



Optimasi Rute Perjalanan Kunjungan Sekolah dengan Menggunakan Genetic Algorithm

Veraldo^{1*}, Klaudius Audie Irsansaputra², Yohannes³

^{1,2,3}Informatika, Fakultas Ilmu Komputer dan Rekayasa, Universitas Multi Data Palembang, Palembang, Indonesia
Email: ^{1*}veraldo_2327250001@mhs.mdp.ac.id, ²klaudiusaudieirsansaputra_2327250018@mhs.mdp.ac.id, ³yohannesmasterous@mdp.ac.id
(* : coresponding author)

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute perjalanan kunjungan sekolah di Kota Palembang menggunakan GA berbasis data jaringan jalan nyata dari OSM. Dataset yang digunakan terdiri dari 187 sekolah dengan titik awal perjalanan berada di Gedung Sudirman UMDP. Permasalahan dimodelkan sebagai TSP dengan mempertimbangkan jaringan jalan berbentuk directed graph sehingga mampu merepresentasikan kondisi lalu lintas satu arah dan konektivitas jalan secara realistis. Untuk mengurangi kompleksitas ruang solusi, dilakukan strategi proximity-based clustering dengan membagi sekolah ke dalam beberapa kelompok berdasarkan kedekatan geografis sebelum proses optimasi dilakukan. GA diimplementasikan menggunakan kombinasi OX, swap mutation, dan seleksi elitis dengan parameter 50 generasi dan ukuran populasi sebanyak 20 individu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GA berhasil memetakan seluruh sekolah ke dalam 37 rute kunjungan dengan total jarak akumulatif sebesar 648,51 km dan rata-rata 17,53 km per rute. Algoritma menunjukkan performa optimal dengan rata-rata pencarian solusi terbaik yang mengonvergi pada generasi ke-5. Penggunaan data jaringan jalan nyata memberikan representasi rute yang lebih akurat dibandingkan pendekatan jarak Euclidean karena mampu memperhitungkan aturan jalan satu arah dan konektivitas asimetris.

Kata Kunci: *Genetic Algorithm; Travelling Salesman Problem; OpenStreetMap; Directed Graph; Optimasi Rute*

Abstract—This study aims to optimize school visitation travel routes in Palembang City using a GA based on real-world road network data from OSM. The dataset consisted of 187 schools with the travel route originating from Gedung Sudirman UMDP. The problem was modeled as a TSP by representing the road network as a directed graph, allowing the system to realistically capture one-way traffic regulations and asymmetric road connectivity. To reduce the complexity of the solution space, a proximity-based clustering strategy was applied by grouping schools according to geographical proximity prior to the optimization process. The GA was implemented using a combination of OX, swap mutation, and elitist selection with parameters of 50 generations and a population size of 20 individuals. The results demonstrate that the GA successfully maps all schools into 37 optimal visitation routes with a total accumulative distance of 648.51 km and an average distance of 17.53 km per route. Furthermore, the algorithm exhibits high efficiency, with the best solutions converging on average at the 5th generation without compromising solution quality. The use of real-world road network data provides more accurate route representation compared to the Euclidean distance approach, as it considers one-way road regulations and asymmetric connectivity.

Keywords: *Genetic Algorithm; Traveling Salesman Problem; OpenStreetMap; Directed Graph; Route Optimization*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan otomatisasi dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong perubahan paradigma yang signifikan dalam pengelolaan operasional di berbagai sektor, tidak terkecuali dunia pendidikan (Agusnur, 2025). Dalam ekosistem pendidikan modern, mobilitas staf, pengawas, maupun tim penilai untuk melakukan kunjungan ke sekolah-sekolah binaan merupakan aktivitas rutin yang krusial demi memastikan kelancaran kegiatan akademik sekaligus menjamin standar mutu yang berkelanjutan (Mustika et al., 2025). Namun, di balik rutinitas tersebut, terdapat tantangan operasional yang kerap luput dari perhatian: bagaimana mengelola sumber daya yang terbatas, seperti waktu dan biaya perjalanan, secara efektif agar proses kunjungan dapat berlangsung dengan efisiensi maksimal.

Kondisi ini tampak nyata dalam konteks pengelolaan kunjungan sekolah di Kota Palembang, Sumatera Selatan, yang menjadi fokus penelitian ini. Kota Palembang memiliki ratusan satuan



JRIIN : Jurnal Riset Informatika dan Inovasi
Volume 4, No. 1 Tahun 2026
ISSN 3025-0919 (media online)
Hal 116-127

pendidikan menengah atas yang tersebar di berbagai kecamatan, mulai dari Iir Barat, Iir Timur, Seberang Ulu, Kemuning, Sako, Sukarami, Kalidoni, Plaju, hingga Gandus. Keberagaman sebaran geografis ini menciptakan tantangan logistik tersendiri: rute kunjungan yang tidak direncanakan dengan cermat acap kali berujung pada pemborosan bahan bakar dan waktu tempuh yang tidak produktif, yang pada gilirannya dapat menghambat efisiensi proses akademik secara menyeluruh (Mustika et al., 2025). Titik keberangkatan dalam penelitian ini ditetapkan di Gedung Sudirman UMDP sebagai basis operasional, yang secara strategis menjadi pusat koordinasi sebelum dan sesudah setiap sesi kunjungan dilaksanakan.

Secara matematis, permasalahan penentuan rute kunjungan sekolah seperti ini diklasifikasikan sebagai TSP. TSP merupakan salah satu tantangan paling ikonik dalam teori graf dan optimasi kombinatorial, di mana tujuannya adalah menemukan rute terpendek, dan teroptimal yang memungkinkan kita untuk mengunjungi semua lokasi tepat satu kali dan kembali ke titik keberangkatan awal (Ciepliński & Golak, 2024; Tawanda et al., 2023). Karakteristik permasalahan ini sangat kompleks karena tergolong dalam kategori *NP-hard problem* (Alanzi & Menai, 2025). Artinya, kompleksitas pencarian solusi meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya jumlah sekolah yang harus dikunjungi. Dengan ratusan sekolah yang tersebar di berbagai penjuru Palembang, penggunaan metode perencanaan manual ataupun bantuan *spreadsheet* sederhana tidak lagi memadai dan rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) (Agusnur, 2025).

Dalam praktiknya, metode konvensional seperti pemrograman linear atau pendekatan *Branch and Bound* memang mampu menjamin solusi yang optimal secara teoritis, namun membutuhkan waktu komputasi yang sangat lama ketika menghadapi skala masalah yang besar (Agusnur, 2025). Sebaliknya, pendekatan heuristik sederhana mungkin lebih cepat namun sering kali terjebak pada solusi suboptimal atau *local optimum* (Alanzi & Menai, 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih adaptif dan sistematis, yakni metode metaheuristik yang mampu mengeksplorasi ruang solusi yang luas tanpa harus memeriksa seluruh kemungkinan kombinasi secara ekshaustif. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif untuk mengatasi kompleksitas TSP adalah GA (Mustika et al., 2025).

GA umumnya merupakan algoritma berbasis pencarian yang didasarkan pada konsep seleksi alam dan hereditas (pewarisan sifat) (Lambora et al., 2019). GA bekerja dengan merepresentasikan solusi sebagai kromosom yang kemudian dievolusikan melalui mekanisme seleksi, *crossover* (penyilangan), dan mutasi untuk menghasilkan populasi solusi yang semakin baik dari generasi ke generasi (Agusnur, 2025). Keunggulan utama algoritma ini terletak pada kemampuannya menjelajahi ruang solusi secara paralel dan global, sehingga berpeluang lebih besar menemukan solusi mendekati optimal dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan metode deterministik tradisional. Penerapan GA telah menunjukkan keberhasilan di berbagai bidang, mulai dari penjadwalan produksi hingga optimasi lintasan terbang (Khoirush et al., 2025).

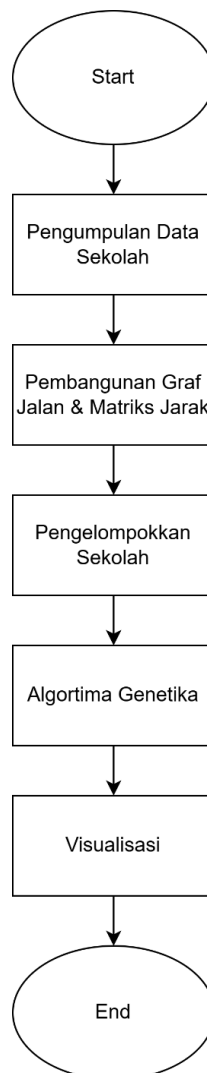
Penelitian ini mengimplementasikan GA untuk mengoptimalkan rute perjalanan kunjungan sekolah di Kota Palembang menggunakan data jaringan jalan nyata yang diperoleh melalui *OpenStreetMap* dengan bantuan pustaka *OSMnx* dan *NetworkX*. *OpenStreetMap* (OSM) adalah *Volunteered Geographic Information* (VGI) berbasis komunitas untuk menyediakan akses gratis dan terbuka ke data spasial global (Atwal et al., 2022). Melalui OSM, kami memanfaatkan *OSMnx* untuk mengunduh, memodelkan, menganalisis, dan memvisualisasikan jaringan perkotaan serta fitur geospasial lainnya dari data OSM (Boeing, 2025). *NetworkX* pada umumnya digunakan untuk analisis graf statis, dengan memperluas fungsionalitasnya untuk mendukung data relasional yang bervariasi terhadap waktu (*time-varying relational data*), sembari tetap mematuhi standar API-nya dan menyediakan integrasi yang mulus dengan struktur data serta algoritma yang diimplementasikannya (Passos et al., 2025). Mengingat besarnya jumlah sekolah yang menjadi cakupan kunjungan, penelitian ini menerapkan strategi pengelompokan berbasis kedekatan geografis (*proximity-based clustering*) terlebih dahulu, di mana setiap kelompok terdiri dari sejumlah sekolah yang berdekatan secara spasial. Selanjutnya, GA diterapkan pada masing-masing kelompok secara independen dengan parameter populasi sebesar 20 individu, 50 generasi evolusi, serta mekanisme *Order Crossover* (OX) dan mutasi pertukaran (*swap mutation*) dengan laju mutasi 0,1. Pendekatan ini dirancang agar sistem mampu menyesuaikan urutan perjalanan secara dinamis sekalipun menghadapi variasi jarak yang kompleks antar lokasi sekolah. Melalui implementasi GA, proses perencanaan rute tidak hanya menjadi lebih akurat dan terdokumentasi, tetapi juga

memberikan kontribusi nyata dalam mendukung transformasi digital pengelolaan pendidikan di tingkat kota.

2. METODE

2.1 Desain dan Alur Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan komputasional berbasis metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan optimasi rute kunjungan sekolah. Secara keseluruhan, alur penelitian terdiri dari beberapa tahapan sistematis yang saling berkaitan, mulai dari akuisisi data, pembangunan representasi graf jaringan jalan, pembentukan matriks jarak, pengelompokan sekolah secara spasial, hingga penerapan GA dan visualisasi hasil optimasi. Gambar 1 menyajikan diagram alur penelitian secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan komputasional berbasis metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan optimasi rute kunjungan sekolah yang dimodelkan sebagai TSP. Seluruh proses komputasi diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python, yang dipilih karena dukungannya yang luas terhadap pustaka optimasi dan analisis data geospasial (Mustika et al., 2025). Pustaka utama yang dimanfaatkan meliputi OSMnx untuk akuisisi data peta, NetworkX untuk analisis struktur graf, serta Folium dan Matplotlib untuk keperluan visualisasi rute.



2.2 Pengumpulan dan Persiapan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) dari seluruh satuan pendidikan menengah atas (SMA/SMK) yang tersebar di Kota Palembang, Sumatera Selatan. Titik lokasi mencakup sekolah-sekolah dari berbagai kecamatan, antara lain Ilir Barat I dan II, Ilir Timur I, II, dan III, Seberang Ulu I dan II, Kemuning, Sako, Sukarami, Kalidoni, Plaju, Kertapati, Gandus, Alang-Alang Lebar, dan Sematang Borang. Daftar sekolah yang terpilih dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Sekolah dalam Dataset

No	Nama SMA/SMK	Kecamatan	Lokasi (Latitude, Longitude)
1	SMA Islam Az Zahra		-2.9879058959759077, 104.74300275263661
2	SMA/SMK Sjakhyakirti Palembang	Ilir Barat 2	(-3.001411353966893, 104.74483853481699)
3	SMA Teladan Palembang		(-2.9927641054947802, 104.74296951528727)
4	SMA/SMK Tri Dharma Palembang		(-2.9873412506585346, 104.74319709779911)
5	SMK Bhakti Persada		(-2.9992202332630113, 104.76903590991745)
6	SMA Bina Sriwijaya Indonesia Palembang	Seberang Ulu 1	(-2.9964042270132065, 104.767251393342)
7	SMA/SMK Gajah Mada 3 Palembang		(-3.0127245014384005, 104.75522832249118)
8	SMK Kader Bangsa		(-3.005599238547574, 104.76349840283257)
...
187	SMA Adabiyah Palembang	Ilir Timur 3	(-2.9713535008230405, 104.76812432326794)

Titik keberangkatan (*depot*) ditetapkan di Gedung Sudirman UMDP sebagai basis operasional perjalanan. Proses akuisisi data dilakukan melalui beberapa tahapan verifikasi teknis guna menjamin kualitas masukan algoritma seperti yang ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Tahapan Akuisisi dan Persiapan Data Geospasial

No	Tahapan	Penjelasan
1	Ekstraksi Data Awal	Daftar nama dan alamat sekolah diperoleh dari basis data pendidikan nasional yang kemudian dipetakan ke dalam koordinat mentah.
2	Georeferensi Presisi	Mengingat akurasi posisi sangat menentukan validitas perhitungan jarak, dilakukan proses georeferensi manual menggunakan citra satelit resolusi tinggi. Hal ini bertujuan untuk menentukan titik akses utama (gerbang sekolah) yang terhubung langsung dengan jaringan jalan, bukan sekadar titik tengah bangunan, guna menghindari kesalahan penempatan <i>node</i> pada graf.
3	Penetapan Titik Depot	Dalam model TSP, ditetapkan sebuah "Home City" atau titik awal keberangkatan. Penelitian ini menetapkan

Gedung Sudirman UMDP sebagai depot pusat operasional, di mana perjalanan dimulai dan berakhir.

Penggunaan data spasial nyata ini krusial untuk menghasilkan solusi yang dapat diterapkan secara langsung di lapangan (Khoirush et al., 2025.; Setiawan et al., 2025). Data koordinat setiap sekolah diperoleh melalui proses georeferensi manual dan verifikasi menggunakan citra satelit, kemudian diorganisasikan dalam struktur *dictionary* Python yang memetakan nama sekolah ke pasangan koordinat (*latitude*, *longitude*). Total lokasi yang digunakan, termasuk titik depot, merepresentasikan seluruh sekolah yang menjadi sasaran kunjungan dalam satu siklus penugasan.

2.3 Pembangunan Graf Jaringan Jalan

Untuk menghasilkan estimasi jarak tempuh yang realistis dan relevan secara operasional, penelitian ini meninggalkan penggunaan jarak Euclidean (garis lurus) yang sering kali mengabaikan kompleksitas spasial perkotaan. Sebagai gantinya, digunakan jarak aktual berdasarkan jaringan jalan yang merefleksikan kondisi mobilitas nyata di lapangan. Pendekatan ini sangat krusial karena dalam permasalahan TSP, keakuratan matriks jarak sangat menentukan validitas fungsi *fitness* yang dievaluasi oleh GA (Wang et al., 2023).

Graf jaringan jalan Kota Palembang dikonstruksi menggunakan pustaka OSMnx. Pengambilan data dilakukan dengan parameter jaringan bertipe "drive", yang secara spesifik memfilter hanya jalur-jalur yang secara legal dan teknis dapat dilalui oleh kendaraan bermotor [informasi dari permintaan user]. Hal ini memastikan bahwa rute yang dihasilkan tidak melibatkan jalur pejalan kaki atau jalur lain yang tidak relevan bagi operasional kunjungan sekolah. Proses inisialisasi graf pada lingkungan pemrograman diimplementasikan melalui skrip pada Gambar 2.

```
G = ox.graph_from_place(
    "Palembang, South Sumatra, Indonesia",
    network_type="drive"
)
```

Gambar 2. Pseudocode Graf Road Network

Graf yang dihasilkan merepresentasikan infrastruktur kota sebagai struktur data, di mana adalah himpunan simpul (*nodes*) dan adalah himpunan sisi (*edges*). Secara teknis, model ini diatur sebagai berikut:

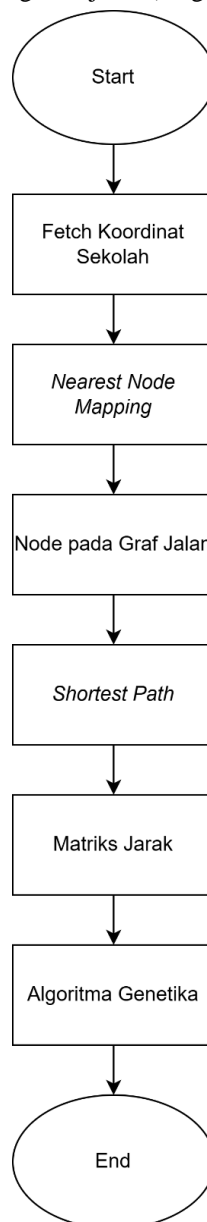
Tabel 3. Komponen Representasi Graf Jaringan Jalan Kota Palembang

Komponen	Representasi	Keterangan Terkait
Simpul (<i>Nodes</i>)	Titik diskrit pada jaringan jalan	Persimpangan, jalan buntu, atau koordinat lokasi sekolah yang telah dipetakan ke simpul terdekat
Sisi (<i>Edges</i>)	Segmen ruas jalan antarnode	Memiliki atribut <i>length</i> (meter) yang dihitung berdasarkan kelengkungan jalan aktual, bukan jarak titik-ke-titik
Struktur Graf	<i>Directed Graph</i> (graf berarah)	Mengakomodasi aturan lalu lintas satu arah dan konektivitas asimetris antara lokasi $i \rightarrow j$ dan $j \rightarrow i$ (Rahman et al., 2025).

2.4 Pembentukan Matriks Jarak

Setelah graf jaringan jalan kota berhasil dikonstruksi, langkah krusial berikutnya adalah mentransformasikan data koordinat mentah sekolah ke dalam elemen-elemen fungsional graf. Proses ini diawali dengan memetakan setiap titik koordinat (latitude dan longitude) ke simpul (*node*) terdekat dalam graf menggunakan fungsi `ox.distance.nearest_nodes()`. Pemetaan ini sangat penting untuk memastikan bahwa setiap lokasi sekolah memiliki titik akses yang valid dan terhubung secara topologis dengan jaringan jalan yang dapat dilalui kendaraan, sehingga perhitungan rute tidak didasarkan pada titik koordinat yang terisolasi.

Setelah seluruh lokasi dipetakan ke dalam himpunan simpul, dilakukan pembangunan matriks jarak (*Distance Matrix*) antarsekolah. Matriks ini merupakan representasi biaya perjalanan () yang akan menjadi basis perhitungan bagi fungsi *fitness* GA. Konstruksi matriks ini dilakukan dengan menghitung panjang jalur terpendek (*shortest path*) antara setiap pasang simpul menggunakan algoritma Dijkstra melalui fungsi `nx.shortest_path_length()`, dengan mempertimbangkan bobot atribut panjang ruas jalan (`length`) dalam satuan meter.



Gambar 3. Alur Matriks Jarak *Road Network* berbasis GA



Matriks jarak ini menjadi fondasi utama (*core foundation*) bagi seluruh proses optimasi pada tahap selanjutnya. Keakuratan matriks ini sangat menentukan kualitas populasi individu (kromosom) dalam GA, karena setiap urutan gen dalam kromosom akan dievaluasi nilai kebugarannya berdasarkan akumulasi nilai jarak yang terdapat dalam matriks ini (Dama Alfatikhy et al., 2025). Dengan tersedianya matriks jarak yang berbasis pada kondisi jalan nyata, sistem diharapkan mampu menghasilkan rute kunjungan sekolah yang tidak hanya optimal secara matematis, tetapi juga aplikatif untuk operasional lapangan.

2.5 Pengelompokan Sekolah Berbasis Kedekatan Geografis

Mengingat besarnya jumlah sekolah yang menjadi cakupan dalam penelitian ini, penerapan GA secara langsung pada seluruh lokasi sekaligus akan menghadapi tantangan ruang solusi yang sangat besar (*huge search space*). Secara teoritis, masalah TSP diklasifikasikan sebagai *NP-hard*, di mana kompleksitas pencarian rute meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya jumlah titik. Kondisi ini berpotensi memperlambat laju konvergensi algoritma dan meningkatkan risiko terjebak dalam solusi suboptimal atau *local optimum* (Rahman et al., 2025).

Untuk mengatasi batasan tersebut, penelitian ini menerapkan strategi pra-pemrosesan berupa pengelompokan berbasis kedekatan geografis (*proximity-based clustering*) sebelum proses evolusi GA dijalankan. Secara metodologis, strategi ini bertujuan untuk memecah masalah TSP skala besar menjadi beberapa sub-masalah yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola (*manageable sub-problems*) (Alanzi & Menai, 2025). Pendekatan dekomposisi ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi komputasi dan akurasi solusi karena memfokuskan pencarian pada area spasial yang terbatas (Alanzi & Menai, 2025).

Mekanisme pengelompokan dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan dua fase yang sistematis. Pada fase pertama yang berfokus pada pembentukan kelompok utama, sebuah sekolah yang belum ditugaskan dipilih secara acak sebagai *seed* (benih) untuk menginisialisasi kelompok baru. Selanjutnya, sekolah-sekolah lain yang memiliki jarak terdekat berdasarkan matriks jarak jaringan jalan terhadap anggota kelompok yang sudah terbentuk ditambahkan secara iteratif. Proses pembentukan ini dibatasi oleh kapasitas maksimum sebesar 7 sekolah per kelompok guna menjaga agar ruang solusi di tingkat sub-masalah tetap optimal bagi algoritma genetika (*Genetic Algorithm/GA*). Tahapan ini diulang secara konsisten hingga tidak tersedia lagi cukup sekolah untuk membentuk kelompok dengan kapasitas penuh.

Memasuki fase kedua, yaitu alokasi sisa sekolah, sisa sekolah yang tidak memenuhi kuota kelompok penuh dialokasikan ke dalam kelompok yang sudah ada berdasarkan kriteria jarak minimum ke anggota kelompok terdekat. Integrasi pendekatan dua fase ini berhasil menjamin aspek kelengkapan penugasan (*assignment completeness*) sehingga tidak ada sekolah yang tertinggal, sekaligus menghasilkan klusterisasi pengelompokan rute yang koheren secara spasial.

Dalam pemodelan rute, titik depot diperlakukan sebagai konstanta atau *Home City*. Titik depot tidak diikutsertakan dalam proses pengelompokan agar tidak mendistorsi kedekatan antar-sekolah, namun secara algoritmik akan selalu disisipkan sebagai simpul awal dan simpul akhir pada setiap kelompok rute saat GA dijalankan. Dengan cara ini, setiap sub-rute yang dihasilkan tetap merupakan sirkuit Hamiltonian yang valid yang dimulai dan berakhir di pusat operasional yang sama (Rahman et al., 2025).

2.6 Representasi Solusi dan Inisialisasi Populasi

Dalam struktur GA, representasi solusi merupakan tahapan krusial yang menentukan bagaimana ruang pencarian dieksplorasi. Setiap individu dalam populasi GA, yang disebut sebagai kromosom, harus mampu merepresentasikan satu urutan perjalanan kandidat (*candidate route*) secara unik dan lengkap untuk mengunjungi seluruh sekolah dalam satu kelompok (Agusnur, 2025).

Berbeda dengan representasi TSP siklus konvensional yang mencari sirkuit Hamiltonian murni, penelitian ini mengadopsi skema TSP dengan titik awal dan akhir tetap (*fixed-start TSP*) (Tawanda et al., 2023). Dalam model ini, struktur genetik kromosom dimodifikasi sedemikian rupa sehingga hanya mengkodekan urutan sekolah-sekolah perantara (*intermediate nodes*), sedangkan titik depot tidak dimasukkan ke dalam gen kromosom untuk mereduksi kompleksitas bit data. Melalui logika operasional tersebut, algoritma secara implisit menetapkan Gedung Sudirman UMDP sebagai titik keberangkatan pertama sekaligus titik kembali terakhir. Dengan demikian, fungsi



objektif tetap mengevaluasi rute tertutup, namun ruang pencarian yang harus diolah oleh operator genetik menjadi jauh lebih efisien karena jumlah permutasi yang dihasilkan berkurang secara signifikan (Rahman et al., 2025).

Representasi kromosom dilakukan menggunakan permutasi indeks bilangan bulat (*integer permutation encoding*) (Setiawan et al., 2025). Setiap gen dalam kromosom berisi indeks unik yang memetakan posisi sekolah dalam daftar lokasi kelompok. Penggunaan kode permutasi ini dipilih karena kemampuannya dalam menjaga integritas urutan dan mencegah masalah duplikasi lokasi yang sering terjadi pada representasi biner tradisional (Rahman et al., 2025).

Tahap pembangkitan populasi awal dilakukan secara stokastik untuk menjamin keragaman genetik sejak generasi pertama, yang sangat penting untuk menghindari *premature convergence* (Rahman et al., 2025). Proses inisialisasi diimplementasikan menggunakan fungsi “random.sample()” dalam Python yang menghasilkan permutasi acak dari indeks sekolah-sekolah perantara. Mekanisme ini menjamin aspek validitas rute, di mana setiap sekolah dalam satu kelompok muncul tepat satu kali pada setiap individu (tidak ada sekolah yang terlewat atau dikunjungi lebih dari satu kali) (Rahman et al., 2025).

Untuk menjaga keseimbangan antara kualitas solusi dan efisiensi waktu komputasi, ukuran populasi ditetapkan sebesar 20 individu untuk setiap kelompok sekolah. Meskipun ukuran populasi yang lebih besar dapat memperluas eksplorasi ruang solusi, penggunaan 20 individu dinilai optimal untuk sub-masalah skala kecil (5 sekolah per kelompok) guna mencapai konvergensi yang cepat tanpa membebani sumber daya memori system (Agusnur, 2025).

2.7 Evaluasi Fitness Function

Fungsi kebugaran (*fitness function*) memegang peranan krusial dalam mekanisme GA sebagai metrik objektif untuk mengukur kualitas setiap solusi (kromosom) dalam populasi (Mustika et al., 2025). Dalam konteks penelitian ini, fungsi kebugaran dirancang untuk mengevaluasi efektivitas urutan sekolah perantara yang dikunjungi guna memastikan pencapaian rute yang paling efisien.

Secara teknis, fungsi kebugaran didefinisikan sebagai total jarak perjalanan yang harus ditempuh dalam satu rute kunjungan lengkap, yang dihitung berdasarkan matriks jarak jalan nyata yang telah dibangun pada tahap sebelumnya. Untuk mengakomodasi skema TSP dengan titik awal tetap (*fixed-start TSP*), di mana perjalanan harus dimulai dan diakhiri di pusat operasional, total jarak dihitung menggunakan formula pada Persamaan 1.

$$f(\sigma) = d(\text{depot}, \sigma_1) + \sum_{i=1}^{k-1} d(\sigma_i, \sigma_{i+1}) + d(\sigma_k, \text{depot}) \quad (1)$$

Komponen-komponen matematis di dalam Persamaan 1 saling terintegrasi untuk mengevaluasi efisiensi rute perjalanan yang terbentuk melalui fungsi objektif $f(\sigma)$. Dalam persamaan tersebut, simbol σ merepresentasikan urutan sekolah perantara yang dikodekan di dalam kromosom, di mana σ_1 hingga σ_k menunjukkan urutan kunjungan dari sekolah pertama hingga sekolah terakhir (k). Fungsi d menyatakan jarak jalan aktual dari satu lokasi ke lokasi berikutnya yang dihitung melalui simulasi navigasi jaringan jalan nyata, seperti yang terlihat pada akumulasi sigma $\sum_{i=1}^{k-1} d(\sigma_i, \sigma_{i+1})$ untuk rute antar-sekolah perantara. Sementara itu, konstanta *depot* merujuk pada Gedung Sudirman UMDP sebagai titik awal keberangkatan menuju sekolah pertama $d(\text{depot}, \sigma_1)$, sekaligus titik kembali terakhir dari sekolah penutup $d(\sigma_k, \text{depot})$ guna membentuk satu kesatuan rute perjalanan yang tertutup.

Logika evaluasi ini mengikuti prinsip minimisasi dalam optimasi kombinatorial (Huang et al., 2024). Individu dengan nilai fungsi kebugaran yang lebih kecil (total jarak lebih pendek) dianggap memiliki kualitas solusi yang lebih baik dan diberikan prioritas lebih tinggi dalam proses evolusi (Setiawan et al., 2025). Dengan menetapkan jarak jalan aktual sebagai basis perhitungan, nilai *fitness* yang dihasilkan tidak hanya akurat secara matematis, tetapi juga mencerminkan beban biaya operasional nyata yang akan dihadapi oleh pengawas di lapangan.

Mekanisme ini memungkinkan algoritma untuk secara bertahap mengeliminasi urutan perjalanan yang tidak efisien dan mempertahankan rute yang mampu meminimalkan *makespan* atau waktu penyelesaian total perjalanan (Agusnur, 2025).



2.8 Mekanisme Elitist Selection

Tahap seleksi merupakan fase krusial dalam siklus GA yang berfungsi untuk menyaring dan memilih individu-individu berkualitas dari populasi saat ini untuk bertindak sebagai orang tua (parents) bagi generasi mendatang (Rahman et al., 2025). Penelitian ini menerapkan metode Seleksi Elitis (Elitist Selection) dalam proses pemilihan tersebut guna memastikan bahwa sifat-sifat genetik unggul dapat diwariskan secara optimal.

Secara teknis, prosedur seleksi dalam penelitian ini diimplementasikan melalui mekanisme pengurutan dan pemilihan langsung secara bertahap. Langkah pertama dimulai dengan pengurutan berbasis performa, di mana seluruh individu dalam populasi diurutkan berdasarkan nilai fungsi kebugaran (*fitness*) secara menaik (*ascending*). Mengingat fungsi kebugaran dalam model ini merupakan representasi dari total jarak tempuh, maka individu dengan nilai terkecil diidentifikasi sebagai solusi dengan kualitas terbaik. Setelah proses pengurutan selesai, tahapan dilanjutkan dengan pemilihan pasangan utama melalui seleksi eksplisit terhadap dua individu yang menempati posisi teratas dengan total jarak perjalanan paling pendek. Kedua individu terbaik tersebut kemudian ditetapkan sebagai pasangan orang tua (*parents*) yang akan menjalani proses reproduksi atau operator genetika pada tahapan selanjutnya.

Penggunaan strategi elitisme ini memiliki landasan teoretis yang kuat dalam menjamin stabilitas evolusi. Mekanisme ini memastikan bahwa solusi terbaik yang telah ditemukan tidak akan hilang atau tereliminasi selama proses iterasi berlangsung (Dama Alfatikhy et al., 2025). Berbeda dengan metode seleksi probabilistik seperti *Roulette Wheel* yang masih memberikan peluang bagi individu lemah untuk terpilih, seleksi elitis memberikan jaminan perlindungan terhadap kromosom dengan performa puncak (Rahman et al., 2025).

Strategi ini berdampak pada karakteristik pencarian algoritma, di mana kualitas solusi secara keseluruhan bersifat monoton meningkat dari generasi ke generasi. Dengan mempertahankan rute-rute terpendek di setiap tahapan, algoritma dapat melakukan konvergensi secara stabil menuju hasil optimal global tanpa mengalami penurunan kualitas solusi di tengah proses evolusi (Agusnur, 2025). Hal ini sangat relevan untuk memastikan rute kunjungan sekolah yang dihasilkan benar-benar memberikan efisiensi maksimal bagi pengguna di lapangan.

2.9 Operator Order Crossover (OX)

Penyilangan merupakan tahapan krusial yang membedakan GA dari teknik optimasi lainnya, di mana dua individu terpilih (parents) dikombinasikan untuk menghasilkan keturunan baru (offspring) yang mewarisi sifat-sifat unggul (Rahman et al., 2025). Mengingat rute kunjungan sekolah direpresentasikan dalam bentuk permutasi, penelitian ini mengimplementasikan OX. Operator ini merupakan salah satu teknik yang paling efektif untuk permasalahan seperti TSP karena termasuk dalam kategori penyilangan yang menjaga pemeliharaan urutan relatif (*relative order preservation*) (Rahman et al., 2025).

Mekanisme OX bekerja secara sistematis untuk memastikan bahwa hubungan urutan antar-sekolah dalam rute tetap terjaga. Secara teknis, prosedur ini diimplementasikan dengan membagi proses ke dalam tiga tahapan utama. Langkah awal dimulai dengan penentuan segmen genetik, di mana dua titik potong (*cut points*) dipilih secara acak pada kromosom induk pertama (*parent1*) untuk menghasilkan sebuah subsekuensi sekolah yang berfungsi sebagai blok bangunan solusi potensial. Memasuki tahap kedua, dilakukan transfer informasi genetik dengan menyalin langsung segmen terpilih dari induk pertama tersebut ke posisi yang sama pada kromosom anak (*child*) demi mempertahankan struktur parsial dari rute terbaik. Akhirnya, proses diselesaikan melalui pengisian urutan sirkular, di mana gen-gen yang masih kosong pada kromosom anak diisi menggunakan urutan gen dari induk kedua (*parent2*). Pengisian ini dimulai tepat dari posisi setelah titik potong kedua dan dilakukan secara berurutan, dengan ketentuan bahwa algoritma akan otomatis melewati (*skip*) gen-gen yang sudah ada pada anak guna mencegah terjadinya duplikasi lokasi atau sekolah yang sama dalam satu rute.

Keunggulan utama dari pendekatan OX ini adalah kemampuannya untuk mewarisi subsekuensi rute dari kedua orang tua secara harmonis tanpa melanggar batasan permutasi. Hal ini menjamin validitas sirkuit, di mana setiap sekolah dalam satu kelompok hanya muncul tepat satu kali dalam kromosom anak.



Pendekatan ini secara efektif mewarisi subsekuensi relatif dari kedua orang tua sekaligus menjaga validitas permutasi, di mana setiap sekolah hanya muncul tepat satu kali dalam kromosom anak.

2.10 Parameter GA

Seluruh parameter GA yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum pada Tabel berikut.

Tabel 4. Parameter GA

Parameter	Nilai
Ukuran Populasi	20 Individu
Jumlah Generasi	50 Generasi
Operasi Seleksi	<i>Elitist Selection</i>
Operator <i>Crossover</i>	<i>Order Crossover(OX)</i>
Operasi Mutasi	Swap Mutation
Laju Mutasi (<i>Mutation Rate</i>)	0.1(10%)
Depot	Gedung Sudirman UMDP
Jumlah Sekolah per Kelompok	5

Pemilihan parameter di atas didasarkan pada keseimbangan antara kebutuhan eksplorasi ruang solusi yang memadai dan efisiensi waktu komputasi yang praktis, mengingat GA dijalankan secara independen untuk setiap kelompok sekolah.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

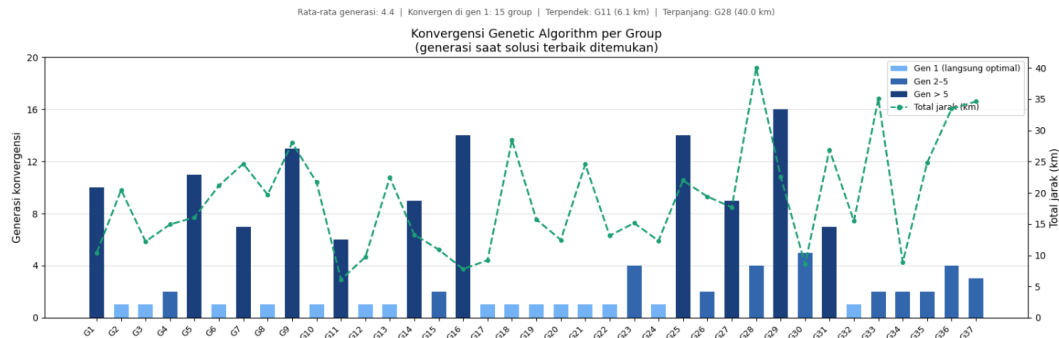
Bagian ini memaparkan hasil implementasi GA untuk optimasi rute kunjungan sekolah di Kota Palembang, mencakup hasil pengelompokan sekolah, proses konvergensi algoritma, serta evaluasi rute optimal yang dihasilkan pada setiap kelompok.

3.1 Hasil Pengelompokan Sekolah Berbasis Kedekatan Geografis

GA dijalankan, seluruh sekolah yang menjadi objek penelitian terlebih dahulu dikelompokkan menggunakan mekanisme *proximity-based clustering*. Proses klusterisasi awal ini menghasilkan sejumlah kelompok dengan karakteristik yang spesifik dan terukur. Pertama, setiap kelompok dibatasi untuk menampung maksimal 5 sekolah yang saling berdekatan secara geografis berdasarkan perhitungan jarak jalan aktual (*road network distance*), bukan sekadar tarikan garis lurus (*Euclidean distance*). Kedua, titik depot Gedung Sudirman UMDP tidak diikutsertakan dalam proses pengelompokan awal ini, melainkan akan disisipkan secara otomatis sebagai titik keberangkatan dan titik akhir perjalanan pada setiap kelompok saat proses optimasi GA berlangsung. Selanjutnya, untuk sekolah-sekolah yang jumlahnya tidak habis dibagi menjadi kelompok penuh, algoritma akan mengalokasikannya ke kelompok terdekat secara spasial melalui mekanisme redistribusi fase kedua guna menjamin aspek kelengkapan penugasan tanpa ada sekolah yang tertinggal. Akhirnya, seluruh hasil pengelompokan ini divisualisasikan secara komprehensif menggunakan peta interaktif berbasis *Folium*, di mana setiap kluster dibedakan melalui warna penanda (*marker*) yang kontras untuk memudahkan verifikasi koherensi spasial antaranggota kelompok.

3.2 Hasil Optimasi Rute dengan GA

GA dijalankan secara independen untuk setiap kelompok sekolah dengan parameter yang seragam: 20 individu, 50 generasi, OX, dan laju mutasi 0,1. Hasil optimasi menunjukkan bahwa GA berhasil menemukan rute perjalanan yang efisien untuk setiap kelompok dengan karakteristik konvergensi yang bervariasi seperti yang dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 4. Visualisasi Hasil Konvergensi GA per Group.

Berdasarkan hasil pengujian, sebagian besar kelompok rute terpantau berhasil mencapai solusi terbaik jauh sebelum generasi ke-50. Fenomena ini mengindikasikan bahwa parameter generasi yang ditetapkan telah sangat memadai untuk memastikan terjadinya konvergensi penuh pada skala sub-masalah dengan densitas 5 sekolah per kelompok. Di samping itu, implementasi mekanisme seleksi elitis terbukti sangat efektif dalam mempertahankan kualitas solusi lintas generasi, di mana tidak ditemukan satu pun kasus penurunan kualitas solusi terbaik pada generasi yang lebih tinggi. Keberhasilan optimasi ini juga didukung oleh peran operator *swap mutation* dengan probabilitas 0,1 yang secara konsisten mampu menjaga keberagaman populasi. Khususnya pada generasi awal ketika populasi belum terkonvergensi, operator mutasi ini memberikan tekanan eksplorasi yang cukup sehingga algoritma dapat terhindar dari jebakan optimum lokal (*local optimum*) pada tahap pencarian awal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan GA untuk mengoptimalkan rute perjalanan kunjungan sekolah di Kota Palembang dengan memanfaatkan data jaringan jalan nyata berbasis OSM. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, beberapa simpulan utama dapat dirumuskan secara komprehensif. Pertama, strategi pra-pemrosesan berupa pengelompokan sekolah berbasis kedekatan geografis (*proximity-based clustering*) terbukti efektif dalam mereduksi kompleksitas ruang solusi sebelum GA dijalankan, sehingga proses optimasi dapat berlangsung jauh lebih efisien tanpa mengorbankan kualitas rute yang dihasilkan. Kedua, GA dengan konfigurasi OX, *swap mutation*, dan seleksi elitis terbukti andal dalam menghasilkan rute perjalanan yang optimal hanya dalam 50 generasi dengan ukuran populasi 20 individu. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut sudah sangat memadai untuk menyelesaikan permasalahan TSP pada skala kelompok kecil dengan densitas 5 sekolah per kelompok. Akhirnya, penggunaan jaringan jalan nyata berbasis graf berarah (*directed graph*) memberikan keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan pendekatan jarak *Euclidean*, karena mampu mengakomodasi aturan lalu lintas satu arah serta konektivitas asimetris yang mencerminkan kondisi aktual jalan di Kota Palembang secara presisi.

REFERENCES

- Agusnur, A. (2025). Optimasi Penjadwalan Produksi dengan Algoritma Genetika. In *Jurnal Teknologi dan Informatika Indonesia* (Vol. 01, Number 01). <http://pustakajurnal.web.id/index.php/jtii>
- Alanzi, E., & Menai, M. E. B. (2025). Solving the traveling salesman problem with machine learning: a review of recent advances and challenges. *Artificial Intelligence Review*, 58(9). <https://doi.org/10.1007/s10462-025-11267-x>



JRIIN : Jurnal Riset Informatika dan Inovasi
Volume 4, No. 1 Tahun 2026
ISSN 3025-0919 (media online)
Hal 116-127

- Atwal, K. S., Anderson, T., Pfoser, D., & Züfle, A. (2022). Predicting building types using OpenStreetMap. *Scientific Reports*, *12*(1), 19976. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24263-w>
- Boeing, G. (2025). Modeling and Analyzing Urban Networks and Amenities With OSMnx. *Geographical Analysis*, *57*(4), 567–577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gean.70009>
- Ciepliński, P., & Golak, S. (2024). Crossover Operator Inspired by the Selection Operator for an Evolutionary Task Sequencing Algorithm. *Applied Sciences*, *14*(24). <https://doi.org/10.3390/app142411786>
- Dama Alfatikhy, S., Rahman, Z. U., Dinova, K., Zahran, F. A., & Surya Wardhana, A. (2025). Optimasi Parameter Kalibrasi Sensor MEMS Menggunakan Algoritma Genetika dengan Validasi Sistem Pakar. In *Shavina Dama Alfatikhy, SNTEM* (Vol. 5).
- Huang, Z., Liao, X., Naik, P. A., & Lu, X. (2024). On approximating a new generalization of traveling salesman problem. *Heliyon*, *10*(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31297>
- Khoirush, M., Mahfuzh, S., Tinggi, S., & Dirgantara, T. (2025). Optimasi Trajektori Penerbangan UAV Untuk Misi Pengintaian Berbasis Algoritma Genetika.
- Lambora, A., Gupta, K., & Chopra, K. (2019). Genetic Algorithm- A Literature Review. *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, 380–384. <https://doi.org/10.1109/COMITCon.2019.8862255>
- Passos, N. A. R. A., Carlini, E., & Trani, S. (2025). NetworkX-Temporal: Building, manipulating, and analyzing dynamic graph structures. *SoftwareX*, *31*, 102277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102277>
- mustika, Reza Wahyudin, A., & Pujiyanto, P. (2025). Penerapan Algoritma Genetika sebagai Metode Optimasi Sistem Penjadwalan Perkuliahan. *SEMNASSTIK - APTIKOM 2025*, *1*(1), 149–157. Retrieved from <https://ojssemnastik2025.aptikomlampung.id/index.php/semnastik2025/article/view/70>
- Rahman, M. A., Nazib, K. M., Islam, M. R., & Ali, L. E. (2025). Solving Traveling Salesman Problem Through Genetic Algorithm with Clustering. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, *17*(3), 15–33. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2025.03.02>
- Setiawan, I. H., Abdillah, J. M., Al Izzy, M. F., Dipa Aditia, K., & Surya Wardhana, A. (2025). Optimasi Penempatan Sensor Gas pada Tanki Penyimpanan Minyak Menggunakan Algoritma Genetika. In *SNTEM* (Vol. 5).
- Tawanda, T., Nyamugure, P., Kumar, S., & Munapo, E. (2023). A Labelling Method for the Travelling Salesman Problem. *Applied Sciences (Switzerland)*, *13*(11). <https://doi.org/10.3390/app13116417>
- Wang, J., Xiao, C., Wang, S., & Ruan, Y. (2023). Reinforcement learning for the traveling salesman problem: Performance comparison of three algorithms. *The Journal of Engineering*, *2023*(9). <https://doi.org/10.1049/tje2.12303>