

PENENTUAN RUTE PENGANGKUTAN SAMPAH DI KABUPATEN BATU BARA DENGAN JARAK TERPENDEK DAN KAPASITAS ANGKUT TERBATAS MENGGUNAKAN ALGORITMA SWEEP

Tata Winda Lesmana

Universitas Sumatera Utara, Medan-Indonesia 20155

Suyanto

Universitas Sumatera Utara, Medan-Indonesia 20155

Parapat Gultom*

Universitas Sumatera Utara, Medan-Indonesia 20155

***Abstrak.** Sumber sampah terbesar di Kabupaten Batu Bara adalah pada 10 pasar yang berada di ibukota kecamatan. Sampah tersebut diangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) melalui beberapa rute dengan kapasitas kendaraan terbatas. Permasalahan dalam penelitian ini belum adanya rute optimal pengangkutan sampah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute pengangkutan sampah yang optimal sehingga total jarak minimum dengan menggunakan algoritma sweep dan kapasitas truk angkut terbatas. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan menerapkan model Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) menggunakan pendekatan heuristik berdasarkan algoritma sweep. Berdasarkan hasil penyelesaian CVRP menggunakan algoritma sweep, diperoleh 11 rute pengangkutan sampah yang optimal dengan total jarak tempuh sebesar 987,4 km dan jumlah truk yang dioperasikan cukup 18 unit dari 20 unit truk yang tersedia.*

***Kata Kunci:** Algoritma Sweep, Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Nearest Neighbour, Rute Optimal*

***Abstract.** Mostly, the garbage in Batu Bara Regency are from ten traditional market placed in center of its sub-districts. The garbage are transported to the landfill through several route with trucks that have limited capacity. The problem in this research is about the availability of optimal route of that garbage transportation. This research aims to determination optimal garbage collection route that is minimum in length by using sweep algorithm and limited capacity of dump truck. This problem can be solved by implementing Capacitated vehicle Routing Problem (CVRP) model using heuristic approach with sweep algorithm. According to the result of solving CVRP using sweep algorithm, the researcher has acquired 11 garbage collection route that are optimal with 987,4 Km of total length with just 18 out of 20 available units of truck operated. Therefore, based on the step of problem solving with sweep algorithm, sweep algorithm could optimize the garbage collection route and the amount of vehicles.*

***Keywords:** Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Nearest Neighbor, Optimal Route, Sweep Algorithm*

Sitasi: Lesmana, T.W., & Gultom, P. 2022. Penentuan Rute Pengangkutan Sampah di Kabupaten Batu Bara dengan Jarak Terpendek dan Kapasitas Angkutan Terbatas Menggunakan Algoritma Sweep. *MES (Journal of Mathematics Education and Science)*, 8(1): 19-31.

| | | |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Submit: 28 September 2022 | Revisi: 10 Oktober 2022 | Publish: 20 Oktober 2022 |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|

PENDAHULUAN

Kabupaten Batu Bara merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Sumatera Utara yang semakin berkembang baik dari segi ekonomi, infrastruktur maupun permukiman. Luas wilayahnya mencapai $906,96 \text{ km}^2$ dan kepadatan penduduk 456 jiwa/km^2 . Salah satu faktor lingkungan yang penting dan utama untuk diperhatikan dalam pengembangan wilayah adalah faktor penanganan persampahan, masalah persampahan sering kali menimbulkan permasalahan di beberapa wilayah di Indonesia, karena sarana pelayanan persampahan sangat terbatas dan tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan suatu model yang dapat menggambarkan berbagai masalah dalam bidang transportasi untuk mencapai pelaksanaan kegiatan pengangkutan yang optimal dan efisien serta pemanfaatan sarana transportasi yang ideal.

Dalam pengertian yang luas, sampah diartikan sebagai benda yang dibuang baik dari proses alam maupun dari hasil proses teknologi (Prasetyo, 2020). Di Kabupaten Batu Bara sampah berasal dari sampah rumah tangga dan lingkungan pasar tradisional. Mengacu dari dampak buruk yang ditimbulkan oleh sampah terutama sampah yang ada di pasar, peneliti menemukan permasalahan pada proses kegiatan pengangkutan sampah di Kabupaten Batu Bara. Bahwa proses pengangkutan sampah dari setiap pasar menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang lokasinya berada di Desa Pasar Lapan, Kec. Air Putih, Kab. Batu Bara memiliki 2 beberapa alternatif rute yang belum diketahui rute optimalnya. Dari hasil analisa bahwa pelaksanaan kegiatan pengangkutan, jumlah sarana dan rute pengangkutan yang ada saat ini belum optimal dan kurang efisien.

Dalam sistem distribusi, rute yang dipilih merupakan suatu elemen terpenting dalam meminimumkan jarak yang harus ditempuh dan biaya yang harus dikeluarkan. Jika rute yang ditempuh optimal, maka sistem distribusi akan menjadi lebih efektif dan efisien karena menggunakan jarak terpendek, sehingga elemen-elemen yang melibatkan jarak menjadi minimal pula, seperti biaya transportasi, waktu tempuh, tingkat polusi yang dihasilkan, dan energi yang dikeluarkan (Triputranto, 2017). Permasalahan dalam penentuan rute, termasuk dalam permasalahan Vehicle Routing Problem (VRP) yaitu permasalahan penentuan rute kendaraan untuk memecahkan suatu permasalahan pengiriman dan/atau pengangkutan orang/barang. Masalah pencarian rute optimal kendaraan dapat diaplikasikan menggunakan graf (Hanum et al., 2017).

Salah satu dari variasi masalah VRP tersebut adalah Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) yang menggunakan batasan kapasitas pada beberapa kendaraan yang dipakai. Dalam masalah ini setiap kendaraan mempunyai kapasitas angkut yang terbatas. Setiap kendaraan melakukan pendistribusian sebanyak satu kali pengangkutan sampah yaitu dari titik pusat (TPA) ke setiap titik tujuan (pasar) lalu kembali ke TPA, sehingga suatu sistem distribusi pada penentuan rute menjadi lebih efektif dan efisien (Mappa & Sudaryanto, 2019).

Suatu masalah pendistribusian menghadapi tantangan besar untuk mengatur armada secara efisien. Dalam hal ini, perlu dilakukan studi tentang masalah perutean kendaraan berkapasitas dengan pengambilan dan pengiriman simultan antara titik pusat dengan beberapa titik yang tersebar. Pada penentuan rute pengangkutan sampah di Kabupaten Batu Bara, rute pengangkutan sampah membentuk suatu jaringan yang dapat dibuat ke dalam graf berarah. Namun terdapat masalah pada 3 pengangkutan sampah yang dilakukan dengan adanya batasan kapasitas kendaraan sehingga perlu diperoleh rute yang optimal untuk pengangkutan sampah dengan tidak mengabaikan batasan-batasan yang ada. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah pendistribusian Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) tersebut dapat digunakan metode eksak dan metode heuristik. Namun, pada kasus yang kompleks metode eksak sulit diterapkan karena banyaknya variabel dan persamaan yang harus diselesaikan. Untuk mengatasi masalah ini, metode heuristik berdasarkan Algoritma

Sweep telah dikembangkan dan telah berhasil memaksimalkan penggunaan rata-rata kendaraan dan jarak yang ditempuh secara optimal (Senthil Kumar & Jayachitra, 2016).

Algoritma Sweep melakukan pengurangan jarak tempuh dan waktu yang digunakan dengan mengaitkan titik-titik yang ada dan menjadikannya sebuah rute berdasarkan nilai savings yang terbesar yaitu jarak tempuh antara titik pusat dan titik tujuan (Octora et al., 2019). Pembangkitan rute dilakukan secara berulang-ulang dengan menggunakan kendala yang berbeda untuk memperoleh solusi yang optimal. Sebuah rute dipilih berdasarkan jarak terdekat dan batasan kapasitas menggunakan Algoritma Sweep. Setiap kendala mempengaruhi pemilihan rute untuk memperoleh kombinasi rute yang berbeda. Biaya dan pendapatan operasional dipertimbangkan untuk memilih kombinasi rute terbaik. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa Algoritma Sweep dapat mengatasi masalah jalur kendaraan (Rozalina et al., 2020)

Algoritma Sweep terbagi menjadi dua tahap. Tahap pertama adalah tahap pengelompokan (*clustering*) yaitu pengelompokan awal yang dilakukan dengan menggabungkan titik-titik dalam satu cluster berdasarkan kapasitas maksimal kendaraan. Tahap kedua adalah menentukan urutan rute dari setiap cluster menggunakan metode Nearest Neighbour. Dalam metode Nearest Neighbour, kendaraan bergerak menuju pasar terdekat yang belum dikunjungi dengan volume sampah dari pasar tersebut tidak melebihi kapasitas kendaraan.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik untuk mengetahui rute pengangkutan sampah optimal yang diberikan dalam bentuk penulisan dalam judul “Penentuan Rute Pengangkutan Sampah di Kabupaten Batu Bara Dengan Jarak Terpendek dan Kapasitas Angkut Terbatas Menggunakan Algoritma Sweep”.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan survey dan investigasi lapangan untuk pengumpulan data primer berupa data wilayah pasar dan jarak tempuh antar pasar dengan satuan kilometer menggunakan aplikasi speedometer serta mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber informasi, berupa buku-buku ataupun jurnal-jurnal yang berhubungan dengan *Capacitated Vehicle Routing Problem* menggunakan Algoritma Sweep. Jenis dan sumber data yang digunakan adalah data kuantitatif, yaitu data primer berupa data yang diperoleh dari hasil survey di lapangan mengenai jarak (kilometer) dan rute antar TPA dan Pasar di Kabupaten Batu Bara menggunakan truk dan data sekunder berupa data volume sampah di setiap pasar, wilayah pengangkutan sampah, jumlah truk pengangkut sampah, dan kapasitas truk pengangkut.

Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *Capacitated Vehicle Routing Problem* dengan Algoritma Sweep. Dimana akan dilakukan pembuatan tabel wilayah pasar, pembuatan gambar jarak tempuh antar pasar dengan TPA serta volume sampah masing-masing pasar, penentuan model *Capacitated Vehicle Routing Problem*, pembuatan matriks jarak tempuh, membuat pengelompokan (*clustering*) pengangkutan sampah, dan pembentukan rute pengangkutan metode Nearest Neighbour.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Tabel Wilayah Pasar

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan di Kabupaten Batu Bara, terdapat pasar di beberapa kecamatan penghasil sampah seperti diberikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pasar Penghasil Sampah di Kabupaten Batu Bara (Dalam Ton)

| No | Nama Pasar | Alamat | Kecamatan | Volume Rata-rata |
|----|---|--|-----------------|------------------|
| 1 | Pasar Laut Tador/ Pasar II | Jl. Arjuno - Jl. Arjo Utomo, | Laut Tador | 4,5 |
| 2 | Pasar Tradisional Pagurawan/ Pasar I | Pangkalan Dodek Baru | Medang Deras | 6 |
| 3 | Pasar Pagi Sei Suka/ Pasar III | Sei Suka/Deras, | Sei Suka | 10 |
| 4 | Pasar Delima Indrapura/ Pasar IV | JL Jenderal Sudirman, Indrapura Kota, | Air Putih | 12 |
| 5 | Pasar Pagi Lima Puluh Kota/ Pasar V | Lima Puluh Kota, | Lima Puluh | 8 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 10 | Pasar Hasil Laut Batu Bara/ Pasar VIII | Perkebunan Sei Bejangkar, | Sei Balai | 4,5 |

Pembuatan Gambar Jarak Tempuh

Data jarak tempuh antar pasar dengan satuan kilometer yang berada di beberapa kecamatan di Kabupaten Batu Bara yang diperoleh dengan bantuan *speedometer* ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Jarak Antar Kecamatan (dalam km)

| Pasar | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 | K6 | K7 | K8 | K9 | K10 |
|-------|------|------|----|------|-----|------|-----|------|------|-----|
| K1 | | | | | | | | | | |
| K2 | 27 | | | | | | | | | |
| K3 | 20,1 | 9,6 | | | | | | | | |
| K4 | 26,2 | X | 5 | | | | | | | |
| K5 | X | 40,9 | X | 18 | | | | | | |
| K6 | 42 | X | X | 23,5 | 9,7 | | | | | |
| K7 | X | X | X | X | X | 11,5 | | | | |
| K8 | X | X | X | X | 19 | 17 | 12 | | | |
| K9 | X | X | X | X | X | X | 1,9 | 15,5 | | |
| K10 | 27,8 | X | X | X | X | X | X | X | 12,8 | |

Dimana:

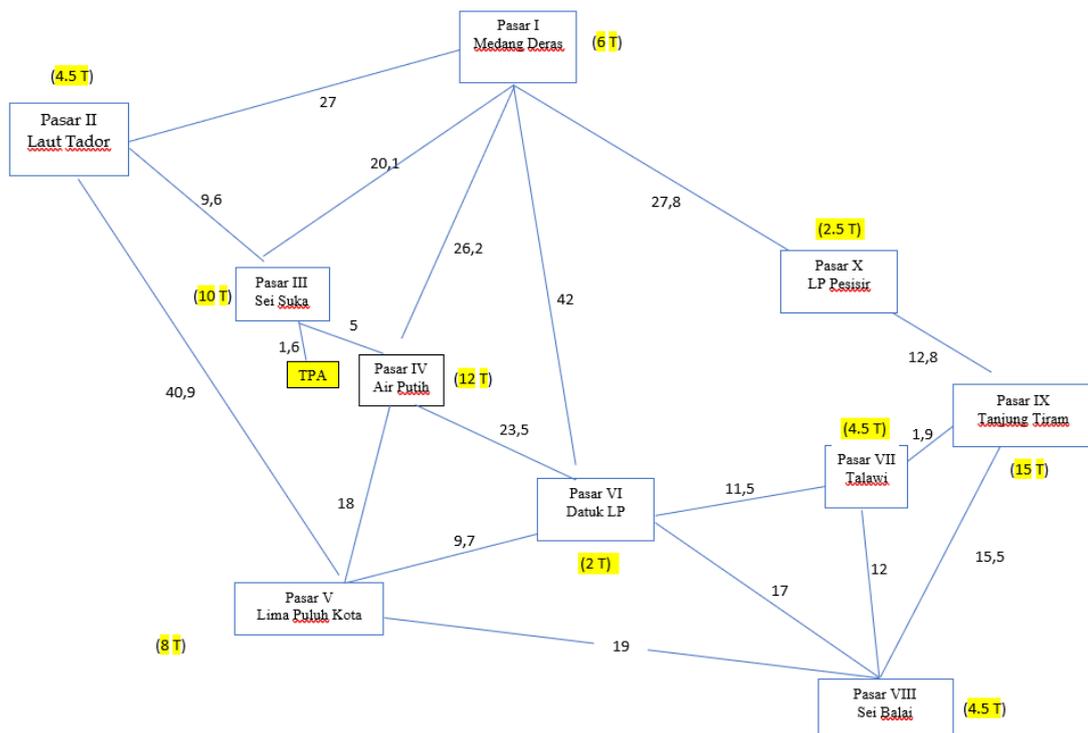
1. K1: Pasar I Kecamatan Medang Deras
2. K2: Pasar II Kecamatan Laut Tador
3. K3: Pasar III Kecamatan Sei Suka
4. K4: Pasar IV Kecamatan Air Putih
5. K5: Pasar V Kecamatan Lima Puluh
6. K6: Pasar VI Kecamatan Datuk Lima Puluh
7. K7: Pasar VII Kecamatan Talawi
8. K8: Pasar VIII Kecamatan Sei Balai
9. K9: Pasar IX Kecamatan Tanjung Tiram
10. K10: Pasar X Kecamatan Lima Puluh Pesisir

Data volume sampah di setiap pasar yang ada di Kabupaten Batu Bara ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Volume Sampah di setiap Pasar (Ton)

| Kode | Kecamatan | Volume Sampah |
|------|--------------------|---------------|
| K1 | Medang Deras | 6 |
| K2 | Laut Tador | 4,5 |
| K3 | Sei Suka | 10 |
| K4 | Air Putih | 12 |
| K5 | Lima Puluh | 8 |
| K6 | Datuk Lima Puluh | 2 |
| K7 | Talawi | 4,5 |
| K8 | Sei Balai | 4,5 |
| K9 | Tanjung Tiram | 15 |
| K10 | Lima Puluh Pesisir | 2,5 |

Berdasarkan data yang diperoleh dapat digambarkan rute antar pasar dengan TPA di Kabupaten Batu Bara. Gambar jarak tempuh dan volume sampah di setiap pasar kabupaten Batu Bara ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jarak Tempuh antar Pasar beserta Volume Sampah

Berdasarkan Gambar 1, masing-masing titik adalah wilayah pasar dan TPA di Kabupaten Batu Bara. Rusuk (garis yang menghubungkan 2 titik) adalah jalan yang dapat ditempuh menuju wilayah pasar yang lain. Angka yang terdapat di masing-masing rusuk adalah bobot dari rusuk yang mempresentasikan jarak (*cost*) yang harus ditempuh untuk sampai pada wilayah yang bersangkutan. Sedangkan kotak yang berwarna kuning adalah informasi volume sampah yang berada di masing-masing pasar.

Penentuan Model *Capacitated Vehicle Routing Problem*

Pengangkutan sampah menggunakan model CVRP dapat didefinisikan Graf $G = (V, E)$. Himpunan V merupakan himpunan titik yang terdiri dari gabungan himpunan pasar A dan TPA, $V = \{0,1,2,3, \dots, 11\}$ dimana TPA dinyatakan dengan 0 dan 11 dan himpunan A berupa pasar 1 sampai dengan 10, $A = \{1,2,3, \dots, 10\}$. Jaringan jalan yang digunakan truk dinyatakan sebagai himpunan rusuk E , yaitu penghubung TPA dengan pasar, juga penghubung antar setiap pasar, $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$. Himpunan kendaraan K merupakan kumpulan kendaraan yang homogen dengan kapasitas q . Unit q_i dimulai dari TPA 0 (dengan asumsi $q_i = 0$). Rute didefinisikan sebagai siklus sederhana dari grafik G yang melewati TPA 0, sehingga total permintaan titik yang dikunjungi tidak melebihi kapasitas kendaraan/truk. Setiap rusuk $\{i, j\} \in E$ memiliki jarak tempuh C_{ij} dan setiap pasar terhubung satu sama lain jarak antar agen simetris, artinya $C_{ij} = C_{ji}$.

Didefinisikan bahwa untuk setiap $\{i, j\} \in E, i \neq 11, j \neq 0$ dan untuk kendaraan k didefinisikan variabel:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \text{ dengan kendaraan } k \\ 0, & \text{jika tidak terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \text{ dengan kendaraan } k \end{cases}$$

Formula matematis CVRP untuk meminimumkan jarak pada pengangkutan sampah

$$Z = 21,7 x_{011} + 21,7 x_{012} + 21,7 x_{013} + 21,7 x_{014} + 21,7 x_{015} + 21,7 x_{016} + 21,7 x_{017} + 21,7 x_{018} + 21,7 x_{019} + 21,7 x_{0110} + 21,7 x_{0111} + 21,7 x_{0112} + 21,7 x_{0113} + 21,7 x_{0114} + 21,7 x_{0115} + 21,7 x_{0116} + 21,7 x_{0117} + 21,7 x_{0118} + 21,7 x_{0119} + 21,7 x_{0120} + 11,2 x_{021} + 11,2 x_{022} + 11,2 x_{023} + 11,2 x_{024} + \dots + 12,8 x_{10920}$$

Dengan kendala:

1. Setiap pasar hanya akan dikunjungi tepat sekali oleh suatu truk, pada permasalahan ini terdapat 20 unit truk dengan jumlah pasar sebanyak 10 yang harus dikunjungi. Permasalahan dapat diilustrasikan sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^{11} \sum_{k=1}^{20} X_{ijk} = 1; i = \{0,1, \dots, 10\}$$

2. Volume sampah semua pasar dalam satu rute tidak melebihi kapasitas truk yaitu 4 ton.

$$\sum_{i=0}^{10} d_i \sum_{j=1}^{11} X_{ijk} \leq 4 \text{ ton}; k = 1,2, \dots, 20$$

3. Setiap rute berawal dari TPA.

$$\sum_{j=1}^{11} X_{0jk} = 1; k = 1,2, \dots, 20$$

4. Setiap truk yang mengunjungi satu titik pasti akan meninggalkan titik tersebut.

$$\sum_{i=0}^{10} X_{ijk} - \sum_{j=1}^{11} X_{jik} = 0; k = 1,2, \dots, 20$$

5. Setiap rute berakhir di TPA.

$$\sum_{i=0}^{10} X_{i0k} = 1 ; k = 1,2, \dots, 20$$

6. Variabel keputusan X_{ijk} merupakan variabel biner.

$$X_{ijk} = \{0,1\} ; i = \{0,1, \dots, 10\}, j = \{1,2, \dots, 11\}, k = \{1,2, \dots, 20\}$$

Dari persoalan diatas dapat dilihat bahwa terdapat 11 titik awal, 11 titik akhir, dan 20 kendaraan. Setiap satu garis (perjalanan/rute) membutuhkan dua titik. Maka diperoleh jumlah rute dari titik i ke titik j dengan menggunakan permutasi adalah sebagai berikut:

$$P_r^n = \frac{n!}{(n-r)!} \rightarrow P_2^{11} = \frac{11!}{(11-2)!} = \frac{11!}{9!} = 11 \times 10 = 110$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diperoleh sebanyak 110 rute (dari titik i ke titik j) yang dapat dihubungkan. Rute tersebut merupakan rute yang dapat dilalui kendaraan. Karena terdapat 20 kendaraan yang tersedia maka diperoleh jumlah kemungkinan dari titik i ke titik j dilakukan oleh 20 kendaraan (X_{ijk}) sebagai berikut:

$$P_2^{11} \times k = 110 \times 20 = 2200 \text{ variabel.}$$

Apabila diselesaikan menggunakan metode eksak yang didasarkan pada perhitungan pemrograman matematis, metode ini tidak memungkinkan untuk diaplikasikan. Maka menurut Toth dan Vigo 2002 metode eksak (analitik) sulit untuk digunakan dalam penyelesaian permasalahan ini. Sehingga digunakan metode heuristik yaitu Algoritma *Sweep* untuk mengatasi masalah CVRP tersebut.

Matriks Jarak Tempuh

Matriks jarak diasumsikan bahwa jarak perjalanan TPA dan pasar terhubung satu sama lain, dan jarak antar pasar ke TPA serta pasar ke pasar lainnya simetris yaitu $C_{ij} = C_{ji}$ dan $C_{ii} = 0$.

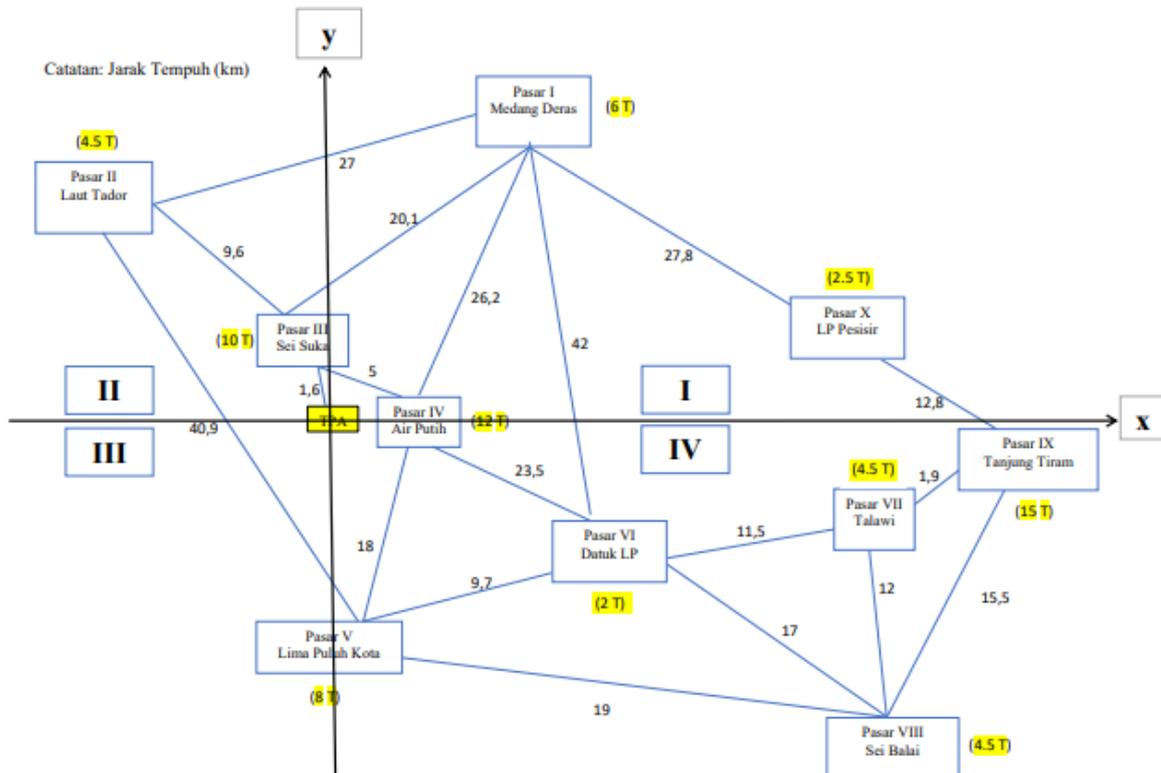
Tabel 4. Matriks Jarak Tempuh dari TPA dan Wilayah Pasar (Km)

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 0 | 21.7 | 11.2 | 1.6 | 6.6 | 24.6 | 30.1 | 41.6 | 43.6 | 43.5 | 49.5 |
| 1 | 21.7 | 0 | 27 | 20.1 | 26.2 | 44.2 | 42 | 53.5 | 59 | 40.6 | 27.8 |
| 2 | 11.2 | 27 | 0 | 9.6 | 14.6 | 32,6 | 38.1 | 49.6 | 55.1 | 51.5 | 54.8 |
| 3 | 1.6 | 20.1 | 9.6 | 0 | 5 | 23 | 28.5 | 40 | 42 | 41.9 | 47.9 |
| 4 | 6.6 | 26.2 | 14.6 | 5 | 0 | 18 | 23.5 | 35 | 37 | 36.9 | 49.7 |
| 5 | 24.6 | 44.2 | 32,6 | 23 | 18 | 0 | 9.7 | 21.2 | 19 | 23.1 | 35.9 |
| 6 | 30.1 | 42 | 38.1 | 28.5 | 23.5 | 9.7 | 0 | 11.5 | 17 | 13.4 | 26.2 |
| 7 | 41.6 | 53.5 | 49.6 | 40 | 35 | 21.2 | 11.5 | 0 | 12 | 1.9 | 14.7 |
| 8 | 43.6 | 59 | 55.1 | 42 | 37 | 19 | 17 | 12 | 0 | 15.5 | 28.3 |
| 9 | 43.5 | 40.6 | 51.5 | 41.9 | 36.9 | 23.1 | 13.4 | 1.9 | 15.5 | 0 | 12.8 |
| 10 | 49.5 | 27.8 | 54.8 | 47.9 | 49.7 | 35.9 | 26.2 | 14.7 | 28.3 | 12.8 | 0 |

Penggambaran dalam Diagram Kartesius

Langkah pertama dalam tahap pengelompokan dalam Algoritma *Sweep* adalah menentukan dan menggambarkan masing-masing posisi pasar dan TPA dalam diagram kartesius (x,y). Sumbu x dan sumbu y saling tegak lurus maka bidang xy kemudian terbagi menjadi 4 bagian

(kuadran) yaitu kuadran I, II, III, IV yang urutannya melawan arah jarum jam dan dimulai dari kanan atas. Pada kasus ini, TPA diletakkan di titik pusat koordinat (0,0). Wilayah-wilayah TPA dan pasar setelah digambarkan dalam diagram kartesius dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Wilayah Pasar dan TPA dalam Koordinat Kartesius

Pengelompokan

Pengelompokan dilakukan terhadap seluruh pasar untuk mengetahui rute awal yang harus dilalui oleh setiap truk. Penentuan rute awal dilakukan berdasarkan koordinat kartesius (x,y). Urutannya dimulai dari pasar di kuadran I sampai kuadran IV yang melawan arah jarum jam, dari sumbu y terkecil, hingga semua titik pasar dilewati oleh truk pengangkut. Hasil dari penentuan rute awal, akan dilakukan pengelompokan untuk memperoleh hasil rute awal yang sudah dikelompokkan. Berdasarkan Gambar 2 diperoleh posisi pasar pada koordinat kartesius (x,y) sebagai berikut:

Tabel 5. Posisi Pasar Pada Koordinat Kartesius (x,y)

| Kuadran | Pasar | Permintaan (Ton) |
|---------|-------|------------------|
| 1 | 4 | 12 |
| | 10 | 2,5 |
| | 1 | 6 |
| 2 | 3 | 10 |
| | 2 | 4,5 |
| 3 | 5 | 8 |
| 4 | 8 | 4,5 |
| | 6 | 2 |
| | 7 | 4,5 |
| | 9 | 15 |

Berdasarkan ketentuan tersebut pengelompokan dilakukan berurutan yang dimulai dari kuadran I sampai ke kuadran IV. Maka urutan yang terbentuk adalah 4, 10, 1, 3, 2, 5, 8, 6, 7, 9. Berdasarkan urutan yang terbentuk dilakukan pengelompokan pada seluruh pasar hingga kapasitas truk terpenuhi. Jika kapasitas truk sudah tidak mencukupi, pasar akan dimasukkan ke dalam kelompok selanjutnya. Begitu seterusnya hingga seluruh pasar dilalui truk pengangkut. Maka kelompok (*cluster*) yang terbentuk adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Data Kelompok Rute dengan Batasan Kapasitas Daya Angkut

| Rute Truk | Pasar | Permintaan (ton) | Jumlah Permintaan (ton) |
|-----------|-------|------------------|-------------------------|
| 1 | 4 | 4 | 4 |
| 2 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | 4 | 4 | 4 |
| 4 | 10 | 2,5 | 2,5 |
| 5 | 1 | 4 | 4 |
| 6 | 1 | 2 | 4 |
| | 3 | 2 | |
| 7 | 3 | 4 | 4 |
| 8 | 3 | 4 | 4 |
| 9 | 2 | 4 | 4 |
| 10 | 2 | 0,5 | 4 |
| | 5 | 3,5 | |
| 11 | 5 | 4 | 4 |
| 12 | 5 | 0,5 | 4 |
| | 8 | 3,5 | |
| 13 | 8 | 1 | 4 |
| | 6 | 2 | |
| | 7 | 1 | |
| 14 | 7 | 3,5 | 3,5 |
| 15 | 9 | 4 | 4 |
| 16 | 9 | 4 | 4 |
| 17 | 9 | 4 | 4 |
| 18 | 9 | 3 | 3 |

Berdasarkan tabel 6 diatas, didapatkan 18 *cluster* yang hanya menggunakan 18 truk pengangkut sampah dengan volume sampah masing-masing *cluster* tidak melebihi kapasitas daya angkut truk. Selanjutnya, akan dibentuk rute masing-masing *cluster*/kelompok dengan metode *Nearest Neighbour*.

Tahap Pembentukan Rute

Pada tahap ini hasil dari penentuan rute awal yang sudah dilakukan pengelompokan ditentukan rute selanjutnya hingga menuju TPA. Data hasil pengelompokan digunakan sebagai titik tujuan pertama setelah keluar dari titik mulai (TPA). Pada tahap pembentukan rute, kelompok pertama sampai kelompok kedelapan belas yang diperoleh pada tahap pengelompokan akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* sehingga akan diperoleh rute terbaik pada masing-masing kelompok. Maka, rute terbaik atau rute

optimal untuk masing-masing *cluster* menggunakan Algoritma *Sweep* dapat dilihat pada tabel 7 sebagai berikut.

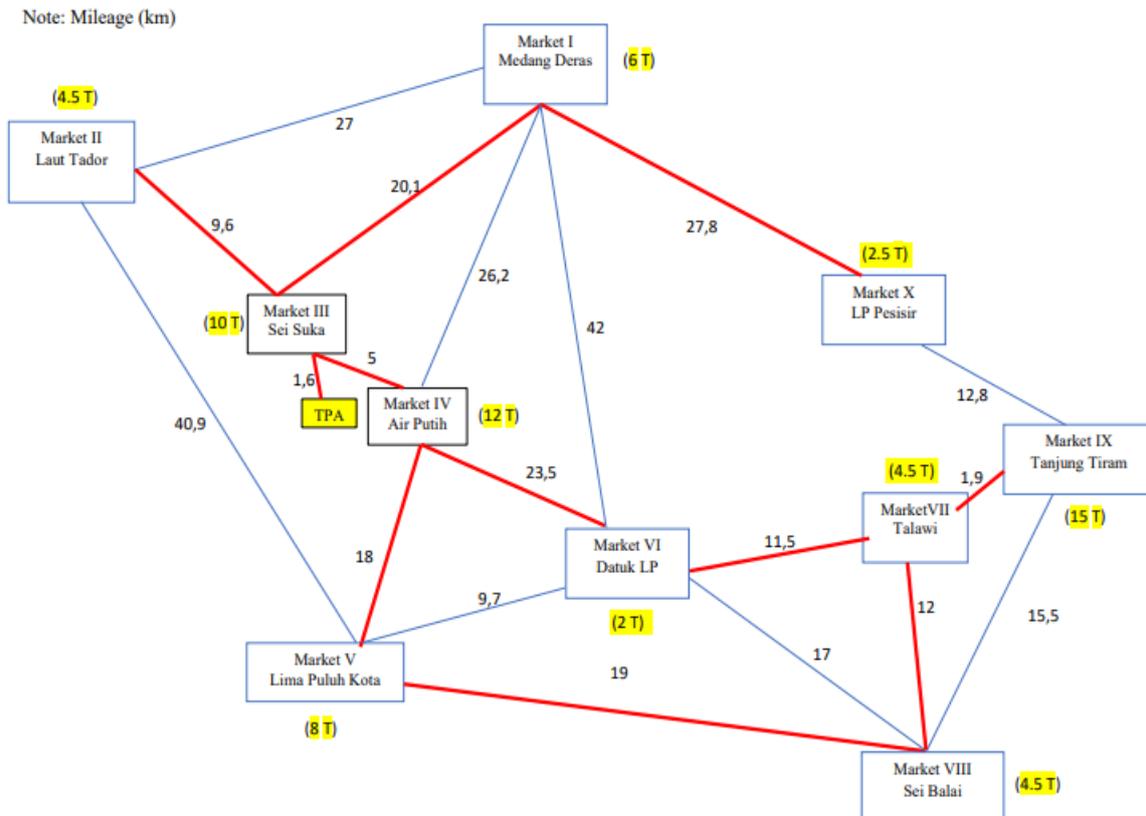
Tabel 7. Rute Pengangkutan Menggunakan Algoritma *Sweep*

| No. | Rute Truk | Berat (ton) | Jarak Tempuh (km) |
|-----|-------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 0 – 4 – 0 | 4 | 13,2 |
| 2 | 0 – 4 – 0 | 4 | 13,2 |
| 3 | 0 – 4 – 0 | 4 | 13,2 |
| 4 | 0 – 10 – 0 | 2,5 | 99 |
| 5 | 0 – 1 – 0 | 4 | 43,4 |
| 6 | 0 – 3 – 1 – 0 | 4 | 43,4 |
| 7 | 0 – 3 – 0 | 4 | 3,2 |
| 8 | 0 – 3 – 0 | 4 | 3,2 |
| 9 | 0 – 2 – 0 | 4 | 22,4 |
| 10 | 0 – 2 – 5 – 0 | 4 | 68,4 |
| 11 | 0 – 5 – 0 | 4 | 49,2 |
| 12 | 0 – 5 – 8 – 0 | 4 | 87,2 |
| 13 | 0 – 6 – 7 – 8 – 0 | 4 | 97,2 |
| 14 | 0 – 7 – 0 | 3,5 | 83,2 |
| 15 | 0 – 9 – 0 | 4 | 87 |
| 16 | 0 – 9 – 0 | 4 | 87 |
| 17 | 0 – 9 – 0 | 4 | 87 |
| 18 | 0 – 9 – 0 | 3 | 87 |
| | Jumlah | 69 | 987,4 |

Setelah melakukan pengelompokan, diperoleh total jarak tempuh yaitu 987,4 km dengan hanya membutuhkan 18 truk pengangkut sampah. Model optimisasi yang diperoleh dari algoritma *Sweep*, diperoleh 11 rute optimal pengangkutan sampah dengan total jarak tempuh sebesar 987,4 km. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 7 dapat digambarkan rute optimal atau jalur terpilih berdasarkan jarak tempuh seperti pada Gambar 3 berikut.

Pembahasan

Dalam penerapan Algoritma *Sweep* dalam menentukan pengangkutan sampah yang paling optimal rute yang akan dilalui oleh masing-masing truk, digunakan dua fase yaitu fase pertama berupa pengelompokan pasar, dan tahap kedua berupa pembangunan rute untuk setiap *cluster*. Tahap *clustering* dilakukan dengan menentukan dan menggambar setiap posisi pasar dan menentukan lokasi TPA sebagai titik pusat koordinat. Berdasarkan tabel tersebut, ditemukan bahwa 18 *cluster* hanya menggunakan 18 sampah truk dengan volume sampah di setiap *cluster* tidak melebihi daya dukung truk.



Gambar 3. Rute Optimal

Pada tahap pembentukan rute, kelompok pertama hingga kelompok kedelapan belas yang diperoleh pada tahap pengelompokan akan diselesaikan dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 8. Rute Pengangkutan Sampah Optimal Setiap Truk

| No Truk | Rute Truk | Berat per-truk | Jarak Tempuh per-truk |
|---------|---|----------------|-----------------------|
| 1,2,3 | TPA → Pasar IV Air Putih → TPA | 4 | 13,2 |
| 4 | TPA → Pasar X LP Pesisir → TPA | 2,5 | 99 |
| 5,6 | TPA → Pasar III Sei Suka → Pasar I Medang Deras → TPA | 4 | 43,4 |
| 7,8 | TPA → Pasar III Sei Suka → TPA | 4 | 3,2 |
| 9 | TPA → Pasar II Laut Tador → TPA | 4 | 22,4 |
| 10 | TPA → Pasar II Laut Tador → Pasar V Lima Puluh Kota → TPA | 4 | 68,4 |
| 11 | TPA → Pasar V Lima Puluh Kota → TPA | 4 | 49,2 |
| 12 | TPA → Pasar V Lima Puluh Kota → Pasar VIII Sei Balai → TPA | 4 | 87,2 |
| 13 | TPA → Pasar VI Datuk Lima Puluh → Pasar VII Talawi → Pasar VIII → TPA | 4 | 97,2 |

| No Truk | Rute Truk | Berat per-truk | Jarak Tempuh per-truk |
|-------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|
| 14 | TPA → Pasar VII Talawi → TPA | 3,5 | 83,2 |
| 15,16,17,18 | TPA → Pasar IX Tanjung Tiram → TPA | 4 | 87 |
| Jumlah | | 69 | 987,4 |

Dari hasil penelitian ini, menggunakan Algoritma *Sweep* dengan cara melakukan pengelompokan dan pembentukan rute menggunakan metode *Nearest Neighbour* diperoleh 11 rute pengangkutan sampah optimal di Kabupaten Batu Bara dengan total jarak tempuh terpendek sebesar 987,4 km dengan hanya membutuhkan 18 truk pengangkut sampah yang memiliki batasan kapasitas (Senthil Kumar & Jayachitra, 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan mengenai penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* menggunakan Algoritma *Sweep* untuk pengangkutan sampah di Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara dengan 10 wilayah pasar dan dengan ketersediaan sebanyak 20 truk pengangkut sampah di Kabupaten Batu Bara, menggunakan Algoritma *Sweep* diperoleh 11 rute pengangkutan sampah yang optimal dengan total jarak tempuh sebesar 987,4 km. Jumlah truk yang dioperasikan cukup 18 dari 20 truk pengangkut sampah yang berbeda. Berdasarkan komposisi yang terbentuk semua sampah yang ada dapat terangkut seluruhnya dalam sehari. Artinya, berdasarkan tahapan penyelesaian Algoritma *Sweep* yaitu tahap pengelompokan (*clustering*) dan tahap pembentukan rute, Algoritma *Sweep* dapat mengoptimalkan rute pengangkutan sampah dan mengoptimalkan jumlah armada.

DAFTAR PUSTAKA

- Hanum, F., Bakhtiar, T., & Hartono, adam priyo. (2017). Masalah Rute Distribusi Multidepot dengan Kapasitas dan Kecepatan Kendaraan Heterogen. *Seminar Nasional Matematika Dan Aplikasinya (SNMA), Oktober, 1–8*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/sp3rn>.
- Mappa, T. M., & Sudaryanto. (2019). Optimasi Rute Truk Pengangkut Sampah Di Kota Depok. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa, 24(3), 226–239*.
- Octora, L., Imran, A., & Susanty, S. (2019). Pembentukan Rute Distribusi Menggunakan Algoritma Clarke & Wright Savings dan Algoritma Sequential Insertion. *Jurnal Reka Integra, 2(2), 1–11*.
- Prasetyo, M. B. K. (2020). Pemetaan Dan Usulan Jadwal Pengambilan Sampah Menggunakan Metode Vehicle Routing Problem Dengan Algoritma Sweep Di Perumahan Bukit Bambe. *JISO : Journal of Industrial and Systems Optimization, 3(1), 26–30*.
- Rozalina, A., Uslianti, S., & Anggela, P. (2020). Optimasi Rute Distribusi Dengan Penyelesaian Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sweep Pada PD . XYZ Di Pontianak. *Jurnal Untan, 4, 45–50*.
- Senthil Kumar, V. V., & Jayachitra, R. (2016). Linear Sweep Algorithm for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery between Two Depots with Several

Nodes. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 12(1), 897–908.

Triputranto, B. (2017). PENGARUH SEGEMENTASI PASAR TERHADAP OPTIMASI DISTRIBUSI PRODUK (Studi kasus pada pengrajin sepatu Cibaduyut Bandung). *Industrial Engineering Journal*, 12(2), 68–80.