

Optimasi Travelling Salesman Problem Berbasis Algoritma Genetika dengan Probabilitas Crossover dan Mutasi Adaptif

Optimization of the Travelling Salesman Problem Based on Genetic Algorithm with Adaptive Crossover and Mutation Probabilities

Chichi Rizka Gunawan*¹,

¹Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra

E-mail: chichigunawan@unsam.ac.id

Abstrak

Travelling Salesman Problem (TSP) merupakan masalah optimasi kombinatorial yang bertujuan menemukan rute terpendek untuk mengunjungi setiap kota satu kali dan kembali ke kota asal. Karena tergolong NP-hard, penyelesaian TSP membutuhkan pendekatan heuristik. Penelitian ini menggunakan Algoritma Genetika untuk menyelesaikan TSP dengan mengintegrasikan probabilitas crossover dan mutasi adaptif. Pendekatan adaptif ini memungkinkan parameter crossover dan mutasi disesuaikan secara dinamis berdasarkan kondisi populasi pada setiap generasi, sehingga meningkatkan efisiensi pencarian solusi optimal. Penelitian dimulai dengan representasi kromosom sebagai urutan kota, dilanjutkan dengan inisialisasi populasi awal secara acak. Evaluasi fitness dilakukan berdasarkan total jarak perjalanan untuk menentukan kualitas solusi. Seleksi individu terbaik, crossover adaptif, dan mutasi adaptif diterapkan untuk menghasilkan populasi baru yang lebih baik. Elitisme digunakan untuk menjaga agar solusi terbaik tidak hilang. Iterasi algoritma berlangsung hingga mencapai jumlah generasi maksimum atau ambang batas fitness tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan adaptif menghasilkan rute perjalanan optimal dengan total jarak minimum. Jalur optimal divisualisasikan dengan menyambungkan titik-titik kota, dan perkembangan fitness memperlihatkan peningkatan signifikan pada generasi awal serta stabilisasi pada generasi akhir. Dengan parameter probabilitas crossover sebesar 0.8 dan mutasi sebesar 0.005, algoritma mampu menjaga keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi, mencegah konvergensi prematur, dan menghasilkan solusi yang efisien. Penelitian ini membuktikan bahwa algoritma genetika dengan pendekatan adaptif efektif dalam menyelesaikan TSP dengan jumlah kota yang moderat. Selain itu, pendekatan ini dapat diadaptasi untuk dataset yang lebih besar atau dibandingkan dengan metode optimasi lainnya, seperti Ant Colony Optimization (ACO) dan Particle Swarm Optimization (PSO), guna mengevaluasi kinerjanya lebih lanjut.

Kata kunci: crossover, mutasi, optimasi, NP-Hard, fitness

Abstract

The Travelling Salesman Problem (TSP) is a combinatorial optimization problem that aims to find the shortest route to visit each city exactly once and return to the starting city. As an NP-hard problem, solving TSP requires heuristic approaches. This study employs the Genetic Algorithm to solve TSP by integrating adaptive crossover and mutation probabilities. The

adaptive approach allows the crossover and mutation parameters to be dynamically adjusted based on the population conditions at each generation, thereby improving the efficiency of the optimal solution search. The research begins with chromosome representation as a sequence of cities, followed by the initialization of the initial population randomly. Fitness evaluation is conducted based on the total travel distance to determine the solution's quality. Selection of the best individuals, adaptive crossover, and adaptive mutation are applied to generate a better new population. Elitism is used to ensure that the best solutions are preserved. The algorithm iterates until it reaches the maximum number of generations or a specific fitness threshold. The results show that the adaptive approach produces an optimal travel route with the minimum total distance. The optimal route is visualized by connecting city points, and the fitness progression demonstrates significant improvement in the early generations and stabilization in the later generations. With a crossover probability of 0.8 and mutation probability of 0.005, the algorithm effectively maintains a balance between exploration and exploitation of the solution space, preventing premature convergence, and producing efficient solutions. This study demonstrates that the Genetic Algorithm with an adaptive approach is effective in solving TSP with a moderate number of cities. Additionally, this approach can be adapted for larger datasets or compared with other optimization methods, such as Ant Colony Optimization (ACO) and Particle Swarm Optimization (PSO), to further evaluate its performance.

Keywords: *crossover, mutation, optimization, NP-Hard, fitness*

1. PENDAHULUAN

Travelling Salesman Problem (TSP) merupakan salah satu masalah optimasi kombinatorial yang paling terkenal dan sering dijumpai dalam berbagai aplikasi nyata, seperti perencanaan rute logistik, distribusi barang, dan navigasi robot. Masalah ini berusaha menemukan rute terpendek yang mengunjungi setiap kota satu kali dan kembali ke kota asal, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya [1]. TSP tergolong ke dalam kelas masalah NP-hard, yang berarti kompleksitasnya meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya jumlah kota. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan heuristik atau metaheuristik untuk menyelesaikannya secara efisien [2].

Salah satu metode heuristik yang populer untuk menyelesaikan TSP adalah Algoritma Genetika. Algoritma genetika mensimulasikan proses evolusi alam dengan menggunakan mekanisme seleksi, crossover, dan mutasi untuk menghasilkan solusi yang semakin optimal dari generasi ke generasi [3]. Meskipun Algoritma Genetika telah terbukti efektif untuk menyelesaikan TSP, performanya sangat bergantung pada parameter yang digunakan, seperti probabilitas crossover dan mutasi [4]. Pengaturan parameter yang kurang optimal dapat menyebabkan algoritma terjebak pada solusi lokal atau membutuhkan waktu komputasi yang lama [5].

Pendekatan adaptif menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan kinerja Algoritma Genetika dalam menyelesaikan TSP. Dengan menggunakan probabilitas crossover dan mutasi yang adaptif, nilai parameter ini dapat disesuaikan secara dinamis berdasarkan kondisi algoritma pada setiap generasi [6][7]. Pendekatan ini

memungkinkan Algoritma Genetika untuk mengeksplorasi ruang solusi secara lebih efektif pada tahap awal pencarian, dan mengeksploitasi solusi terbaik pada tahap akhir, sehingga meningkatkan peluang untuk menemukan solusi optimal [8][9].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan penerapan algoritma genetika dengan probabilitas crossover dan mutasi adaptif untuk mengoptimalkan penyelesaian *Travelling Salesman Problem*. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan solusi yang lebih baik dalam waktu komputasi yang lebih efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis Algoritma Genetika untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* (TSP). Fokus utama adalah mengoptimalkan rute perjalanan agar jarak total menjadi minimal. Penelitian ini juga memanfaatkan konsep probabilitas crossover dan mutasi adaptif, yang disesuaikan dengan kondisi populasi pada setiap generasi untuk meningkatkan performa pencarian solusi [10]. Data yang digunakan adalah koordinat geografis sejumlah titik (kota). Koordinat merupakan masukan untuk membentuk rute perjalanan yang akan dioptimalkan.

2.1. Langkah-Langkah Penelitian

Berikut langkah-langkah Algoritma Genetika untuk *Travelling Salesman Problem*.

1. Representasi Kromosom

Setiap individu dalam populasi Algoritma Genetika direpresentasikan sebagai kromosom, yang pada dasarnya adalah daftar urutan kota yang akan dikunjungi oleh salesman. Misalnya, jika terdapat 5 kota, kromosom dapat terlihat seperti ini: [1, 3, 2, 5, 4], yang berarti salesman akan mengunjungi kota 1, kemudian kota 3, dan seterusnya.

2. Inisialisasi Populasi

Populasi awal terdiri dari sejumlah individu (kromosom) yang dibuat secara acak atau dengan metode inisialisasi tertentu. Semakin besar populasi, semakin besar variasi yang mungkin dalam pencarian solusi.

3. Evaluasi Fitness

Setiap individu dalam populasi dievaluasi berdasarkan panjang jalur yang ditempuhnya. Dalam TSP, ini berarti menghitung total jarak perjalanan. Tujuannya adalah untuk meminimalkan nilai ini.

4. Seleksi

Individu-individu yang memiliki nilai fitness (jarak perjalanan) yang lebih rendah lebih mungkin untuk dipilih sebagai "orang tua" untuk menghasilkan generasi berikutnya. Seleksi dapat dilakukan dengan berbagai metode.

5. Crossover

Crossover digunakan untuk menggabungkan informasi dari dua orangtua yang dipilih dalam populasi. Ini menciptakan keturunan yang memiliki campuran dari keduanya. Dalam TSP, crossover dapat berarti menciptakan solusi baru dengan menggabungkan dua rute yang berbeda.

6. Mutasi

Mutasi adalah operasi acak yang mengubah beberapa elemen dalam kromosom individu. Ini membantu mencegah konvergensi prematur dan meningkatkan variasi dalam populasi.

7. Elitisme

Untuk mencegah kehilangan solusi terbaik, elitisme diterapkan dengan menyalin individu terbaik dari generasi sebelumnya ke generasi berikutnya. Jika populasi genap, dua individu terbaik disalin, sedangkan jika ganjil, hanya satu individu.

8. Iterasi

Langkah-langkah 4 sampai 7 diulang sejumlah iterasi atau generasi tertentu atau hingga kondisi berhenti yang ditentukan tercapai.

9. Solusi Terbaik

Solusi terbaik yang ditemukan selama iterasi adalah hasil akhir dari algoritma dan merupakan jawaban perkiraan untuk TSP.

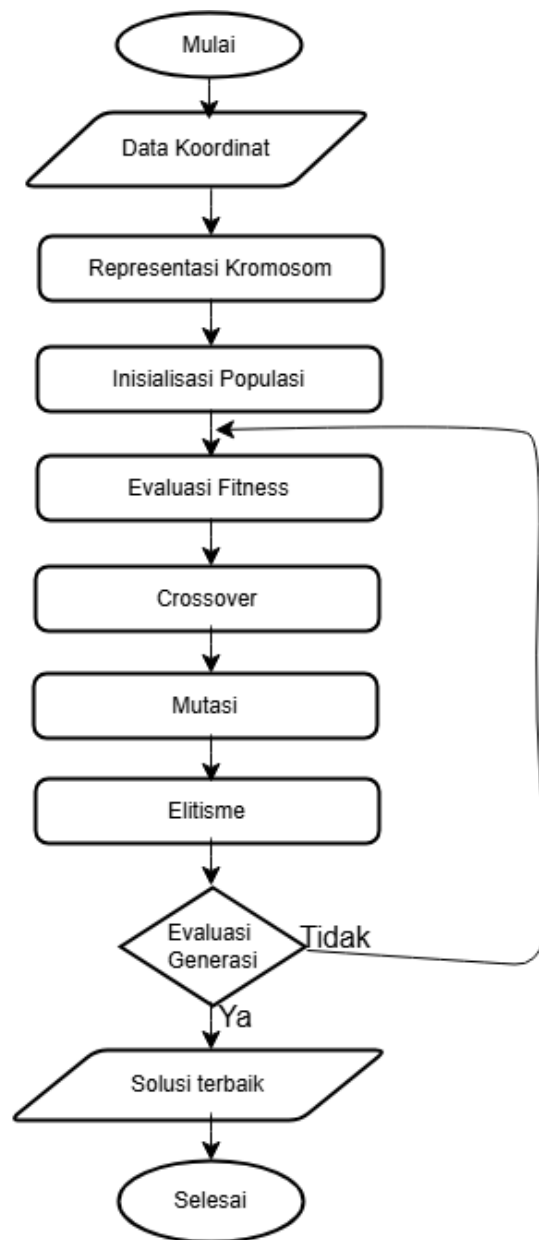
2.2. Parameter Algoritma

Berikut adalah parameter utama algoritma yang digunakan :

1. Ukuran populasi : 10
2. Probabilitas crossover : 0.8
3. Probabilitas mutasi : 0,005
4. Jumlah generasi maksimum : 100
5. Ambang batas fitness : 1

2.3. Diagram Alur Metodologi

Gambar 1. Merupakan Flowchart penelitian Travelling Salesman Problem (TSP) menggunakan Algoritma Genetika dengan probabilitas crossover dan mutasi adaptif diawali dengan langkah start, yaitu memasukkan data berupa koordinat geografis sejumlah kota yang menjadi titik perjalanan. Selanjutnya, dilakukan representasi kromosom, dimana setiap individu dalam populasi direpresentasikan sebagai urutan kota yang akan dikunjungi. Setelah itu, algoritma melakukan inisialisasi populasi, yaitu membangkitkan sejumlah individu secara acak sebagai solusi awal. Setiap individu kemudian dievaluasi melalui langkah fitness evaluation, di mana total jarak perjalanan dihitung untuk menentukan seberapa baik solusi tersebut. Individu dengan fitness terbaik dipilih pada tahap seleksi yang akan digunakan dalam menghasilkan generasi berikutnya. Pada tahap crossover, dua orang tua dipadukan untuk menghasilkan individu baru dengan rute perjalanan yang lebih optimal, menggunakan probabilitas crossover yang diadaptasi secara dinamis. Setelah itu, dilakukan mutasi, yaitu perubahan acak pada sebagian kecil rute perjalanan dengan probabilitas mutasi adaptif, untuk mencegah konvergensi prematur dan menjaga keberagaman populasi.



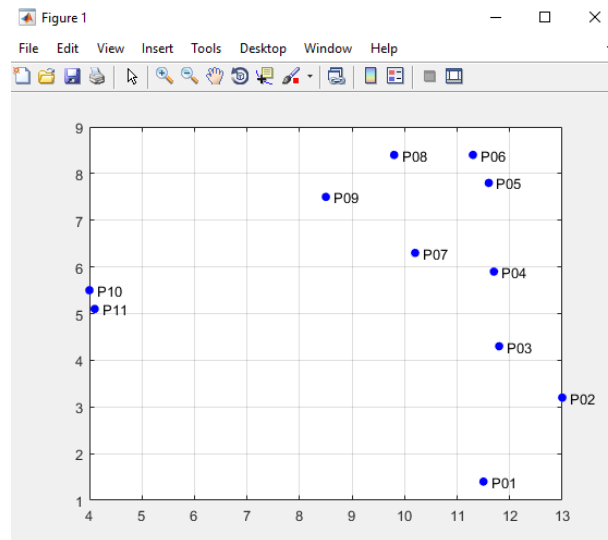
Gambar 1. Flowchart Sistem

Lanjutan penjelasan gambar 1. Tahapan berikutnya yaitu elitisme, di mana individu dengan fitness terbaik dari generasi sebelumnya disimpan untuk memastikan bahwa solusi terbaik tidak hilang. Algoritma terus mengulangi langkah-langkah ini hingga mencapai kriteria berhenti, seperti jumlah generasi maksimum atau ambang batas fitness yang ditentukan. Akhirnya, algoritma menghasilkan solusi terbaik, yaitu rute perjalanan dengan total jarak paling minimal, sebagai hasil akhirnya. Dengan langkah-langkah ini, algoritma memanfaatkan pendekatan adaptif untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam menyelesaikan Travelling Salesman Problem (TSP).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Visualisasi Kota dan Posisi Awal

Awalnya, data kota yang digunakan terdiri dari 11 titik dengan koordinat yang telah diinput. Gambar 2. Menunjukkan distribusi titik-titik kota yang akan dikunjungi, dilabeli sebagai P01, P02, ..., P11. Tujuannya adalah untuk menyelesaikan masalah optimasi rute perjalanan yang melibatkan semua kota tersebut dengan jarak minimum.

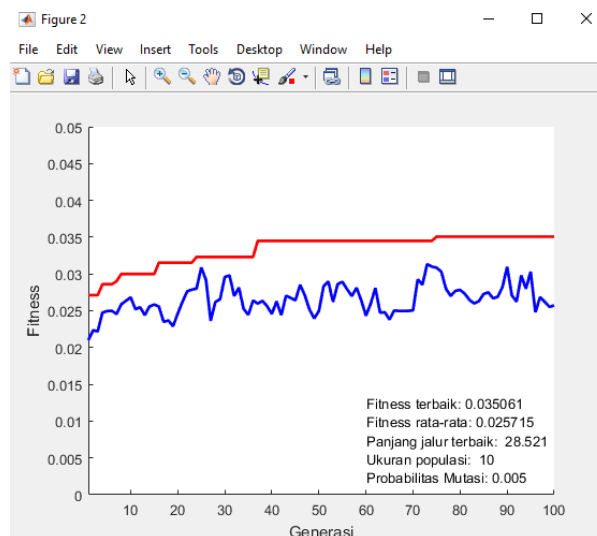


Gambar 2. Distribusi Titik-Titik Kota

Distribusi kota yang terlihat tidak teratur menunjukkan bahwa permasalahan ini merupakan kasus TSP dengan tantangan untuk menemukan jalur optimal yang meminimalkan total jarak.

3.2. Fitness

Fitness yang dihasilkan menunjukkan perkembangan fitness terbaik (warna merah) dan fitness rata-rata (warna biru) dari generasi pertama hingga generasi maksimum. Fitness dihitung sebagai kebalikan dari total panjang jalur, semakin kecil panjang jalur, semakin besar nilai fitness. Perhatikan Gambar 3.

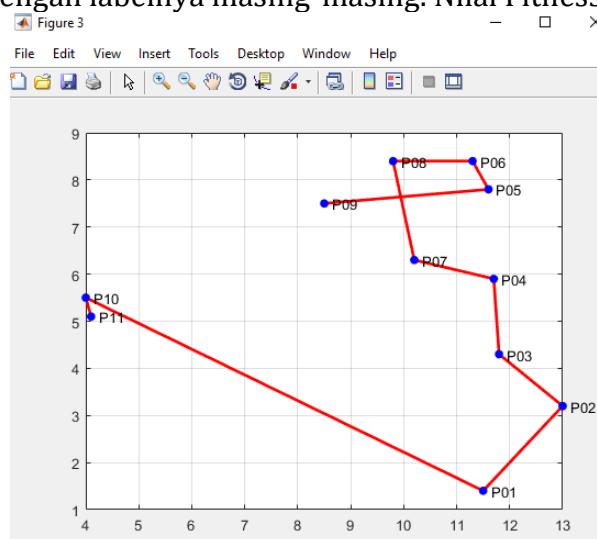


Gambar 3. Perkembangan Fitness

Fitness terbaik meningkat signifikan di generasi awal, menandakan perbaikan solusi dari algoritma genetik. Di generasi akhir, fitness cenderung stabil, menunjukkan bahwa algoritma telah mendekati solusi optimal. Algoritma genetika berhasil melakukan eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi untuk meningkatkan kualitas solusi. Adanya stabilisasi fitness menunjukkan konvergensi algoritma.

3.3. Jalur Terbaik

Pada akhir iterasi, algoritma genetika menghasilkan jalur terbaik yang ditampilkan dalam bentuk grafis. Perhatikan gambar 4. Gambar 4 menunjukkan jalur optimal yang menghubungkan semua kota (dari P01 sampai P11) dengan total panjang jalur minimum. Rute perjalanan ditunjukkan oleh garis merah yang menghubungkan titik-titik kota, sementara koordinat kota tetap ditampilkan sebagai titik biru dengan labelnya masing-masing. Nilai Fitness terbaik 0.035061.



Gambar 4. Jalur Terbaik

Jalur optimal ini menunjukkan efektivitas algoritma genetika dalam memecahkan TSP, dengan rute perjalanan yang mencakup semua kota dan menghindari jalur yang tidak efisien.

Probabilitas Crossover

Probabilitas crossover sebesar 0.8 memungkinkan terjadinya kombinasi genetik yang cukup intensif, menghasilkan keragaman individu pada populasi untuk meningkatkan eksplorasi solusi.

Probabilitas Mutasi

Nilai mutasi rendah (0.005) menjaga stabilitas populasi tanpa mengorbankan peluang menemukan solusi baru.

Ukuran Populasi

Dengan populasi awal sebesar 10 kromosom, algoritma mampu mencari solusi optimal dalam ruang solusi yang besar tanpa memerlukan waktu komputasi yang berlebihan. Parameter yang digunakan terbukti menghasilkan keseimbangan eksplorasi solusi.

3.3. Pembahasan

Algoritma genetika berhasil menemukan jalur optimal untuk permasalahan TSP dengan distribusi kota yang kompleks. Keunggulan algoritma terlihat pada kemampuannya untuk mencari solusi global dibandingkan hanya terjebak pada solusi lokal. Selanjutnya peningkatan fitness yang signifikan pada generasi awal menunjukkan efisiensi algoritma dalam mengeksplorasi ruang solusi. Konvergensi cepat menuju solusi optimal di generasi akhir membuktikan stabilitas algoritma dalam mempertahankan individu terbaik. Dan untuk hasil optimal yang dicapai tergantung pada parameter seperti probabilitas crossover, probabilitas mutasi, dan ukuran populasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini membuktikan bahwa Algoritma Genetika dapat digunakan secara efektif untuk menyelesaikan TSP dengan jumlah kota yang tidak terlalu besar. Parameter yang digunakan, seperti probabilitas crossover dan mutasi, memberikan keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi, sehingga menghasilkan jalur optimal dengan total panjang minimum. Penelitian ini membuka peluang untuk mengaplikasikan metode serupa pada dataset yang lebih besar, menyesuaikan parameter secara adaptif, atau membandingkan hasilnya dengan metode optimasi lainnya seperti Ant Colony Optimization (ACO) atau Particle Swarm Optimization (PSO). Prospek pengembangan meliputi penerapan algoritma pada dataset dengan jumlah kota yang lebih besar, pengaturan parameter adaptif yang lebih canggih, dan penggabungan dengan metode lain. Selain itu, algoritma ini dapat dioptimalkan untuk aplikasi nyata, seperti logistik dan navigasi, serta ditingkatkan efisiensi komputasinya melalui algoritma paralel atau perangkat keras khusus. Pengujian dengan dataset benchmark seperti TSPLIB juga dapat dilakukan

untuk mengevaluasi performa secara standar. Dengan pengembangan ini, Algoritma Genetika diharapkan semakin efektif dalam menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. E. Yulastuti, W. F. Mahmudy, and A. M. Rizki, "Implementation of Genetic Algorithm to Solve Travelling Salesman Problem with Time Window (TSP-TW) for Scheduling Tourist Destinations in Malang City," *J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2017, doi: 10.25126/jitecs.20172122.
- [2] M. Boulif and A. Gharbi, "A new node-shift encoding representation for the travelling salesman problem," 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2305.09257>
- [3] J. Juwairiah, D. Pratama, H. C. Rustamaji, H. Sofyan, and D. B. Prasetyo, "Genetic Algorithm for Optimizing Traveling Salesman Problems with Time Windows (TSP-TW)," *Int. J. Artif. Intell. Robot.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.25139/ijair.v1i1.2024.
- [4] J. Zheng, J. Zhong, M. Chen, and K. He, "A reinforced hybrid genetic algorithm for the traveling salesman problem," *Comput. Oper. Res.*, vol. 157, pp. 1–17, 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106249.
- [5] D. Fadhillah A, N. Ega, D. Sofisyah A, A. Riski, and E. Sakti, "Genetic Algorithm Design on Traveling Salesman Problem," *Informatics Softw. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–29, 2023, doi: 10.58777/ise.v1i1.60.
- [6] S. Lukas, T. Anwar, and W. Yuliani, "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Traveling Salesman Problem Dengan Menggunakan Metode Order Crossover Dan Insertion Mutation," *Semin. Nas. Apl. dan Teknol. Inf. (SNATI 2005)*, vol. 2005, no. Snati, pp. 1–5, 2005.
- [7] A. V. Ereemeev and Y. V. Kovalenko, "Genetic Algorithm with Optimal Recombination for the Asymmetric Travelling Salesman Problem," pp. 1–8, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-73441-5_36.
- [8] S. Mahmoudinazlou and C. Kwon, "A hybrid genetic algorithm with type-aware chromosomes for Traveling Salesman Problems with Drone," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 318, no. 3, pp. 719–739, 2024, doi: 10.1016/j.ejor.2024.05.009.
- [9] A. Yusron Mubarak and U. Chotijah, "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Mencari Optimasi Kombinasi Jalur Terpendek Dalam Kasus Travelling Salesman Problem," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 7, no. 2, pp. 77–82, 2021, doi: 10.54914/jtt.v7i2.424.
- [10] S. Rohman, L. Zakaria, A. Asmiati, and A. Nuryaman, "Optimisasi Travelling Salesman Problem dengan Algoritma Genetika pada Kasus Pendistribusian Barang PT. Pos Indonesia di Kota Bandar Lampung," *J. Mat. Integr.*, vol. 16, no. 1, p. 61, 2020, doi: 10.24198/jmi.v16.n1.27804.61-73.