

Rute Distribusi Limbah Medis Covid-19 dengan Metode VRPTW dan Nearest Neighbor

Medical Waste of Covid-19 Distribution Route with Methods of VRPTW and Nearest Neighbor

Siska Amonalisa Silalahi

Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia
siska.silalahi@gmail.com

*corresponding e-mail

This is an open access article under the terms of the **CC-BY-NC** license

ABSTRACT

Medical waste classified as hazardous and toxic (B3). Medical waste cannot be compared to household waste, its needs specific treatment. According to several newspapers, there is a lot of medical waste which handling mixed with household waste. In Surabaya, the number of medical wastes in 2019 reached 8 tons per day, this number certain to increase exponentially in the current Covid19 pandemic. It is important to manage well the medical waste of Covid 19. To support the medical waste management of Covid 19, it is necessary to design distribution route for Covid 19 medical waste. The design of distribution route for Covid 19 medical waste will use the Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW) method and the Nearest Neighbor (NN) algorithm. The design of distribution route aims to obtain an optimal route that can minimize the distribution cost of Covid 19 medical waste. The results showed that it took 58.5 hours of travel time for 6 homogeneous vehicles to distribute the medical waste of Covid 19 from 14 hospitals.

Keywords : *distribution route, medical waste, distribution cost, house hold waste, hospital*

ABSTRAK

Limbah rumah sakit merupakan limbah yang tergolong dalam bahan berbahaya dan beracun (B3), sehingga pengelolaannya tidak bisa disamakan dengan pengelolaan limbah rumah tangga. Menurut beberapa surat kabar banyak limbah medis yang pengelolaannya bercampur dengan limbah rumah tangga. Angka limbah medis tahun 2019 yang lalu mencapai 8 ton per hari, dan angka ini bisa dipastikan bertambah secara eksponensial di masa pandemic Covid 19 seperti sekarang ini. Sehingga pengelolaan limbah medis Covid 19 menjadi penting untuk menjadi perhatian. Dalam pengelolaan limbah medis tersebut, dibutuhkan perancangan rute distribusi limbah medis Covid 19. Perancangan rute distribusi limbah medis Covid 19 ini akan menggunakan metode *Vehicle Routing Problem with Time Window (VRPTW)* dan algoritma *Nearest Neighbor (NN)*. Perancangan rute distribusi limbah medis Covid 19 bertujuan untuk mendapatkan rute yang optimal yang dapat meminimalkan biaya distribusi limbah medis Covid19. Hasil penelitian menunjukkan dibutuhkan waktu perjalanan selama 58, 5 jam untuk 6 kendaraan homogen agar dapat melakukan distribusi limbah medis dari 14 rumah sakit yang menjadi rujukan Covid 19.

Kata Kunci : *rute distribusi, limbah medis, biaya distribusi, limbah rumah tangga, rumah sakit*

A. Pendahuluan

Kegiatan penanganan medis tentu saja meninggalkan limbah medis (Rahno, Roebijoso, dan Leksono 2015). Penanganan limbah medis tidak sama dengan penanganan limbah rumah tangga, bahkan penanganan limbah medis lebih berat. Dan tidak banyak rumah sakit yang memiliki fasilitas pengelolaan limbah medisnya. Hal ini terlihat dari masih banyak limbah medis yang bercampur pengelolaannya dengan limbah rumah tangga (Faiq 2018; Almutoif 2020). Di Surabaya terdapat 89 rumah sakit, belum termasuk klinik kesehatan. Jika limbah medis dibuang sembarangan dapat mencemari lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan masyarakat (Octovie 2019). Angka limbah medis Surabaya pada akhir tahun 2019 saja, mencapai 2.920 ton dengan beban limbah medis per hari mencapai 8 ton (Faiq 2019). Angka tersebut tentu meningkat dengan pesat di masa pandemik Covid19 saat ini.

Limbah medis Covid19 merupakan Limbah Bahan Berbahaya Beracun (LB3).

Hal ini berdasarkan Surat Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor S.167/MENLHK/PSLB3/PLB.3/3/2020

Tahun 2020 tentang Pengelolaan Limbah B3 Medis pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan Darurat Covid-19 yang penanganannya harus sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun; dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.56/MENLHK-SETJEN/2015 Tahun 2015 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dari Fasilitas Pelayanan Kesehatan. Sampai saat ini jumlah limbah medis Covid19 terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah pasien Covid19 itu sendiri. Secara tidak langsung hal tersebut juga menggambarkan trend peningkatan jumlah limbah medis Covid19 karena peningkatan jumlah pasien sebanding dengan peningkatan limbah medis.



Gambar 1. Pertumbuhan Pasien Covid

Sadar akan jumlah limbah medis yang terus meningkat, serta tidak banyak rumah sakit yang memiliki fasilitas pengelolaan limbah medisnya, maka pemerintah Surabaya memberikan perhatian khusus terhadap masalah tersebut. Pemerintah Kota Surabaya sudah memiliki rencana pembangunan fasilitas pengelolaan limbah B3 serta menyediakan lahan seluas 2,4 hektar di daerah Osowilangun, Surabaya untuk pembangunan fasilitas tersebut (Faiq 2018).

Rencana pembangunan fasilitas tersebut pun sudah mendapatkan persetujuan dari DPRD Surabaya (Ginjar 2019). Guna mendukung pengelolaan limbah medis agar dapat berjalan lancar dan optimal, selain pembangunan fasilitas limbah medis, diperlukan juga manajemen transportasi limbah medis. Karena manajemen transportasi yang baik, praktis dapat membantu menghemat sebagian dari total biaya distribusi. Penghematan biaya ini antara lain dengan: menurunkan biaya

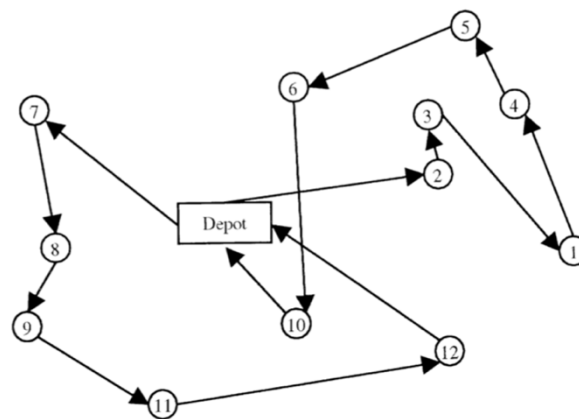
pengangkutan karena rute yang lebih optimal dan jarak yang lebih pendek, mengurangi kegiatan *in-house* dan biaya terkait, mengurangi resiko yang terjadi dikarenakan pengiriman yang tidak tepat waktu. Sehingga salah satu ukuran keberhasilan dari manajemen transportasi adalah rute kendaraan yang efektif. Optimalisasi rute kendaraan dengan berbagai hambatan/batasan (*constraint*) merupakan latar belakang dari *vehicle routing problem* (VRP) (Tan et al. 2001).

Vehicle Routing Problem (VRP) atau dikenal juga dengan sebutan *Capacitated VRP* (CVRP), yakni merancang rute pengiriman yang optimal dimana setiap kendaraan dengan jenis yang sama hanya menempuh satu rute perjalanan dan hanya memiliki satu depo pusat. Tujuan dari VRP adalah menemukan rute perjalanan termurah dimana pelanggan hanya dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan dengan kapasitas kendaraan terbatas yang memulai rute perjalanan dari depot dan mengakhirinya juga di depot (Braekers, Ramaekers, and Van Nieuwenhuyse 2016).

Seiring dengan waktu, penggunaan VRP pun berkembang dan muncul banyak faktor lain. Faktor-faktor tersebut menjadi variasi dari VRP itu sendiri, seperti *Capacitated VRP* (CVRP), yakni terbatasnya kapasitas yang dimiliki setiap kendaraan atau *Multiple Depot VRP* (MDVRP), yakni pelanggan disuplai oleh banyak depot. Model VRP yang juga terkenal adalah *VRP with*

Time Windows (VRPTW), dimana pelanggan harus dipenuhi kebutuhannya dalam jangka waktu tertentu. Ada pula *VRP with Pick-Up and Delivering* (VRPPD), yakni mengambil barang dari pelanggan dan mengantarkan barang ke pelanggan, dengan satu atau lebih pelanggan. Atau *Split Delivery VRP* (SDVRP), yakni melayani pelanggan dengan kendaraan yang berbeda. Sedangkan *Stochastic VRP* (SVRP), yakni munculnya '*random values*' (seperti jumlah pelanggan, jumlah permintaan, waktu pelayanan atau waktu perjalanan) dan juga ada *Periodic VRP*, dimana waktu pengantaran hanya dilakukan di hari tertentu saja (Purnomo 2018). Konsep "*milk run*" yang terkenal pun berasal dari *VRP with Backhaul* (VRPB), dimana dengan menggunakan rute yang sama dapat mengurangi biaya transportasi dan jarak tempuh perjalanan secara signifikan dan meningkatkan utilitas kapasitas kendaraan (Brar dan Saini 2011).

Gambar 2 memberi gambaran ciri dari VRP. Dari gambar 2 tersebut didapat dua solusi rute, yakni Depot → 7 → 8 → 9 → 11 → 12 → Depot; Depot → 2 → 3 → 1 → 4 → 5 → 6 → 10 → Depot. Terkadang depot disimbolkan dengan angka 0. VRPTW merupakan *non-polynomial-hard* (NP-Hard) *problem* yang terkenal (Tan et al. 2001). Dikatakan NP-Hard *Problem* karena masalah akan sangat sulit diselesaikan dengan menggunakan pendekatan eksak tapi bisa diselesaikan dengan pendekatan heuristik dengan hasil yang optimal.



Gambar 2. Vehicle Routing Problem (VRP)

Dalam penelitian ini perancangan rute kendaraan limbah medis Covid19 akan menggunakan metode *Vehicle Routing Problem with time window (VRPTW)* dan

Nearest Neighbor (NN) yang bertujuan untuk mendapatkan rute kendaraan limbah medis yang optimal dengan meminimalkan biaya transportasi limbah medis Covid19.

B. Metode Penelitian

Tabel 1
Distance Matrix (km)

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	55	70	130	150	180	170	130	55	150	150	190	150	130	90
1	55	0	35	95	110	150	190	180	100	35	110	210	200	180	55
2	70	35	0	55	75	110	150	190	120	80	75	170	180	200	35
3	130	95	55	0	85	120	160	200	220	110	100	200	200	230	85
4	150	110	75	85	0	65	110	150	200	85	75	170	180	200	35
5	180	150	110	120	65	0	45	90	160	100	50	65	70	100	100
6	170	190	150	160	110	45	0	45	120	150	90	29	27	55	170
7	130	180	190	200	150	90	45	0	85	190	130	65	22	21	210
8	55	100	120	220	200	160	120	85	0	210	200	140	100	85	140
9	150	35	80	110	85	100	150	190	210	0	65	160	170	200	100
10	150	110	75	100	75	50	90	130	200	65	0	110	110	140	90
11	190	210	170	200	170	65	29	65	140	160	110	0	50	75	190
12	150	200	180	200	180	70	27	22	100	170	110	50	0	35	190
13	130	180	200	230	200	100	55	21	85	200	140	75	35	0	220
14	90	55	35	85	35	100	170	210	140	100	90	190	190	220	0

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini didapatkan dari beberapa sumber, seperti koran atau media massa, website BPS Surabaya, dan *Google map*. Data tersebut adalah daftar rumah sakit

rujukan Covid19 di Surabaya, jarak antar rumah sakit rujukan (tabel 1), jumlah rata-rata limbah medis Covid19 pada setiap rumah sakit rujukan (tabel 2), time windows rumah sakit rujukan,

kapasitas angkut kendaraan, perkiraan lama waktu untuk memuat limbah

medis, dan kecepatan rata-rata kendaraan.

Tabel 2
Jumlah rata-rata limbah medis pada setiap rumah sakit (kg)

Node	Demand
0	0
1	70
2	50
3	60
4	50
5	80
6	70
7	60
8	50
9	80
10	100
11	130
12	100
13	120
14	90

Terdapat 14 rumah sakit terbaik di Surabaya yang ditunjuk oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia untuk menangani pasien Covid19 (Laily 2020). Sehingga terdapat 15 node ditambah dengan depot. Sedangkan kecepatan rata-rata kendaraan yang digunakan 40 km/jam dengan lama waktu proses memuat limbah medis kurang lebih 15 menit.

1) VRP with Time Window (VRPTW)

VRPTW merupakan pengembangan dari CVRP, dimana kunjungan kepada setiap node dimulai pada waktu tertentu dan kendaraan berada di lokasi node selama kunjungan/ proses pengerjaan berlangsung. Jika kendaraan tiba di lokasi node sebelum pelanggan pada node tersebut siap untuk memulai proses pengerjaan/ layanan, maka kendaraan tersebut harus menunggu hingga waktu yang ditetapkan (Toth, Paolo and Vigo 2002). Dalam VRPTW terdapat beberapa batasan, seperti dalam satu rentang waktu dengan satu depot,

jenis kendaraan yang homogen (identik), lokasi setiap node yang berbeda, dan setiap node memiliki time window-nya masing-masing sehingga membatasi waktu kunjung kendaraan (Benjamin and Beasley 2013).

Kendaraan akan melakukan perjalanan dari depot ke satu node (rumah sakit), kemudian ke node (rumah sakit) lainnya untuk mengumpulkan limbah medis, dan harus kembali ke depot pada akhir jam operasional.

Adapun waktu yang diperlukan dalam VRPTW sebagai input adalah:

- *distance matrix*: sebuah tabel matrik yang berisikan jarak antar node yang satu ke node yang lainnya.
- *time windows*: rentang waktu pelayanan pada setiap node. Kendaraan harus mengunjungi node pada rentang waktu yang sudah ditentukan.
- *number of locations*: jumlah lokasi node.

- *number of vehicles*: jumlah kendaraan yang beroperasi.

2) **Nearest Neighbor (NN)**

Nearest Neighbor (NN) adalah salah satu pola algoritma yang paling tua dan paling sederhana dari klasifikasi algoritma yang pertama kali diusulkan oleh Fix dan Hodges pada tahun 1951 (Wang, Neskovic, and Cooper 2007). Algoritma NN merupakan metode heuristik yang digunakan untuk menentukan pola perjalanan dari VRP. Pemecahan masalah, dimana perjalanan dimulai dengan mengunjungi kota (node) yang terdekat dari depot. Kemudian mengunjungi kota (node) terdekat yang belum dikunjungi, dan ulangi proses tersebut hingga semua kota (node) yang ada dikunjungi dan setelah selesai kembali lagi ke depot (Kizilates and Nuriyeva 2013).

Dalam penelitian ini algoritma NN digunakan dengan batasan-batasan, yakni time window dan kapasitas limbah medis. Langkah – langkah dari algoritma NN sebagai berikut:

1. Memilih node secara acak sebagai node awal (depot).
2. Menentukan node terdekat dengan depot untuk dikunjungi.
3. Menentukan node terdekat dengan node sebelumnya untuk dikunjungi.
4. Jika masih ada node yang belum dikunjungi, ulangi langkah 3.
5. Jika semua node sudah dikunjungi, maka kembali ke node awal (depot).

Hasil terbaik bisa didapatkan melalui pendekatan dengan metode algoritma NN dengan melakukan langkah-langkah algoritma lagi pada setiap node (*vertex*) dan mengulanginya untuk ke -n kalinya.

C. Hasil dan Pembahasan

Proses pengolahan data dengan menggunakan VRP with time window (VRPTW) dan Nearest Neighbor (NN) bertujuan untuk mendapatkan rute distribusi

limbah medis Covid19 dengan minimal biaya distribusi. Proses pengolahan data dimulai dengan menggunakan algoritma NN. Algoritma pengerjaan NN yang digunakan diawali dengan mengkonversi matrix jarak ke satuan waktu (dalam menit), hal tersebut dilakukan dengan membagi jarak dengan rata-rata kecepatan kendaraan. Lalu pada matrix waktu, dipilih node *i* yang lokasinya paling dekat dengan depot. Langkah selanjutnya dapat dilakukan bila jumlah limbah medis tidak melebihi kapasitas kendaraan. Jika waktu dari depot ke node *i* tidak memenuhi time window, maka perlu menetapkan waktu kedatangan pertama sebagai jam buka node *i*. Dilanjutkan dengan memasukkan node *i* ke sub-rute dan menghitung waktu keberangkatan kendaraan. Selanjutnya memilih node *k* yang lokasinya paling dekat dengan node *i*. Dimana waktu kedatangan kendaraan di node *j* adalah waktu keberangkatan dari node *i* ditambah dengan jarak node *i* dan *k*. Setelah itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap batasan kapasitas pada node *k*. Dan pemeriksaan pada batasan time window pada node *k*. Jika waktu kedatangan di node *k* jatuh dalam time window yang telah ditentukan maka masukkan node *k* ke sub-rute setelah node *i*. Lalu ulangi kembali ke langkah memilih node *k* yang paling dekat dengan node *i*, dimana waktu kedatangan di node *j* adalah waktu keberangkatan dari node *i* ditambah jarak node *i* dan *k*. Langkah tersebut terus dilakukan sampai semua node terlewati.

Proses selanjutnya, hasil yang didapat dari perhitungan algoritma NN digunakan sebagai input pada perhitungan VRPTW untuk setiap iterasi-nya. Untuk detail formulasi VRPTW yang digunakan sebagai berikut;

Index:

$G = (V, A)$

Dimana;

$V = (0, 1, \dots, n)$; V adalah *vertex set*

$A = (i, j)$; A adalah *arc set*

Pemodelan yang diformulasikan pada penelitian ini memiliki dua batasan. Batasan yang pertama yakni masalah yang dikaji dalam penelitian hanya meliputi rumah sakit

rujukan Covid19 di Surabaya saja, bukan rumah sakit rujukan Covid19 di daerah yang lainnya. Dan batasan kedua adalah biaya yang diperhitungkan pada penelitian ini hanya meliputi biaya bahan bakar (bensin) pada setiap kendaraan yang digunakan untuk mengambil limbah Covid19 dari setiap rumah sakit rujukan Covid19 dan gaji pekerja TPS saja.

Dalam melakukan pemodelan dan perhitungan ada beberapa asumsi yang digunakan. Asumsi pertama adalah menganggap bahwa setiap kendaraan

memiliki kecepatan yang sama. Asumsi kedua, setiap kendaraan membutuhkan bahan bakar yang sama. Selanjutnya asumsi ketiga beranggapan bahwa total waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan limbah medis Covid19 dari setiap rumah sakit rujukan Covid19 adalah sama atau konstan. Dan asumsi terakhir adalah mengabaikan apabila terjadi hambatan-hambatan selama melakukan perjalanan pengambilan limbah Covid dari rumah sakit – rumah sakit rujukan Covid19.

Formulasi:

$$(VRPTW) \min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} X_{ijk} \quad \dots\dots\dots 1$$

Subject to

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad \dots\dots\dots 2$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad \dots\dots\dots 3$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, j \in N, \quad \dots\dots\dots 4$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad \dots\dots\dots 5$$

$$x_{ijk}(w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A, \quad \dots\dots\dots 6$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in N, \quad \dots\dots\dots 7$$

$$E \leq w_{ik} \leq L \quad \forall k \in K, i \in \{0, n+1\}, \quad \dots\dots\dots 8$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K, \quad \dots\dots\dots 9$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i,j) \in A, \quad \dots\dots\dots 10$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i,j) \in A. \quad \dots\dots\dots 11$$

Tujuan dari formulasi (1) tersebut adalah untuk meminimalkan total biaya transportasi. Batasan (2) bahwa rumah sakit hanya dikunjungi tepat satu kali. Lalu untuk batasan (3-5) menunjukkan rute yang harus dilalui oleh kendaraan k. Batasan (6, 8, 9) menjamin kunjungan dilakukan sesuai dengan *time windows* dan kapasitas yang tersedia.

Batasan (7) menunjukkan jika rumah sakit tidak dikunjungi oleh kendaraan k. Dan batasan terakhir (10, 11) bahwa variabel merupakan bilangan biner. Tahapan pengolahan data NN dan VRPTW tersebut dapat dilihat pada tabel 3 tentang pengolahan data.

Tabel 3.
Pengolahan Data

Vehicle 1

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315
8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330
14	135	82,5	52,5	127,5	52,5	150	255	315	210	150	135	285	285	330	0

Vehicle 2

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315
8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330
14	135	82,5	52,5	127,5	52,5	150	255	315	210	150	135	285	285	330	0

Vehicle 3

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315
8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330

Vehicle 4

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315

8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330
14	135	82,5	52,5	127,5	52,5	150	255	315	210	150	135	285	285	330	0

Vehicle 5

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315
8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330
14	135	82,5	52,5	127,5	52,5	150	255	315	210	150	135	285	285	330	0

Vehicle 6

Nodes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	82,5	105	195	225	270	255	195	82,5	225	225	285	225	195	135
1	82,5	0	52,5	142,5	165	225	285	270	150	52,5	165	315	300	270	82,5
2	105	52,5	0	82,5	112,5	165	225	285	180	120	112,5	255	270	300	52,5
3	195	142,5	82,5	0	127,5	180	240	300	330	165	150	300	300	345	127,5
4	225	165	112,5	127,5	0	97,5	165	225	300	127,5	112,5	255	270	300	52,5
5	270	225	165	180	97,5	0	67,5	135	240	150	75	97,5	105	150	150
6	255	285	225	240	165	67,5	0	67,5	180	225	135	43,5	40,5	82,5	255
7	195	270	285	300	225	135	67,5	0	127,5	285	195	97,5	33	31,5	315
8	82,5	150	180	330	300	240	180	127,5	0	315	300	210	150	127,5	210
9	225	52,5	120	165	127,5	150	225	285	315	0	97,5	240	255	300	150
10	225	165	112,5	150	112,5	75	135	195	300	97,5	0	165	165	210	135
11	285	315	255	300	255	97,5	43,5	97,5	210	240	165	0	75	112,5	285
12	225	300	270	300	270	105	40,5	33	150	255	165	75	0	52,5	285
13	195	270	300	345	300	150	82,5	31,5	127,5	300	210	112,5	52,5	0	330
14	135	82,5	52,5	127,5	52,5	150	255	315	210	150	135	285	285	330	0

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	82,5	70	392	1152	392	407	No	TRUE	70	82,5	0-1
2	52,5	50	97	647	459,5	474,5	No	TRUE	120	135	0-1-2
14	52,5	90	993	1092	512	527	No	FALSE			
3	82,5	60	455	803	557	572	No	TRUE	180	217,5	0-1-2-3
4	127,5	50	515	632	684,5	699,5	No	FALSE			
14	127,5	90	993	1092	812	827	No	FALSE			
1	142,5	70	392	1152		15	Yes	FALSE			
10	150	100	1127	1912		15	No	FALSE			
9	165	80	570	879		15	No	FALSE			
5	180	80	1002	1029	992	1007		FALSE	260	397,5	0-1-2-3-5

Perjalanan kendaraan diakhiri karena kapasitas tidak mungkin cukup jika node ditambah lagi.

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0											
8	82,5	50	74	542	82,5	97,5	No	TRUE	50	82,5	0-8
13	127,5	120	154	250	225	240	No	TRUE	170	210	0-8-13
7	31,5	60	486	810	271,5	286,5	No	FALSE			
12	52,5	100	23	275	292,5	307,5	No	FALSE			
6	82,5	70	814	1417	322,5	337,5	No	FALSE			
11	112,5	130	941	1493	352,5	367,5	No	FALSE			
8	127,5	50	74	542	367,5	382,5	Yes				
10	210	100	1127	1912	450	465	No	FALSE			
9	300	80	570	879	540	555	No	FALSE			
4	300	50	515	632	540	555	No	TRUE	220	510	0-8-13-4
14	52,5	90	993	1092	592,5	607,5	No	FALSE			
10	112,5	100	1127	1912	652,5	667,5	No	FALSE			
9	127,5	80	570	879	667,5	682,5	No	TRUE	300	637,5	0-8-13-4-9

Perjalanan kendaraan diakhiri karena kapasitas tidak sudah penuh.

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0											
14	135	90	993	1092	993	1008	No	TRUE	90	135	0-14
10	135	100	1127	1912	1128	1143	No	TRUE	190	270	0-14-10
6	135	70	814	1417	1263	1278	No	TRUE	260	405	0-14-10-6

Perjalanan kendaraan diakhiri karena kapasitas tidak mungkin cukup jika node ditambah lagi

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0											
7	195	60	486	810	486	501	No	TRUE	60	195	0-7
12	33	100	23	275	534	549	No	FALSE			
11	97,5	130	941	1493	598,5	613,5		FALSE			

Perjalanan kendaraan diakhiri karena tidak ada node yang bisa dikunjungi pada time windownya.

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0											
12	225	100	23	275	225	240	No	TRUE	100	225	0-12
11	75	130	941	1493	315	330	No	FALSE			

Perjalanan kendaraan diakhiri karena tidak ada node yang bisa dikunjungi pada time windownya.

Closest Node	Time Distance from Last Node	Demand	Open	Close	Arrival Time	Departure Time	Already in Route?	Time Window Satisfied?	Total Demand	Total Distance	Sub-Route
0											
11	285	130	941	1493	941	956	No	TRUE	130	285	0-11

Perjalanan kendaraan diakhiri karena semua node sudah tercover.

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan metode VRPTW dan NN, maka didapatkan rute optimal untuk setiap kendaraan seperti pada tabel 3 dan 4. Dimana kendaraan 1 mengambil limbah medis Covid19 dari 4 rumah sakit rujukan Covid19 yakni rumah sakit 1, 2, 3, dan 5; kendaraan 2 mengambil limbah medis Covid19 dari 4 rumah sakit rujukan Covid19, yakni rumah sakit 8, 13, 4, dan 9; kendaraan 3 mengambil limbah medis dari 3 rumah sakit rujukan Covid19, yakni rumah sakit 14, 10, dan 6. Sedangkan kendaraan 4, 5, dan 6 mengambil

limbah medis Covid19 hanya dari 1 rumah sakit rujukan Covid19 saja, masing-masing rumah sakit 7, 12, dan 11.

Rute dari keenam kendaraan tersebut dapat mencakup keseluruhan demand atau dengan kata lain dapat mengambil seluruh limbah medis dari 14 rumah sakit rujukan Covid19 sesuai dengan kapasitas dan time window setiap rumah sakit.

Melalui penelitian ini dapat diketahui untuk mendistribusikan seluruh limbah medis Covid19 dari 14 rumah sakit rujukan di Surabaya, maka pemerintah harus dapat

menyediakan minimal 6 kendaraan homogen. Dengan demikian kinerja distribusi limbah medis Covid19 di Surabaya dapat dinilai baik karena dapat mengakomodir seluruh limbah medis Covid19 pada 14 rumah sakit rujukan Covid19.

Hasil perhitungan ini sesuai dengan data yang diolah, jika angka pasien Covid19 terus meningkat dan jumlah rumah sakit rujukan

bertambah maka jumlah kendaraan yang harus disediakan juga harus bertambah seiring peningkatan limbah medis Covid19. Simulasi sensitivitas relatif tidak diperlukan dalam perhitungan, dikarenakan jumlah rumah sakit rujukan, time window setiap rumah sakit, dan jarak dari setiap rumah sakit dapat diketahui atau sudah dapat diketahui lebih dulu.

Tabel 4. Hasil Akhir

Vehicle	Distance Traveled until Back to Depot	Demand Covered	Route
Vehicle 1	577,5	260	0-1-2-3-5-0
Vehicle 2	862,5	300	0-8-13-4-9-0
Vehicle 3	660	260	0-14-10-6-0
Vehicle 4	390	60	0-7-0
Vehicle 5	450	100	0-12-0
Vehicle 6	570	130	0-11-0

D. Simpulan

Dari hasil pengolahan data dengan metode VRPTW dan algoritma NN, distribusi limbah medis Covid19 di Surabaya memerlukan 6 kendaraan dengan jenis yang sama (homogen) untuk dapat mencakup atau mengambil limbah medis dari ke 14 rumah sakit rujukan Covid19.

Distribusi atau pengambilan limbah medis dari 14 rumah sakit tersebut membutuhkan waktu perjalanan sebanyak 3510 menit atau 58, 5 jam untuk 6 kendaraan. Waktu perjalanan ini memenuhi batasan time window yang dimiliki oleh setiap rumah sakit. Dengan demikian kinerja distribusi limbah medis Covid19 di Surabaya dapat dinilai baik, dengan menggunakan 6 kendaraan untuk mengakomodir limbah medis Covid19 di 14 rumah sakit rujukan. Namun hasil penelitian ini hanya sebatas pada data yang diolah, jika jumlah pasien Covid19 dan jumlah rumah sakit rujukan ditambah maka jumlah kendaraan yang dibutuhkan pun akan berbeda. Dan untuk mengetahui jumlah kendaraan distribusi limbah medis pun harus melalui proses perhitungan ulang dan dapat dilakukan dengan yang sama yakni metode VRPTW dan algoritma NN.

E. Daftar Pustaka

- Almutoif. 2020. DLH Jatim Akui Ada Limbah Medis Dibuang di Bekas Tambang Pasir. <https://jatimnet.com/dlh-jatim-akui-ada-limbah-medis-dibuang-di-bekas-tambang-pasir> (diakses tanggal 27 Mei 2020)
- Benjamin, A. M., and J. E. Beasley. 2013. "Metaheuristics with Disposal Facility Positioning for the Waste Collection VRP with Time Windows." *Optimization Letters* 7(7): 1433–49.
- Braekers, Kris, Katrien Ramaekers, and Inneke Van Nieuwenhuyse. 2016. "The Vehicle Routing Problem: State of the Art Classification and Review." *Computers and Industrial Engineering* 99: 300–313. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>.
- Brar, Gurinder Singh, and Gagan Saini. 2011. "Milk Run Logistics: Literature Review and Directions." *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011* 1: 797–801.
- Faiq. 2018. Limbah Medis di Surabaya Membludak dan Tak Terkendali, Risma

- Surati Presiden Jokowi. <https://jatim.tribunnews.com/2018/10/17/limbah-medis-di-surabaya-membludak-dan-tak-terkendali-risma-surati-presiden-jokowi> (diakses 27 Mei 2020)
- Ginanjar. 2019. Sehari Ada 8 Ton Limbah Medis di Surabaya. <https://www.jawapos.com/surabaya/02/12/2019/sehari-ada-8-ton-limbah-medis-di-surabaya/> (dikases tanggal 27 Mei 2020)
- Kizilates, Gozde, and Fidan Nuriyeva. 2013. "On the Nearest Neighbor Algorithms for the Traveling Salesman Problem." *Advances in Intelligent Systems and Computing* 225(1): 207–19. <http://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84882938439&partnerID=tZOtx3y1>.
- Laily. 2020. Profil 14 Rumah Sakit Terbaik di Surabaya, Ditunjuk Kemenkes Tangani Corona. <https://www.merdeka.com/jatim/profil-14-rumah-sakit-terbaik-di-surabaya-ditunjuk-kemenkes-tangani-covid-19.html> (diakses tanggal 28 Mei 2020)
- Octovie. 2019. Wali Kata Risma Sebut Surabaya Butuh Infrastruktur Pengolahan Limbah B3, Ini Alasannya. <https://surabaya.tribunnews.com/2019/06/02/wali-kata-risma-sebut-surabaya-butuh-infrastruktur-pengolahan-limbah-b3-ini-alasannya?> (diakses 27 Mei 2020)
- Paielli, R A, and H Erzberger. 2019. "Trajectory Specification for Terminal Airspace: Conflict Detection and Resolution." *Journal of Air Transportation* 27(2): 51–60. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85068582536&doi=10.2514%2F1.D0132&partnerID=40&md5=27185ef3a17f8dba3d2e9eb11f06b9ff>.
- Purnomo, Agus. 2018. "Penentuan Rute Pengiriman Dan Biaya Transportasi Dengan Menggunakan Metode Clark And Wright Saving Heuristic (Studi Kasus di PT Teh Botol Sosro Bandung)." *Jurnal Logistik Bisnis Politeknik Pos Indonesia* 1(2): 97–117.
- Rahno, Dionisius, Jack Roebijoso, and Amin Setyo Leksono. 2015. "Pengelolaan Limbah Medis Padat Di Puskesmas Borong Kabupaten Manggarai Timur Propinsi Nusa Tenggara Timur." *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari* 6(1): 22–32.
- Taheri, H, A El Gennouni, and A Lyhyaoui. 2019. "A Methodology for Multiple Object Trajectory Prediction in Airport Environment." *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 97(13): 3604–15. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85070550470&partnerID=40&md5=762f4dbb5eba76a5d0aca02d71f80693>.
- Tan, K. C., L. H. Lee, Q. L. Zhu, and K. Ou. 2001. "Heuristic Methods for Vehicle Routing Problem with Time Windows." *Artificial Intelligence in Engineering* 15(3): 281–95.
- Toth, Paolo and Vigo, Daniele. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. ed. The State University of New Jersey Peter L. Hammer, RUTCOR, Rutgers. Philadelphia University, Philadelphia, PA, United States: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Wang, Jigang, Predrag Neskovic, and Leon N. Cooper. 2007. "Improving Nearest Neighbor Rule with a Simple Adaptive Distance Measure." *Pattern Recognition Letters* 28(2): 207–13.
- Wirawan. 2017. Limbah beracun rumah sakit dari Jakarta hingga Surabaya dibuang di tepi jalan Cirebon. <https://www.bbc.com/indonesia/majalah-42406704> (diakses tanggal 27 Mei 2020)