



Sistem Informasi Manajemen Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Padat dengan Efisiensi Rute Menggunakan *K-Means Clustering* dan *Travelling Salesman Problem*

Munji Hanafi^{a*}, Budi Warsito^{ab}, Rahmat Gernowo^{ac}

^aMagister Sistem Informasi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

^bDepartemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

^cDepartemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

Naskah Diterima: 20 Juni 2022; Diterima Publikasi: 5 November 2022

DOI: 10.21456/vol12iss2pp107-115

Abstract

The increasing population growth and rapid urbanization have resulted in large amounts of solid municipal waste (SMW). Nowadays, the problem of waste management is a problem that is being experienced by every country in the world. As a result, implementing efficient waste management strategies is increasingly needed. The collection and transportation of solid waste is the most important thing to pay attention to in waste management efficiency to reduce the costs of collecting and transporting solid waste. The research started by collecting data and interviewing the environmental services of Semarang City about the waste transportation system in Semarang City. The results of the data and interviews will then be used as a reference for the system analysis to be made. Then proceed with designing information systems. After that, the information system was developed by applying the Traveling Salesman Problem (TSP) method using a heuristic in the form of K-means Clustering. With the help of OR-Tools, TSP completion does not require node distance, just inputting the coordinates of each node. The study closed system testing. This research proposes a new approach to solving TSP. First is the process of assembling nodes into several clusters. Then, look for the shortest route in each cluster. The research resulted in 21 routes in 16 corridors to transport waste in Semarang City, presented on a map on a web-based Information System as Decision Support System (DSS). The comparison of the methods shows that TSP is the most suitable for this case.

Keywords: Solid Municipal Waste (SMW); Waste Management; K-means Clustering; Traveling Salesman Problem (TSP); OR-Tools; Decision Support System (DSS)

Abstrak

Peningkatan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat telah menghasilkan timbunan jumlah sampah padat di kota-kota besar. Sampai saat ini, masalah sampah perkotaan adalah masalah sedang dialami oleh negara manapun di dunia. Akibatnya, penerapan strategi manajemen sampah yang efisien semakin dibutuhkan. Pengumpulan dan pengangkutan sampah padat ada hal yang paling penting untuk diperhatikan dalam efisiensi manajemen sampah. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data dan wawancara Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Semarang tentang system kerja pengangkutan sampah di Kota Semarang. Hasil dari data dan wawancara, selanjutnya akan dijadikan acuan untuk analisis sistem yang akan dibuat. Kemudian dilanjutkan dengan mendesain sistem informasi. Setelah itu, pengembangan sistem dengan menerapkan metode *Traveling Salesman Problem* (TSP) menggunakan heuristic berupa K-means Clustering. Dengan bantuan OR-Tools penyelesaian TSP tidak membutuhkan jarak antar titik, cukup dengan menginput koordinat setiap titik. Penelitian ditutup pengujian sistem. Penelitian ini mengusulkan pendekatan baru untuk memecahkan TSP. Pertama, pendekatan merakit titik menjadi sejumlah klaster. Kemudian, mencari rute terpendek di setiap klaster. Penelitian menghasilkan 21 rute dalam 16 koridor untuk pengangkutan sampah Kota Semarang yang disajikan dalam peta digital pada Sistem Informasi berbasis web sebagai sistem pendukung keputusan (SPK). Perbandingan metode menunjukkan bahwa TSP adalah yang paling cocok untuk kasus ini.

Kata kunci: Manajemen Sampah Padat; Manajemen Sampah; *K-means Klaster*; *Traveling Salesman Problem* (TSP); OR-Tools, Sistem Pengambilan Keputusan (SPK).

*) Penulis korespondensi: munji_hanafi@yahoo.com

1. Pendahuluan

Pada umumnya pengumpulan dan pengangkutan sampah pada kota besar adalah proses paling penting dan paling mahal dalam manajemen sampah kota, dikarenakan kegiatan tersebut membutuhkan banyak tenaga kerja dan penggunaan banyak armada truk sampah pada proses pengumpulan dan pengangkutannya (Amponsah&Salhi, 2004). Di Indonesia, Pengangkutan sampah padat dimulai dari armada pengangkut menjemput sampah pada Tempat Penampungan sampah Sementara (TPS), kemudian diantarkan ke Tempat Pembuangan sampah Akhir (TPA). Setiap Unit Pelaksana Teknis Kebersihan sampah Daerah (UPTD) Mempunyai tanggung jawab TPS untuk diambil sampahnya kemudian diantarkan ke TPA. Untuk meningkatkan pengumpulan dan pengangkutan sampah dapat dilakukan dengan cara memperbaiki rute perjalanan, pengiriman, perawatan dan penjadwalan. Pada penelitian ini, untuk meningkatkan efisiensi perutean perjalanan pengumpulan dan pengangkutan sampah, saya mengangkat judul: Sistem Informasi Manajemen Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Padat dengan Efisiensi Rute Menggunakan K-Means Clustering dan TSP.

Pada penelitian ini secara umum membahas pengumpulan, pengambilan, dan pengangkutan sampah padat dari sumber perumahan dan perkantoran. Faktor-faktor yang memengaruhi biaya pada pengumpulan dan pengangkutan sampah adalah: 1) berapa banyak UPTD yang melayani pengangkutan sampah; 2) berapa banyak armada yang diterjunkan untuk pengumpulan dan pengangkutan sampah; 3) rute perjalanan armada dari menjemput sampai mengantarkan ketempat pembuangan akhir. Dalam penelitian ini skema yang digunakan untuk meningkatkan pengumpulan dan pengangkutan sampah kota adalah TSP. Skema tersebut dengan tujuan untuk meningkatkan sistem pengangkutan dan pengumpulan sampah, dengan mencari rute paling efisien. Tujuan dari metode ini adalah menentukan rencana rute yang meminimalisir biaya distribusi pada setiap kendaraan (Archetti *et al.*, 2021).

OR-Tools untuk pencarian rute terpendek juga mempunyai batasan-batasan tertentu. OR-Tools akan memilih rute paling optimal untuk mencapai tujuan dengan mempertimbangkan kepadatan lalu-lintas dan kecelakaan lalu-lintas yang terjadi. Lintasan yang dipilih berdasarkan jarak sebenarnya berdasarkan peta digital geografis milik google. Jumlah maksimal yang pencarian rute adalah 25 titik koordinat. OR-Tools juga mempunyai 4 jenis profil pada pencarian jarak, yaitu: berkendaraan, berkendaraan pada lalu lintas, berjalan dan bersepeda. Pada penelitian ini pencarian rute menggunakan profil berkendaraan, artinya OR-Tools akan mencari rute paling optimal dengan mempertimbangkan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dan asumsi

kapasitas bahan bakar kendaraan (Directions API, 2022).

2. Kerangka Teori

Kota besar mempunyai banyak masalah dalam manajemen sampah, terutama pada transportasi pengangkutan sampah. Transportasi pengangkutan sampah pada pedesaan dan perkotaan mempunyai karakter yang berbeda. Salah satu faktor yang membedakan biasanya di kota besar telah terdapat beberapa depot untuk titik keberangkatan truk sampah mengambil sampah di TPS. Jumlah depot sebagai titik keberangkatan menentukan metode yang akan digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah. Pada ibukota provinsi, seperti Kota Semarang, yang telah banyak dibangun depot di beberapa tempat untuk mengangkut sampah. Manajemen pengangkutan sampah padat di Kota Semarang, dimulai dari truk sampah keluar dari depot kemudian mengangkut sampah di TPS kemudian mengantar ke TPA.

2.1. K-means Clustering

Metode K-means merupakan metode *clustering* yang paling sederhana dan umum. Hal ini dikarenakan K-means mempunyai kemampuan mengelompokkan data dalam jumlah yang cukup besar dengan waktu komputasi yang cepat dan efisien. K-Means merupakan salah satu algoritma *clustering* dengan metode partisi (*partitioning method*) yang berbasis titik pusat (*centroid*) selain algoritma K-Medoids yang berbasis objek. Algoritma ini pertama kali diusulkan oleh MacQueen pada tahun 1967 dan dikembangkan oleh Hartigan dan Wong tahun 1975 dengan tujuan untuk dapat membagi M data point dalam N dimensi kedalam sejumlah k *cluster* dimana proses *clustering* dilakukan dengan meminimalkan jarak *sum squares* antara data dengan masing masing pusat *cluster* (*centroid-based*). Algoritma K-Means dalam penerapannya memerlukan tiga parameter yang seluruhnya ditentukan pengguna yaitu jumlah *cluster* k , inisialisasi klaster, dan jarak sistem. Sebagian besar penggunaan K-Means dijalankan secara independent dengan inisialisasi yang berbeda menghasilkan *cluster* akhir yang berbeda karena algoritma ini secara prinsip hanya mengelompokkan data menuju *local minimal*. Salah satu cara untuk mengatasi *local minimal* adalah dengan mengimplementasikan algoritma K-Means, untuk k yang diberikan, dengan beberapa nilai initial partisi yang berbeda dan selanjutnya dipilih partisi dengan kesalahan kuadrat terkecil (Yuan & Yang, 2019).

Tahapan awal, algoritma K-Means adalah memilih secara acak k buah objek sebagai *centroid* dalam data. Kemudian jarak antara objek dan *centroid* dihitung menggunakan *Euclidean distance*. Algoritma K-Means secara *iterative* meningkatkan variasi nilai dalam dalam tiap tiap *cluster* dimana objek

selanjutnya ditempatkan dalam kelompok yang terdekat, dihitung dari titik tengah *cluster*. Titik tengah baru ditentukan bila semua data telah ditempatkan dalam *cluster* terdekat. Proses penentuan titik tengah dan penempatan data dalam *cluster* diulangi sampai nilai titik tengah dari semua *cluster* yang terbentuk tidak berubah lagi (Kalra *et al.*, 2018).

Algoritma k-means:

1. Menentukan berapa banyak *cluster* k dari data set yang akan dibagi.
2. Mengelompokkan data sehingga terbentuk K buah *cluster* dengan titik *centroid* dari setiap *cluster* merupakan titik *centroid* yang telah dipilih sebelumnya.
3. Memperbaharui nilai titik *centroid*.
4. Mengulangi langkah 2 dan 3 sampai nilai dari titik *centroid* tidak lagi berubah.

Pada penelitian ini, jarak antar titik didapatkan dari jarak real (pajang rute perjalanan) berdasarkan peta digital geografis milik google (*google maps*).

2.2 Traveling Salesman Problem

TSP digambarkan sebagai “Jika ada daftar kota beserta jaraknya, berapakah rute terbaik (terpendek, termurah) yang dapat diambil yang mengunjungi semua kota dan kembali ke kota awal (jalur melingkar)” (Pooja dkk., 2017). TSP adalah masalah optimalisasi kombinasi dimana seorang sales bertujuan untuk mengunjungi sejumlah kota dan Kembali ketempat asalnya. Sales tersebut harus mengunjungi setiap kota sekali dengan biaya minimal. Tujuan dari metode ini adalah mencari Panjang rute terpendek yang harus dilewati sales (Rokbani *et al.*, 2020b).

Algoritma untuk penyelesaian TSP:

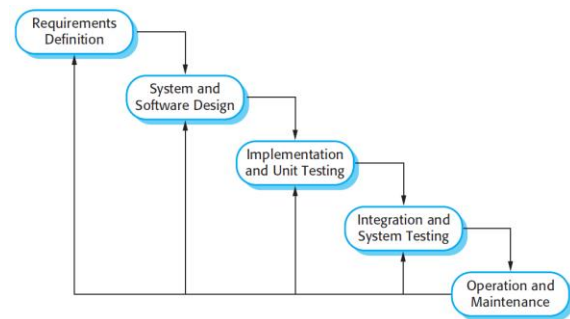
1. Pertimbangkan TPS pertama sebagai titik awal dan TPA sebagai titik akhir, kita bisa anggap TPS terdekat dari depot adalah TPS pertama
2. Kalkulasi semua $(n-1)!$ permutasi TPS
3. Hitung jarak setiap permutasi dan cari permutasi jarak minimum
4. Pilihlah jarak minum sebagai hasil dari algoritma.

Setelah menghitung jarak setiap rute, kemudian memilih yang terpendek. Rute terpendek tersebut adalah solusi rute optimal untuk penyelesaian TSP.

3. Metode

Penelitian ini menggunakan Metode *Waterfall* yaitu proses pembuatan berdasarkan perencanaan (Sommerville, 2011). Metode *Waterfall* digambarkan oleh gambar 1. Metode *waterfall* juga merupakan pusat pengembangan sistem informasi yang efisien. Metode *Waterfall* terdiri dari 5 (lima) Langkah kunci yaitu: Analisis dan Menetapkan Kebutuhan Sistem, Desain Sistem dan Software, Implementasi dan Pengujian Unit, Integrasi dan Pengujian Sistem dan Operasi dan Pemeliharaan. Selain itu, *Waterfall* digunakan dalam merekayasa sistem dan perangkat

lunak dengan mengubah sistem, model, serta metodologi dalam untuk dikembangkan dalam merancang sistem computer maupun konten informasinya.



Gambar 1. *System Development Life Cycle*

Penjelasan prosedur penelitian menggunakan metode *Waterfall* sebagai berikut:

1. Analisis dan Menetapkan Kebutuhan Sistem

Analisis dan menetapkan kebutuhan layanan (fitur), kendala, dan tujuan sistem, ditentukan melalui konsultasi dengan customer. Layanan, kendala, serta tujuan tersebut kemudian dijabarkan secara rinci dan berfungsi sebagai acuan spesifikasi sistem. Mengacu pada undang-undang nomor 18 tahun 2008 tentang pengolahan sampah, setiap Dinas Lingkungan Hidup (DLH) kota memiliki TPS, TPA, armada truk pengangkut sampah dan SDM untuk mengangkut sampah.

2. Desain Sistem dan Software

Proses desain sistem mengalokasikan kebutuhan minimal untuk sistem, baik hardware maupun software untuk menentukan arsitektur sistem secara keseluruhan. Desain software melibatkan pengidentifikasian dan penggambaran purwarupa/portofolio sub-sistem dasar dan hubungannya.

3. Implementasi dan Pengujian Unit

Selama tahap ini, desain perangkat lunak direalisasikan (coding) sebagai satu set-program / unit-program. Pengujian unit mem-verifikasi bahwa setiap unit memenuhi spesifikasinya.

4. Integrasi dan Pengujian Sistem

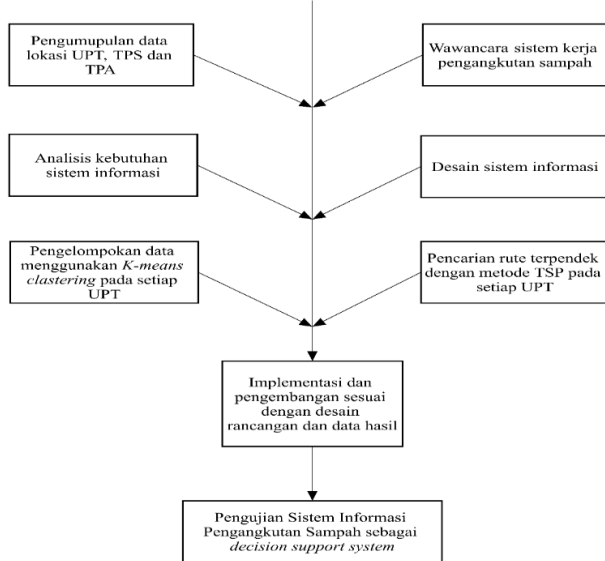
Integrasi dan pengujian sistem unit program atau program individual diintegrasikan dan diuji sebagai sistem yang lengkap untuk memastikan bahwa kebutuhan sistem telah dipenuhi. Setelah pengujian, sistem perangkat lunak dikirimkan ke customer.

5. Operasi dan Pemeliharaan

Sistem dipasang (*deploy*) dan digunakan secara praktis. Pemeliharaan melibatkan koreksi kesalahan yang tidak ditemukan pada fase awal, upgrade sistem dan penambahan layanan (fitur) system saat kebutuhan baru ditemukan.

Secara garis besar prosedur penelitian menggunakan *Waterfall* pada penelitian Sistem Informasi Manajemen Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Padat dengan Efisiensi Rute

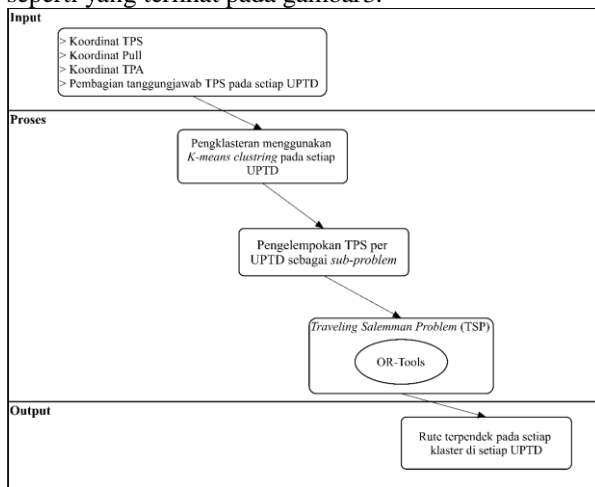
Menggunakan *K-Means Clustering* dan *Travelling Salesman Problem* dapat dilihat pada gambar2.



Gambar 2. Diagram tulang ikan prosedur penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Kerangka sistem pada penelitian ini digambarkan seperti yang terlihat pada gambar3.



Gambar 3. Kerangka sistem informasi

Tiga hal utama yang menjadi dasar dari pembuatan sistem informasi yaitu adanya *input*, *process*, dan *output*. Sistem Informasi Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Padat memiliki masukan berupa koordinat TPS, koordinat depot, koordinat TPA dan pembagian tanggung jawab. Berikut penjelasan singkat mengenai tiga proses tersebut:

4.1 Input

Masukan data berupa atribut sampah berupa lokasi TPS, depot dan TPA. Diperlukan juga pembagian tanggungjawab teknis setiap Unit Pelaksana 18 Teknis Daerah (UPTD) terhadap semua TPS. Data akan

tersimpan di basis data pada server yang dapat ditampilkan pada sistem informasi *web based*.

4.2. Proses

Pengklastran Terapkan pengelompokan k-means pada node, Langkah ini akan membagi node menjadi k *cluster*. Dengan k adalah jumlah masukan yang dapat diterima tools untuk mencari rute terpendek menggunakan TSP.

Traveling Salesman Problem (TSP) dengan OR-Tools . Pada tahap ini, akan dilakukan pencarian rute terbaik dengan menggunakan *Traveling Salesman Problem (TSP)*, dengan setiap hasil kluster menjadi masuknya. Implementasi TSP menggunakan OR-Tools milik Google, sehingga tidak perlu lagi memasukan jarak antar titik. Cukup dengan memasukkan koordinat dengan format *decimal degree*, berupa *latitude* dan *longitude*.

4.3. Output

Hasil dari sistem informasi ini berupa Sistem Informasi berbasis web sebagai sistem pendukung keputusan (SPK) yang menyajikan data dalam bentuk peta digital dan tabel interaktif.

Hasil penelitian dari proses penelitian terdiri dari beberapa tahap, tahap pertama yaitu menentukan jumlah K (kluster) dari jumlah TPS di setiap UPTD. Jumlah K dipilih berdasarkan keterbatasan OR-Tools yang digunakan dalam penelitian ini. OR-Tools mampu menghitung sampai dengan 25 node, dengan ketentuan 2 node sudah digunakan untuk pull dan TPA. Maka akan dipilih jumlah kluster dengan maksimal jumlah anggotanya 23 objek.

4.4. K-Means Clustering

Pada penelitian ini, pengklastran bertujuan hanya untuk memangkas jumlah node yang menjadi masukan pencarian rute terbaik dengan TSP. Setelah melalui proses pengujian, machine OR-Tools Hanya bisa menerima maksimal 24 node sebagai masukan untuk pencarian rute dengan TSP. Maka jumlah kelompok terbaik dalam penelitian ini adalah jumlah kluster terkecil dimana semua anggota kluster tidak lebih dari 24 node.

UPTD 1 menggunakan jumlah kluster 5 dengan anggota tiap-tiap kluster yaitu :Klaster 1 mempunyai anggota 13 TPS, Klaster 2 mempunyai anggota 18 TPS, Klaster 3 mempunyai anggota 8 TPS, Klaster 4 mempunyai anggota 13 TPS, dan Klaster 5 mempunyai anggota 22 TPS. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 1 tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 1 menjadi 5 kelompok

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|---|
| 1 | 13 | TPS BREMIS, TPS KARANGREJO, TPS KENDENG, TPS PAPANDAYAN, TPS PAWIYATAN LUHUR, TPS PS. SAMPANGAN, TPS RINJANI ATAS, TPS RINJANI BAWAH, TPS SEMBOJA, TPS SLAMET, TPS TENGGER, TPS TUMPANG, TPS WATULAWANG |
| 2 | 18 | TPS Kalikuping, TPS MatahariJohar, TPS Petudungan, TPS Sumeneban, TPS Arteri Utara, TPS Boom Lama, TPS Jl. Kesehatan, TPS Kali Asin, TPS Kalibaru, TPS Kebunharjo IV, TPS Kol. Sugiyono, TPS Lodan Raya RW 5, TPS Lodan Raya RW 3, TPS Pasar Boom Lama, TPS Pelindo, TPS Ronggowarsito, TPS RW 9 Bandarharjo, TPS StasiunTawang |
| 3 | 8 | TPS Abimanyu, TPS Jl. Satriya Selatan, TPS LingkarTanjung Mas, TPS Pasar Purwogondo, TPS Pasar Surtikanti, TPS Patriot, TPS StasiunPoncol, TPS Sumber Mas Raya |
| 4 | 13 | TPS BanjirK.Timur, TPS Cempedak, TPS Erlangga, TPS Java Mall, TPS Kusuma Wardani, TPS Lamper Kidul, TPS Lamper Tengah, TPS Ps.Peterongan, TPS Ps.Wonodri, TPS RS Roemani, TPS Singosari Timur, TPS UNDIP, TPS Stadion |
| 5 | 22 | TPS GN. GEBYOK, TPS LEMPONGSARI, TPS GergajiB.Kambang, TPS HOS Cokroaminoto, TPS KalisariBaru, TPS MugasDalam, TPS Prop Jateng, TPS Ps.Bulu, TPS Ps.Randusari, TPS Rimba Graha, TPS RS Karyadi, TPS Wonosari, TPS Bima, TPS BlkgLawangSewu, TPS Citraland, TPS Gajahmada, TPS Karangсарu, TPS Kembangsari, TPS MatahariSimpang Lima, TPS RM Nusantara, TPS RS Telogorejo, TPS Thamrin |

UPTD 2 menggunakan jumlah klaster 4 dengan anggota tiap-tiap klister yaitu: Klaster 1 mempunyai anggota 19 TPS, Klaster 2 mempunyai anggota 13 TPS, Klaster 3 mempunyai anggota 19 TPS, dan Klaster 4 mempunyai anggota 7 TPS. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 2 tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 2 menjadi 4 kelompok

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|--|
| 1 | 19 | Kontainer Pasar Krempyeng, KontainerTambakrejo, TPS Pasar Waru Indah, TPS Rusunawa, TPS Tambakrejo, TPS Kawasan IndustriTerboyo, TPS Pasar KubroGenuk, TPS PerumGebangsariJlPadi Utara, TPS PerumTerboyoKulon, TPS PT Amor Terboyo, TPS PT Jamu Nyonya Meneer, TPS PT Lucky Terboyo, TPS Terminal Terboyo, TPS MuktiharjoKidul, TPS Liar (Open Dumping), TPS Manisharjo, TPS Mlatibaru, TPS Pasar Rejomulyo, TPS X-Pasar Waru Lama |
| 2 | 13 | Pedurungan Tengah, TPS Gemah, TPS Giant, TPS Palebon, TPS Pasar |

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|--|
| 3 | 19 | PedurunganKidul, TPS Pedurungan Lor, TPS Pedurungan Tengah, TPS Plamongan Hijau, TPS PT Bitratek, TPS RPU, TPS RusunBondowoso, TPS Terminal Penggaron, TPS Tlogomulyo |
| 4 | 7 | TPS Gempolsari, TPS Jolotundo, TPS Karangingas, TPS Kimar, TPS Masjid Agung, TPS Pasar Gayamsari, TPS PLTG, TPS Sambirejo, TPS Sawah Besar, TPS Kalicari, TPS Bugangan, TPS Karang Tempel, TPS Mlatiharjo, TPS Pasar Dargo, TPS Pasar Karimata, TPS Pasar Langgar Indah, TPS RumahPompa, TPS Tirtoyoso I, TPS Tirtoyoso IV |
| | | TPS Liar - Tambi, TPS Pasar Banget Ayu Kulon, TPS Pasar Genuksari, TPS PerumKopriBanget ayu kulon, TPS PerumTrimulyo, TPS Rusun RW 6 Karangroto, TPS RW 3 Karangroto |

UPTD 3 menggunakan jumlah klaster 5 dengan anggota tiap-tiap klister sebagai yaitu: Klaster 1 mempunyai anggota 17 TPS, Klaster 2 mempunyai anggota 13 TPS, Klaster 3 mempunyai anggota 5 TPS, Klaster 4 mempunyai anggota 19 TPS, dan Klaster 5 mempunyai anggota 19 TPS. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 3 tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 3 menjadi 4 kelompok

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|--|
| 1 | 17 | TPS Ada Swalayan, TPS Alam Indah, TPS Batalayan 400R, TPS Bukit Regency, TPS Bukitsari, TPS DiklatSronдол, TPS GrahaEstetika, TPS Hotel Plasa, TPS Hotel Serata, TPS Murbei, TPS Pasar Srodol, TPS Resto Panorama, TPS RW 1 SronдолKulon, TPS Sronдол Asri, TPS Trangkil, TPS POLITEK, TPS KontainerPollines |
| 2 | 3 | TPS Brimob, TPS Gedawang, TPS Kantor BPK Jateng, TPS Meranti, TPS Pasar Banyumanik, TPS Pasar Damar, TPS Pasar Rasamala, TPS PerumBrigrif, TPS PerumahanSetiabudi, TPS PudakPayung, TPS RW 2 Banyumanik, TPS Swiss Roti, TPS Ulin |
| 3 | 5 | TPS BUKIT KENCANA, TPS PS. METESEH, TPS RW VIII BUKIT DIPONEGORO, TPS TEMBALANG, TPS PerumB.Diponegoro RW 8 |
| 4 | 19 | TPS Pasar Jatingaleh, TPS Sukorejo, TPS Genuksari, TPS Jangli, TPS JomblangPerbalan, TPS Kagok, TPS Kasipah, TPS Kawi, TPS Kr.GunungRw III, TPS Kr.Gunung RW V, TPS LompoBatang Barat, TPS LompoBatang Timur, TPS Pasar Candi, TPS Sinabung, TPS Sriwijaya, TPS TNI Jomblang, TPS Wilis, TPS Sukorejo, TPS JANGLI PERMAI, TPS KINIBALU |
| 5 | 19 | TPS ASPOL, TPS CEMPAKA, TPS ELANG RAYA, TPS GRAHA WAHID, TPS INTAN RAYA, TPS KETILENG ATAS, TPS KETILENG BAWAH, TPS KETILENG/BLOK N, TPS KINI JAYA, TPS MENUR, TPS PERUM PSSI, TPS PS. KEDUNGMUNDU, TPS RSUD, TPS |

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|---|
| | | RW VI TANDANG, TPS SALAK, TPS SEMAWIS, TPS SENDANGGUWO, TPS TULUS HARAPAN, TPS WANA MUKTI |

UPTD 4 menggunakan jumlah klaster 4 dengan anggota tiap-tiap klaster sebagai yaitu: klaster 1 mempunyai anggota 3 TPS, Klaster 2 mempunyai anggota 15 TPS, Klaster 3 mempunyai anggota 8 TPS, dan Klaster 4 mempunyai anggota 18 TPS. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 4 tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil *K-means clustering* pada TPS di UPTD 4 menjadi 4 kelompok

| Klaster | Jumlah TPS | TPS |
|---------|------------|---|
| 1 | 3 | TPS Pabrik Kulit Candra, TPS Bojongsalaman, TPS Condrukusumo, TPS Kumudasmoro, TPS Ngemplak, TPS Pasar Ngemplak, TPS Puspwarno Selatan |
| 2 | 15 | TPS Pasar Purwoyoso, TPS Purwoyoso, TPS Hanoman, TPS KalibantengKidul - Arogorejo, TPS KalibantengKidul - Sri Rejeki, TPS KalibantengKulon, TPS Pasar Manyaran, TPS Rumah Dinas WKKD, TPS Wologito |
| 3 | 8 | Pasar Mijen, TPS Beringin Lestari, TPS LapasKedungpane, TPS Wates, TPS Wonosari RW 1, TPS Wonosari RW 2, TPS Country Form-KwasanIndustri, TPS Mangunharjo-Sal. Irigasi, TPS Pasar Mangkang, TPS Randugarut, TPS RM Sampurna |
| 4 | 18 | TPS Kecamatan, TPS Pasar Ngaliyan, TPS Graha Padma, TPS Tambakharjo, TPS Jrasah RW 1, TPS Jrasah RW 3, TPS Pasar Jrasah, TPS PT KharismaKlasik INA, TPS Tambak Aji, TPS Tugurejo 1, TPS Tugurejo 2 |

5.2 Travelling Salsesman Problem

UPTD 1 menggunakan jumlah klaster 5 dimana setiap klister menjadi lintasan koridor dengan 5 rute, detail sebagai berikut : Klaster 1 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 2 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 3 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 4 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 5 mempunyai 1 koridor dan 1 rute. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD1 tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD1

| Klaster | Rute |
|---------|---|
| 1 | TPA → TPS PS. SAMPANGAN → TPS KENDENG → TPS BREMIS → TPS TUMPANG → TPS WATULAWANG → TPS PAPANDAYAN → TPS SLAMET → TPS RINJANI BAWAH → TPS RINJANI ATAS → TPS SEMBOJA → TPS TENGGER → TPS KARANGREJO → TPS PAWIYATAN LUHUR → TPA |
| 2 | TPA → TPS Kali Asin → TPS Lodan Raya RW 3 → TPS Lodan Raya RW 5 → TPS Pasar Boom Lama → |

| Klaster | Rute |
|---------|---|
| 3 | TPS Jl. Kesehatan → TPS Boom Lama → TPS Kalibaru → TPS Kol. Sugiyono → TPS Petudungan → TPS Kalikuping → TPS Sumeneban → TPS MatahariJohar → TPS StasiunTawang → TPS Ronggowarsito → TPS Pelindo → TPS Kebunharjo IV → TPS RW 9 Bandarharjo → TPS Arteri Utara → TPA Pull → TPS Pasar Surtikanti → TPS Abimanyu → TPS StasiunPoncol → TPS Jl. Satriya Selatan → TPS Patriot → TPS Pasar Purwogondo → TPS Sumber Mas Raya → TPS LingkarTanjung Mas → TPA |
| 4 | TPA → TPS Ps.Wonodri → TPS Java Mall → TPS Ps.Peterongan → TPS Lamper Kidul → TPS Lamper Tengah → TPS BanjirK.Timur → TPS Cempedak → TPS Stadion → TPS RS Roemani → TPS Singosari Timur → TPS Erlangga → TPS UNDIP → TPS Kusuma Wardani → TPA |
| 5 | TPA → TPS KalisariBaru → TPS Wonosari → TPS HOS Cokroaminoto → TPS Ps.Bulu → TPS Bima → TPS BlkgLawangSewu → TPS RM Nusantara → TPS Ps.Randusari → TPS MugasDalam → TPS Rimba Graha → TPS Prop Jateng → TPS MatahariSimpang Lima → TPS Citraland → TPS RS Telogorejo → TPS Karangaru → TPS Gajahmada → TPS Kembang Sari → TPS Thamrin → TPS GergajiB.Kambang → TPS LEMPONGSARI → TPS GN. GEBYOK → TPS RS Karyadi → TPA |

UPTD 2 menggunakan jumlah klaster 4 dimana setiap klister menjadi lintasan koridor dengan 4 rute, detail sebagai berikut :Klaster 1 mempunyai 1 koridor dan 2 rute, Klaster 2 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 3 mempunyai 1 koridor dan 2 rute, Klaster 4 mempunyai 1 koridor dan 1 rute. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 2 tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 2

| Klaster | Rute |
|---------|--|
| 1 | Pull 2 → TPS PerumTerboyoKulon → TPS Pasar KubroGenuk → TPA Pull 2 → TPS Tambakrejo → TPS Mlatibaru → TPS Manisharjo → TPS Pasar Rejomulyo → Kontainer Pasar Krempyeng → TPS Liar (Open Dumping) → TPS X-Pasar Waru Lama → KontainerTambakrejo → TPS Pasar Waru Indah → TPS Rusunawa → TPS MuktiharjoKidul → TPS PerumGembangSariJlPadi Utara → TPS Kawasan IndustriTerboyo → TPS PT Amor Terboyo → TPS Terminal Terboyo → TPS PT Lucky Terboyo → TPS PT Jamu Nyonya Meneer → TPA |
| 2 | Pull 2 → Pedurungan Tengah → TPS Tlogomulyo → TPS Pedurungan Tengah → TPS Pedurungan Lor → TPS RPU → TPS Terminal Penggaron → TPS Giant → TPS RusunBondowoso → TPS PT Bitratek → TPS Plamongan Hijau → TPS Pasar PedurunganKidul → TPS Palebon → TPS Gemah → TPA |
| 3 | Pull 2 → TPS Sawah Besar → TPS Karangingas → TPS Kalicari → TPS Pasar Gayamsari → TPA Pull 2 → TPS Mlatiharjo → TPS Bugangan → TPS Tirtoyoso I → TPS Tirtoyoso IV → TPS RumahPompa → TPS Pasar Karimata → TPS Pasar Dargo → TPS Pasar Langgar Indah → TPS Jolotundo → TPS Masjid Agung → TPS Sambirejo → TPS PLTG → TPS Karang Tempel → TPS Kimar → TPS Gempolsari → TPA |

| Klaster | Rute |
|---------|---|
| 4 | Pull 2 → TPS Pasar Banget Ayu Kulon → TPS PerumKopriBanget ayu kulon → TPS Rusun RW 6 Karangroto → TPS RW 3 Karangroto → TPS Liar – Tambi → TPS PerumTrimulyo → TPS Pasar Genuksari → TPA |

UPTD 3 menggunakan jumlah klaster 5 dimana setiap klaster menjadi lintasan koridor dengan 5 rute, detail sebagai berikut : Klaster 1 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 2 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 3 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 4 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 5 mempunyai 1 koridor dan 1 rute. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 3 tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 3.

| Klaster | Rute |
|---------|--|
| 1 | Pull 3 → TPS GrahaEstetika → TPS KontainerPollines → TPS POLITEK → TPS Bukitsari → TPS Bukit Regency → TPS Hotel Plasa → TPS Pasar Srodol → TPS RW 1 SrodolKulon → TPS Ada Swalayan → TPS Murbei → TPS Hotel Serata → TPS DiklatSrodol → TPS Srodol Asri → TPS Batalayon 400R → TPS Alam Indah → TPS Resto Panorama → TPS Trangkil → TPA |
| 2 | Pull 3 → TPS Ulin → TPS Pasar Damar → TPS Meranti → TPS RW 2 Banyumanik → TPS Swiss Roti → TPS Gedawang → TPS Pudak Payung → TPS Kantor BPK Jateng → TPS Pasar Banyumanik → TPS Perum Brigrif → TPS Brimob → TPS Pasar Rasamala → TPS Perumahan Setiabudi → TPA |
| 3 | Pull 3 → TPS PS. METESEH → TPS BUKIT KENCANA → TPS TEMBALANG → TPS PerumB.Diponegoro RW 8 → TPS RW VIII BUKIT DIPONEGORO → TPA |
| 4 | Pull 3 → TPS Pasar Jatingleh → TPS Kr.GunungRw III → TPS JomblangPerbalan → TPS KINIBALU → TPS TNI Jomblang → TPS Sriwijaya → TPS Genuksari → TPS Wilis → TPS Kawi → TPS Kagok → TPS LompoBatang Barat → TPS Sinabung → TPS Pasar Candi → TPS LompoBatang Timur → TPS Kasipah → TPS JANGLI PERMAI → TPS Kr.Gunung RW V → TPS Jangli → TPS Sukorejo → TPA |
| 5 | Pull 3 → TPS CEMPAKA → TPS MENUR → TPS KETILENG/BLOKN → TPS TULUS HARAPAN → TPS KETILENG BAWAH → TPS KETILENG ATAS → TPS ASPOL → TPS RSUD → TPS ELANG RAYA → TPS SALAK → TPS INTAN RAYA → TPS WANA MUKTI → TPS PERUM PSSI → TPS SEMAWIS → TPS KINI JAYA → TPS GRAHA WAHID → TPS RW VI TANDANG → TPS SENDANGGUWO → TPS PS. KEDUNG MUNDU → TPA |

UPTD 4 menggunakan jumlah klaster 5 dimana setiap klaster menjadi lintasan koridor dengan 5 rute, detail sebagai berikut: Klaster 1 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 2 mempunyai 1 koridor dan 2 rute, Klaster 3 mempunyai 1 koridor dan 1 rute, Klaster 4 mempunyai 1 koridor dan 1 rute. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 4 tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan OR-Tools pada klaster di UPTD 4

| Klaster | Rute |
|---------|---|
| 1 | Pull 4 → TPS Wates → TPS LapasKedungpane → Pasar Mijen → TPA |
| 2 | Pull 4 → TPS Tugurejo 1 → TPS Tugurejo 2 → TPS Jrasah RW 1 → TPS Jrasah RW 3 → TPS Tambakharjo → TPS Hanoman → TPS Graha Padma → TPS Wologito → TPS Kecamatan → TPS Pasar Ngaliyan → TPA |
| 3 | Pull 4 → TPS PT KharismaKlasik INA → TPS Tambak Aji → TPS Pasar Jrasah → TPS Purwoyoso → TPA |
| 4 | Pull 4 → TPS Country Form-KawasanIndustri → TPS RM Sampurna → TPS Randugarut → TPS Mangunharjo-Sal. Irigasi → TPS Mangunharjo-Sal. Irigasi → TPS Wonosari RW 2 → TPS Wonosari RW 1 → TPS Pasar Mangkang → TPS Beringin Lestari → TPA |
| 4 | Pull 4 → TPS KalibantengKulon → TPS Pasar Manyaran → TPS Rumah Dinas WKKD → TPS KalibantengKidul - Sri Rejeki → TPS KalibantengKidul – Arogorejo → TPS IPU → TPS Gisikdrono → TPS SI/ Semarang Indah → TPS Sawojajar → TPS Ronggolawe Barat III → TPS Ronggolawe → TPS Kumudasmoro → TPS Puspwarno Selatan → TPS Bojongsalaman → TPS Cndrokusumo → TPS Ngemplak → TPS PabrikKulit Candra → TPS Pasar Ngemplak → TPA |

5.3 Antar muka Sistem Informasi Pengangkutan Sampah

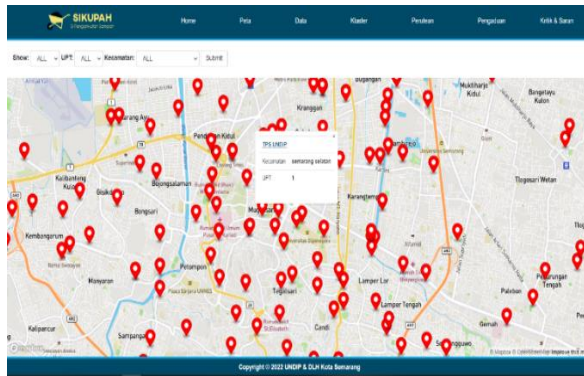
Homepage atau beranda sebagai landing page menampilkan judul dari Sistem Informasi Pengangkutan sampah, Homepage atau beranda juga menggambarkan system baik dengan tulisan maupun gambar. Jika tombol “Pilih Layanan” di klik, maka tampilan akan mengantarkan kebawah yang isinya pilihan layanan. Antar muka homepage ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Antar muka halaman homepage pilihan layanan

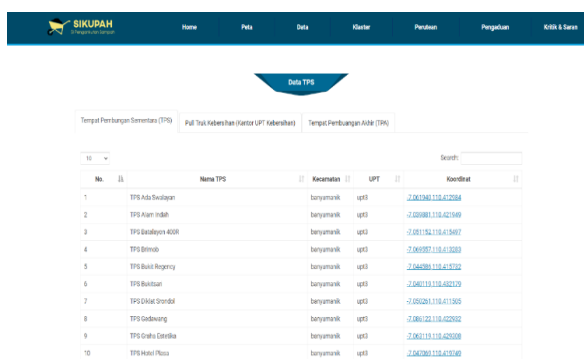
Halaman Menu Peta menampilkan data TPS, pull dan TPA hasil pengambilan data dalam bentuk peta digital. Letak marker, sesuai dengan koordinatnya. Setiap marker mengeluarkan pop-up jika diklik. Pop-up untuk marker TPS, berisi nama TPS, kecamatan dan UPTD. Nama TPS berwarna biru dan terdapat garis bawah, merupakan link untuk membuka tab baru google maps yang mengarah kekoordinat tersebut. Sedangkan pop-up untuk pull dan TPA, berisi keterangan. Keterangan juga merupakan link untuk membuka tab baru google maps yang mengarah kekoordinat tersebut. Halaman Menu Peta juga terdapat dropdown berupa pilihan jenis layanan

kebersihan, UPTD dan Kecamatan. Antar muka halaman menu peta ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Antar muka menu peta

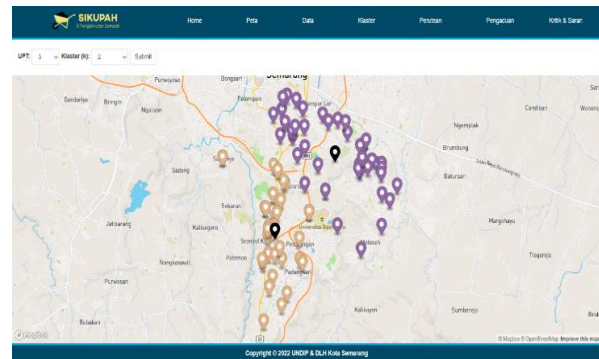
Halaman Menu Data menampilkan data TPS, pull dan TPA hasil pengambilan data dalam bentuk tabel interaktif. Data TPS, pull dan TPA Tabel dapat diurutkan berdasarkan kolom, baik *ascending* maupun *descending*. Di atas kanan tabel juga terdapat formular *search*, untuk menyaring baris-baris yang mengandung kata yang diisi dalam formulir. Secara bawaan, tabel akan menampilkan 10 baris data. Di atas kiri tabel terdapat pilihan angka, untuk menentukan berapa baris yang akan ditampilkan setiap halamannya. Di bawah tabel terdapat penomoran halaman, yang dapat dipilih. Kemudian di bawah penomoran halaman, terdapat keterangan, menampilkan baris sekian sampai dengan sekian, dari sekian banyak baris. Di kolom koordinat, latitude dan longitude ditulis berwarna biru dengan garis bawah, berupa *link* untuk membuka *tab* baru google maps yang mengarah kekoordinat tersebut. Antar muaka menu data ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Antar muka menu data

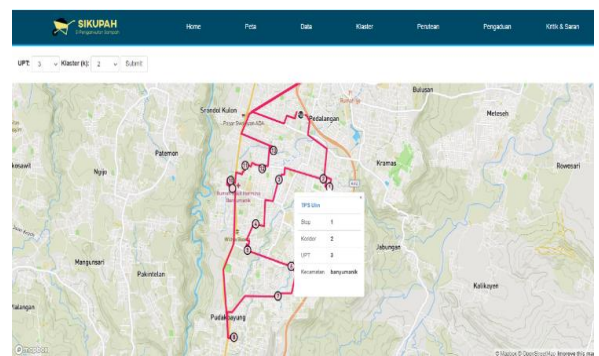
Halaman Menu Kluster menampilkan hasil kluster data dengan metode *K-means Clustering* dalam bentuk peta digital. Letak *marker*, sesuai dengan koordinatnya. Warna *marker* menandakan anggota di setiap klasternya. *Centroid* ditandai dengan *marker* berwarna hitam. Setiap *marker* mengeluarkan *pop-up* jika diklik. *Pop-up* untuk *marker* TPS, berisi nama TPS, UPTD dan kluster. Nama TPS berwarna biru dan terdapat garis bawah, merupakan *link* untuk membuka

tab baru google maps yang mengarah kekoordinat tersebut. Sedangkan *pop-up* untuk *centroid*, berisi keterangan. Keterangan juga merupakan *link* untuk membuka *tab* baru google maps yang mengarah kekoordinat tersebut. Halaman Menu Kluster juga terdapat *dropdown* berupa pilihan UPTD dan Kluster. Antar muaka menu kluster ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Antar muka menu kluster

Halaman Menu Perutean menampilkan hasil rute beserta urutan TPS dari pull sampai dengan TPA. Titik menggambarkan urutan TPS, sedangkan garis menggambarkan koridor. Pada koridor yang menampilkan 2 rute, setiap rute dibedakan dengan titik warna gelap dan titik warna terang. Titik warna gelap mempunyai nomor urut berwarna putih di dalamnya, sedangkan titik warna terang mempunyai nomor urut berwarna putih di dalamnya. Setiap titik juga dilengkapi dengan *pop-up*. *Pop-up* berisi nama TPS, urutan (*stop*), kluster, UPTD dan kecamatan. Halaman Menu Perutean juga terdapat *dropdown* berupa pilihan UPTD dan koridor. Antar muaka menu perutean ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Antar muka menu perutean

5.4 Pengujian Validasi Metode Penelitian

Setiap metode untuk perutean kendaraan mempunyai karakteristik tertentu. Pada pengujian metode, penulis membandingkan empat metode berbeda, yaitu: *The Traveling Salesman Problem (TSP)*, *The Vehicle Routing Problem (VRP)*, *The Chinese Postman Problem (CPP)*, *The Rural Postman Problem (RPP)*. Perbandingan algoritma untuk penyelesaian permasalahan pengangkutan sampah Kota

Semarang dengan metode TSP, VRP, CPP dan RPP ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan algoritma untuk penyelesaian permasalahan pengangkutan sampah Kota Semarang

| | TSP | VRP | CPP | RPP |
|---|-----|-----|-----|-----|
| Harus mengunjungi <i>node</i> tepat sekali pada sekali perjalanan (rute) | ✓ | × | × | × |
| Baik untuk penyelesaian perutean kendaraan pada jalanan | ✓ | ✓ | × | × |
| Algoritma yang efisien dalam menyelesaikan perutean kendaraan tanpa kapasitas | ✓ | × | × | × |
| Algoritma yang cocok untuk menyelesaikan permasalahan perutean kendaraan di jalanan dengan cukup data lokasi saja | ✓ | × | × | × |

Tabel 9 menunjukkan algoritma TSP adalah algoritma yang paling cocok digunakan untuk kasus pengumpulan pengangkutan sampah Kota Semarang, dibanding gandingan VRP, CPP, dan RPP. Algoritma TSP mengunjungi semua *node* tepat satu kali, algoritma yang efisien untuk penyelesaian perutean kendaraan tanpa kapasitas dan algoritma yang dapat memberikan penyelesaian dengan *input* data lokasi *node*. TSP juga dinyatakan efisien dan sangat baik diterapkan untuk menyelesaikan masalah perutean kendaraan (Jünger *et al.*, 1995).

6. Kesimpulan

Sistem Informasi Pengangkutan Sampah menggunakan metode *K-Means Clustering* mampu melakukan pengelompokan guna memetakan persebaran lokasi TPS sampah pada setiap UPTD, pada penelitian ini OR-Tools milik Google digunakan untuk penyelesaian TSP digunakan untuk mengetahui rute terpendek dalam setiap hasil pengelompokan yang dihasilkan *K-means Clustering*. Penggunaan OR-Tools dalam penyelesaian TSP cukup dengan menginput koordinat lokasi dengan format *decimal degree* berupa *latitude* dan *longitude*. OR-Tools akan mendefinisikan jarak antar titik. Pada penelitian ini

UPTD 1 dikelompokkan menjadi 5 klaster, UPTD 2 menjadi 4 klaster, UPTD 3 menjadi 5 klaster dan UPTD 4 menjadi 4 klaster. Pengelompokan tersebut menghasilkan 21 rute di dalam 18 koridor untuk pengangkutan sampah padat Kota Semarang. Perbandingan metode menunjukkan bahwa TSP adalah yang paling cocok untuk kasus pengumpulan pengangkutan sampah Kota Semarang, dibandingkan dengan VRP, CPP, dan RPP.

Daftar Pustaka

- Amponsah, S., & Salhi, S., 2004. The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries. *Waste Management*, 24(7), 711–721.
- Archetti, C., Guerriero, F., & Macrina, G., 2021. The online vehicle routing problem with occasional drivers. *Computers & Operations Research*, 127, 105144.
- Directions API., 2022, May 9. Mapbox. <https://docs.mapbox.com/api/navigation/directions/>
- Jünger, M., Reinelt, G., & Rinaldi, G., 1995. The traveling salesman problem. *Handbooks in operations research and management science*, 7, 225–330.
- Kalra, M., Lal, N., & Qamar, S., 2018. K-mean clustering algorithm approach for data mining of heterogeneous data. In *Information and Communication Technology for Sustainable Development* (pp. 61-70). Springer, Singapore.
- Pooja Vaishnav, Naveen Choudhary, and Kalpana Jain. Traveling salesman problem using genetic algorithm: a survey. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2(3):105–108, 2017
- Rokbani, N., Kumar, R., Abraham, A., Alimi, A. M., Long, H. V., Priyadarshini, I., & Son, L. H., 2020. Bi-heuristic ant colony optimization-based approaches for traveling salesman problem. *Soft Computing*, 25(5), 3775–3794.
- Sommerville, I., 2011. *Software Engineering*, 9/E. Pearson Education India.