengantaran Q yang bergantung kepada jenis

kendaraan k yang digunakan. Pada pengantarannya terdapat matrik jarak tempuh simetris $n \times n$ yang digunakan untuk mengidentifikasi jarak perjalanan dari titik i ke j . Lama perjalanan didapatkan dengan membagi jarak antara titik awal ke titik tujuan d_{ij} dengan kecepatan rata-rata kendaraan dari titik awal menuju titik tujuan v_{ij} pada rentang waktu T_p . Hal ini menjadikan kecepatan kendaraan akan bergantung dengan kategori rentang waktu dimana dia berada $r_{ij}(T_p)$.

Aktivitas transportasi juga mempunyai batasan rentang waktu pelayanan kunjungan. Kendaraan yang tiba tidak pada batas awal e_i rentang waktu sampai batas akhir l_i rentang waktu akan menunggu atau malah ditolak untuk melayani kunjungan tersebut. Batasan ini dikategorikan sebagai *soft time window*.

Kemacetan dimodelkan dengan perubahan kecepatan rata-rata kendaraan v_{ij} . Perubahan kecepatan rata-rata dipengaruhi oleh rentang waktu T_p . Rentang waktu adalah batasan waktu kemacetan yang dipengaruhi oleh jam sibuk suatu kota. Pada waktu sibuk kecepatan rata-rata yang dapat dilalui oleh kendaraan akan berbeda dengan rentang waktu kecepatan rata-rata yang dapat dilalui ketika dalam waktu normal. Ilustrasi penurunan kecepatan rata-rata ada pada Gambar 11.



Gambar 11 Ilustrasi Perubahan Waktu Kecepatan

Titik T_1 dan T_2 merupakan titik potong perubahan kecepatan rata-rata yang dapat ditempuh oleh suatu kendaraan. Berdasarkan Gambar 11, penurunan kecepatan rata-rata terlihat pada titik sebelum T_1 dan dalam rentang $T_1 - T_2$. Hal ini merupakan refleksi dari kemacetan yang terjadi pada saat jam berangkat penduduk kota yaitu pada pagi hari. Rentang setelah T_2 mengilustrasikan penurunan kecepatan rata-rata pada saat jam pulang kantor penduduk kota. Fungsi pendekatan yang dilakukan pada tulisan ini adalah menggunakan formulasi yang tidak kontinu. Hal ini mengakibatkan perubahan kecepatan dari sebelum T_1 ke setelah T_1 dilakukan secara langsung tidak menggunakan fungsi penurunan kecepatan kontinu.

Perubahan kecepatan juga akan merubah waktu tempuh. Perubahan waktu tempuh akan dihitung berdasarkan pembagian antara jarak yang dilalui dengan kecepatan pada rentang waktu tertentu.

$$r_{ijT} = \frac{d_{ij}}{v_T} \quad (1)$$

Hal ini memungkinkan pada suatu pengantaran i ke j mempunyai lebih dari satu waktu tempuh karena total waktu pengantaran berada pada dua rentang yang berbeda.

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{v_1} + \frac{d_{ij}}{v_2} + \dots + \frac{d_{ij}}{v_p} \quad (2)$$

Total waktu tempuh r_{ij} akan menjadi biaya yang akan diperhitungkan pada fungsi tujuan sehingga akan didapatkan minimasi waktu total pengantaran yang memperhatikan kemacetan.

III. MODEL

Pada permasalahan pencarian rute kendaraan yang dibahas di tulisan ini, kemacetan yang diidentifikasi sebagai fungsi dari waktu akan dimodelkan dengan perubahan kecepatan pada selang waktu tertentu. Kecepatan kendaraan akan berubah ketika kendaraan melampaui batas antara dua rentang waktu.

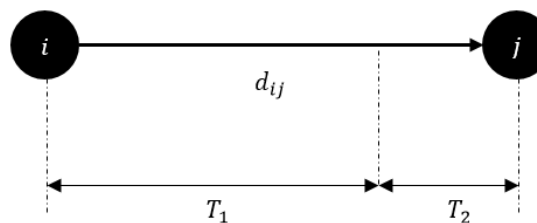
Misalkan terdapat suatu waktu total perencanaan transportasi atau *time horizon* p yang dibagi menjadi beberapa selang waktu T_1, T_2, \dots, T_p . Setiap rentang waktu mempunyai kecepatan v_T yang berbeda setiap rentang waktunya. Hal ini akan menyebabkan adanya berbagai macam kecepatan dalam satu pengantaran bergantung kepada berapa rentang waktu T_p yang dilalui oleh kendaraan. Untuk mendapatkan waktu tempuh, perhitungan (1) digunakan sehingga menghasilkan kombinasi waktu tempuh pada suatu pengantaran.

Model VRP yang digunakan adalah VRP dengan *Soft Time window* dimana kendaraan yang datang tidak dalam waktu rentang (e_i, l_i) akan menunggu atau dikenai biaya keterlambatan yang akan mengurangi fungsi tujuan. Beberapa asumsi yang harus dipenuhi adalah :

- Setiap kendaraan mempunyai satu depot untuk berangkat dan kembali,
- Hanya ada satu kunjungan menuju pelanggan oleh satu kendaraan dan permintaan pada setiap pelanggan tidak melebihi kapasitas maksimal kendaraan.
- Kendaraan yang digunakan adalah kendaraan homogen yang diasumsikan selalu tersedia di depot pada saat dibutuhkan.
- Pelanggan dan depot mempunyai batasan waktu pelayanan.

A. Perhitungan waktu tempuh

Waktu tempuh dari i ke j merupakan total waktu tempuh pada setiap rentang waktu T_k . Model perhitungan waktu tempuh akan mengalami perubahan ketika kendaraan melewati batasan rentang waktu. Misalkan terdapat pengantaran dari titik i ke j dengan jarak d_{ij} .



Gambar 12 Ilustrasi Jarak dengan Selang Waktu

Jarak d_{ij} melalui dua selang rentang waktu T_1 dan T_2 . Waktu tempuh untuk menempuh perjalanan i ke j adalah :

$$r_{ij} = r_{ij1} + r_{ij2} \quad (3)$$

Perhitungan antara setiap r_{ijT} menggunakan perhitungan I dengan kecepatan bergantung kepada setiap T . Kendaraan secara pasti akan menempuh waktu maksimum pada batas akhir rentang Tl_1 . Hal ini membuat waktu tempuh r_{ij1} adalah

$$r_{ij1} = Tl_1 - de_i \quad (4)$$

Dimana de_i adalah waktu keberangkatan dari titik i . r_{ijT_1} akan dihitung dengan mencari batas waktu maksimum pada T_1 yaitu Tl_1 yang kemudian akan dikali dengan kecepatan pada T_1 yaitu v_1 untuk menghasilkan jarak yang sudah ditempuh pada waktu akan melewati batas akhir Tl_1 .

$$d_{ij1} = r_{ij1} v_1 \quad (5)$$

Jarak yang tersisa pada rentang waktu T_2 akan menjadi acuan untuk menghitung sisa waktu yang ditempuh untuk sampai pada titik j .

$$r_{ij2} = \frac{d_{ij} - d_{ij1}}{v_2} \quad (6)$$

Hal ini membuat r_{ij2} merupakan sisa jarak yang dikonversi untuk mendapatkan waktu total yang ditempuh oleh kendaraan dikarenakan adanya kemacetan.

Pendekatan yang sama akan dilakukan untuk menghitung apabila terdapat p rentang waktu yang dilewati oleh sebuah kendaraan untuk menghantarkan suatu produk.

B. Algoritma Pendekatan Model

Pencarian solusi pada tulisan ini adalah dengan menggunakan algoritma pendekatan (heuristik). Algoritma yang dikembangkan adalah merupakan pengembangan dari algoritma *insertion* dengan beberapa evaluasi terhadap perubahan waktu tempuh. Langkah pertama adalah melakukan pengurutan permintaan yang akan dikunjungi. Pengurutan dapat dilakukan dengan pengurutan berdasarkan jarak terjauh, permintaan terbanyak, atau metode lain.

- 1) Tentukan urutan kunjungan atau pelanggan. (Urutan kunjungan dapat berdasarkan batas waktu layanan yang paling awal dan selang waktu layanan yang paling kecil).
- 2) Inisialisasi kunjungan pertama. Tentukan i = depot dan j = pelanggan pertama.
- 3) Tambahkan permintaan pada kunjungan j pada kumulatif kapasitas kendaraan.
- 4) Periksa apabila kapasitas kumulatif tidak melebihi kapasitas maksimum kendaraan.
 - a) Apabila tidak melebihi maka lanjutkan ke iterasi 5.

b) Apabila melebihi hentikan iterasi dan bangkitkan kunjungan berikutnya.

- 5) Inisialisasi jarak antara titik i ke titik j dari matriks jarak untuk mendapatkan d_{ij} .
- 6) Perhatikan rentang waktu T_p dimana kendaraan berada untuk menuju titik j , tentukan kecepatan kendaraan v_T .
- 7) Tentukan waktu tempuh r_{ijT} dengan membagi d_{ij} dengan v_T pada selang waktu T_p yang dilalui saat ini.
- 8) Jumlahkan waktu kumulatif Cu_{ijT} antara waktu keberangkatan dari titik i yaitu de_i dengan waktu tempuh r_{ijT} .
- 9) Periksa apakah waktu kumulatif Cu_{ijT} masih berada di rentang waktu kecepatan yang sama.
 - a) Apabila tidak dalam rentang waktu yang sama maka :

- (1) Kurangi batas waktu rentang kecepatan Tl_1 dengan waktu keberangkatan kunjungan sebelumnya, de_i untuk menentukan waktu tempuh sampai pada batas bergantinya rentang kecepatan r_{ijT} . (Perhitungan IV)
- (2) Hitung jarak yang dapat ditempuh dengan cara mengali kecepatan saat itu dengan waktu yang tersisa. (Perhitungan V)
- (3) Tentukan sisa jarak tempuh berikutnya dengan cara mengurangi jarak total dari titik i ke j dengan jarak yang sudah ditempuh pada rentang kecepatan sebelumnya.

$$d_{ij2} = d_{ij} - d_{ij1} \quad (7)$$

- (4) Gunakan rentang kecepatan yang baru dan hitung waktu tempuh dengan membagi antara jarak dengan kecepatan. (Perhitungan VI)
- (5) Jumlahkan waktu kumulatif Cu_{ij} antara waktu keberangkatan dengan waktu tempuh dari titik i ke j pada seluruh rentang waktu yang digunakan.

$$Cu_{ij} = Cu_{ij1} + Cu_{ij2} + \dots + Cu_{ijT} \quad (8)$$

- (6) Periksa apakah waktu kumulatif masih berada di rentang waktu kecepatan yang sama.

9.1.6.1. Apabila tidak dalam rentang waktu yang sama maka ulangi langkah 9.1.1 untuk rentang waktu berikutnya

9.1.6.2. Apabila dalam rentang waktu yang sama lanjutkan ke langkah 9.2

- b) Apabila dalam rentang waktu yang sama lanjutkan ke iterasi 10.
- 10) Periksa apakah waktu kumulatif Cu_{ij} berada pada rentang waktu pelayanan.

$$e_i \leq Cu_{ij} \leq l_i \quad (9)$$

- a) Apabila kurang dalam rentang waktu pelayanan, maka tentukan waktu menunggu w_i dengan cara mengurangi batas pelayanan awal e_i dengan waktu kumulatif akhir Cu_{ij} ,

$$w_i = e_i - Cu_{ij} \quad (10)$$

- b) Apabila dalam rentang waktu pelayanan, maka lanjutkan ke iterasi 11
- c) Apabila lebih dari rentang waktu pelayanan, maka hentikan iterasi dan bangkitkan iterasi berikutnya dengan titik j adalah depot (kembali ke depot)
- 11) Hitung waktu kedatangan dengan menambahkan waktu kumulatif terakhir dengan waktu menunggu.

$$ar_i = w_i + Cu_{ij} \quad (11)$$

- 12) Hitung waktu keberangkatan kendaraan ke kunjungan berikutnya dengan cara menambahkan waktu kedatangan ar_i dengan waktu pelayanan S_i di kunjungan i .

$$de_{i+1} = ar_i + S_i \quad (12)$$

- 13) Tentukan kunjungan berikutnya dengan menjadikan kunjungan saat ini adalah titik i dan kunjungan berikutnya adalah titik j . Ulangi langkah nomor satu.
- 14) Ulangi langkah nomor 1 – 13 sampai seluruh titik kunjungan terlayani.

Solusi yang dihasilkan oleh algoritma heuristik adalah lokal optimal atau merupakan solusi awal karena pengurutan kedatangan masih menggunakan urutan waktu pelayanan terawal. Penggunaan metode lain dapat menghasilkan solusi yang lebih baik.

IV. CONTOH PERHITUNGAN

Pada bagian contoh perhitungan, peneliti menyertakan kasus sederhana dari pengantaran produk FMCG ke beberapa pelanggannya. Jumlah pelanggan yang disertakan adalah 10. Setiap pelanggan mempunyai rata-rata waktu administrasi dan unload permintaan sekitar 25 waktu. Identifikasi permintaan pelanggan adalah sebagai berikut :

TABEL 4
PERMINTAAN DAN WAKTU LAYANAN PELANGGAN

Pelanggan	Permintaan	Waktu Pelayanan	Pelanggan	Permintaan	Waktu Pelayanan
1	15	0 – 600	6	12	240 – 720
2	20	60 – 720	7	17	240 – 720
3	25	0 – 480	8	13	480 – 720
4	15	360 – 720	9	20	0 – 540
5	10	360 – 720	10	15	120 – 600

Pada wilayah kota yang dilalui, kemacetan diidentifikasi ada pada jam kerja dimana rentang waktu dibagi menjadi p_1 , p_2 , p_3 . Rata-rata kecepatan di rentang tersebut adalah :

TABEL 5
RENTANG WAKTU PERUBAHAN KECEPATAN

Notasi	Rentang Waktu	Kecepatan rata-rata
P1	0 – 240	15 jarak/waktu
P2	240 – 540	25 jarak/waktu
P3	540 - 900	12 jarak/waktu

Kendaraan yang digunakan adalah kendaraan homogen dengan kapasitas 60 satuan. Jarak tempuh antara masing-masing kota dijelaskan menggunakan tabel matrik jarak. Matrik diasumsikan adalah matrik simetris atau jarak antara titik $i \rightarrow j$ sama dengan jarak antara $j \rightarrow i$.

TABEL 6
Matrik Jarak Tempuh

	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	0	102	201	187	174	160	290	145	133	870	670
1		0	980	156	730	136	151	940	122	740	121
2			0	780	176	135	158	105	890	142	790
3				0	143	114	980	134	111	173	133
4					0	960	135	830	760	112	100
5						0	214	155	187	900	750
6							0	134	103	131	115
7								0	780	102	100
8									0	890	980
9										0	102
10											0

Pada proses perhitungannya, pelanggan akan diurutkan berdasarkan yang paling awal waktu pelayanannya dan yang terkecil waktu pelayanannya. Pengurutan pelanggan mana yang akan dikunjungi berikutnya dapat dilakukan dengan metode lain untuk menjamin solusi. Solusi yang ditawarkan pada penelitian ini adalah solusi awal yang bersifat optimal lokal. Algoritma lain dapat digunakan untuk menyempurnakan hasil solusi yang diinginkan.

Rute telah diselesaikan dengan memperhatikan waktu perjalanan yang bergantung terhadap jam kepadatan atau kemacetan. Kecepatan kendaraan akan berganti sesuai dengan rentang waktu yang mempengaruhi kecepatan dimana kendaraan sedang berada. Total jarak yang ditempuh pada aktivitas transportasi adalah 18.330 satuan jarak yang ditempuh

dengan total waktu 1.187 satuan waktu. Perhitungan juga dapat menggunakan model perjalanan jamak (*multi trip*) yang menghasilkan total jarak tempuh 18.330 dan total waktu 1.190 satuan waktu.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kemacetan pada aktivitas transportasi dapat dimodelkan dengan cara memberikan fungsi waktu tempuh kendaraan terhadap selang waktu perjalanan dalam sehari. Algoritma pada penelitian yang dihasilkan telah mampu menyelesaikan permasalahan transportasi yang memperhatikan kemacetan dengan solusi awal yang bersifat lokal optimal. Penelitian selanjutnya dapat memberikan algoritma perbaikan untuk menghasilkan solusi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lambert and J. Stock, *Fundamental of Logistics Management*, New York: Mc Graw-Hill, 1998.
- [2] A. Hagnani and S. Jung, "A dynamic vehicle routing problem with time dependent travel times," *Computer & Operational Research*, vol. 32, pp. 2959 - 2986, 2005.
- [3] S. Ichoua, M. Gendreau and J. Potvin, "Vehicle dispatching with time dependant travel times," *European Journal of Operational Research*, vol. 144, pp. 379-395, 2003.
- [4] C. Malandraki and M. Daskin, "Time dependent vehicle routing problems : Formulations, properties, and heuristic algorithms," *Transportation Sciences*, vol. 26, no. 3, pp. 185 - 200, 1992.
- [5] C. Lecluyse, T. Van Woensel and H. Peremans, "Vehicle routing with stochastic time-dependent," *Operational Research*, vol. 7, pp. 363 - 377, 2009.
- [6] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.