

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Dr. Astri Novianty, S.T., M.T.
NIP : 10800053
Program Studi : S1 Teknik Komputer
E-mail : astrinov@telkomuniversity.ac.id

Menerangkan bahwa:

Judul artikel karya ilmiah: **Peningkatan Efisiensi Pengangkutan Sampah Perkotaan melalui Aplikasi dengan Algoritma Genetika.**

Penulis: Marcelleno Yoga, Muhammad Afif Fadhlurrahman, Irawan Mardiansyah, Dr. Astri Novianty, S.T., Rifqi Muhammad Fikri, S.T., M.Sc. Eng.

BENAR akan dipublikasikan pada penerbit diluar (*eksternal*) Telkom University

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya, dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jika dikemudian hari diperlukan informasi terkait hal ini, saya bersedia untuk dihubungi.

Bandung, 11 Agustus 2025

Dosen Pembimbing I



Dr. Astri Novianty, S.T., M.T.

Peningkatan Efisiensi Pengangkutan Sampah Perkotaan melalui Aplikasi dengan Algoritma Genetika

1st Marcelleno Yoga
Universitas Telkom,
Fakultas Teknik Elektro
Program Studi Teknik Komputer
Bandung, Indonesia
Marcelleno3670@gmail.com

2nd Muhammad Afif Fadhlurrahman
Universitas Telkom,
Fakultas Teknik Elektro
Program Studi Teknik Komputer
Bandung, Indonesia
afif123bob@gmail.com

3rd Irawan Mardiansyah
Universitas Telkom,
Fakultas Teknik Elektro
Program Studi Teknik Komputer
Bandung, Indonesia
irawanmardiansyah94@gmail.com

4th Dr. Astri Novianty, S.T., M.T
Universitas Telkom,
Fakultas Teknik Elektro
Program Studi Teknik Komputer
Bandung, Indonesia
astrinov@telkomuniversity.ac.id

5th Rifqi Muhammad Fikri, S.T., M.Sc. Eng
Universitas Telkom,
Fakultas Teknik Elektro
Program Studi Teknik Komputer
Bandung, Indonesia
rifqmf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pengelolaan sampah di kota besar seperti Bandung menghadapi tantangan inefisiensi akibat ketergantungan pada rute pengangkutan statis, yang berdampak negatif pada biaya operasional dan lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkan sebuah aplikasi mobile bernama "Bluebin" yang mengimplementasikan Algoritma Genetika untuk optimasi rute pengangkutan secara dinamis. Sistem ini dirancang dengan arsitektur multi-pengguna yang melibatkan admin, petugas TPS (Tempat Penampungan Sementara), dan sopir truk, dengan memanfaatkan teknologi Kotlin untuk *front-end* dan Firebase serta Python untuk *back-end*. Pengujian sistem dilakukan melalui serangkaian uji lapangan dan evaluasi pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rute yang dioptimalkan oleh Bluebin mampu meningkatkan efisiensi waktu tempuh rata-rata sebesar 7,81% dibandingkan rute konvensional. Selain itu, tingkat kepuasan pengguna mencapai 84,2%, yang mengindikasikan penerimaan yang tinggi terhadap fungsionalitas dan kemudahan penggunaan aplikasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi Bluebin menawarkan solusi teknologi yang layak untuk meningkatkan efisiensi logistik sampah perkotaan, meskipun masih terdapat keterbatasan kinerja pada waktu respons sistem yang memerlukan penelitian lebih lanjut.

Kata kunci— algoritma genetika, optimasi rute, pengangkutan sampah, aplikasi mobile, sistem pendukung keputusan, Kota Bandung

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi yang pesat di kawasan perkotaan seperti Kota Bandung telah menyebabkan peningkatan volume sampah yang signifikan. Kondisi ini menuntut adanya sistem pengelolaan sampah yang tidak hanya responsif tetapi juga efisien. Namun, sistem pengangkutan sampah yang ada saat ini masih menghadapi berbagai kendala operasional. Ketergantungan pada rute

pengangkutan yang bersifat statis dan penjadwalan manual sering kali tidak mampu beradaptasi dengan kondisi dinamis di lapangan, seperti kemacetan lalu lintas, perubahan titik penumpukan sampah, dan volume sampah yang fluktuatif [1][3][6]. Akibatnya, terjadi berbagai dampak negatif, antara lain keterlambatan pengangkutan, pemborosan bahan bakar kendaraan, peningkatan beban kerja petugas, serta masalah lingkungan dan kesehatan akibat penumpukan sampah yang tidak terkelola dengan baik.

Upaya untuk memanfaatkan teknologi dalam pengelolaan sampah telah dilakukan, salah satunya melalui aplikasi DLH SIMAKS yang digunakan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bandung. Aplikasi ini berfungsi untuk penugasan dan pelaporan bukti pengangkutan oleh sopir truk. Meskipun demikian, aplikasi tersebut memiliki keterbatasan fundamental yang menjadi celah dalam penelitian ini. Beberapa kekurangan utamanya adalah tidak adanya fitur pelacakan lokasi sopir truk secara *real-time*, tidak adanya mekanisme bagi petugas di Tempat Penampungan Sementara (TPS) untuk melaporkan kondisi kapasitas sampah, dan yang paling krusial, tidak adanya fitur optimasi rute dinamis. Keterbatasan ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak akan sebuah sistem yang lebih cerdas dan terintegrasi untuk mengatasi kompleksitas masalah pengangkutan sampah perkotaan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sebuah sistem aplikasi mobile yang memanfaatkan Algoritma Genetika untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah secara dinamis di Kota Bandung. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan efisiensi operasional, yang diukur berdasarkan pengurangan waktu tempuh dan total jarak perjalanan armada pengangkut sampah. Dengan menyediakan rute yang optimal dan adaptif, aplikasi ini diharapkan dapat menjadi solusi

teknologi yang efektif untuk mendukung sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

II. KAJIAN TEORI

A. Optimasi Rute Pengangkutan Sampah

Optimasi rute pengangkutan sampah adalah proses krusial dalam logistik perkotaan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pengangkutan. Proses ini memanfaatkan perangkat lunak dan algoritma canggih untuk menentukan jalur terbaik yang dapat meminimalkan jarak, waktu, dan konsumsi bahan bakar, sekaligus memaksimalkan jumlah titik penjemputan per perjalanan. Dalam konteks pengelolaan sampah, optimasi rute secara dinamis mengatasi berbagai tantangan operasional seperti lalu lintas yang tidak terduga, volume sampah yang bervariasi, dan kebutuhan pengangkutan yang tepat waktu [1][4][5][10]. Tujuan utamanya adalah mencapai proses pengangkutan yang paling hemat biaya, efisien dari segi waktu, dan ramah lingkungan dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti pola lalu lintas, kondisi jalan, kapasitas kendaraan, dan jadwal layanan.

B. Algoritma Genetika untuk Optimasi Rute

Algoritma Genetika (AG) merupakan sebuah metode pencarian metaheuristik yang terinspirasi dari proses evolusi biologis dan seleksi alam. Algoritma Genetika sangat cocok untuk menyelesaikan masalah optimasi yang memiliki ruang pencarian solusi yang besar dan kompleks [2][7][8]. Metode ini bekerja dengan memelihara sebuah "populasi" solusi potensial (disebut kromosom) dan secara iteratif mengembangkannya menuju solusi yang lebih baik melalui mekanisme evolusioner. Konsep-konsep inti dalam Algoritma Genetika meliputi :

- **Populasi:** Sekumpulan solusi kandidat, di mana setiap solusi (kromosom) merepresentasikan sebuah rute pengangkutan.
- **Fungsi Fitness:** Sebuah fungsi untuk mengevaluasi kualitas setiap solusi. Dalam kasus ini, fitness berbanding terbalik dengan total jarak rute.
- **Seleksi:** Proses memilih individu (solusi) terbaik dari populasi untuk menjadi "induk" bagi generasi berikutnya.
- **Crossover (Pindah Silang):** Proses menggabungkan dua induk untuk menghasilkan "anak" atau solusi baru yang mewarisi sifat dari kedua induknya.
- **Mutasi:** Modifikasi acak pada sebagian kecil dari solusi untuk memperkenalkan keragaman dan mencegah konvergensi prematur pada solusi lokal yang tidak optimal.

C. Arsitektur Sistem Berbasis Mobile dan Cloud

Sistem aplikasi "Bluebin" dirancang menggunakan arsitektur *client-server* modern untuk mendukung kebutuhan mobilitas dan komputasi.

- **Front-end:** Aplikasi ini dikembangkan secara native untuk platform Android menggunakan bahasa pemrograman Kotlin dan toolkit Jetpack Compose. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan performa yang

optimal dan pengalaman pengguna yang responsif bagi pengguna di lapangan, yaitu sopir truk dan petugas TPS.

- **Back-end:** Infrastruktur *back-end* dibangun di atas platform cloud untuk memastikan skalabilitas dan kemudahan pengelolaan. Firebase dari Google Cloud Platform dimanfaatkan untuk layanan esensial seperti basis data *real-time* (Firestore), autentikasi pengguna, dan penyimpanan file (Cloud Storage). Untuk menangani proses komputasi Algoritma Genetika yang intensif, sebuah *microservice* terpisah dikembangkan menggunakan Python dengan framework FastAPI dan di-deploy pada Google Cloud Run. Arsitektur ini memisahkan logika bisnis utama dari proses komputasi berat, sehingga memastikan aplikasi tetap responsif.

III. METODE

A. Desain Sistem Aplikasi "Bluebin"

Aplikasi Bluebin dikembangkan untuk mendukung alur kerja terintegrasi antar tiga peran pengguna utama, di mana kolaborasi dan interaksi di antara peran-peran tersebut menjadi faktor kunci dalam menjalankan sistem optimasi secara efektif.:

1. **Admin:** Bertindak sebagai pusat kontrol operasional. Admin memiliki wewenang untuk memantau keseluruhan sistem melalui dasbor, mengelola akun pengguna (menyetujui atau menolak pendaftaran baru), melihat status terkini dari semua TPS, dan yang terpenting, memicu proses optimasi rute. Setelah rute optimal dihasilkan oleh sistem, admin menugaskannya kepada sopir truk yang tersedia dan dapat memantau pergerakan kendaraan secara *real-time* di peta.
2. **Petugas TPS:** Merupakan sumber data lapangan yang krusial. Setiap petugas bertanggung jawab atas satu atau lebih TPS. Tugas utamanya adalah melaporkan status kapasitas TPS secara *real-time* dengan mengubah statusnya menjadi "Penuh" atau "Kosong" melalui aplikasi. Laporan ini wajib disertai dengan bukti foto untuk validasi. Input dari petugas TPS inilah yang menjadi pemicu utama bagi Admin untuk menjalankan algoritma optimasi, karena hanya TPS berstatus "Penuh" yang akan dimasukkan ke dalam perhitungan rute.
3. **Sopir Truk:** Adalah eksekutor di lapangan. Setelah menerima jadwal dan rute yang telah dioptimalkan dari admin, sopir truk menggunakan aplikasi untuk navigasi *turn-by-turn* ke setiap TPS dalam urutan yang telah ditentukan. Di setiap titik pemberhentian, sopir truk wajib melaporkan penyelesaian tugas dengan mengunggah foto sebagai bukti pengangkutan.

B. Implementasi Algoritma Genetika

Implementasi teknis dari Algoritma Genetika dirancang secara spesifik untuk menyelesaikan masalah dalam konteks pengangkutan sampah :

- **Representasi Kromosom:** Setiap solusi atau "kromosom" dalam populasi direpresentasikan sebagai sebuah permutasi (urutan) dari ID TPS yang berstatus "Penuh"[9]. Rute ini selalu diawali dari titik keberangkatan tetap (Depo) dan diakhiri di titik pembuangan akhir (TPA Sarimukti).
- **Fungsi Fitness:** Kualitas dari setiap kromosom dievaluasi menggunakan fungsi fitness yang sederhana namun efektif. Nilai fitness dihitung sebagai kebalikan dari total jarak tempuh rute tersebut ($\text{fitness} = 1/\text{total_distance}$). Dengan demikian, rute dengan total jarak yang lebih pendek akan memiliki nilai fitness yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan peluangnya untuk bertahan dan bereproduksi.
- **Mekanisme Evolusi:** Proses evolusi untuk menghasilkan solusi yang lebih baik dari generasi ke generasi menggunakan kombinasi operator berikut:
- **Seleksi:** Strategi elitisme diterapkan, di mana sejumlah kecil individu terbaik (rute terpendek) dari setiap generasi secara otomatis diloloskan ke generasi berikutnya. Hal ini memastikan bahwa solusi terbaik yang pernah ditemukan tidak akan hilang selama proses evolusi.
- **Crossover (Pindah Silang):** Operator *Ordered Crossover* digunakan untuk menghasilkan dua individu anak dari dua induk. Metode ini sangat cocok untuk masalah berbasis permutasi karena memastikan bahwa setiap anak yang dihasilkan tetap merupakan rute yang valid (tidak ada TPS yang dikunjungi dua kali).
- **Mutasi:** Operator *Swap Mutation* diaplikasikan dengan probabilitas yang rendah. Operator ini bekerja dengan cara menukar posisi dua TPS secara acak dalam sebuah rute. Tujuannya adalah untuk menjaga keragaman genetik dalam populasi dan membantu algoritma keluar dari jebakan solusi optimal lokal.

C. Skenario Pengujian Kinerja

Untuk memvalidasi efektivitas dan kinerja sistem, serangkaian pengujian yang terstruktur telah dilaksanakan :

- **Pengujian Efisiensi Rute:** Pengujian ini merupakan validasi utama dari hipotesis penelitian. Dilakukan empat kali uji coba lapangan pada hari dan waktu yang berbeda untuk mensimulasikan kondisi lalu lintas yang beragam. Dalam setiap uji coba, rute yang dihasilkan oleh Algoritma Genetika Bluebin

dibandingkan secara langsung dengan rute statis yang disimulasikan berdasarkan sistem operasional DLH yang ada, dengan mengukur total jarak tempuh (km) dan estimasi waktu tempuh (menit).

- **Pengujian Kinerja API:** Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kinerja non-fungsional dari sistem, khususnya latensi dari *endpoint back-end* yang bertanggung jawab atas perhitungan optimasi. Menggunakan alat Postman, waktu respons server diukur di bawah berbagai skenario input, seperti saat semua TPS dilaporkan penuh atau saat statusnya campuran.
- **Pengujian Penerimaan Pengguna (UAT):** Fase ini melibatkan pemangku kepentingan langsung dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung. Pengguna akhir (dalam hal ini, admin) diberikan kesempatan untuk menggunakan aplikasi secara langsung dalam skenario simulasi. Umpan balik kualitatif dikumpulkan untuk menilai aspek kegunaan, kesesuaian fungsionalitas dengan kebutuhan operasional, dan kepuasan pengguna secara keseluruhan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kinerja Optimasi Rute

Untuk mengukur peningkatan efisiensi, perbandingan dilakukan antara rute konvensional (DLH) dan rute hasil optimasi (Bluebin). Peningkatan efisiensi dihitung menggunakan rumus berikut :

- Peningkatan Efisiensi Jarak

$$= \frac{(\text{Jarak DLH} - \text{Jarak Bluebin})}{\text{Jarak DLH}} \times 100\%$$

- Peningkatan Efisiensi Waktu

$$= \frac{(\text{Waktu DLH} - \text{Waktu Bluebin})}{\text{Waktu DLH}} \times 100\%$$

- Total Peningkatan Efisiensi Jarak

$$= \frac{(\text{Total Jarak DLH} - \text{Total Jarak Bluebin})}{\text{Total Jarak DLH}} \times 100\%$$

- Total Peningkatan Efisiensi Waktu

$$= \frac{(\text{Total Waktu DLH} - \text{Total Waktu Bluebin})}{\text{Total Waktu DLH}} \times 100\%$$

Hasil dari empat uji coba lapangan yang membandingkan rute statis (DLH) dengan rute dinamis (Bluebin) disajikan

pada Tabel 1 [3][6]. Data ini menjadi bukti empiris utama untuk mengevaluasi efektivitas algoritma.

Tabel 1
Perbandingan Kinerja Rute (DLH dan Bluebin)

Pengujian ke -	Jarak Rute DLH (km)	Jarak Rute Bluebin (km)	Waktu Rute DLH (Menit)	Waktu Rute Bluebin (Menit)	Efisiensi Jarak (%)	Efisiensi Waktu (%)
1	16.55	12.75	50	42	22.96%	16%
2	18.50	16.00	81	71	13.51%	12.35%
3	44.00	46.95	102	110	-6.70%	-7.84%
4	70.50	68.50	151	131	2.84%	13.25%
Total	149.55	144.20	384	354	3.58%	7.81%

Secara keseluruhan, implementasi Algoritma Genetika pada aplikasi Bluebin menunjukkan peningkatan efisiensi yang positif. Dari total empat pengujian, sistem berhasil mengurangi total jarak tempuh sebesar 3,58% dan, yang lebih penting, memangkas total waktu perjalanan sebesar 7,81%. Penghematan waktu yang lebih signifikan dibandingkan penghematan jarak mengindikasikan bahwa nilai utama algoritma ini tidak hanya terletak pada kemampuannya menemukan jalur terpendek, tetapi juga jalur tercepat dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas[10].

Analisis lebih dalam pada hasil per pengujian mengungkapkan sebuah pola yang menarik. Pada pengujian keempat, yang dilakukan pada hari Senin pagi saat lalu lintas padat, penghematan jaraknya minimal (2,84%), namun penghematan waktunya sangat substansial (13,25% atau 20 menit). Hal ini menunjukkan bahwa algoritma berhasil mengidentifikasi rute alternatif yang, meskipun tidak jauh lebih pendek secara geometris, secara signifikan lebih lancar dan mampu menghindari titik-titik kemacetan utama. Sebaliknya, pada pengujian ketiga yang dilakukan pada Sabtu pagi saat lalu lintas sangat lengang, algoritma justru menghasilkan rute yang sedikit lebih panjang dan lebih lama. Dalam kondisi tanpa kemacetan, masalah optimasi lebih mendekati pencarian jarak terpendek murni. Rute statis DLH yang disimulasikan kemungkinan secara kebetulan sudah merupakan jalur yang cukup efisien dari segi jarak, dan sifat heuristik dari Algoritma Genetika menemukan solusi yang sedikit suboptimal. Temuan ini menyiratkan bahwa kekuatan utama dan nilai tambah dari optimasi dinamis ini paling terasa dalam lingkungan operasional yang padat dan kompleks, di mana kemampuan untuk menavigasi kemacetan menjadi faktor penentu efisiensi.

B. Analisis Kinerja Sistem dan Penerimaan Pengguna

Selain efektivitas algoritma, viabilitas praktis sistem juga bergantung pada kinerja teknis dan penerimaan oleh pengguna. Pengujian kinerja pada endpoint API optimasi menunjukkan adanya tantangan yang signifikan, seperti yang dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2
Waktu Respons API Endpoint Optimasi

No.	Skenario Pengujian	Waktu Respons (ms)
1	Semua TPS Penuh	38799
2	Status TPS Campuran	25431
3	Tanpa Mempertimbangkan Lalu Lintas	18863

Data menunjukkan bahwa waktu respons untuk proses komputasi optimasi rute sangat tinggi, mencapai hampir 39 detik dalam skenario terberat. Latensi ini menjadi *bottleneck* kritis yang menghambat kemampuan sistem untuk memberikan rekomendasi rute secara instan, sebuah fitur yang ideal untuk operasi dinamis di lapangan.

Namun, temuan yang paling menarik muncul ketika kinerja teknis yang lambat ini dihadapkan dengan data penerimaan pengguna. Hasil dari Beta Testing menunjukkan tingkat kepuasan pengguna secara keseluruhan mencapai 84,2%, dengan interpretasi "Sangat Setuju". Demikian pula, umpan balik dari sesi UAT dengan DLH sangat positif, dengan pujian khusus ditujukan pada konsep sistem dan antarmuka yang "minimalis" dan mudah digunakan. Terdapat sebuah kontradiksi yang jelas: bagaimana pengguna bisa sangat puas dengan sistem yang secara teknis lambat? Jawabannya terletak pada perbandingan dengan sistem yang ada. Sistem saat ini (DLH SIMAKS) tidak memiliki fitur optimasi sama sekali. Bagi pengguna, menunggu 30-40 detik untuk mendapatkan rute yang jauh lebih efisien merupakan sebuah kemajuan besar dibandingkan tidak memiliki panduan rute cerdas sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi dan memberikan solusi untuk masalah bisnis utama yang dirasakan pengguna, yaitu kurangnya dukungan keputusan untuk perencanaan rute. Pengguna bersedia menoleransi keterbatasan teknis (latensi) demi mendapatkan nilai operasional yang signifikan [3]. Ini menggarisbawahi bahwa pada tahap awal adopsi teknologi, fungsionalitas yang menjawab kebutuhan inti dan kemudahan penggunaan dapat menjadi lebih penting daripada kinerja teknis mentah.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa aplikasi "Bluebin" yang ditenagai oleh Algoritma Genetika merupakan sebuah pendekatan yang efektif untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah perkotaan. Bukti empiris dari uji coba lapangan menunjukkan kemampuan sistem untuk mengurangi total waktu tempuh perjalanan sebesar 7,81%, yang mengonfirmasi validitas metode yang diusulkan. Tingkat penerimaan pengguna yang tinggi, dengan skor kepuasan 84,2%, lebih lanjut memvalidasi bahwa desain aplikasi dan fungsionalitasnya sesuai dengan kebutuhan operasional pengguna akhir di lapangan.

Meskipun demikian, penelitian ini juga secara transparan mengidentifikasi keterbatasan utama yang perlu diatasi. Keterbatasan paling kritis adalah latensi komputasi yang signifikan pada API optimasi, dengan waktu respons mencapai hampir 39 detik, yang menghambat potensi penggunaan sistem secara *real-time*. Selain itu, analisis

menunjukkan bahwa efektivitas algoritma sangat bergantung pada kondisi lalu lintas, di mana ia memberikan nilai tambah terbesar di lingkungan yang padat namun kurang optimal di kondisi lalu lintas yang sangat lancar.

Berdasarkan temuan ini, arah penelitian di masa depan harus difokuskan pada beberapa area prioritas. Pertama, optimasi *back-end* untuk mengurangi waktu respons API secara drastis, misalnya dengan mengeksplorasi teknik pemrosesan asinkron atau algoritma heuristik yang lebih cepat. Kedua, implementasi fungsionalitas luring (offline) sangat penting untuk memastikan keandalan aplikasi di area dengan konektivitas internet yang tidak stabil. Terakhir, model optimasi dapat diperkaya dengan memasukkan variabel tambahan seperti kapasitas kendaraan dan data volume sampah real-time dari setiap TPS untuk menghasilkan rute yang lebih akurat dan efisien secara holistik.

REFERENSI

- [1] C. C. Ferrão et al., "Optimizing routes of municipal waste collection: an application algorithm," *Management of Environmental Quality*, vol. 35, no. 5, pp. 965–985, 2024.
- [2] A. A. Andoko and L. Hironimus, "Optimal Design of Waste Transport System Using Genetic Algorithm," *Proxies: Jurnal Informatika*, vol. 6, no. 1, 2024.
- [3] R. Assaf and Y. Saleh, "Vehicle-Routing Optimization for Municipal Solid Waste Collection Using Genetic Algorithm," *Civil and Environmental Engineering Reports*, vol. 26, no. 3, pp. 43–57, Sep. 2017.
- [4] S. O. Uşkay, "Route optimization for solid waste transportation using parallel hybrid genetic algorithms," Middle East Technical University, Thesis, 2010.
- [5] B. González et al., "Modeling and solving an integrated periodic vehicle routing and capacitated facility location problem in the context of solid waste collection," *arXiv preprint arXiv:2504.10648*, 2025.
- [6] H. W. et al., "Optimization of Vehicle Routing for Waste Collection and Transportation," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 14, Art. 4963, Jul. 2020.
- [7] D. R. Ketaren, P. Gultom, and M. K. M. Nasution, "Multi-objective vehicle routing problem with time windows via genetic algorithm," *Desimal: Jurnal Matematika*, 2025.
- [8] M. T. Lamata, J. I. Peláez, J. C. Sierra, and J. M. Bravo, "A Sectoring Genetic Algorithm for the Urban Waste Collection Problem," in *Computational Intelligence (Fuzzy Days 1999)*, vol. 1625, pp. 671–677.
- [9] A. Irianti, S. Cokrowibowo, and A. Aswandi, "Optimasi Multiple Traveling Salesman Problem dengan Algoritma Genetika," *Proc. KONIK*, vol. 5, no. 1, pp. 86–89, Aug. 2021.
- [10] K. O. Chauke, G. M. Komba, and N. Makondo, "Optimizing Waste Collection Routes in an Intelligent Bin Monitoring System Using Genetic Algorithms," *Tshwane University of Technology, Pretoria, South Africa*, 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/385738550>