

Route Optimization Based Waste Collection System Planning Using the Saving Matrix Approach at UPN “Veteran” East Java

Perencanaan Sistem Pengumpulan Sampah Berbasis Optimasi Rute dengan Pendekatan *Saving Matrix* UPN “Veteran” Jawa Timur

Fransisca Nanda Auliya, Praditya Sigit Ardisty Sitogasa

Environmental Engineering Study Program, UPN “Veteran” East Java University, Surabaya

Email: praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

Abstract - The waste collection system on campus has become a strategic challenge as the academic community continues to grow. This case study aims to analyze the characteristics of waste generation and optimize waste collection routes from building collection points to the Temporary Storage Site (TPS) at UPN “Veteran” East Java. The weight and volume of waste generated data were obtained through measurements taken over eight days in accordance with SNI (Standar Nasional Indonesia) standards. The Saving Matrix method was applied to develop optimal transportation routes to reduce the total daily distance traveled. The results of the study show that the total waste generated reached 11.525 m³/day. The implementation of the Saving Matrix method successfully improved operational efficiency significantly, with a 22,7% reduction in total daily travel distance compared to existing conditions. The results of this analysis provide a tangible contribution to campus facilities and infrastructure management in designing a waste transportation system that is more effective, measurable, and operationally efficient.

Keywords: Waste Generation, Route, Saving Matrix

Abstrak – Sistem pengangkutan sampah di lingkungan kampus telah menjadi tantangan strategis seiring dengan terus berkembangnya civitas akademika. Studi kasus ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik timbulan sampah serta mengoptimalkan rute pengangkutan sampah dari titik pengumpulan di gedung menuju Tempat Penampungan Sementara (TPS) di UPN “Veteran” Jawa Timur. Data berat dan volume sampah yang dihasilkan diperoleh melalui pengukuran selama delapan hari sesuai dengan standar SNI (Standar Nasional Indonesia). Metode *Saving Matrix* diterapkan untuk menyusun rute pengangkutan yang optimal guna mengurangi total jarak tempuh harian. Hasil kajian menunjukkan bahwa total sampah yang dihasilkan mencapai 11,525 m³/hari. Penerapan metode *Saving Matrix* berhasil meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan, dengan pengurangan total jarak tempuh harian sebesar 22,7% dibandingkan dengan kondisi sebelum kegiatan. Hasil analisis ini memberikan kontribusi nyata bagi pengelolaan sarana dan prasarana kampus dalam merancang sistem pengangkutan sampah yang lebih efektif, terukur, dan efisien secara operasional.

Kata kunci: Timbulan Sampah, Rute, *Saving Matrix*

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah internal di lingkungan kampus memerlukan tingkat ketepatan yang tinggi untuk memastikan bahwa jadwal pengangkutan limbah tidak mengganggu kegiatan operasional kampus [1]. Di UPN “Veteran” Jawa Timur, sistem pengangkutan sampah dari titik pengumpulan menuju tempat penampungan sementara (TPS) menggunakan armada sepeda motor dengan pola pergerakan yang cenderung statis. Pola ini sering kali menyebabkan variasi dalam siklus pengangkutan, karena kapasitas angkut armada dibatasi oleh rute statis yang

tidak memperhitungkan fluktuasi volume sampah di setiap titik pengumpulan [2].

Landasan pengelolaan sampah diatur dalam Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 tahun 2008 [3], serta Peraturan Pemerintah Nomor 81 tahun 2012 yang mewajibkan pengelolaan dari pemilahan hingga pengangkutan. Secara teknis [4] ketentuan ini didukung oleh standar teknik dalam SNI (Standar Nasional Indonesia) No. 19-2454-2002 yang mengatur pewadahan, ritasi, dan pola pengangkutan [5]. Mengacu pada tatanan tersebut, pola pengangkutan di UPN “Veteran” Jawa Timur tampak tidak efisien.

Kesenjangan efisiensi ini diperparah oleh kurangnya pendekatan model matematis yang mampu menyelaraskan karakteristik teknis armada dengan sebaran spasial titik pengumpulan sampah di kampus [6]. Perencanaan transportasi sering kali mengandalkan pendekatan intuitif, padahal pengelolaan limbah padat menuntut integrasi antara efisiensi rute fisik dan proyeksi kapasitas sistem yang berkelanjutan [7]. Tanpa adanya optimalisasi yang terstruktur, sistem pengumpulan sampah akan mengalami gangguan layanan seiring dengan perubahan pola pembuangan sampah di kalangan komunitas akademis di masa depan [8].

Studi kasus ini merumuskan sistem transportasi terpadu melalui pendekatan strategis. Penerapan metode matriks penghematan digunakan untuk mengoptimalkan urutan pergerakan armada berdasarkan penghematan jarak dan kapasitas muatan efektif. Metode ini bertujuan untuk menciptakan kerangka kerja optimalisasi rute harian sehingga memungkinkan sistem pengelolaan sampah kampus beroperasi secara efektif dan tepat.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan dilaksanakan selama 8 hari berturut-turut pada tanggal 14 April 2026 – 12 Mei 2026 di lingkungan kampus UPN “Veteran” Jawa Timur. Fokus studi mencakup tiga gedung representatif, yaitu Gedung Kuliah Bersama dan Asrama, serta sapuan jalan dan taman. Data sekunder dalam studi ini yaitu data timbulan sampah untuk area Fakultas, Rektorat, dan Kantin tercatat dari hasil survei lapangan periode 2024–2025. Data sekunder berfungsi untuk melengkapi proyeksi total timbulan sampah di UPN “Veteran” Jawa Timur. Data tersebut diperoleh melalui prosedur pengukuran lapangan yang sistematis.

Seluruh data timbulan digunakan untuk membentuk matriks kebutuhan pengangkutan. Langkah perhitungan dilakukan melalui prosedur sistematis sebagai berikut [9] :

- Matrix jarak, dengan pemetaan jarak fisik antar seluruh titik pengumpulan sampah dan jarak dari TPS ke seluruh titik.
- Menghitung potensi penghematan jarak dengan rumus :

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - C_{ij} \quad 1)$$

Keterangan :

C_{0i} = jarak TPS ke titik i
 C_{0j} = jarak TPS ke titik j
 C_{ij} = jarak antar titik i dan j

S_{ij} = Besarnya penghematan jarak dari penggabungan titik i ke lokasi j (km)

Nilai S_{ij} menunjukkan besarnya jarak yang dapat dihemat jika titik i dan j digabungkan dalam satu rute perjalanan.

- Mengurutkan nilai *saving* dari yang terbesar hingga terkecil dengan mempertimbangkan batasan kapasitas muat maksimal armada agar tidak melampaui volume bak armada.
- Menghitung efisiensi jarak eksisting dengan jarak rekomendasi atau usulan.

Efisiensi jarak (%) =

$$\left(\frac{\text{Jarak eksisting} - \text{Jarak rekomendasi}}{\text{Jarak eksisting}} \right) \times 100\% \quad 2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

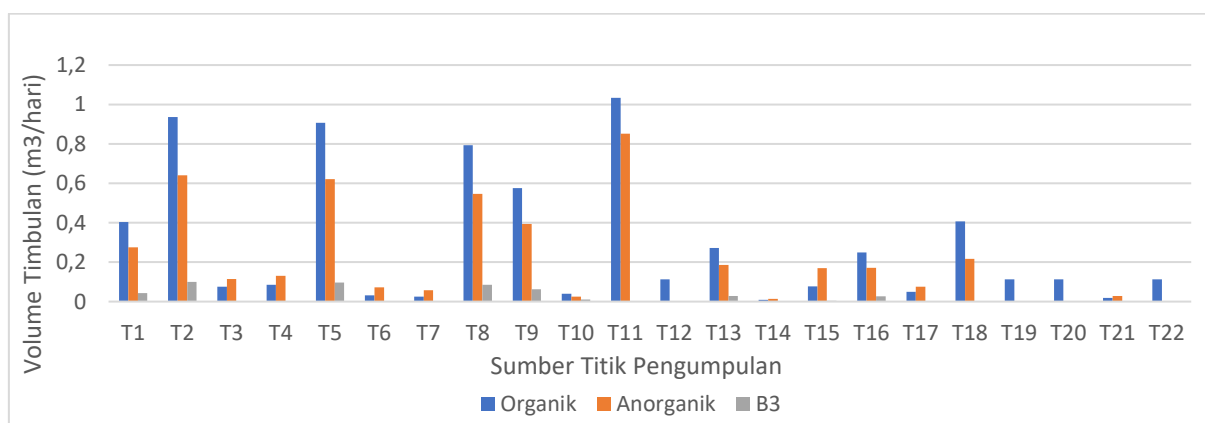
Analisis Timbulan Sampah Kampus

Produksi sampah di kampus UPN “Veteran” Jawa Timur diidentifikasi berdasarkan berbagai sumber. Produksi sampah harian mencapai 11,525 m³/hari, berasal dari aktivitas sehari-hari komunitas akademik yang berjumlah 32.615 orang. Berdasarkan komposisinya, sampah tersebut dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu sampah organik, sampah anorganik, dan sampah berbahaya dan beracun (B3) [10]. Tingkat produksi sampah ini memerlukan strategi pengumpulan yang sistematis untuk mengelola beban operasional di setiap titik pengumpulan secara optimal dan mencegah penumpukan berlebihan di Tempat Penampungan Sampah Sementara (TPS). Untuk menentukan lokasi-lokasi yang harus dilayani oleh sistem pengangkutan sampah, terdapat identifikasi yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Pada **Gambar 1**, tampak 22 titik pengumpulan sampah dari T1 hingga T22, yang tersebar di berbagai gedung dan area strategis di kampus. Semua titik dikumpulkan ke satu fasilitas Penyimpanan Sampah Sementara (TPS). TPS berfungsi sebagai tujuan akhir pengangkutan internal sebelum sampah diproses lebih lanjut. Distribusi titik-titik ini menyoroti kompleksitas wilayah layanan sehingga memerlukan rute pengangkutan yang terstruktur untuk memastikan pengumpulan sampah yang efisien dari setiap sumber ke TPS. Titik-titik ini berfungsi sebagai kumpulan data spasial utama untuk menentukan koordinat lokasi dan menghitung jarak tempuh antar titik. Data ini yang diperlukan untuk menerapkan metode *saving matrix* guna mengoptimalkan rute operasional. Volume timbulan sampah ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Peta Sebaran Titik Timbulan Sampah di UPN "Veteran" Jawa Timur



Gambar 2. Grafik Volume Timbulan Sampah

Produksi sampah organik dan anorganik tertinggi terjadi di Titik 11 (kantin), dengan volume masing-masing sebesar 1,034 m³/hari dan 0,852 m³/hari. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya intensitas aktivitas makan dan minum, yang menghasilkan jumlah sisa makanan, kemasan plastik, dan bahan organik lainnya yang cukup besar. Volume limbah berbahaya (B3) tertinggi tercatat di Titik 2 (Fakultas Ilmu Sosial dan Politik) dengan volume sebesar 0,1004 m³/hari. Meskipun volume limbah berbahaya di seluruh lokasi umumnya rendah, Titik 2 mencatat angka tertinggi, yang terkait dengan aktivitas administratif atau fasilitas pendukung yang ada di fakultas tersebut.

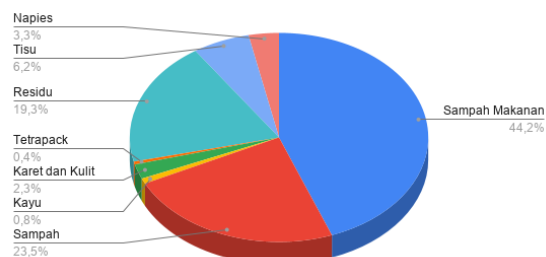
Volume limbah organik terendah tercatat di Titik 14 (GKB 1), yaitu sebesar 0,009 m³/hari, sedangkan volume limbah anorganik terendah tercatat di Titik 20 (Gedung BAKK), yaitu sebesar 0,029 m³/hari. Gedung BAKK ini merupakan gedung perkantoran, yang mewakili fasilitas

dengan produksi limbah paling sedikit. Hal ini disebabkan oleh fungsi administratif atau pendukungnya, yang melibatkan tingkat hunian atau frekuensi penggunaan yang lebih rendah. Terakhir, titik-titik pengumpulan yang tidak menghasilkan limbah berbahaya adalah Titik 12, 19, 20, dan 22. Titik-titik ini ditetapkan sebagai titik pengumpulan hasil penyapuan jalan dan taman, yang mana limbahnya sebagian besar terdiri dari bahan organik dan anorganik.

Komposisi Sampah di UPN "Veteran" Jawa Timur

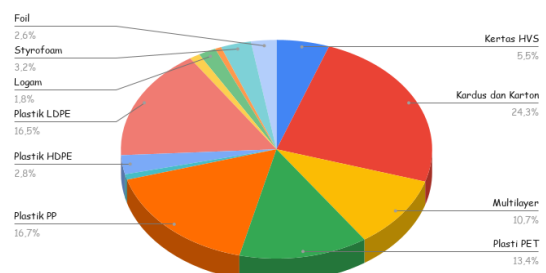
Analisis komposisi sampah organik (**Gambar 3**) menunjukkan bahwa sisa makanan dan sampah kebun merupakan komponen dominan, masing-masing mencapai 44,2% dan 23,5%, sehingga menjadikannya penyumbang terbesar dalam campuran sampah secara keseluruhan. Bahan organik yang umumnya basah dan mudah terurai dengan cepat seperti sisa makanan, tisu, residu, dan *nappies* atau

popok dikelompokkan ke dalam satu aliran pengumpulan. Jika bahan-bahan ini tercampur dengan sampah anorganik, sampah anorganik tersebut akan terkontaminasi oleh kelembapan dan bau. Kontaminasi tersebut secara drastis mengurangi nilai pasar sampah anorganik sebagai bahan baku daur ulang, baik di pusat pengumpulan maupun fasilitas pengolahan.



Gambar 3. Komposisi Sampah Organik

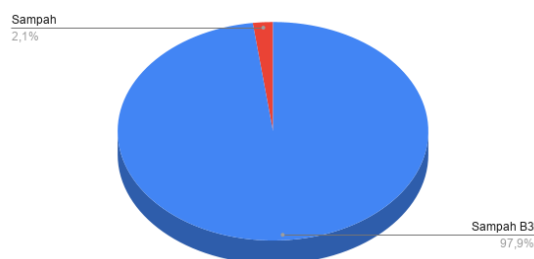
Analisis komposisi sampah anorganik (Gambar 4) menunjukkan bahwa komponen yang paling dominan adalah karton dan kardus (24,3%), plastik PP/Polypropylene (16,7%), dan plastik LDPE/Low Density Polyethylene (16,5%). Proporsi karton dan kardus yang disebabkan oleh penggunaan perlengkapan kantor, serta pemanfaatan bahan promosi berbahan dasar kertas atau karton di lingkungan kampus. Sementara itu, plastik jenis PP dan LDPE mencerminkan pola konsumsi komunitas akademik terkait produk makanan dan minuman kemasan praktis yang tersedia di kampus. Komposisi sampah anorganik ini menyoroti perlunya strategi pengelolaan yang berfokus pada pemilahan bahan daur ulang guna mengurangi volume sampah yang masuk ke tempat penampungan sampah sementara (TPS).



Gambar 4. Komposisi Sampah Anorganik

Komposisi limbah berbahaya dan beracun (B3) di kampus didominasi oleh masker wajah (97,9%) karena penggunaannya yang konsisten setiap hari untuk perlindungan diri, sedangkan limbah elektronik hanya menyumbang 2,1% karena pembuangannya yang tidak berkelanjutan (Gambar 5). Perbedaan proporsi ini menunjukkan bahwa penggunaan barang habis

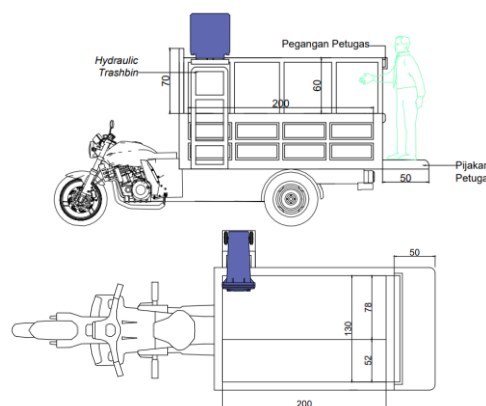
pakai khususnya alat pelindung diri merupakan faktor penentu utama karakteristik limbah berbahaya di lingkungan kampus.



Gambar 5. Komposisi Sampah B3

Desain Armada

Kendaraan yang digunakan dalam adalah unit pengumpulan sampah bermotor dengan volume bak muatan sebesar 2,86 m³. Untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan di tempat kerja, dilakukan modifikasi desain (Gambar 6) dengan menambahkan sistem hidrolik pada mekanisme pemuatan sampah. Fitur ini dirancang untuk membantu petugas dalam mengangkat tempat sampah, sehingga dapat meminimalkan beban fisik serta risiko cedera punggung dan kelelahan akibat pekerjaan.



Gambar 6. Desain Armada

Sistem pengangkutan mengoperasikan dua unit armada dengan fungsi yang spesifik, yaitu armada untuk mengangkat sampah organik dan sampah anorganik. Pemisahan pengangkutan armada ini bertujuan menjaga integritas material dari sampah anorganik agar tetap bersih dan kering, sehingga nilai ekonomis dan efektivitas proses pemilahan di TPS tetap terjaga [11]. Sampah organik dan sampah anorganik akan dikumpulkan di TPS setiap hari karena jumlah sampah tersebut memiliki volume yang banyak agar tidak terjadi penumpukan sampah di sumber. Untuk pengangkutan sampah B3

dilakukan tiap tiga hari sekali karena volume sampahnya sedikit.

Optimasi Rute Pengangkutan dengan Metode Saving Matrix

Saving Matrix adalah metode yang digunakan untuk menghitung penghematan jarak dalam penggabungan rute distribusi atau pengangkutan [12]. Data yang dibutuhkan untuk penghematan jarak yaitu data jarak titik pengumpul sampah ke TPS, serta data jarak antar titik. Optimasi rute pengangkutan dilakukan dengan metode *saving matrix* untuk meminimalkan total jarak tempuh harian. Proses ini melibatkan perhitungan nilai penghematan (*saving*) untuk seluruh kemungkinan pasangan dari 231 titik pengumpulan sampah di lingkungan kampus UPN "Veteran" Jawa Timur. **Tabel 1** menampilkan 10 pasangan titik dengan nilai penghematan tertinggi sebagai representasi prioritas penggabungan rute dari total 231 yang telah dilakukan. Pengurutan nilai penghematan ini menjadi dasar teknis dalam menyusun rute pengangkutan yang paling efisien, dengan tetap mempertimbangkan batasan kapasitas armada.

Tabel 1. Sampel 10 Nilai *Saving* Tertinggi dari 231 Perhitungan

No.	Titik Pengumpulan Sampah	Nilai S
1	S(21,22)	1,710
2	S(20,22)	1,607
3	S(20,21)	1,604
4	S(14,22)	1,478
5	S(14,21)	1,355
6	S(19,22)	1,353
7	S(19,21)	1,351
8	S(19,20)	1,348
9	S(13,22)	1,329
10	S(14,20)	1,254

Setelah diterapkan, metode *saving matrix* yang dipadukan dengan skenario pemisahan sampah di sumber, berhasil mengurangi rute operasional dari delapan menjadi lima, yaitu tiga rute organik dan dua rute anorganik. Optimalisasi ini berhasil menurunkan jarak tempuh harian total dari 10.169 km menjadi 7.861 km, yang menunjukkan peningkatan efisiensi jarak sebesar 22,7%. Secara kuantitatif, pengurangan sebesar 2.308 km/hari berkontribusi pada peningkatan efisiensi kumulatif tahunan sebesar 842 km. Efisiensi ini mengurangi intensitas penggunaan armada yang berkorelasi langsung dengan tingkat penyusutan kendaraan dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah sehingga berpotensi penghematan sebesar 22,7% pada total anggaran operasional tahunan. Hasil ini menegaskan bahwa pendekatan *saving matrix* merupakan strategi

optimasi logistik yang signifikan untuk meningkatkan kinerja sistem pengelolaan limbah di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Tabel 2. Hasil Rute Pengumpulan Sampah

Rute	Kondisi Sistem	Volume Timbunan Sampah (m ³)	Total Jarak Tempuh (km)
1	Eksisting (Sampah Tercampur)	2,240	0,773
2		1,605	1,296
3		1,406	1,299
4		1,031	1,416
5		1,029	1,994
6		0,750	1,382
7		2,515	1,408
8		0,948	0,603
Jumlah		11,525	10,169
1	Optimal Pengangkutan Sampah Organik	2,475	2,434
2		2,632	1,503
3		2,139	0,502
1	Optimal Pengangkutan Sampah Anorganik	2,419	2,664
2		2,190	0,757
Jumlah		11,525	7,861
Efisiensi Jarak			22,7%

4. PENUTUP

Studi kasus ini merancang sistem pengumpulan sampah yang lebih terstruktur dan berkelanjutan untuk kampus UPN "Veteran" Jawa Timur dengan mengintegrasikan metode *Saving Matrix* dengan pemodelan dinamika sistem. Analisis menunjukkan bahwa sistem yang ada saat ini kurang optimal, yang ditandai dengan total jarak tempuh sebesar 10.169 km/hari dan ketidaksesuaian kapasitas armada. Penerapan metode *Saving Matrix* berhasil mengoptimalkan rute pengumpulan, yang dibuktikan dengan berkurangnya jarak tempuh menjadi 7.861 km, menunjukkan peningkatan efisiensi operasional sebesar 22,7%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. O. Ojuri, A. S. Olowoselu, J. Akinrele, F. O. Ayodele, and O. O. Jayejeje, "Sustainable integrated solid waste management for a university campus – A case study of the Federal University of Technology Akure (FUTA), Nigeria," *Waste Manag. Bull.*, vol. 2, no. 2, pp. 161–170, 2024, doi: 10.1016/j.wmb.2024.04.004.
- [2] A. Baral, I. M. Rafizul, S. Das, and S. Berner, "Economic and environmental benefits of optimized waste transportation routes in Khulna," *Environ. Challenges*, vol. 17, no. September, p. 101023, 2024, doi: 10.1016/j.envc.2024.101023.
- [3] *Undang-Undang Republik Indonesia 18*

- TAHUN 2008, no. 1. 2008.
- [4] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. 2012.
- [5] Standar Nasional Indonesia 19-2454-2002 Tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan. 2002.
- [6] I. Pamungkas *et al.*, "Sistem Dinamis sebagai Alat Analisis dan Pengambilan Keputusan di Indonesia: Literature Review," *J. Ind. Inov.*, 2023.
- [7] D. L. Trenggonowati, I. Safi, and A. Umyati, "Pemodelan Sistem Dinamis Dalam Menentukan Supplier Menggunakan Simulasi Powersim," *J. Ind. Serv.*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [8] H. S. Zakria, M. H. D. Othman, R. Kamaludin, S. H. Sheikh Abdul Kadir, T. A. Kurniawan, and A. Jilani, "Immobilization techniques of a photocatalyst into and onto a polymer membrane for photocatalytic activity," *RSC Adv.*, vol. 11, no. 12, pp. 6985–7014, 2021, doi: 10.1039/d0ra10964a.
- [9] S. Siti, N. Amida, and L. Trisnawati, "Perencanaan Rute Pengangkutan Sampah Dengan Metode Vehicle Routing Problem," *J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, pp. 4059–4072, 2024.
- [10] M. H. S. Putra, "Analisa Komposisi Sampah yang Dihasilkan Berdasarkan Sifat dan Karakternya di Kampus Institut Teknologi Sumatera 2023," vol. 6, no. 1, pp. 13–18, 2025.
- [11] C. Hess, A. G. Dragomir, K. F. Doerner, and D. Vigo, *Waste collection routing : a survey on problems and methods*, vol. 32, no. 2. Springer Berlin Heidelberg, 2024. doi: 10.1007/s10100-023-00892-y.
- [12] L. Hoang, T. Nguyen, S. Ha, N. N. Phuong, and P. B. An, "Vehicle Routing Problem In Waste Collection: A Case Study In Son Tra, Danang," pp. 118–122, 2024, doi: 10.31130/ud-jst.2024.569E.