

IMPLEMENTASI ALGORITMA HEURISTIK DALAM PENYELESAIAN MASALAH TRAVELLING SALESMAN PROBLEM PADA OPTIMASI JALUR PENGIRIMAN MAKANAN UNTUK LAYANAN ONLINE MENGGUNAKAN PYTHON

Yohana Lorinez Silitonga, Zulfahmi Indra, Desni Paramitha Purba

Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan

Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

lorinezyohana@gmail.com

ABSTRAK

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah masalah dalam optimasi kombinatorial yang bertujuan menentukan rute terpendek untuk mengunjungi setiap kota sekali dan kembali ke kota awal. Dalam konteks layanan pengiriman makanan online, optimasi rute sangat penting untuk mengurangi waktu pengiriman dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan dan membandingkan *algoritma heuristik*, yaitu Nearest Neighbor Algorithm (NN) dan Simulated Annealing (SA), untuk menyelesaikan masalah TSP. Metode penelitian mencakup pembangunan graf berbobot menggunakan pustaka Python seperti NetworkX, perhitungan jarak antar titik menggunakan jarak Euclidean, dan evaluasi efisiensi algoritma berdasarkan total jarak perjalanan dan waktu komputasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma Nearest Neighbor mampu memberikan solusi awal yang cepat namun kurang optimal, sedangkan *Simulated Annealing* menghasilkan solusi yang lebih baik dengan kemampuan menghindari perangkap solusi lokal. Pada dataset simulasi dengan 10 dan 20 lokasi pengiriman, SA memberikan pengurangan jarak hingga 15% dibandingkan NN, dengan waktu komputasi yang tetap efisien. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma heuristik dapat menjadi solusi praktis untuk optimasi rute dalam layanan pengantaran makanan berbasis online.

Kata kunci: *Travelling Salesman Problem, algoritma heuristik, optimasi jalur, Python, pengiriman makanan*

1. PENDAHULUAN

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah permasalahan umum dalam optimasi kombinatorial yang memiliki berbagai aplikasi, termasuk dalam layanan pengantaran makanan berbasis aplikasi seperti GrabFood, GoFood, dan ShopeeFood. TSP bertujuan menentukan rute terpendek untuk mengunjungi sejumlah lokasi hanya sekali sebelum kembali ke lokasi awal. Dalam konteks layanan pengantaran makanan, TSP menjadi lebih kompleks karena melibatkan perubahan lokasi secara real-time, adanya batas waktu (time window), serta dinamika lalu lintas.

Distribusi adalah tindakan yang dilaksanakan pada berbagai jenis transportasi dalam menjalankan pemasaran produk kepada konsumen, dengan adanya perencanaan oleh setiap perusahaan. Pada pelaksanaannya, dibutuhkan perencanaan yang terstruktur, agar keterlambatan dapat diminimalisir, seperti faktor jarak tempuh.

Permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) berakar dari permainan Icosian Hamilton yang diciptakan oleh William Rowan Hamilton dan Thomas Pennington pada tahun 1800. Permainan ini mengharuskan pemain untuk menghubungkan 20 titik dengan jalur tertentu, yang kemudian dikenal sebagai teori Sirkuit Hamilton dalam matematika diskrit. Umumnya, bentuk TSP awalnya dikaji oleh Karl Menger di Vienna dan Harvard pada tahun 1930. Selanjutnya, Hassler Whitney beserta Merrill Flood mempublikasikannya di Princeton. Kemudian perkembangan Travelling Salesman Problem dikembangkan dalam makalah "On the history of

combinatorial optimization". Dalam konteks TSP, setiap kota direpresentasikan sebagai node dalam sebuah graf, dan perjalanan antara dua kota direpresentasikan sebagai edge dengan bobot tertentu yang menunjukkan jarak atau biaya perjalanan. Tantangan utama dalam Travelling Salesman Problem adalah menemukan rute optimal yang meminimalkan total jarak atau biaya perjalanan [1]

Pemanfaatan program Python mampu membantu dalam menghasilkan visualisasi grafik fungsi dua peubah, yang menggunakan ketersediaan modul-modul pada bahasa Python, misalnya NumPy dan Matplotlib. Matplotlib difungsikan dalam menciptakan visualisasi data dengan bentuk yang beragam, misalnya pie chart, line chart, scatter plot, serta bar chart [2]

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan membandingkan algoritma Nearest Neighbor Algorithm dan Simulated Annealing dalam konteks layanan pengantaran makanan berbasis layanan online. Penggunaan Python sebagai platform implementasi memungkinkan pengolahan data yang efisien dan visualisasi jalur yang dihasilkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Travelling Salesman Problem (TSP) telah menjadi fokus penelitian dalam berbagai konteks, dengan pendekatan algoritmik yang beragam. Penelitian oleh Yulistian dan Irawan menggunakan metode *Self-Organizing Map (SOM)* yang berbasis *Neural Network*. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan SOM dalam menyelesaikan TSP dengan

mengorganisasi input menjadi cluster yang lebih efisien, meskipun masih terdapat kekurangan seperti adanya lintasan yang berpotongan akibat urutan kota yang belum optimal.[3]

Penelitian lainnya oleh Anassuka et al. mengembangkan algoritma hibrida *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Genetic Algorithm* (GA) untuk menyelesaikan masalah distribusi pada PT Indomarco Adi Prima. Hasilnya menunjukkan efisiensi rute meningkat hingga 74,3%, dengan pengurangan jarak rata-rata 709,219 km dibandingkan metode sebelumnya. Pendekatan hibrida ini menunjukkan efektivitasnya dalam menangani masalah *Multiple Travelling Salesman Problem* (MTSP).[4]

Saputra menerapkan algoritma *Branch and Bound* untuk mengoptimalkan rute kurir JNE di Balige. Algoritma ini berhasil menemukan rute terpendek dengan waktu tempuh minimum 36 menit, lebih cepat 10 menit dibandingkan tanpa optimasi TSP. Hal ini menunjukkan keunggulan algoritma *Branch and Bound* dalam menyelesaikan masalah dengan tingkat kompleksitas tinggi.[5]

2.1. Travelling Salesman Problem (TSP)

Travelling Salesman Problem (TSP) ialah masalah pada optimasi kombinatorial yang bertujuan untuk menentukan jalur terpendek yang mengunjungi semua node dalam graf berbobot dan kembali ke node awal. TSP merupakan masalah NP-Hard, sehingga penyelesaian secara eksak untuk jumlah node yang besar membutuhkan waktu komputasi yang sangat tinggi. Oleh karena itu, pendekatan heuristik sering digunakan untuk menghasilkan solusi yang mendekati optimal dalam waktu yang lebih efisien.

Permasalahan yang umum terjadi dan diselesaikan dengan memanfaatkan teori graf, yakni Shortest Path Problem/SPP dengan solusi yakni mengidentifikasi jalur terpendek melalui titik-titik tujuan yang hendak ditentukan. Jalur terpendek serta jalur kendaraan yang bergantung pada waktu bergantung pada data pengujian yang logis dan masuk akal dalam demonstrasi serta evaluasi kinerja. Permasalahan ketika hendak mengidentifikasi jarak minimum pada loop tertutup terhadap parameter yang beragam tanpa diharuskan untuk mengunjungi tempat yang serupa lebih dari satu kali. Pada akhirnya, perolehan hasil melalui penetapan jarak terdekat yang telah dikalkulasikan pembobotannya dapat dijadikan sebagai acuan ketika hendak menetapkan jalur mana yang hendak dipilih untuk dilalui. [6]

Secara teoritis, algoritma SA dilengkapi fitur yang memperkuat bahwa model matematika yang kompleks tidak dibutuhkan, beserta hambatan pada permasalahan secara mudah dapat diselesaikan. SA telah diimplementasikan pada berbagai permasalahan terkait optimasi power system, dengan kesuksesan yang mengagumkan. Penghitungan optimasi yang memanfaatkan algoritma SA adalah kombinasi antara optimasi dalam menyelesaikan TSP. Algoritma SA

dimanfaatkan guna mengubah pola rute pada penyelesaian TSP sehingga dapat sistematis. Guna memproses peninjauan rute dengan memanfaatkan algoritma, dilaksanakan penentuan solusi awal rute yang dianggap sebagai keadaan awal sebelum dilakukannya perhitungan algoritma. Rute awal yang ada kemudian diukur dengan merujuk pada kondisi kapasitas, jarak tempuh yang hendak dimanfaatkan sehingga dapat ditinjau serta menghasilkan modifikasi rute paling tepat.[7]

2.2. Algoritma Heuristik

Algoritma heuristik adalah pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan mencari solusi mendekati optimal melalui metode yang lebih cepat dibandingkan algoritma eksak. Beberapa algoritma heuristik yang sering digunakan dalam penyelesaian TSP adalah:

- Nearest Neighbor (NN):** Algoritma ini menghasilkan solusi awal dengan memilih jalur berdasarkan jarak terdekat dari node yang belum dikunjungi. Meski sederhana, NN sering kali memberikan solusi awal yang cukup baik.
- Simulated Annealing (SA):** Algoritma SA menggunakan pendekatan probabilistik untuk memperbaiki solusi awal. Dengan teknik eksplorasi yang terinspirasi dari proses pendinginan logam, SA dapat menghindari perangkap pada solusi lokal dan mendekati solusi optimal.

2.3. Optimasi Jalur Pengantaran Makanan

Dalam layanan pengantaran makanan, optimasi jalur bertujuan untuk mengurangi waktu pengiriman dan biaya operasional. Masalah ini dapat dimodelkan sebagai TSP, di mana setiap pelanggan atau restoran direpresentasikan sebagai node dalam graf. Pendekatan algoritma heuristik membantu perusahaan layanan pengantaran makanan untuk meningkatkan efisiensi operasional dengan meminimalkan jarak total perjalanan.

TPS dapat diimplementasikan pada graph komplit berbobot dengan total bobot sisi minimum, yang mana bobot pada sisi ialah jarak. Rute TSP mencakup keseluruhan titik di graph tepat satu kali. Dalam pelaksanaan pemecahan permasalahannya, terdapat sejumlah bentuk metode optimasi yang dapat dimanfaatkan, seperti Ant Colony Optimization (ACO), Campbell Dudeck Smith (CDS), Greedy Algorithm, Particle Swarm Optimization (PSO), hingga Genetic Algorithm (Algoritma Genetika).[8]

2.4. Implementasi pada Python

Python adalah bahasa pemrograman yang populer untuk implementasi algoritma karena menyediakan berbagai pustaka yang mendukung pengolahan data dan optimasi.

- NetworkX:** Digunakan untuk membangun graf berbobot dan melakukan analisis jalur.

- b. **Matplotlib:** Dimanfaatkan untuk visualisasi graf dan jalur pengantaran yang dihasilkan oleh algoritma.
- c. **NumPy dan SciPy:** Membantu dalam perhitungan matematis yang efisien selama proses optimasi. Kemudahan integrasi pustaka tersebut memungkinkan implementasi algoritma heuristik yang fleksibel dan efisien untuk menyelesaikan TSP.

2.5. Peran Algoritma Heuristik dalam Sistem Layanan Online

Dalam sistem layanan online, penggunaan algoritma heuristik menjadi solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi. Algoritma ini tidak hanya mengurangi jarak total perjalanan tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan secara dinamis berdasarkan data yang diperbarui secara real-time. Hal ini relevan dalam konteks layanan pengantaran makanan berbasis teknologi, di mana kecepatan dan akurasi menjadi faktor utama.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Perancangan Sistem Pengiriman Makanan

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mendefinisikan masalah TSP dalam konteks pengiriman makanan. Setiap lokasi pengiriman (misalnya restoran atau pelanggan) diwakili sebagai titik dalam sistem koordinat dua dimensi (x, y), yang mencerminkan posisi geografis setiap lokasi. Data ini kemudian digunakan untuk membangun graf berbobot, di mana bobot graf dihitung berdasarkan jarak Euclidean antar titik.[9]

3.2. Pembentukan Graf dan Perhitungan Jarak

Setelah data lokasi pengiriman dikumpulkan, langkah berikutnya adalah membangun graf yang menggambarkan hubungan antar titik. Dalam hal ini, *NetworkX*, sebuah pustaka Python, digunakan untuk mempermudah pembuatan graf berbobot. Graf ini memiliki sifat sebagai complete graph, di mana setiap pasangan titik dihubungkan oleh sebuah sisi yang bobotnya merupakan jarak antar titik tersebut.

NetworkX adalah sebuah pustaka (library) Python yang digunakan untuk pembangunan, analisis, dan visualisasi jaringan (network). Pustaka ini menyediakan alat-alat yang kuat untuk memodelkan struktur jaringan dan melaksanakan berbagai analisis jaringan. *NetworkX* bersifat open-source dan dimanfaatkan secara luas di sejumlah bidang keilmuan, seperti ilmu sosial, biologi, fisika, hingga computer.[10]

3.3. Implementasi Algoritma Heuristik

Untuk menyelesaikan masalah TSP, dua algoritma heuristik yang populer digunakan, yaitu **Nearest Neighbor (NN)** dan **Simulated Annealing (SA)**. Kedua algoritma ini ditetapkan sebab kemampuannya dalam memberikan solusi yang cukup baik dalam waktu komputasi yang terhitung cepat.

Pada algoritma Cheapest Insertion Heuristic, jika node yang telah terpilih pada iterasi sebelumnya maka node tersebut akan diabaikan pada iterasi berikutnya sehingga jumlah node akan berkurang yang menyebabkan perhitungan iterasi lebih cepat jika jumlah node yang dihitung sedikit. Tetapi proses iterasi akan meningkat pada skala yang besar. Hal ini selaras dengan kajian Effendi & Maulinda (2010) yang menyatakan bahwa proses pencarian algoritma Cheapest Insertion Heuristic akan semakin meningkat jika jumlah node yang relatif banyak [11]

3.4. Evaluasi Kinerja

Untuk mengevaluasi kinerja kedua algoritma, dilakukan eksperimen dengan data yang terdiri dari 10 lokasi pengiriman makanan. Setiap algoritma diuji dengan menghitung total jarak yang ditempuh selama perjalanan dan waktu komputasi yang diperlukan. Total jarak dihitung dengan menjumlahkan jarak antar setiap pasangan titik yang dikunjungi dalam urutan yang dihasilkan oleh algoritma. Waktu komputasi dicatat untuk setiap iterasi dan dibandingkan untuk menilai efisiensi masing-masing algoritma.

3.5. Pengujian dan Validasi

Pengujian dilaksanakan dengan memanfaatkan data simulasi yang mencakup 10 titik pengiriman yang dipilih secara acak. Setiap algoritma diuji sebanyak 5 kali untuk memastikan konsistensi hasil dan mengurangi pengaruh kebetulan dalam pemilihan solusi. Hasil dari kedua algoritma kemudian dianalisis untuk melihat perbandingan antara waktu komputasi, total jarak yang ditempuh, dan solusi yang dihasilkan.

Perbandingan antara metode heuristik dan algoritma optimisasi dalam menyelesaikan masalah kombinatorial mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan masing-masing pendekatan. Metode heuristik, seperti hyper-heuristics, terbukti efektif dalam menangani masalah optimisasi yang melintasi berbagai domain, namun memerlukan penyediaan parameter yang spesifik terhadap setiap domain masalah. Di sisi lain, algoritma optimisasi seperti Algoritma [12]

Pengujian ini juga dilakukan pada data dengan ukuran yang lebih besar, misalnya dengan 10 dan 20 lokasi untuk melihat bagaimana kedua algoritma pada skala yang lebih besar. Hasil ini diharapkan memberikan wawasan tentang skalabilitas masing-masing algoritma dalam konteks optimasi rute pengiriman makanan untuk layanan online.

3.6. Teknologi yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan menggunakan **Python** karena fleksibilitas dan dukungan pustakanya yang luas. Pustaka-pustaka yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. **NetworkX:** Untuk membangun graf berbobot dan melakukan analisis jalur.
- b. **Matplotlib:** Untuk visualisasi graf dan jalur pengantaran yang dihasilkan oleh algoritma.

- c. **NumPy**: Untuk perhitungan matematis yang efisien.
- d. **SciPy**: Untuk perhitungan optimasi dan fungsi matematika lainnya.

Dengan menggunakan pustaka-pustaka ini, proses implementasi dan evaluasi algoritma menjadi lebih efisien dan mudah dilakukan.

Metode ini juga dibagi kedalam satu penyelesaian yang disebut Nearest Neighbor. Sejumlah contoh permasalahan yang dapat dipecahkan dengan memanfaatkan pendekatan TSP ialah; 1) Pengidentifikasian jalur bis sekolah untuk mengantar siswa; 2) Pengidentifikasian jalur truk pengantar parcel; 3) Pengambilan tagihan telepon. Graf dimanfaatkan dalam mencerminkan objek diskrit serta keterkaitan antar-objek. Secara visual, sebuah objek pada graf dicerminkan dengan suatu titik, serta sebuah keterkaitan antar-objek yang dicerminkan dengan suatu garis yang mengaitkan kedua titik. Secara umum, permasalahan lintasan terpendek digambarkan dengan memanfaatkan konsep graf, dapat berbentuk graf berarah ataupun tidak. Sisi dalam suatu graf tidak berarah dapat dianggap memungkinkan perjalanan pada kedua arah.[13]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Sistem Pengiriman Makanan

Tabel 1. Data 10 lokasi

Lokasi	x	Y
1	0	0
2	2	4
3	3	1
4	5	4
5	7	8
6	8	3
7	10	1
8	11	7
9	12	4
10	14	5

Tabel 1. data 10 lokasi yang digunakan dalam simulasi optimasi rute pengiriman makanan berdasarkan masalah Travelling Salesman Problem (TSP). Data ini berisi koordinat X dan Y yang masing-masing merepresentasikan posisi geografis titik atau lokasi yang harus dikunjungi oleh kurir pengiriman.

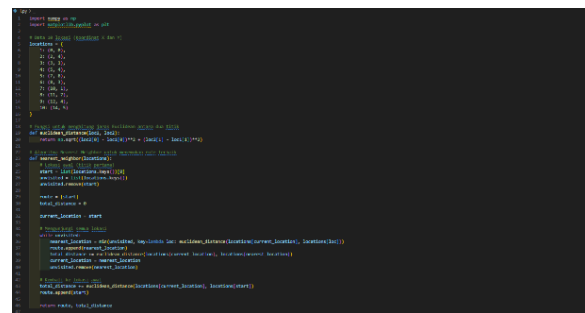
Tabel 2. Data 20 lokasi

Lokasi	x	y
1	0	0
2	2	4
3	3	1
4	5	4
5	7	8
6	8	3
7	10	1
8	11	7
9	12	4
10	14	5

Lokasi	x	y
11	1	9
12	4	6
13	6	2
14	8	9
15	9	5
16	10	8
17	13	3
18	15	6
19	16	2
20	18	4

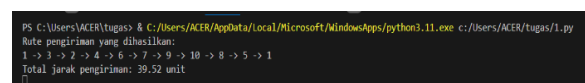
Tabel 2. data 20 lokasi yang digunakan dalam simulasi optimasi rute pengiriman makanan berdasarkan masalah Travelling Salesman Problem (TSP). Data ini berisi koordinat X dan Y yang masing-masing merepresentasikan posisi geografis titik atau lokasi yang harus dikunjungi oleh kurir pengiriman.

4.2. Implementasi Dengan Nearest Neighbour



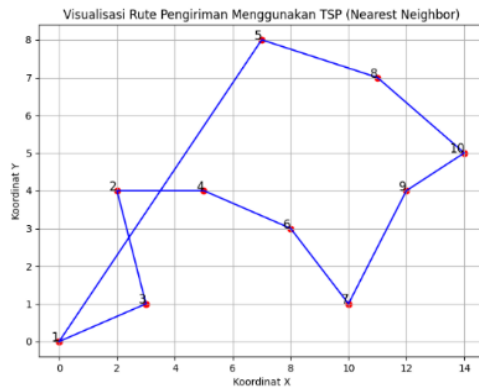
Gambar 1. Data 10 lokasi dengan nearest neighbour

Gambar 1 menunjukkan hasil penerapan algoritma Nearest Neighbor (NN) pada data 10 lokasi yang telah didefinisikan dalam simulasi Travelling Salesman Problem (TSP). Setiap Lokasi direpresentasikan oleh titik dalam sistem koordinat kartesian (x,y)(x, y)(x,y), dan garis penghubung menunjukkan rute yang dihasilkan algoritma.



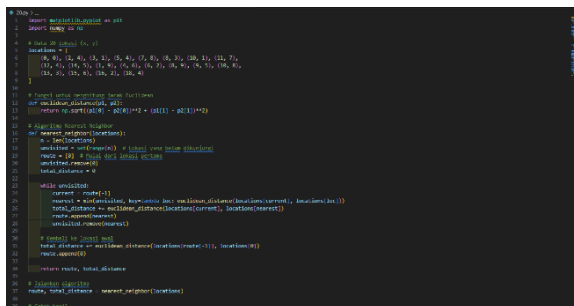
Gambar 2. Hasil rute dan total jarak pengiriman

Gambar 2 menggambarkan hasil rute perjalanan yang dihasilkan oleh algoritma heuristik (misalnya Nearest Neighbor) untuk menyelesaikan masalah Travelling Salesman Problem (TSP) pada data 10 lokasi pengiriman. Selain rute, gambar ini juga menunjukkan total jarak yang harus ditempuh oleh kurir dalam menyelesaikan pengiriman makanan.



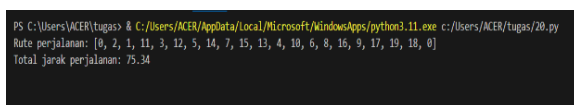
Gambar 3. Visualisasi rute dengan nearest neighbour

Gambar 3 menunjukkan representasi visual dari rute perjalanan yang dihasilkan menggunakan algoritma Nearest Neighbor (NN) dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data lokasi yang diberikan. Visualisasi ini memperlihatkan bagaimana algoritma menentukan rute berdasarkan jarak terdekat secara bertahap.



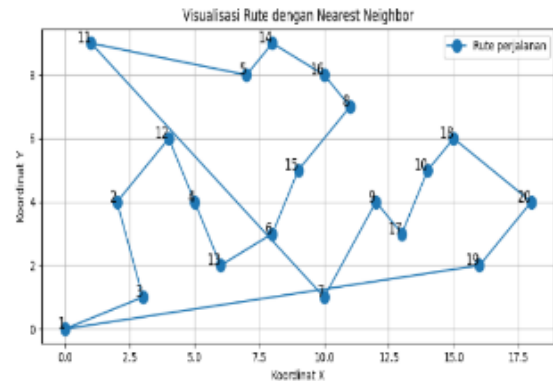
Gambar 4. Data 20 lokasi

Gambar 4. menunjukkan hasil penerapan algoritma Nearest Neighbor (NN) pada data 20 lokasi yang telah didefinisikan dalam simulasi Travelling Salesman Problem (TSP).



Gambar 5. Hasil rute perjalanan dan Total jarak

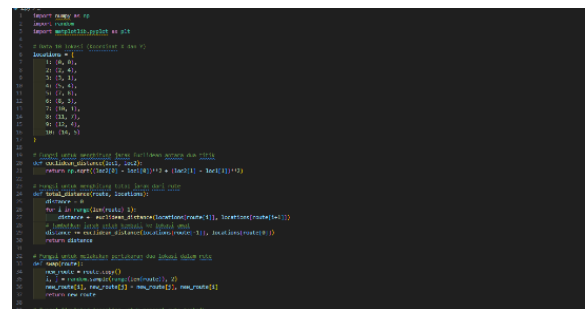
Gambar 5. menggambarkan hasil rute perjalanan yang dihasilkan oleh algoritma Nearest Neighbor dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data 20 lokasi pengiriman.



Gambar 6. Visualisasi rute 20 lokasi dengan nearest neighbour

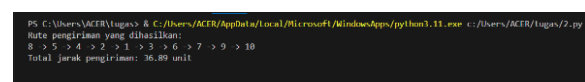
Gambar 6. menunjukkan representasi visual dari rute perjalanan yang dihasilkan menggunakan algoritma Nearest Neighbor dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data lokasi yang diberikan.

4.3. Implementasi Dengan Simulated Annealing



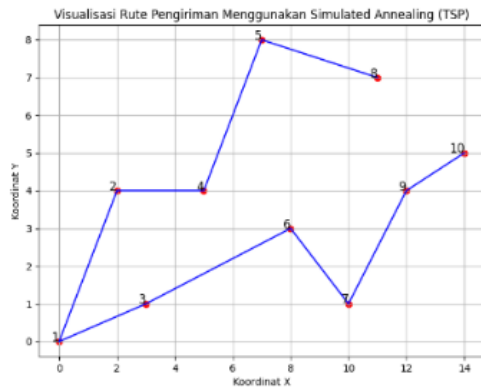
Gambar 7. Data 10 lokasi dengan Simulated Annealing

Gambar 7. menunjukkan hasil penerapan algoritma Simulated Annealing pada data 10 lokasi yang telah didefinisikan dalam simulasi Travelling Salesman Problem (TSP).



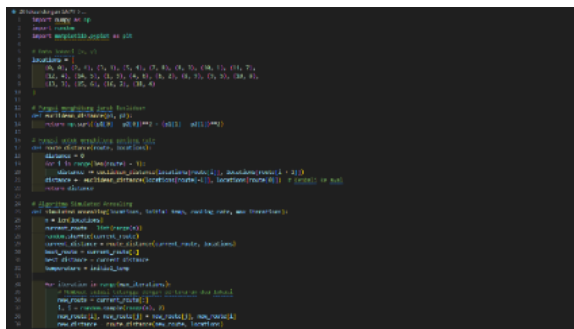
Gambar 8. Hasil rute perjalanan dan Total jarak

Gambar 8 menggambarkan hasil rute perjalanan yang dihasilkan oleh Simulated Annealing dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) TSP pada data 10 lokasi pengiriman.



Gambar 9. Visualisasi rute 10 lokasi dengan simulated annealing

Gambar 9. menunjukkan representasi visual dari rute perjalanan yang dihasilkan menggunakan algoritma Simulated annealing dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data lokasi yang diberikan.



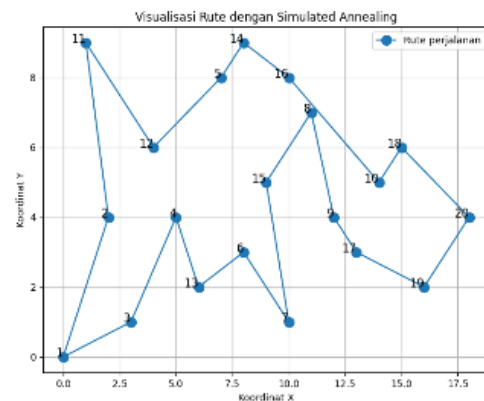
Gambar 10. Data 20 lokasi dengan simulated annealing

Gambar 10. menunjukkan hasil penerapan algoritma Simulated Annealing pada data 20 lokasi yang telah didefinisikan dalam simulasi Travelling Salesman Problem (TSP).



Gambar 11. Hasil rute perjalanan 20 lokasi dan Total jarak

Gambar 11. menggambarkan hasil rute perjalanan yang dihasilkan oleh Simulated Annealing dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data 20 lokasi pengiriman.



Gambar 12. Visualisasi rute 10 lokasi dengan simulated annealing

Gambar 12. menunjukkan representasi visual dari rute perjalanan yang dihasilkan menggunakan algoritma simulated annealing dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) pada data lokasi yang diberikan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengimplementasikan dua algoritma heuristik, yaitu Nearest Neighbor (NN) dan Simulated Annealing (SA), dalam memecahkan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) dalam konteks optimasi rute pengiriman makanan pada layanan online. Berdasarkan hasil pengujian, kedua algoritma menunjukkan kinerja yang baik dalam memberikan solusi yang mendekati optimal, meskipun algoritma Simulated Annealing mampu memberikan solusi yang lebih baik dengan kemampuan menghindari solusi lokal.

Algoritma heuristik seperti NN dan SA terbukti efisien dalam menyelesaikan TSP dengan data yang lebih besar, seperti 10 dan 20 lokasi, dalam waktu komputasi yang relatif cepat. Visualisasi rute yang dihasilkan memperlihatkan perbedaan dalam jalur yang dipilih oleh masing-masing algoritma, yang dapat dimanfaatkan untuk optimasi operasional dalam layanan pengantaran makanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fahmi Al Hafidz *et al.*, "Seminar Nasional Informatika Bela Negara (SANTIKA)." [Online]. Available: www.kaggle.com.
- [2] A. Mubarak -13522101, "Makalah IF2120 Matematika Diskrit-Sem. I Tahun," 2023.
- [3] Y. Suryono and I. Afrianto, "PEMANFAATAN METODE SELF ORGANIZING MAP PADA OPTIMASI MASALAH TRAVELLING SALESMAN PROBLEM."
- [4] B. Anassuka, I. Cholissodin, and B. Rahayudi, "Optimasi Rute Multiple Travelling Salesman Problem Distribusi Produk PT Indomarco Adi Prima (Stock Point Nganjuk) menggunakan Algoritme Ant Colony Optimization dan

- Algoritme Genetika,” 2022. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [5] D. Wawan Saputra, “Optimalisasi Rute Distribusi Kurir Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem (Studi Kasus: JNE Balige),” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 159–165, Aug. 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i2.1577.
- [6] D. Fajar Sulistiyani and Z. Ramadhany, “IMPLEMENTASI ALGORITMA GENERATE AND TEST UNTUK OPTIMALISASI MASALAH RUTE PERJALANAN”, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31598>
- [7] J. Mutakin, W. N. Kamilah, D. Andiani, S. Dwi, and R. Septiani, “Aplikasi Metode Simulated Annealing Dan Metode Ant System Dalam Menyelesaikan Travelling Salesman Problem (Tsp) Pada Pt. Jet & Tony (J&T) Di Kabupaten Bandung,” | *Jurnal Riset Matematika dan Sains Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 76–91, 2022.
- [8] L. Erik Prasetyo, F. Marisa, U. Widyagama Malang Jl Borobudur No, K. Lowokwaru, and K. Malang, “Sistem optimasi pendistribusian bahan makanan dan snack dengan algoritma Ant Colony Optimization (ACO),” *AITI: Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 18, no. Februari, pp. 88–96, 2021.
- [9] L. Ezquerro, R. Coimbra, B. Bauluz, C. Núñez-Lahuerta, T. Román-Berdiel, and M. Moreno-Azanza, “Large dinosaur egg accumulations and their significance for understanding nesting behaviour,” *Geoscience Frontiers*, vol. 15, no. 5, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.gsf.2024.101872.
- [10] N. M. Surbakti *et al.*, “Penggunaan Bahasa Pemrograman Python dalam Pembelajaran Kalkulus Fungsi Dua Variabel,” *Algoritma : Jurnal Matematika, Ilmu pengetahuan Alam, Kebumihan dan Angkasa*, vol. 2, no. 3, pp. 98–107, May 2024, doi: 10.62383/algoritma.v2i3.67.
- [11] U. Is. Abdul, Muh. R. Katili, and D. Wungguli, “OPTIMASI RUTE PENDISTRIBUSIAN BBM MENGGUNAKAN ALGORITMA TABU SEARCH DAN CHEAPEST INSERTION HEURISTIC,” *Transformasi : Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*, vol. 7, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2023, doi: 10.36526/tr.v7i1.2325.
- [12] U. Muhammadiyah Mataram, A. Rahman Hadi, V. Mandalina, and P. studi Pendidikan matematika, “Seminar Nasional Paedagoria Evaluasi Perbandingan Penggunaan Metode Heuristik Dan Algoritma Optimasi Dalam Menyelesaikan Masalah Kombinasi Pada Matematika Diskrit.”
- [13] Y. D. Prasetyo, A. M. Armond, and W. Ediningrum, “PENERAPAN MODEL MATEMATIKA ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION DALAM PENENTUAN RUTE BUS TRANS BANYUMAS,” *JURNAL MATHEMATIC PAEDAGOGIC*, vol. 7, no. 1, pp. 12–23, Sep. 2022, doi: 10.36294/jmp.v7i1.2701