

Implementasi Algoritma Traveling Salesman Problem (TSP) dalam Penentuan Jalur Terpendek pada Rute Berlayar untuk Kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP di Wilayah Kerja Kantor Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak

M. Adil Wanadi¹, Ade Irfan Efendi^{2*}, Dandun Prakosa³, Yus Rizal⁴

¹²³⁴Politeknik Transportasi Darat Indonesia-STTD, Jalan Raya Setu No. 89, Bekasi, 17520
e-mail: ¹m.adil@ptdisttd.ac.id, ²ivan.kendy@ptdisttd.ac.id, ³dandunprakosa@gmail.com,
⁴yus.rizal@ptdisttd.ac.id
*Corresponding Author

Submitted Date: June 22th, 2025
Revised Date: September 30th, 2025

Reviewed Date: August 30th, 2025
Accepted Date: October 20th, 2025

Abstract

The aplousing and maintenance activities of Shipping Navigation Assistance Facilities (SBNP) in the work area of the Tanjung Perak Type A Navigation District provide high efficiency in fuel use and travel time while minimizing the impact of environmental pollution. However, the shipping route so far has not been optimal, resulting in longer mileage, requiring excess fuel consumption and increased exhaust emissions. This study aims to optimize shipping routes through the application of the Traveling Salesman Problem (TSP) algorithm. The two approaches used are Heuristic Nearest Neighbor and Brute Force with case studies on 11 port points and islands in the waters of East Java. The simulation results showed that the Brute Force approach produced the most optimal route with a total distance of $\pm 1,095.94$ km more efficient than the Nearest Neighbor $\pm 1,110.33$ km and the initial route without optimization of $\pm 1,284.3$ km. This reduction in mileage has a positive impact on fuel savings, shipping time and reducing exhaust emissions. This study proves that the application of the TSP algorithm is able to increase operational efficiency and has the potential to be the basis for the development of technology-based decision-making support systems in environmentally friendly shipping route management.

Keywords: Traveling salesman problem; Algoritma TSP; Cruise; Route Optimization; Efficiency.

Abstrak

Kegiatan aplousing dan perawatan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) di wilayah kerja Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak menuntut efisiensi yang tinggi dalam penggunaan bahan bakar dan waktu tempuh sekaligus meminimalkan dampak pencemaran lingkungan. Akan tetapi rute pelayaran selama ini belum optimal sehingga menimbulkan jarak tempuh lebih panjang sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar berlebih serta peningkatan emisi gas buang. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan rute pelayaran melalui penerapan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP). dua pendekatan yang digunakan adalah *Heuristic Nearest Neighbor* dan *Brute Force* dengan studi kasus pada 11 titik pelabuhan dan pulau di perairan Jawa Timur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan *Brute Force* menghasilkan rute paling optimal dengan total jarak $\pm 1.095.94$ km lebih efisien dibandingkan *Nearest Neighbor* $\pm 1.110.33$ km maupun rute awal tanpa optimasi sebesar $\pm 1.284.3$ km. Pengurangan jarak tempuh ini berdampak positif terhadap penghematan bahan bakar, waktu pelayaran serta menurunkan emisi gas buang. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan algoritma TSP mampu meningkatkan efisiensi operasional dan berpotensi menjadi dasar pengembangan sistem pendukung pengambilan keputusan berbasis teknologi dalam manajemen rute pelayaran yang ramah lingkungan.

Keywords: *Traveling Salesman Problem*; Algoritma TSP; Pelayaran; Optimalisasi Rute; Efisiensi.

1. Pendahuluan

Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Kelas I Tanjung Perak dikenal sebagai Dermaga Navigasi Mirah yang merupakan fasilitas strategis dikelola oleh

Kementerian Perhubungan melalui Distrik Navigasi Tipe A Kelas I Tanjung Perak di Surabaya. Dermaga ini memiliki panjang sekitar 120 meter dan terletak di Jalan Intan No. 1A, Surabaya. Fasilitas ini dirancang untuk

melayani kapal milik Distrik Navigasi maupun kapal milik instansi lain yang beroperasi di wilayah Pelabuhan Tanjung Perak. Dermaga ini memiliki fungsi utama yaitu meliputi perencanaan, penyediaan, pengoperasian, pemeliharaan dan pengawasan sarana bantu navigasi pelayaran, termasuk pengelolaan kapal negara, dermaga dan galangan. Selain itu, distrik ini juga bertanggung jawab atas pengawasan alur pelayaran dan telekomunikasi pelayaran di wilayah kerjanya.

Dermaga ini berperan penting dalam mendukung operasional kapal negara dan instansi terkait di wilayah Pelabuhan Tanjung Perak serta menjadi bagian integral dari upaya peningkatan keselamatan dan efisiensi pelayaran di kawasan dermaga tersebut. Salah satu tantangan umum yang sering dihadapi kapal negara adalah upaya menjaga efisiensi bahan bakar dan waktu pelayaran serta mengurangi pencemaran lingkungan dalam segala kondisi seperti cuaca ekstrem dan laut yang tidak menentu.

Cuaca buruk seperti gelombang tinggi, angin kencang, dan hujan deras dapat memperlambat laju kapal ini memaksa perubahan rute atau bahkan menyebabkan kapal harus berhenti berlayar untuk sementara. Hal ini berdampak langsung pada konsumsi bahan bakar yang meningkat, waktu tempuh yang lebih lama serta peningkatan emisi gas buang ke lingkungan.

Dalam situasi seperti ini kapal negara dituntut untuk menerapkan strategi navigasi yang cermat serta pemanfaatan teknologi ramalan cuaca yang akurat dan penggunaan sistem manajemen bahan bakar yang efisien. Selain itu, sinergi dengan Distrik Navigasi dan instansi terkait sangat penting untuk memastikan keselamatan pelayaran serta mendukung pelestarian lingkungan laut.

Traveling Salesman Problem (TSP) adalah masalah NP-Hard yang terkenal dengan beragam aplikasi di berbagai bidang, termasuk logistik, transportasi, dan perutean jaringan. Signifikansinya terletak pada pengoptimalan rute untuk meminimalkan biaya dan waktu perjalanan. Beberapa algoritma telah dikembangkan untuk mengatasi TSP masing-masing dengan metodologi dan peningkatan yang unik. Di bawah ini adalah aplikasi utama dan pendekatan algoritmik untuk memecahkan TSP (Shi et al., 2022).

Traveling Salesman Problem (TSP) memiliki aplikasi dalam perencanaan, logistik, dan manufaktur microchip. Ini juga dapat dimodifikasi untuk berfungsi sebagai sub-masalah di bidang-bidang seperti pengurutan DNA ini menunjukkan keserbagunaannya dalam pengoptimalan di berbagai bidang (Gohil et al., 2022).

Usulan algoritma *Ant Colony Clustering* (ACCA) diterapkan untuk memecahkan *Traveling Salesman Problem* (TSP) untuk menunjukkan efektivitasnya dalam mengoptimalkan rute dengan memanfaatkan kecerdasan kawanan dan strategi adaptif untuk

pengelompokan dan pencarian jalur (Zhang & Lin, 2022).

Penerapan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP) di sektor pariwisata telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam optimalisasi rute. Berbagai algoritma telah diterapkan untuk memecahkan TSP untuk destinasi wisata termasuk algoritma evolusi seperti HHO, FHO, dan MVPA di Bali (Sabdana et al., 2023).

Algoritma TSP mampu menunjukkan efektivitas dalam mengoptimalkan rute perjalanan dalam mengurangi jarak tempuh dan meningkatkan pengalaman wisatawan secara keseluruhan (Sologia et al., 2020). *Traveling Salesman Problem* (TSP) bertujuan untuk menemukan jalur terpendek mengunjungi semua kota sekali. Beberapa algoritma telah diusulkan untuk memecahkan TSP, termasuk *Ant Colony Optimization* (ACO), *Branch and Bound*, dan *Backtracking*. ACO meniru perilaku semut dalam menemukan makanan, menggunakan komunikasi feromon untuk menentukan jalur optimal (Akhmad Ismail & Herdjunto, 2012). Algoritma ini telah diterapkan pada berbagai skenario termasuk pengoptimalan rute tim pemasaran dan layanan pengiriman makanan online, untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional.

Pengoptimalan heuristik algoritma A* meningkatkan kinerja sebesar 23% di lingkungan kampus universitas yang menunjukkan efektivitas pada area terbatas di mana aplikasi pemetaan umum mungkin kurang detail. Studi ini menyoroti pentingnya pendekatan heuristik dalam algoritma pencarian jalur untuk berbagai aplikasi (Firdaus et al., 2021).

Nearest Neighbor (NN) heuristik adalah metode yang efektif untuk memecahkan masalah perutean seperti *Traveling Salesman Problem* (TSP). Ini bekerja dengan memilih titik terdekat yang belum dikunjungi dari lokasi saat ini (Sanggala & Bisma, 2023).

Metode *Nearest Neighbor* (NN) adalah pendekatan yang banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Dalam logistik metode ini dapat mengoptimalkan rute pengiriman, mengurangi jarak total sebesar 20,6% dibandingkan dengan metode tradisional (Martono & Warnars, 2020). NN dapat mengurangi total jarak, waktu, dan biaya dibandingkan dengan perutean intuitif. Namun, solusi NN awal dapat ditingkatkan lebih lanjut menggunakan metaheuristik seperti *Simulated Annealing* (SA) atau *Local Search* (LS). SA terinspirasi oleh proses pendinginan logam, secara berulang bertukar segmen rute untuk meminimalkan jarak total (Rahman & Parvez, 2021).

Algoritma *Brute Force* adalah teknik komputasi yang digunakan untuk mencari dan memecahkan masalah dengan secara sistematis mencoba semua kemungkinan kombinasi sampai solusi ditemukan (Rahmah, 2023). Meskipun efektif dan efisiensi kinerja algoritma ini bergantung pada ukuran himpunan

karakter yang digunakan. Semakin besar himpunan karakter yang digunakan semakin tinggi kemungkinan menemukan solusi yang lebih baik tetapi juga membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama (Wahyu Nur Hidayah et al., 2021).

Algoritma *Brute Force* telah diterapkan dalam berbagai masalah pengoptimalan terutama dalam penentuan rute yang telah digunakan untuk menemukan rute paling hemat biaya dalam mengunjungi tempat-tempat wisata di Yogyakarta (Condro Wibawa, 2022). Dalam permasalahan rute pengiriman barang algoritma *Brute Force* mampu mengungguli algoritma *K-Nearest Neighbor* dan *Greedy* dalam menemukan rute terpendek yaitu dengan total jarak 21,74 km. Sebagai perbandingan algoritma *K-Nearest Neighbor* menghasilkan jarak 24,05 km sedangkan algoritma *Greedy* mencapai 23,5 km (Maulidan et al., 2023).

Diluar dari transportasi algoritma *Brute Force* telah diterapkan dalam strategi olahraga khususnya untuk mengoptimalkan formasi tim sepak bola dengan mengeksplorasi semua kemungkinan kombinasi pemain. Studi ini menunjukkan keserbagunaan dan efektivitas algoritma *Brute Force* dalam memecahkan masalah pengoptimalan yang kompleks di berbagai masalah (Pratama et al., 2025).

Dengan dua pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi total jarak, waktu, dan biaya melalui penggunaan algoritma *Nearest Neighbor* (NN) yang memberikan solusi awal efisien, serta meningkatkan solusi dengan metaheuristik seperti *Simulated Annealing* (SA) atau *Local Search* (LS) untuk mengoptimalkan rute.

Tujuan penelitian menerapkan algoritma *Travelling Salesman Problem* (TSP) dengan pendekatan adalah untuk menentukan rute optimal yang menghubungkan berbagai titik tujuan berlayar kapal negara yaitu dari Dermaga Navigasi Surabaya Tanjung Perak ke Pelabuhan Bawen, Pulau Karamean, Pulau Masalembo, Pelabuhan Kali Anget, Pulau Sapudi, Pulau Kemudi, Pulau Mamburit, Pulau Soibus, Pulau Sepanjang, Pulau Skala dan kembali ke Dermaga Navigasi Surabaya Tanjung Perak. Dengan menggunakan algoritma TSP ini diharapkan dapat ditemukan urutan kunjungan yang efisien untuk meminimalkan total jarak atau waktu tempuh mampu mengurangi konsumsi bahan bakar, waktu berlayar dan pencemaran lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan perjalanan kapal negara melalui penerapan algoritma TSP yang diharapkan menjadi inovasi dalam teknologi transportasi laut yang berfokus pada efisiensi operasional.

2. Metode Penelitian

Algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP) adalah metode untuk penyelesaian masalah optimasi yang bertujuan dalam menentukan rute terpendek bagi seorang penjual keliling atau (*salesman*) yang harus

mengunjungi sejumlah kota di mana setiap kota hanya dikunjungi satu kali dan pada akhirnya kembali ke kota asal dengan total jarak atau biaya perjalanan seminimal mungkin (Irfan, 2017).

TSP merupakan salah satu masalah klasik dalam ilmu komputer dan termasuk dalam kategori *NP-Hard* karena kompleksitasnya yang sangat tinggi terutama ketika jumlah kota bertambah. Dalam menyelesaikan masalah ini berbagai algoritma telah digunakan, seperti *Brute Force* yang mencoba semua kemungkinan rute (dengan kompleksitas $O(n!)$), *Dynamic Programming* (misalnya algoritma Held-Karp), serta pendekatan heuristik dan metaheuristik seperti *Greedy*, *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, dan *Ant Colony Optimization* (Rizka Gunawan, 2024). TSP memiliki berbagai aplikasi praktis dalam kehidupan nyata seperti perencanaan rute pengiriman barang, logistik, sistem transportasi, serta penjadwalan kerja yang efisien (Muhamad Adzaky et al., 2023).

Heuristik Nearest Neighbor (NN) adalah metode pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah jalur terpendek seperti TSP dengan cara memilih kota atau titik terdekat yang belum dikunjungi dari posisi saat ini dan kemudian melanjutkan langkah tersebut hingga seluruh kota dikunjungi dan akhirnya kembali ke kota asal (Sutoyo et al., 2018). Algoritma ini bersifat *greedy* karena selalu memilih solusi lokal terbaik pada setiap langkah sehingga meskipun prosesnya cepat dan efisien hasil akhirnya tidak selalu optimal (Dobry Sianipar et al., 2024).

Keunggulan dari algoritma ini adalah kesederhanaan dan kecepatannya dalam menangani kasus berskala besar terdapat kelemahan yang terletak pada ketergantungan terhadap titik awal dan kemungkinan menghasilkan solusi yang kurang efisien dibanding metode lain yang lebih kompleks. Meskipun demikian *Nearest Neighbor* sering digunakan sebagai solusi awal atau referensi dasar dalam pengembangan algoritma optimasi yang lebih lanjut (Baharuddin et al., 2019).

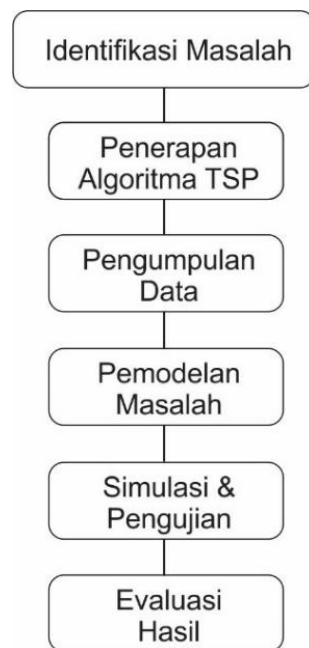
Algoritma *Brute Force* adalah metode penyelesaian masalah dengan cara mencoba semua kemungkinan solusi secara sistematis hingga ditemukan hasil yang benar atau optimal (Rismayani et al., 2021). Pendekatan ini bersifat sederhana karena tidak memerlukan strategi khusus dan hanya mengandalkan eksplorasi menyeluruh terhadap seluruh ruang solusi (Muhammadiyah Mataram et al., 2024).

Algoritma *Brute Force* sebagai pendekatan sederhana namun efektif untuk memecahkan berbagai masalah terutama ketika metode lain tidak tersedia atau ketika ruang solusi dapat dieksplorasi dalam jangka waktu yang wajar. Ini telah berhasil diterapkan dalam beragam aplikasi termasuk pencarian terminologi sistem manajemen basis data (Amin Siddiq Sumi & Purnawansyah, 2018). Kelebihan dari algoritma ini antara lain mudah diimplementasikan, bersifat universal

dan mampu menjamin ditemukannya solusi optimal. Namun algoritma ini memiliki kekurangan yaitu tidak efisien untuk ruang solusi besar karena kompleksitas waktunya dapat sangat tinggi (seperti $O(n!)$ pada kasus *Traveling Salesman Problem*) (Suwarman, 2021).

Algoritma *Brute Force* tetap banyak digunakan dalam berbagai aplikasi terutama dalam keamanan komputer dan pengambilan informasi. Ini digunakan sebagai alat yang efektif untuk pengujian dan pencarian keamanan tetapi juga dapat disalahgunakan untuk serangan siber (Rahmah, 2023). Dalam sistem berbasis web, *Brute Force* diimplementasikan sebagai mesin pencari untuk menemukan informasi dengan cepat dan akurat dalam database besar (Hariski et al., 2023).

Metode yang digunakan menggunakan pendekatan kualitatif yang melibatkan survey langsung ke lokasi untuk mendapatkan data koordinat dan melakukan pengamatan terhadap kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP*. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan secara langsung dan mengumpulkan data secara mendalam mengenai kondisi lapangan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan algoritma *Travelling Salesman Problem* (TSP) dalam menentukan rute yang paling optimal dalam kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP* yang menghubungkan beberapa titik tujuan berlayar yang di mulai dari Dermaga Navigasi Surabaya Tanjung Perak hingga beberapa pelabuhan dan pulau. Algoritma TSP digunakan sebagai bentuk pengoptimalan perjalanan kapal, mengurangi konsumsi bahan bakar, waktu berlayar dan dampak pencemaran lingkungan dalam kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP*.

Berikut adalah tahapan dari penelitian yang diusulkan untuk penerapan algoritma *Travelling Salesman Problem* (TSP) dalam optimasi rute kapal dalam kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP* :

1. **Identifikasi Masalah**
Pada tahapan ini masalah diidentifikasi permasalahan yang ada seperti penggunaan bahan bakar yang tinggi, waktu berlayar, dan dampak pencemaran lingkungan serta menentukan titik-titik yang menjadi tujuan kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP* yang harus dikunjungi.
2. **Penentuan Algoritma TSP**
Penerepan algoritma ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah optimasi rute yang dihadapi untuk mencari urutan kunjungan, untuk mencari urutan kunjungan kegiatan *Aplousing* dan *Perawatan SBNP* yang efisien yang menghubungkan berbagai titik tujuan.
3. **Pengumpulan Data**
Pengumpulan bertujuan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk perhitungan TSP. seperti koordinat geografis setiap titik tujuan serta data jarak antar titik.
4. **Pemodelan Masalah**
Membangun model yang sistematis untuk menggambarkan hubungan antar titik tujuan serta membuat formulasi masalah TSP untuk dapat di proses oleh algoritma. Ini bertujuan untuk menggambarkan antar titik tujuan dan menentukan pendekatan yang tepat untuk menyelesaikan masalah yang ada.
5. **Simulasi dan pengujian**
Simulasi menggunakan *google colab* untuk mengimplementasikan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP) dengan menggunakan data yang telah di kumpulkan. Ini bertujuan untuk menghitung kemungkinan rute yang dapat ditempuh. Kemudian pengujian dilakukan dengan menjalankan algoritma TSP untuk menghitung rute optimal berdasarkan kriteria yang telah ditentukan antara jarak terpendek maupun jarak tempuh.
6. **Evaluasi Hasil**
Membandingkan rute yang di hasilkan algoritma TSP dengan rute yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan yang menentukan efisiensi. Serta menganalisis bagaimana rute optimal yang ditemukan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan dampak pencemaran lingkungan.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Simpul Lokasi dan Koordinat di Wilayah Navigasi

Simpul	Nama Lokasi	Koordinat	
B1	Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak	-7.2161	112.7365
B2	Pelabuhan Bawean	-5.8635	112.6213
B3	Pulau Karamian	-6.8500	115.2000
B4	Pulau Masalembo	-5.5050	114.4983
B5	Pelabuhan Kalianget	-7.0561	113.9286
B6	Pulau Sapudi	-6.9110	114.3500
B7	Pulau Kamudi	-7.1080	114.7930
B8	Pulau Mamburit	-6.8744	115.2706
B9	Pulau Saebus	-6.9274	115.2044
B10	Pulau Sepanjang	-7.0361	114.3578
B11	Pulau Skala	-6.9000	116.2500

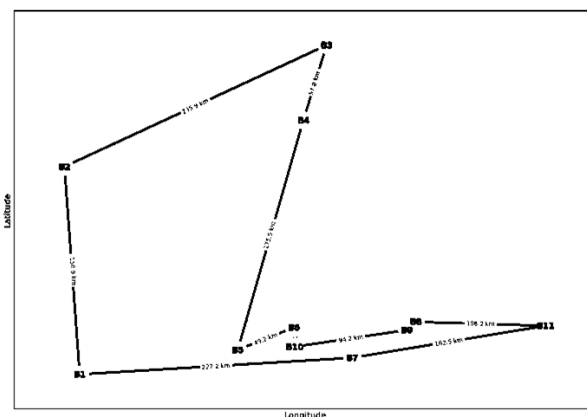
Dari data yang didapatkan sesuai dalam tabel simpul lokasi dan koordinat wilayah yang menjadi kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP terdapat 11 simpul yang memberikan lokasi pelabuhan dan pulau di sekitaran perairan Jawa Timur. Dari setiap simpul memiliki informasi nama lokasi serta koordinat lintang dan bujur yang dapat digunakan untuk pemetaan jaringan transportasi.

Dengan melakukan analisis terhadap lokasi-lokasi yang terhubung dalam kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP yaitu wilayah yang meliputi berbagai pelabuhan dan pulau dengan menggunakan data titik koordinat. Data ini mencakup titik-titik penting yaitu diantaranya Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak, Pelabuhan Bawean, Pulau Karamian, dan Pulau Skala yang menjadi bagian penting dari jaringan rute kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP. Dengan menggunakan koordinat geografis yang diperoleh dalam penelitian ini untuk tujuan mengoptimalkan rute berlayar kapal melalui penerapan algoritma TSP untuk meminimalkan jarak tempuh dan meningkatkan operasional kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP yang diharapkan mampu mendukung pelaksanaan tugas yang lebih efektif dan efisien serta terencana.

Tabel 2. Rute Sebelum dilakukan optimasi menggunakan algoritma TSP

Simpul	Rute Awal	Jarak (Km)
B1 > B2	Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak > Pelabuhan Bawean	150.9
B2 > B3	Pelabuhan Bawean > Pulau Karamian	235.9
B3 > B4	Pulau Karamian > Pulau Masalembo	57.8
B4 > B5	Pulau Masalembo > Pelabuhan Kalianget	175
B5 > B6	Pelabuhan Kalianget > Pulau Sapudi	49.2
B6 > B10	Pulau Sapudi > Pulau Sepanjang	13.94
B10 > B9	Pulau Sepanjang > Pulau Saebus	94.2
B9 > B8	Pulau Saebus > Pulau Mamburit	9.39
B8 > B11	Pulau Mamburit > Pulau Skala	108.2
B11 > B7	Pulau Sepanjang > Pulau Kamudi	162.5
B7 > B1	Pulau Kamudi > Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak	227.2
Total Jarak Tempuh		1284.3

Data tabel diatas menunjukkan lintasan awal pada kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP yang menghubungkan 11 lokasi yaitu terdiri dari pelabuhan dan pulau-pulau strategis yang menjadi wilayah kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP, setiap titik di lambangkan dengan simpul B1 sampai B11 dengan rute yang dimulai dari Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak dan kembali ke titik awal setelah melewati wilayah kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP.



Gambar 2. Rute lintasan awal pada kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP
Pada Gambar diatas menampilkan visualisasi rute

strategis awal dalam kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP. Rute ini menghubungkan 11 titik penting dengan total estimasi jarak tempuh ± 1.262 km. Hal ini menjadi titik awal untuk menganalisis jarak tempuh untuk mendukung efisiensi konsumsi bahan bakar, waktu tempuh serta mengurangi emisi gas buang ke lingkungan.

Setelah diperoleh daftar titik lokasi kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP (B1 sampai B11) dengan titik koordinat geografis berupa longitude dan latitude kemudia dilanjutkan dengan proses analisis untuk menentukan urutan kunjungan yang paling efisien dengan menerapkan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP).

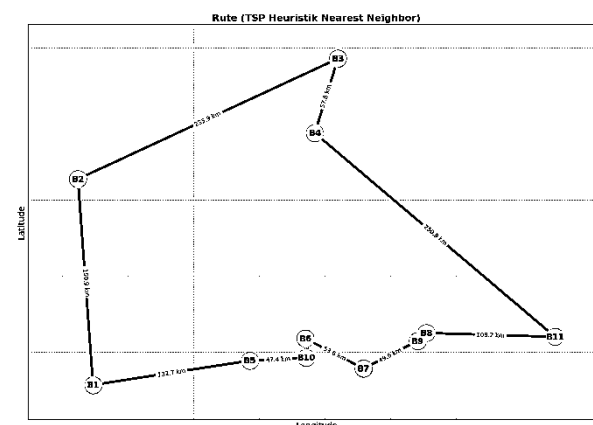
Dalam permasalahan ini digunakan 2 pendekatan untuk menyelesaikan masalah optimasi rute yaitu pendekatan Heuristik Nearest Neighbor dan pendekatan Brute Force dengan tujuan untuk membandingkan efektivitas dan efisiensi dari masing masing metode dalam menentukan rute yang paling optimal.

Percobaan pertama dilakukan menggunakan pendekatan *Heuristik Nearest Neighbor* dengan mengandankan pemilihan titik terdekat secara berurutan dari titik awal. Metode ini juga dikenal cepat dan ringan secara komputasi, namun tidak selalu menghasilkan solusi yang paling optimal secara keseluruhan. Hasil yang didapat dari percobaan pertama menunjukan urutan rute sebagai berikut :

Tabel 3. Rute setelah dilakukan optimasi menggunakan pendekatan *Heuristik Nearest Neighbor*

Rute Setelah Digunakan Pendekatan Heuristik Nearest Neighbor		
Simpul	Pendekatan Heuristik Nearest Neighbor	Jarak
B1 > B5	Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak > Pelabuhan Kalianget	132.7
B5 > B10	Pelabuhan Kalianget > Pulau Sepanjang	47.4
B10 > B6	Pulau Sepanjang > Pulau Sapudi	13.94
B6 > B7	Pulau Sapudi > Pulau Kamudi	53.6
B7 > B9	Pulau Kamudi > Pulau Saebus	49.6
B9 > B8	Pulau Saebus > Pulau Mamburit	9.39
B8 > B11	Pulau Mamburit > Pulau Skala	108.2
B11 > B4	Pulau Skala > Pulau Masalembo	250.9
B4 > B3	Pulau Masalembo > Pulau Karamian	57.8
B3 > B2	Pulau Karamian > Pelabuhan Bawean	235.9
B2 > B1	Pelabuhan Bawean > Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak	150.9
Total Jarak Tempuh		1110.33

Dari hasil yang didapatkan pada percobaan pertama menggunakan pendekatan algoritma heuristik *Nearest Neighbor* diperoleh urutan rute kunjungan antar simpul yang ditampilkan pada gambar 3. Algoritma ini bekerja dengan prinsip memilih titik terdekat dari lokasi saat ini secara berulang hingga semua simpul dikunjungi dan kembali ke titik awal.



Gambar 3. Visualisasi Rute lintasan dengan pendekatan *Heuristik Nearest Neighbor*

Gambar diatas menunjukkan rute hasil penyelesaian masalah TSP dengan pendekatan Heuristik Nearest Neighbor. Pada visualisasi ini setiap simpul dihubungkan garis berwarna merah yang menandakan urutan perjalanan berdasarkan jarak terdekat dari setiap titik. Dengan pendekatan ini total jarak tempuh yang dihasilkan untuk menyelesaikan perjalanan pada kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP $\pm 1.110.33$ km hasil ini diperoleh dengan menjelajahi pulau atau pelabuhan yang dirubah menjadi simpul secara berurutan berdasarkan jarak terpendek.

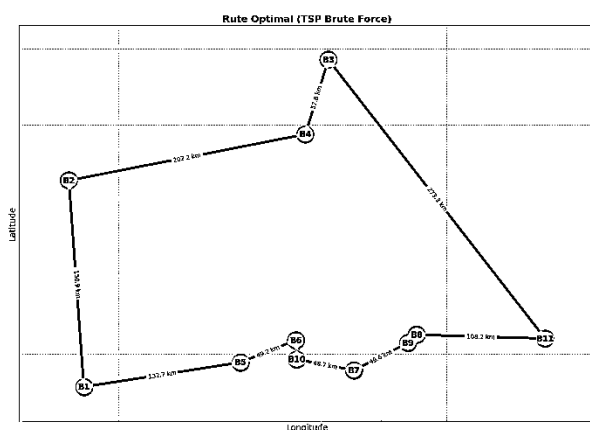
Pada percobaan kedua digunakan pendekatan *Brute Force* ini berbeda pendekataanya dengan *Heuristik Nearest Neighbor* karena *Brute Force* mencari semua kemungkinan jalur yang kemungkinan dilalui. Kemudia *Brute force* memilih dengan jarak tempuh paling optimal. Pendekatan ini dianggap sebagai solusi optimal secara matematis, tetapi cara kerja *brute force* memerlukan waktu komputasi yang sangat tinggi terutama ketika jumlah simpul bertambah.

Hasil yang di dapatkan pada percobaan kedua yang menggunakan pendekatan *Brute Force* seperti yang ada pada tabel 4.

Tabel 4. Rute setelah dilakukan optimasi menggunakan pendekatan *Brute Force*

Simpul	Rute Setelah Digunakan Pendekatan <i>Brute Force</i>	Jarak
B1 > B2	Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak > Pelabuhan Bawean	150.9
B2 > B4	Pelabuhan Bawean > Pulau Karamian	202.2
B4 > B3	Pulau Karamian > Pulau Masalembo	57.8
B3 > B11	Pulau Masalembo > Pulau Skala	273.3
B11 > B8	Pulau Skala > Pulau Mamburit	108.2
B8 > B9	Pulau Mamburit > Pulau Saebus	9.4
B9 > B7	Pulau Saebus > Pulau Kamudi	49.6
B7 > B10	Pulau Kamudi > Pulau Sepanjang	48.7
B10 > B6	Pulau Sepanjang > Pulau Sapudi	13.94
B6 > B5	Pulau Sapudi > Pelabuhan Kalianget	49.2
B5 > B1	Pelabuhan Kalianget > Dermaga Distrik Navigasi Tipe A Tanjung Perak	132.7
Total Jarak Tempuh		1095.94

Pada percobaan dari tabel diatas diperoleh urutan rute perjalanan paling optimal untuk kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP yaitu B1 > B2 > B4 > B3 > B11 > B8 > B9 > B7 > B10 > B6 > B5 > B1 dengan total jarak tempuh $\pm 1.095.94$ km.



Gambar 4. Visualisasi Rute lintasan dengan pendekatan *Brute Force*

Gambar 4 diatas menampilkan visualisasi rute paling optimal pada kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP yang didapatkan dengan pendekatan *Brute Force*. Pada gambar tersebut terlihat rute perjalanan kegiatan

Aplousing dan Perawatan SBNP yang digambarkan dengan garis biru menghubungkan setiap simpul yang mewakili pulan dan pelabuhan beserta jarak anatar simpul dalam satuan kilometer.

Pendekatan ini berhasil menghasilkan total jarak tempuh terpendek yaitu $\pm 1.095.94$ km dibandingkan dengan pendekatan Heuristik *Nearest Neighbor* yaitu $\pm 1.110.33$ km dengan selisih jarak tempuh ± 14.39 km. Dengan demikian hasil ini menunjukkan bahwa metode *brute force* dapat memberikan solusi yang lebih besar dibanding metode *Heuristik Nearest Neighbor*.

Berdasarkan hasil perbandingan tiga pendekatan penentuan rute kegiatan Aplousing dan Perawatan SBNP dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam efiseiensi jarak tempuh. Dimana rute awal yang digunakan tanpa pendekatan algoritma menghasilkan total jarak tempuh sebesar $\pm 1.284.3$ km. ini menjadikan rute tidak efisien dibanding dua pendekatan lainnya.

Setelah dilakukan pendekatan menggunakan algoritma *Heuristik Nearest Neighbor* diperoleh rute alternatif dengan jarak tempuh yang lebih singkat yaitu sebesar $\pm 1.110.33$ km. ini menunjukkan adanya penghematan jarak sebesar 173.97 km dari rute awal. Hasil yang paling optimal diperoleh melalui pendekatan *Brute Force* yang mencoba semua kemungkinan urutan perjalanan dan menghasilkan rute dengan jarak tempuh terpendek yaitu sebesar $\pm 1.095.94$ km.

Hal ini memungkinkan pendekatan dengan *Brute Force* berhasil untuk memangkas total jarak perjalanan hingga 188.36 km dibandingkan rute awal dan 14.9 km lebih baik dibandingkan hasil dari pendekatan *Heuristik Nearest Neighbor*. Dengan demikian meskipun algoritma *brute force* memerlukan waktu komputasi lebih besar tetapi memberikan efisiensi maksimal dalam perencanaan rute karena ini sangat penting dalam perencanaan operasional Aplousing dan Perawatan SBNP di wilayah kepulauan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar, waktu tempuh serta mengurangi pencemaran lingkungan seperti emisi gas buang.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis komparatif yang mendalam terhadap tiga pendekatan utama dalam penentuan rute pelayaran—yakni rute awal tanpa optimasi, pendekatan Heuristik *Nearest Neighbor*, dan pendekatan *Brute Force*—dapat disimpulkan bahwa pemilihan metodologi memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap efisiensi perjalanan secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan rute awal menghasilkan akumulasi jarak

tempuh paling jauh, yakni mencapai $\pm 1.284,3$ km. Di sisi lain, penerapan pendekatan Heuristik *Nearest Neighbor* terbukti mampu memberikan perbaikan rute dengan mereduksi jarak menjadi $\pm 1.110,33$ km. Namun, efisiensi paling optimal ditemukan pada pendekatan *Brute Force* (sebagai solusi *Traveling Salesman Problem*) yang menghasilkan rute terpendek dengan total jarak hanya $\pm 1.095,94$ km.

Meskipun secara teknis metode *Brute Force* memerlukan waktu komputasi yang lebih tinggi karena harus memproses seluruh kemungkinan permutasi rute, pendekatan ini terbukti sebagai instrumen yang paling akurat dalam mengoptimalkan rute pelayaran menuju titik *optimum global*. Implementasi algoritma ini tidak hanya memberikan dampak positif pada efisiensi operasional semata, tetapi juga bertransformasi menjadi manfaat nyata dalam aspek ekonomi dan lingkungan. Dengan rute yang lebih pendek, perusahaan dapat menekan konsumsi bahan bakar secara signifikan, mempercepat waktu tempuh antar-titik, serta secara efektif mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan dari aktivitas maritim. Oleh karena itu, penerapan metode *Brute Force* sangat direkomendasikan untuk meningkatkan kualitas layanan dan efektivitas dalam kegiatan *Aplousing* serta perawatan Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP).

a. Saran

Untuk pengembangan penelitian di masa mendatang, sangat disarankan untuk mengintegrasikan variabel-variabel operasional yang lebih kompleks guna meningkatkan akurasi dan relevansi model di lapangan. Aspek-aspek seperti durasi waktu kunjungan di setiap titik, sinkronisasi jadwal penugasan personel, kapasitas muat kapal, hingga faktor eksternal seperti kondisi cuaca dan arus laut perlu dipertimbangkan sebagai parameter pembatas (*constraints*). Langkah ini krusial agar rute yang dihasilkan tidak hanya optimal secara matematis dari sisi jarak tempuh (*optimum global*), tetapi juga bersifat realistis, fleksibel, dan aplikabel untuk diimplementasikan dalam skenario dunia nyata yang dinamis.

Selain itu, mengingat keterbatasan komputasi algoritma *Brute Force* pada skala data yang besar, penelitian selanjutnya perlu mengeksplorasi penggunaan algoritma metaheuristik lainnya. Penggunaan *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* (ACO), atau *Simulated Annealing* (SA) dapat menjadi alternatif solusi yang lebih efisien dan cepat dalam menangani peningkatan jumlah lokasi koordinat yang memiliki cakupan wilayah lebih luas.

Hal ini penting untuk menjaga keseimbangan antara kualitas solusi dan waktu pemrosesan data.

Terakhir, penelitian ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut ke arah pembangunan Sistem Pendukung Keputusan (*Decision Support System* atau DSS) berbasis platform web atau aplikasi *mobile*. Sistem ini diharapkan mampu melakukan pemetaan lokasi secara otomatis, melakukan kalkulasi rute optimal secara *real-time*, serta memiliki kemampuan adaptif untuk menyesuaikan rute berdasarkan pemutakhiran kondisi terkini di jalur pelayaran. Dengan adanya integrasi teknologi tersebut, efisiensi operasional dalam kegiatan *aplousing* dan perawatan SBNP dapat ditingkatkan secara sistematis dan berkelanjutan.

Referensi

- Akhmad Ismail, A., & Herdjunto, S. (2012). Penerapan Algoritma Ant System dalam Menemukan Jalur Optimal pada Traveling Salesman Problem (TSP) dengan Kekangan Kondisi Jalan. In *JNTETI* (Vol. 1, Issue 3). <http://www.iwr.uni->
- Amin Siddiq Sumi, & Purnawansyah. (2018). *Analisa Penerapan Algoritma Brute Force Dalam Pencocokan String*. 3, 88–92.
- Baharuddin, M. M., Azis, H., & Hasanuddin, T. (2019). Analisis Performa Metode K-Nearest Neighbor Untuk Identifikasi Jenis Kaca. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 11(3), 269–274. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v11i3.489.269-274>
- Condro Wibawa. (2022). Optimalisasi Rute Wisata Di Yogyakarta Menggunakan Metode Travelling Salesman Person Dan Algoritma Brute Force. *Jurnal Teknik Dan Science*, 1(3), 59–65. <https://doi.org/10.56127/jts.v1i3.512>
- Dobry Sianipar, F., Arifin, M. H., Aulia, W., Prodi, H., Komputer, I., Mipa, F., Medan, N., William, J., Ps, I. V., Estate, M., Sei, K. P., Kabupaten, T., Serdang, D., & Utara, S. (2024). Estimasi Rute Terdekat Dari Universitas Negeri Medan Ke Spbu Terdekat Menggunakan Algoritma Greedy. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 8, Issue 6).
- Firdaus, A., Muklason, A., Supoyo, V. A., Sepuluh, I. T., & Surabaya, N. (2021). *Perbandingan Metode Penyelesaian Permasalahan Optimasi Lintas Domain Dengan Pendekatan Hyper-Heuristic Menggunakan Algoritma Reinforcement Learning-Late Acceptance Comparison Of Cross Domain Optimization Completion Method For*

- Hyper-Heuristic Approach Using Reinforcement Learning-Late Acceptance Algorithm*. 8(5), 871–878. <https://doi.org/10.25126/jtiik.202183263>
- Gohil, A., Tayal, M., Sahu, T., & Sawalpurkar, V. (2022). *Travelling Salesman Problem: Parallel Implementations & Analysis*. <http://arxiv.org/abs/2205.14352>
- Hariski, F., Triayudi, A., & Soepriyono, G. (2023). Implementasi Algoritma Brute Force Pada Sistem Pertanahan di Balai Desa. *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, 4(3), 701–709. <https://doi.org/10.47065/josyc.v4i3.3520>
- Irfan, M. (2017). *Penyelesaian Travelling Salesman Problem (TSP) Menggunakan Algoritma Hill Climbing dan MATLAB*. 16(2). <https://ejournal.unisba.ac.id>
- Martono, S., & Warnars, H. L. H. S. (2020). Penentuan Rute Pengiriman Barang Dengan Metode Nearest Neighbor. *PETIR*, 13(1), 44–57. <https://doi.org/10.33322/petir.v13i1.869>
- Maulidan, M., Gunawan, G., & Fajar, M. (2023). Perbandingan Algoritma K-Nearest Neighbor, Greedy dan Brute Force dalam Menentukan Rute Pengiriman Barang. *Bandung Conference Series: Mathematics*, 3. <https://doi.org/10.29313/bcsm.v3i1.6403>
- Muhamad Adzaky, G., Traveling Salesman Problem, O., & Wahid Saleh Insani, R. (2023). Optimasi Traveling Salesman Problem (Tsp) Menggunakan Algoritma Genetika Dan Google Maps Api Untuk Kurir Ekspedisi Pada J&T Paris 2 Berbasis Web Gis. *INSERT: Information System and Emerging Technology Journal*, 4(2), 119.
- Muhammadiyah Mataram, U., Rahman Hadi, A., Mandalina, V., & studi Pendidikan matematika, P. (2024). *Seminar Nasional Paedagoria Evaluasi Perbandingan Penggunaan Metode Heuristik Dan Algoritma Optimasi Dalam Menyelesaikan Masalah Kombinasi Pada Matematika Diskrit*.
- Pratama, E., Indra, Z., Alby, M., Hsb, S., & Fauzan, R. (2025). Penerapan Algoritma Brute Force Untuk Optimasi Strategi Tim Permainan Sepak Bola. *JETISH: Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health E-ISSN*, 4, 486–490.
- Rahmah, S. A. (2023). *JCBD JOURNAL OF COMPUTERS AND DIGITAL BUSINESS Efektifitas Penerapan Algoritma Brute Force dan Penyalahgunaannya Dalam Sistem Berbasis Web*. 2(3), 112–119. <https://doi.org/10.56427/jcbd.v2n3.235>
- Rahman, Md. A., & Parvez, H. (2021). Repetitive Nearest Neighbor Based Simulated Annealing Search Optimization Algorithm for Traveling Salesman Problem. *OALib*, 08(06), 1–17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1107520>
- Rismayani, R., Sambo Layuk, N., Wahyuni, S., Wali, H., & Marselina, N. K. (2021). Pencarian Kata Pada Aplikasi Kamus Istilah Komputer dan Informatika Menggunakan Algoritma Brute Force Berbasis Android. *Komputika : Jurnal Sistem Komputer*, 10(1), 43–52. <https://doi.org/10.34010/komputika.v10i1.3644>
- Rizka Gunawan, C. (2024). *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 Probabilitie*. <https://jurnal.unity-academy.sch.id/index.php/jirsi/index>
- Sabdana, C. B., Christopher, B., Sutanto, J. G., Sianto, L. P., Hariyanto, L., & Hartono, N. (2023). Implementasi Algoritma Evolusi FHO, MVPA, dan HHO pada TSP di Tempat Pariwisata Pulau Bali. *Journal of Intelligent System and Computation*, 5(1), 46–57. <https://doi.org/10.52985/insyst.v5i1.260>
- Sanggala, E., & Bisma, M. A. (2023). Perbandingan Savings Algorithm dengan Nearest Neighbour dalam Menyelesaikan Russian TSP Instances. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, 7(1), 27. <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v7i1.3039>
- Shi, H., Zheng, L., & Liu, G. (2022). Research on TSP based on ant colony algorithm. *2015 IEEE International Conference on Information and Automation*, 2048–2051. <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2015.7279626>
- Sologia, F., Aurachman, R., Giri, P., & Kusuma, A. (2020). *Rekomendasi Rute Wisata Menggunakan Metode Travelling Salesman Problem Dengan Algoritma K-Nearest Neighbor (Studi Kasus : Toraja Utara) Tourism Route Recommendation Using Travelling Salesman Problem Method With K-Nearest Neighbor Algorithm (Study Case : Toraja Utara)*.
- Sutoyo, Labu, P., & Selatan, J. (2018). *Penerapan Algoritma Nearest Neighbour untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem*. XX(1).
- Suwarman, H. R. (2021). *Evaluasi Penerapan Evolutionary Algorithm Untuk Pemecahan Traveling Salesman Problem*. 09. <http://www.solver.com>
- Wahyu Nur Hidayah, R., Rubhasy, A., & Nasional, U. (2021). Algoritma Brute Force Pada Aplikasi Kritik Dan Saran Mahasiswa Berbasis Digital Brute Force Algorithm In Digital-Based Student Criticism And Suggestion Applications. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 4(1).
- Zhang, J., & Lin, X. (2022). An Adaptive Ant Colony Clustering Algorithm and Application in the TSP.

*2022 International Conference on Computer
Network, Electronic and Automation (ICCNEA),
82–85.*

<https://doi.org/10.1109/ICCNEA57056.2022.00028>

