



Analisis Sistem Transportasi Sampah Di Kecamatan Wenang Kota Manado Menggunakan *Dynamic Programming*

Septa H. C. Sihite^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b} Teddy Takaendengan^{#c}

[#]Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^aseptasihite31@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^cteddy.takaendengan@sipil.polimdo.ac.id

Abstrak

Permasalahan sampah perkotaan di Indonesia, khususnya di Kecamatan Wenang, Kota Manado, masih belum terselesaikan secara optimal akibat tingginya timbulan sampah dan sistem pengelolaan yang kurang efisien, terutama pada sub-sistem transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem transportasi sampah di Kecamatan Wenang, Kota Manado, dengan menentukan rute pengangkutan sampah yang paling efektif dan efisien, serta meminimalkan biaya operasional menggunakan pendekatan Dynamic Programming dengan metode Stagecoach dalam perangkat lunak WinQSB. Metodologi penelitian meliputi pengumpulan data primer melalui survei lapangan dan data sekunder dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado, mencakup informasi armada pengangkutan, jalur, dan jarak tempuh. Data yang terkumpul dianalisis untuk memodelkan rute eksisting dan mengidentifikasi potensi optimasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Dynamic Programming terbukti efektif dalam menentukan rute optimal bagi setiap *dump truck*. Rute *dump truck* 1, misalnya, berhasil dioptimalkan dari 8,2 km menjadi 7,34 km. Optimalisasi rute ini secara langsung berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar setiap *dump truck*, dari rata-rata 20 liter per hari menjadi sekitar 13 hingga 19 liter per hari. Penurunan konsumsi bahan bakar ini juga berkorelasi dengan penurunan biaya operasional harian, yang sebelumnya mencapai Rp136.000 per kendaraan menjadi antara Rp88.000 hingga Rp129.000. Dengan demikian, penerapan Dynamic Programming dengan metode Stagecoach Problem mampu meningkatkan efisiensi rute pengangkutan sampah dan menekan biaya operasional secara signifikan di Kecamatan Wenang. Rekomendasi dari penelitian ini adalah agar Pemerintah Daerah dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado mengimplementasikan rute optimal ini, melakukan verifikasi rutin kondisi lapangan, dan mempertimbangkan penambahan Tempat Penampungan Sementara (TPS) di titik-titik strategis

Kata kunci: Dynamic Programming, sampah perkotaan, Kecamatan Wenang

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah perkotaan di Indonesia merupakan masalah yang belum terselesaikan secara tuntas. Diperkirakan hanya sekitar 60 % sampah di kota-kota besar di Indonesia yang dapat terangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), yang operasi utamanya adalah pengurusan (landfilling). Volume peningkatan sampah di Kota Manado dari tahun ke tahun semakin meningkat, dengan status kota Manado yang menjadi bagian dari kota terbesar di Indonesia dengan latar belakang masyarakat yang bervariasi dan beragam, sehingga kebutuhan akan pelayanan persampahan juga semakin meningkat sesuai dengan jumlah sampahnya. Pengelolaan sampah atau kebersihan di perkotaan seharusnya menjadi salah satu titik focus pembangunan di samping pembangunan perkotaan lainnya.

Berdasarkan Manado dalam angka tahun 2024 Kecamatan Wenang adalah salah satu Kecamatan di Kota Manado yang memiliki luas wilayah 346,5 Ha, 12 kelurahan dan 56 lingkungan dengan jumlah penduduk sebanyak 27.493 jiwa. Setiap hari produksi sampah di Kota Manado selalu meningkat dan saat ini masalah yang terjadi di Kecamatan Wenang adalah

permasalahan sampah yakni sistem pengelolaan sampah yang kurang optimal. Dalam menentukan perencanaan pengelolaan sampah yang baik, umumnya akan diambil dua aspek yaitu hierarki pengelolaan sampah dan aspek jarak. Hierarki pengelolaan sampah dari pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pemrosesan akhir sampah harus dilakukan dengan metode yang berwawasan lingkungan sehingga tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan itu sendiri. Pembangunan TPA Regional dimungkinkan karena sudah diatur dalam UU No. 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah khususnya bab VIII mengenai Kerjasama dan kemitraan dan pasal 26 ayat 1 dan 2 yang menyebutkan bahwa "Pemerintah daerah dapat melakukan Kerjasama antar pemerintah daerah dalam melakukan pengelolaan sampah. Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh Pemerintah Kota adalah mengatur dan mengoptimalkan kegiatan pemindahan sampah. Pemindahan sampah adalah kegiatan memindahkan sampah hasil pengumpulan ke dalam alat pengangkutan untuk dibawa ke tempat pembuangan akhir.

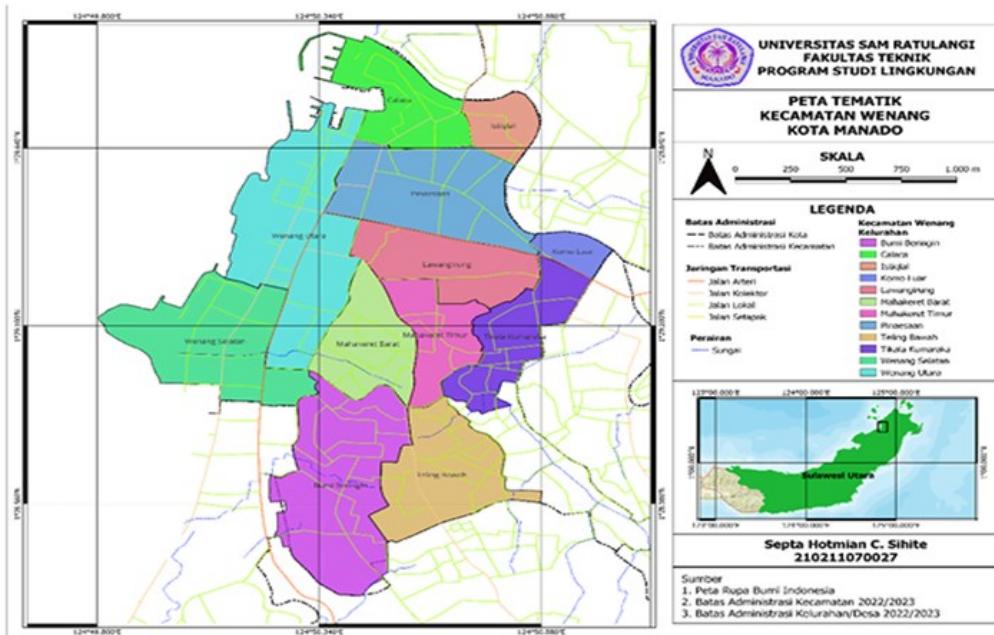
Penelitian ini merumuskan masalah bagaimana menentukan rute optimal total jarak tempuh pengangkutan sampah dan cara meminimalkan biaya operasional dalam pengangkutan sampah ke tempat pembuangan akhir.

Batasan permasalahan penelitian ini hanya menganalisis sistem pengangkutan sampah oleh truck pengangkut sampah di Kecamatan Wenang dan menghitung biaya operasional bahan bakar kendaraan truck pengangkut sampah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui rute yang lebih efektif dan efisien serta mengetahui biaya operasional dalam pengangkutan sampah ke TPA dengan menggunakan dynamic programming.

2. Metode

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kecamatan Wenang Kota Manado yang terdiri dari 12 Kelurahan yaitu kelurahan Tikala Kumaraka, Kelurahan Teling Bawah, Kelurahan Bumi Beringin, Kelurahan Mahakaret Timur, Kelurahan Mahakaret Barat, Kelurahan Lawangirung, Kelurahan Wenang Utara, Kelurahan Wenang Selatan, Kelurahan Pinaesaan, Kelurahan Calaca, Kelurahan Istiqlal, dan Kelurahan Komo Luar. Kecamatan Wenang juga terdiri dari 56 lingkungan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian yaitu meliputi pengangkutan sampah di Kecamatan Wenang dengan survei kendaraan truck di lapangan untuk memperoleh data waktu transportasi pengangkutan sampah, jarak pengangkutan sampah yang diangkut dari TPS ke TPA. Pengumpulan data juga dilakukan dengan pengambilan data kendaraan dan peta

rute ke Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado. Tahap pengumpulan data dilanjutkan dengan pengolahan dan analisis data. Tujuan dari tahap ini adalah memperoleh hasil analisis data yang diperlukan untuk menentukan rute optimal transportasi sampah dan biaya operasional bahan bakar minimum. Perhitungan dan Analisis dengan mengolah jumlah jarak rute pengangkutan sampah pada peta rute pengangkutan sampah dengan menggunakan pendekatan dynamic programming di Kecamatan Wenang Kota Manado. Setelah semua data diperoleh maka akan menggunakan metode Stagecoach dalam program dinamik WinQSB untuk mendapatkan hasil analisis rute terpendek dan biaya operasional bahan bakar minimum pada transportasi pengangkutan sampah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data dan Hasil Analisis

Untuk melakukan analisis sistem transportasi sampah penelitian ini mengumpulkan dan menggunakan data dari instansi terkait yaitu Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado.

3.1.1 Data Armada Pengangkutan Sampah

Armada truck mengangkut Sampah di jalan Protokol Ret Pertama (jam 04.00 Subuh) yang di bagi di wilayah Kecamatan. Armada truk sampah berjumlah 5 unit terdiri dari 1 orang sopir dan 4 orang pengangkut. Berdasarkan data yang diperoleh armada truk pengangkut sampah di Kecamatan Wenang Kota Manado sebanyak 5 unit armada truk sampah dalam kondisi baik dan layak digunakan.

3.1.2 Rute Pengangkutan Sampah

Rute pengangkutan sampah berdasarkan data yang diperoleh di kelompokkan berdasarkan jumlah truck pengangkut sampah sebanyak 5 truck. Untuk SPA III ada 2 armada truck pengangkutan sampah. Kendaraan truck pengangkut sampah memulai perjalanan dari alamat sopir truck masing-masing. rute pengangkutan sampah yang dilalui oleh masing-masing truk pada setiap wilayah SPA (Stasiu Peralihan Angkutan). Truk 1 yang beroperasi pada SPA I melalui jalur mulai dari Jalan Lumimuut hingga ke TPA melalui Balai Kota. Truk 2 pada SPA II menempuh rute dari Jalan 17 Agustus menuju Jalan WR Supratman dan berakhir di TPA. Selanjutnya, truk 3 dan truk 4 yang beroperasi di SPA III memiliki jalur berbeda namun keduanya berakhir di TPA; rute truk 3 dimulai dari Jalan Piere Tendean dan melewati beberapa jalan utama seperti Wenang dan Boulevard II, sedangkan truk 4 menempuh jalur dari Jalan Toar hingga Dotulong Lasut. Terakhir, truk 5 yang beroperasi pada SPA IV melalui rute dari depan Kantor Ex Bank BI menuju beberapa ruas jalan seperti Jalan S. Parman dan Jalan Boulevard II, sebelum akhirnya menuju TPA. Seluruh rute ini menunjukkan pola distribusi dan alur operasional truk pengangkut sampah berdasarkan wilayah SPA masing-masing.

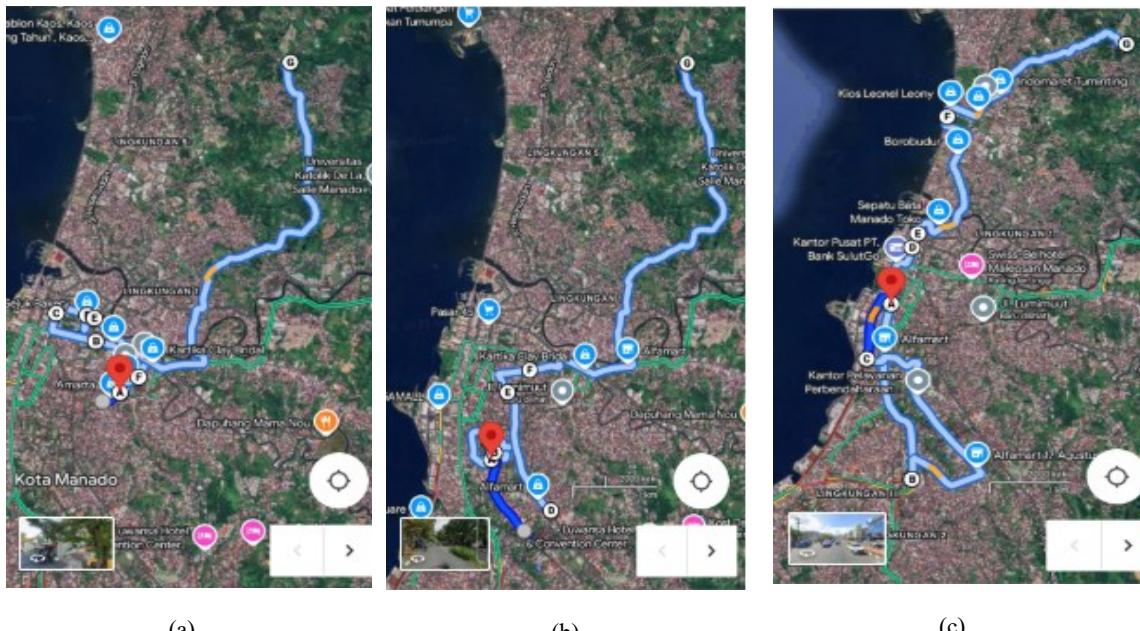
3.1.3 Biaya Bahan Bakar Minyak (BBM)

Bahan bakar yang disediakan setiap harinya untuk dump truck adalah 20 liter solar, maka setiap hari armada yang melakukan operasional menghabiskan sebesar Rp. 136.000/hari. Pengisian bahan bakar dialakukan dalam seminggu sekali. Sehingga pengeluaran untuk bahan bakar dengan total armada sebanyak 5 armada berjumlah Rp. 680.000/hari.

3.1.4 Hasil Pemodelan Dynamic Programming

Dalam penelitian ini pendekatan dynamic programming digunakan untuk mengoptimalkan sistem transportasi sampah di Kecamatan Wenang. Pendekatan dynamic programming ini menggunakan software winQSB yang di dalamnya menggunakan metode stagecoach dynamic programming. Pengolahan data untuk mengetahui efisiensi sistem transportasi pengangkutan sampah menggunakan faktor yang mempengaruhi beberapa perumusan masalah dan solusinya. Data-data yang diperlukan untuk mendukung penelitian, antara lain yaitu data armada pengangkutan sampah, data jalur yang dilalui, data jarak tempuh armada pengangkutan sampah.

A. Jalur dan Jarak Pengangkutan Sebelum Menggunakan Dynamic Programming

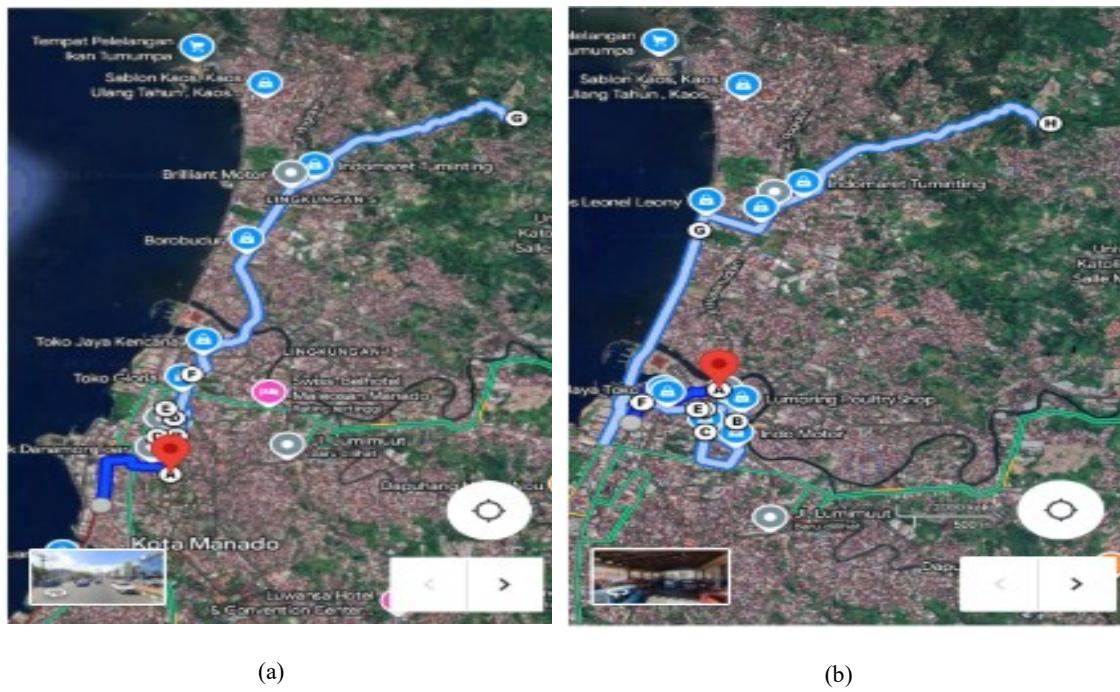


Gambar 2. (a) Rute SPA I; (b) Rute SPA II; (c) Rute SPA III. (Sumber: Google Maps)

Rute SPA I dapat dijelaskan Truck 1 memulai perjalanan pengangkutan sampah dari Jl. Lumimutu menuju ke Bw Lapian dengan jarak tempuh sejauh 0,4 km. Selanjutnya, perjalanan dilanjutkan dari Bw Lapian ke Jl. Sudirman sejauh 0,85 km. Dari Jl. Sudirman, truk bergerak menuju Jl. Dotulong Lasut dengan jarak 0,9 km. Setelah mencapai Jl. Dotulong Lasut, rute dilanjutkan ke Jl. Sutomo dengan jarak tempuh sebesar 1,6 km. Kemudian dari Jl. Sutomo, truk menuju Jl. Walanda Maramis dengan jarak 0,9 km. Perjalanan berlanjut dari Jl. Walanda Maramis ke Jl. Balai Kota sejauh 0,65 km. Sebagai tahapan akhir, truk mengangkut sampah dari Jl. Balai Kota menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jarak paling jauh, yaitu 7,34 km.

Rute SPA II dapat diuraikan Truck 2 memulai perjalanan dari Jl. 17 Agustus menuju ke Jl. PM Tangkilsan dengan jarak tempuh sejauh 1,1 km. Perjalanan dilanjutkan dari Jl. PM Tangkilsan menuju Jl. Bumi Beringin dengan jarak 0,26 km, yang merupakan salah satu jarak antar ruas jalan terpendek pada rute ini. Selanjutnya, truk bergerak dari Jl. Bumi Beringin menuju Jl. CH Taulu sejauh 0,19 km. Kemudian, dari Jl. CH Taulu, perjalanan diteruskan ke Jl. 14 Februari dengan jarak tempuh sebesar 1,2 km. Dari Jl. 14 Februari, truk melanjutkan rute menuju Jl. Diponegoro dengan jarak 1,6 km. Setelah itu, pengangkutan berlanjut dari Jl. Diponegoro ke Jl. WR Supratman sejauh 0,6 km, sebelum akhirnya melaju dari Jl. WR Supratman menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jarak tempuh yang paling panjang pada rute ini, yaitu sebesar 6,2 km.

Rute SPA III yang dilayani Truck 3 memulai rutennya dari Jl. Piere Tendean menuju ke Jl. Wenang dengan jarak tempuh sejauh 0,899 km. Dari Jl. Wenang, truk melanjutkan perjalanan menuju Jl. Sam Ratulangi dengan jarak yang relatif pendek yaitu sebesar 0,155 km. Selanjutnya, perjalanan dilanjutkan dari Jl. Sam Ratulangi kembali ke Jl. Piere Tendean sejauh 0,532 km. Setelah itu, Truck 3 meneruskan rute dari Jl. Piere Tendean menuju Jl. Suprapto dengan jarak tempuh sebesar 0,904 km. Dari Jl. Suprapto, pengangkutan bergerak menuju Jl. Lembong dengan jarak 0,35 km. Kemudian dari Jl. Lembong, truk melanjutkan ke Jl. Boulevard II sejauh 0,44 km. Terakhir, dari Jl. Boulevard II, truk langsung menuju ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jarak tempuh yang cukup panjang yakni sebesar 5,8 km.



Gambar 3. (a) Rute SPA IV; (b) Rute SPA V; (Sumber: Google Maps)

Rute SPA IV yang dilayani oleh Truck 4 sebelum dilakukan pengolahan Truck 4 memulai perjalanannya dari Jl. Piere Tendean menuju ke Jl. Toar dengan jarak tempuh sejauh 1,2 km. Dari Jl. Toar, truk bergerak ke arah Jl. Garuda dengan jarak sebesar 0,55 km. Selanjutnya, rute dilanjutkan dari Jl. Garuda ke Jl. Korengkeng dengan jarak yang lebih pendek, yaitu 0,17 km. Setelah itu, Truck 4 melanjutkan perjalanan dari Jl. Korengkeng menuju Jl. Sarapung dengan jarak 0,25 km. Dari Jl. Sarapung, pengangkutan diteruskan ke Jl. Kartini sejauh 0,2 km. Kemudian, truk bergerak dari Jl. Kartini menuju Jl. Dotulong Lasut dengan jarak 0,55 km. Terakhir, Truck 4 menempuh perjalanan dari Jl. Dotulong Lasut langsung menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jarak tempuh yang cukup panjang yaitu 5,2 km.

Rute SPA V yang dilayani oleh Truck 5 sebelum dilakukan pengolahan perjalanan dimulai dari titik awal di depan Kantor Ex Bank BI menuju ke Jl. Sauit Tubun dengan jarak tempuh sejauh 0,7 km. Dari Jl. Sauit Tubun, Truck 5 melanjutkan perjalanan ke Jl. Sugiono dengan jarak sebesar 0,27 km. Rute selanjutnya adalah dari Jl. Sugiono menuju ke Jl. Sutomo dengan jarak yang relatif pendek, yaitu 0,2 km. Setelah itu, Truck 5 bergerak dari Jl. Sutomo ke Jl. D.I. Panjaitan sejauh 0,45 km. Kemudian, perjalanan dilanjutkan dari Jl. D.I. Panjaitan ke Jl. S. Parman dengan jarak tempuh 0,43 km. Dari Jl. S. Parman, truk melanjutkan ke Jl. Lembong sejauh 0,4 km. Setelah sampai di Jl. Lembong, truk menuju ke Jl. Boulevard II dengan jarak 0,4 km. Terakhir, dari Jl. Boulevard II, Truck 5 menempuh perjalanan langsung menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jarak 5,8 km, yang merupakan jarak terpanjang dalam rute ini.

B. Perhitungan Biaya Bahan Bakar Minyak (BBM) Hasil Rute Dynamic Programming

Dari hasil running pemograman dengan pendekatan stagecoach problem diperoleh penghematan biaya sehingga dihitung kebutuhan biaya bahan bakar.

Tabel 1 menunjukkan data konsumsi bahan bakar dari lima unit dump truck berdasarkan jarak tempuhnya. Setiap dump truck memiliki tingkat konsumsi bahan bakar (liter/km) yang berbeda, yang kemudian dikalikan dengan jarak tempuhnya untuk memperoleh total bahan bakar yang digunakan.

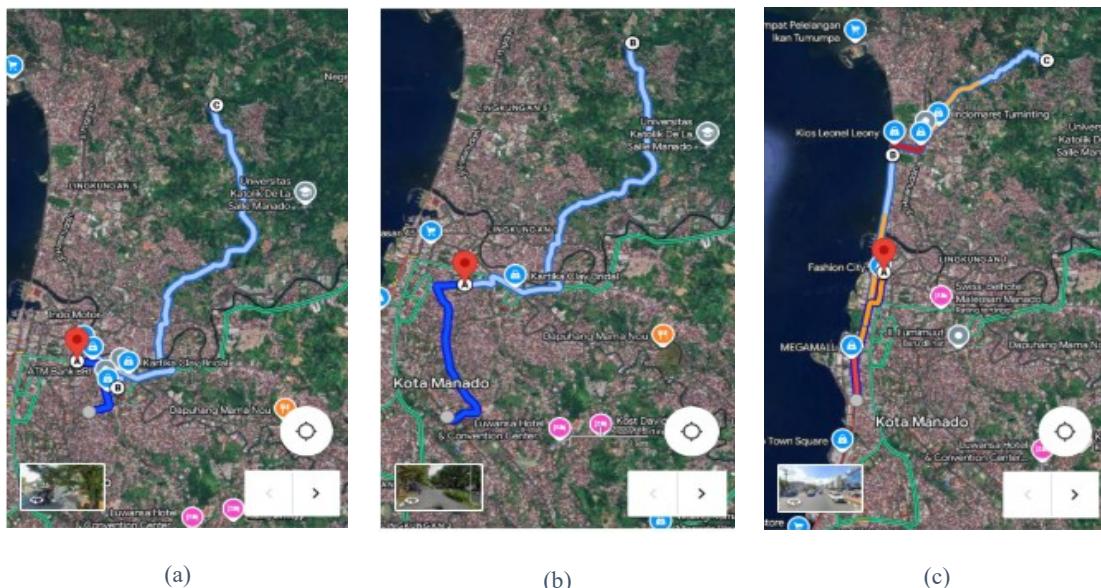
Tabel 1. Bahan Bakar yang digunakan Dump Truck

No	Dump Truck	Konsumsi BBM (Liter/Km)	Jarak Tempuh (Km)	Total BBM Digunakan (Liter)
1	Dump Truck 1	1.84	8.2	15
2	Dump Truck 2	1.7	9	15
3	Dump Truck 3	2.4	7.9	19
4	Dump Truck 4	2.46	6.8	17
5	Dump Truck 5	2.29	5.8	13

3.2 Pembahasan

3.2.1 Efisiensi Rute Pengangkutan Sampah Menggunakan Dynamic Programming

Hasil rute yang didapatkan menggunakan dynamic programming melalui pendekatan stagecoach problem maka rute yang dilewati oleh dump truck sesudah dihitung dengan metode dynamic programming adalah sebagai berikut:

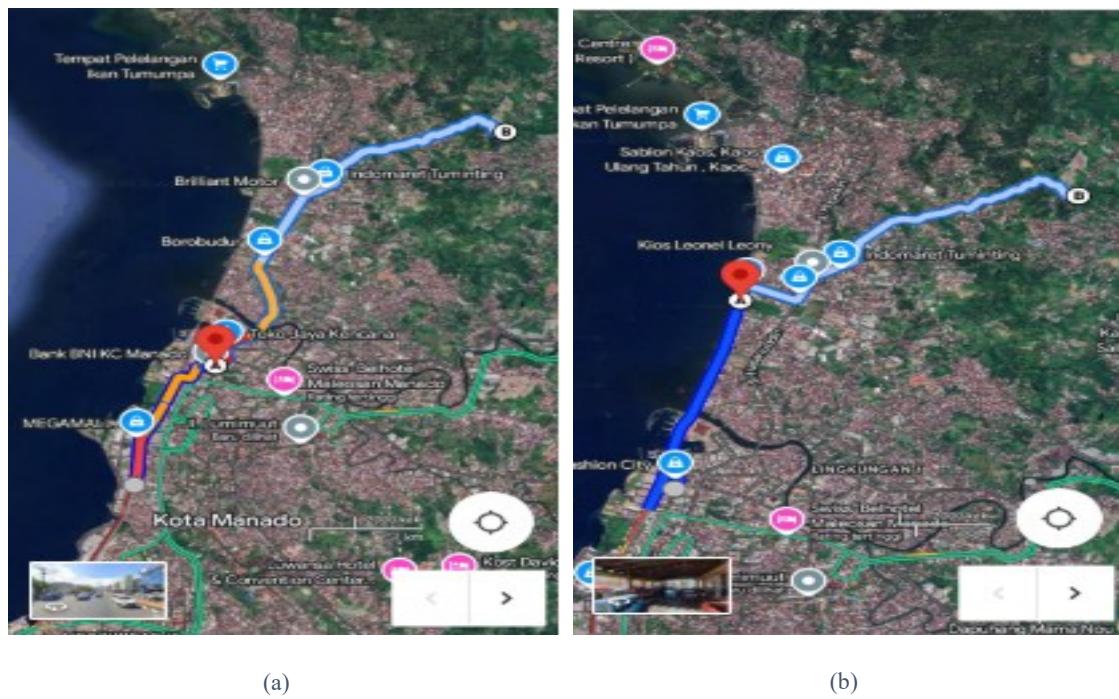
**Gambar 4.** (a) Rute SPA I; (b) Rute SPA II; (c) Rute SPA III; (Sumber: Google Maps)

Pada peta tersebut, terlihat jalur perjalanan yang dilalui oleh Truck 1 dalam proses pengangkutan sampah menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Jalur berwarna biru menunjukkan rute tercepat dan paling efisien. Berdasarkan peta yang ditampilkan, pengangkutan sampah dimulai dari Jl. Lumimuit, kemudian bergerak menuju Jl. Sudirman, dilanjutkan ke Jl. Balai Kota, dan akhirnya menuju TPA. Pemilihan jalur ini mempertimbangkan jarak tempuh terpendek serta waktu perjalanan tercepat, guna mengoptimalkan efisiensi operasional pengangkutan sampah. Apat diketahui bahwa pengangkutan dilakukan secara bertahap dari lokasi pengumpulan menuju titik-titik penghubung utama, sebelum akhirnya mencapai lokasi pembuangan akhir. Total jarak yang semula 8.2 km menjadi 7.34 km.

Rute pengangkutan sampah setelah pengolahan menggunakan dynamic programming yang dilalui oleh Truck 2. Jalur yang ditampilkan menggunakan warna biru untuk menandai rute tercepat menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Jalur ini dipilih untuk meminimalkan jarak tempuh dan waktu perjalanan sehingga mendukung efisiensi dalam proses pengangkutan sampah. Rute perjalanan Truck 2 dimulai dari Jl. 17 Agustus, kemudian bergerak menuju Jl. WR Supratman, dan selanjutnya langsung menuju TPA. Total jarak yang semula 9 km menjadi 6.2 km.

Rute pengangkutan sampah setelah pengolahan untuk Truck 3. Jalur pengangkutan ditandai dengan garis berwarna biru yang menunjukkan rute tercepat menuju Tempat Pemrosesan Akhir

(TPA). Rute ini dipilih berdasarkan pertimbangan jarak terpendek dan waktu tempuh yang paling efisien untuk mendukung kelancaran operasional pengangkutan. Truck 3 memulai rutenya dari Jl. Piere Tendean, kemudian melanjutkan perjalanan ke Jl. Lembong, dilanjutkan menuju Jl. Boulevard II, sebelum akhirnya mencapai lokasi TPA. Total jarak yang semula 7.9 km menjadi 5,78 km.



Gambar 5. (a) Rute SPA IV; (b) Rute SPA V; (Sumber: Google Maps)

Rute pengangkutan sampah setelah pengolahan untuk Truck 4. Jalur rute ditunjukkan dengan garis berwarna biru yang menandakan jalur tercepat dan paling efisien untuk mencapai Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pemilihan jalur ini mempertimbangkan faktor jarak, kondisi lalu lintas, serta kecepatan akses menuju TPA. Truck 4 memulai perjalanan dari Jl. Piere Tendean, kemudian melanjutkan menuju Jl. Dotulong Lasut, dan akhirnya menuju TPA. Total jarak yang semula 6.8 km menjadi 5.2 km.

Rute pengangkutan sampah setelah pengolahan untuk Truck 5. Jalur perjalanan Truck 5 ditandai dengan garis berwarna biru, yang menunjukkan rute tercepat dan paling efisien menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pemilihan jalur ini memperhatikan jarak tempuh terpendek dan kondisi lalu lintas untuk mengoptimalkan efektivitas proses pengangkutan. Truck 5 memulai perjalanan dari area depan Kantor Ex Bank BI, kemudian melanjutkan ke Jl. Boulevard II, dan selanjutnya bergerak menuju TPA. Rute ini tergolong sederhana dengan hanya melalui satu jalan utama sebelum mencapai TPA. Total jarak yang semula 5.8 km menjadi 5.78 km.

3.2.2 Efisiensi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Dynamic Programming

Tabel 2. Biaya Bahan Bakar setelah pengolahan

Dump Truck	Jumlah BBM/hari (Liter)		Total Biaya (RP./Hari)	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	20	15	Rp. 136.000	Rp. 102.000
2	20	15	Rp. 136.000	Rp. 102.000
3	20	19	Rp. 136.000	Rp. 129.000
4	20	17	Rp. 136.000	Rp. 116.000
5	20	13	Rp. 136.000	Rp. 88.000

Tabel 2 menunjukkan perbandingan jumlah konsumsi bahan bakar minyak (BBM) per hari serta total biaya operasional harian sebelum dan sesudah dilakukan suatu perubahan pada lima unit dump truck. Dari data ini, terlihat bahwa ada efisiensi dalam penggunaan BBM, yang berdampak langsung pada pengurangan biaya operasional harian. Sebelum perubahan, setiap dump truck mengkonsumsi 20 liter BBM per hari dengan total biaya operasional sebesar Rp. 136.000 per hari. Setelah perubahan, konsumsi BBM mengalami penurunan pada setiap dump truck, berkisar antara 13 hingga 19 liter per hari. Seiring dengan penurunan konsumsi BBM, total biaya operasional harian juga berkurang, dengan nilai berkisar antara Rp. 88.000 hingga Rp. 129.000 per hari. Dari data ini terlihat bahwa ada efisiensi dalam penggunaan BBM, yang berdampak langsung pada pengurangan biaya operasional harian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dynamic Programming dengan pendekatan Stagecoach Problem efektif digunakan untuk menentukan rute terbaik dalam pengangkutan sampah dari SPA ke TPA. Hasil analisis menunjukkan penurunan signifikan pada total jarak tempuh untuk setiap aramada dump truck. Sebagai contoh, rute dump truck 1 yang semula 8,2 km dapat dioptimalkan menjadi 7,34 km.
2. Optimalisasi rute melalui Dynamic Programming terbukti mampu mengurangi konsumsi bahan bakar setiap dump truck dari rata-rata 20 liter per hari menjadi sekitar 13 hingga 19 liter per hari. Pengurangan konsumsi bahan bakar ini berdampak langsung pada penurunan biaya operasional harian, yang sebelumnya Rp. 136.000 per kendaraan menjadi antara Rp. 88.000 hingga Rp. 129.000.

Referensi

- Andrew, A. I., M, dan R. (2021). Optimalisasi Sistem Pengangkutan Sampah di Kecamatan Mapanget Kota Manado. TEKNO – Volume 19 Nomor 78.
- Azura, M. N., Sari, D. P., Hanum, S., dan Husein, I. (2020). Application of the Forward Recursive Equation Model On Waste Transportation Routes in Medan Johor Sub-District Using Dynamic Programming Algorithm. Journal of Mathematics and Scientific Computing with Applications.
- Damanhuri, E., dan Padmi, T. (2010). Pengangkutan Sampah. Bandung: Diktat Kuliah, Program Studi Teknik Lingkungan ITB.
- Firmansyah, dan Noor. (2016). Perencanaan Pengelolaan Sampah Terpadu Perumahan Citra Graha Provinsi Kalimantan Selatan. Kalimantan Selatan.
- Franklin Peter Anton Karundeng, Ika Purnamasari, dan Desi Yuniarti. (2021). Penyelesaian Assignment Problem Dengan Menggunakan Metode Program Dinamis (Studi Kasus: CV. Sinar Utama). Jurnal EKSPONENSIAL Volume 12, Nomor 2, Nopember 2021.
- Hartanto. (2006). Kinerja Pengelolaan Sampah di Kota Gombong Kabupaten Kebumen. Kebumen.
- Hartono, W. S. (2020). Analisis Inovasi Bank Sampah Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Kelurahan Bahagia Kecamatan Babelan Kabupaten Bekasi. Bekasi.
- Issue, V., Rizki, A., Remba, D., & Pulansari, F. (2025). JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Analisis transportasi pengangkutan sampah dengan dump truck di PT XYZ pada area Pelabuhan Tanjung Perak dengan metode Dynamic programming. 8(1).
- Kadariswan.A, (2017), Kajian sistem transfer dan pengangkutan sampah di kecamatan Mejayan, kabupaten Madiun
- Karundeng, F. P. A., Purnamasari, I., & Yuniarti, D. D. (2021). Penyelesaian Assignment Problem Dengan Menggunakan Metode Program Dinamis (Studi Kasus : CV. Sinar Utama) Solving Assignment Problem using Dynamic Programing Methods (Case Study : CV. Sinar Utama). Jurnal EKSPONENSIAL, Lasut CH.A, Makalew M.F, Opit.F.P. (2019) Analisis rute pengangkutan sampah kota Manado dengan pendekatan vehicle routing problem (VRP). Jurnal Ilmiah Realtech.
- Martha R, Aziz.R, Raharjo.S.(2023) Analisis rute transportasi sampah kota Padang dengan life cycle assessment. Jurnal serambi engineering volume VII, No.2.
- Mokudumpis Y, K. M. (2019). Jurnal Implementasi Kebijakan Pengelolaan Sampah di Kota Manado. Manado.
- Nasional, B. S. (2002). Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan. Jakarta.
- Nugroho, R. D., & Anton, K. Y. (2022). OPTIMASI DISTRIBUSI ALAT KESEHATAN STERIL DAN NON STERIL MENGGUNAKAN METODE SAVING MATRIKS AND ALGORITMA CLARKE STUDI KASUS : PT MULTITAMA SARANA INDONESIA (MSI). 1(6), 1429–1450.
- Purnamasari Dewi Citra, S. A. (2018). Vehicle Routing Problem (VRP) For Courier Service A Review.

- Permen PU no 3. Tahun 2013 tentang penyelenggaraan dan sarana persampahan dalam penanganan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.
- Rori V.S, Rondonuwu G.S, Manoppo J.F. (2022) Optimalisasi kebutuhan pengangkutan sampah dan potensi reduksi timbulan sampah dengan metode Mass Balance di kecamatan Malalayang kota Manado. Jurnal Teknik Volume 20, No. 2.
- Saputra Kana, H. H. (2020). Analisis Transportasi Pengangkutan Sampah di Kota Medan Menggunakan Dynamic Programming. Jurnal Informatika Vol. 7 No. 2.
- Slat N.E, Tombokan R.F, Takaendengan T (2022) Analisis Biaya Pengangkutan Sampah Dengan Menggunakan Kendaraan Roda Tiga Di Kelurahan Kairagi Dua Kota Manado. Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi Politeknik negeri Manado Vol.1 No.2
- Yunita Tri Anggun, A. M. (2016). ANALISIS SISTEM TRANSPORTASI SAMPAH KOTA TUBAN MENGGUNAKAN DYNAMIC PROGRAMMING. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 6 No. 1, 45-52.
- Zikrillah, A. (2023). Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Menuju Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Di Kota Langsa Menggunakan Metode Dynamic Programing.