

# OPTIMALISASI PENCARIAN RUTE KAPAL TERBAIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION*

Rizalatul Qomaria<sup>1</sup>, Abdulloh Hamid<sup>2</sup>, Dian Yuliati<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya  
<sup>1</sup>rizalatul023@gmail.com, <sup>2</sup>doelhamid07@gmail.com, <sup>3</sup>dian.yuliati@uinsa.ac.id

---

## Abstrak

Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah perairan mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> yang memiliki keunggulan strategis bagi pertumbuhan ekonomi nasional. Maritim merupakan sistem yang menghubungkan denyut nadi global bangsa-bangsa di dunia dan merupakan saluran terpenting dalam kelangsungan perekonomian dunia. Namun, terdapat tantangan dalam mengelola sistem maritim termasuk memperbaiki efisiensi operasi pelabuhan. Strategi dan solusi diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dengan meningkatkan efisiensi serta keandalan operasi pelabuhan. Pelabuhan di Indonesia yang sedang menghadapi sejumlah tantangan dalam manajemen pelabuhan adalah PT Pelindo Indonesia Regional 3. Pengoptimalan rute kapal merupakan kunci dalam meningkatkan efisiensi operasional dan dapat mengatasi tantangan yang dihadapi oleh PT Pelindo Indonesia Regional 3 dalam manajemen pelabuhan serta untuk menghindari penundaan dan meningkatkan efisiensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengiriman kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3 dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO). ACO merupakan metode optimasi yang terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari rute terpendek untuk mencari makanan. Cara kerja ACO meniru perilaku semut dalam mencari makanan di alam, dengan menggunakan feromon sebagai media informasi yang disekresikan pada rute-rute yang dilalui oleh semut sebelumnya. Hasil penelitian, ditemukan bahwa penerapan metode ACO berhasil mengoptimalkan rute pengiriman kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3 dengan rute terpendek yang efektif ditemukan dengan jarak tempuh sebesar 617,53 KM. Hasil dari penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan operasi pelabuhan. Dengan mengoptimalkan rute pengiriman kapal, perusahaan dapat menghemat biaya dan waktu perjalanan kapal, serta meningkatkan efisiensi operasionalnya. Hal ini juga berpotensi memberikan dampak positif terhadap perekonomian maritim Indonesia secara keseluruhan.

**Kata kunci :** *Ant Colony Optimization (ACO), Rute Terpendek, Kapal, Pelabuhan, Matlab*

---

## 1. Pendahuluan

Indonesia disebut negara maritim karena memiliki luas laut 5,8 juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari 0,8 juta km<sup>2</sup> laut dan 2,7 juta km<sup>2</sup> zona ekonomi eksklusif pesisir, seluas 95.181 km<sup>2</sup>. Area teritorial 2,3 juta km<sup>2</sup> kepulauan. Selain itu, Indonesia memiliki 17.480 pulau, peran strategis Indonesia penting untuk meningkatkan perekonomian. Maritim merupakan sistem yang menghubungkan denyut nadi global bangsa-bangsa di dunia dan merupakan saluran terpenting dalam kelangsungan perekonomian dunia (Marnani et al., 2019).

Lokasi pantai laut suatu negara telah dianggap sebagai nilai bagi perkembangan dan kemakmuran selama bertahun-tahun. Hal Ini terkait dengan lingkup kegiatan ekonomi yang luas, seperti pelayaran dan pelabuhan maritim (Zaucha dan Matczak, 2018). Pelabuhan memiliki empat fungsi penting yaitu memastikan perlindungan kepentingan hukum, sosial-politik, dan ekonomi; menjadi penggerak utama ekonomi suatu negara atau wilayah; mendukung industri dalam pengolahan barang impor dan ekspor; dan menjadi persimpangan perdagangan internasional yang menghubungkan berbagai moda

transportasi serta aktivitas bongkar muat dan transit barang (University of Rijeka, 2022).

Pelabuhan di Indonesia yang sedang menghadapi sejumlah tantangan dalam manajemen pelabuhan adalah PT Pelindo Indonesia Regional 3. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah optimasi rute pengiriman kapal untuk menghemat waktu (Ihsan et al., 2024). Keberhasilan dalam bongkar muat dan transit barang sangat bergantung pada penghematan waktu, terutama dalam mengurangi waktu yang dihabiskan kapal di pelabuhan (Sudjasta et al., 2022). Meskipun kapal-kapal saat ini menghabiskan waktu yang lebih singkat di pelabuhan dibandingkan di laut, hal ini masih menjadi faktor biaya yang signifikan dan menjadi tujuan desain pelayanan pengiriman untuk meminimalkan biaya terminal (Lubis et al., 2022). Selain itu, penundaan yang disebabkan oleh kemacetan, pemogokan, atau gangguan lain di pelabuhan dapat menyebabkan operator pelabuhan melewati pelabuhan atau mengenakan biaya kemacetan tambahan. Pengirim juga telah menyatakan kekhawatiran mereka terhadap ketidakpastian dalam jadwal pengiriman bongkar

muat. Notteboom (Vernimmen et al., 2007) menekankan bahwa waktu tetap menjadi faktor operasional yang sangat penting.

Pertimbangan waktu yang dihabiskan kapal di pelabuhan sangat penting untuk dapat dianalisis secara terperinci, sebab pengukuran waktu di pelabuhan, dapat dilakukan dengan satu-satunya metrik yang tersedia secara luas terdiri dari jadwal dan rencana perjalanan yang dipublikasikan oleh operator. Metrik waktu aktual dari pelabuhan membantu mengetahui pergerakan kapal secara real time (Suciyati et al., 2023).

Pengoptimalan rute kapal merupakan kunci dalam meningkatkan efisiensi operasional dan dapat mengatasi tantangan yang dihadapi oleh PT Pelindo Indonesia Regional 3 dalam manajemen pelabuhan serta untuk menghindari penundaan dan meningkatkan efisiensi (Agarwal dan Ergun, 2008). Ini adalah langkah penting untuk meningkatkan kemakmuran dan pertumbuhan ekonomi Indonesia secara keseluruhan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengoptimalkan rute kapal di PT Pelindo Indonesia Regional 3. Metode yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute kapal yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO) dimana metode ini terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari rute terpendek untuk mencari makanan. Penerapan metode ACO dapat memberukan solusi dalam penentuan rute terpendek yang dapat mengurangi jarak dan biaya yang dikeluarkan dalam kegiatan distribusi.

ACO terbukti dapat mengoptimalkan rute terbaik. Seperti pada penelitian yang melakukan pencarian rute optimal untuk wisata alam menggunakan ACO diperoleh bahwa 75% rute yang dihasilkan oleh ACO lebih optimal dari rute standar (Kaunang dan Hartomo, 2022). Lalu penelitian yang melakukan pencarian rute optimal menggunakan ACO untuk distribusi beras diperoleh pengurangan jarak sebesar 12% untuk sekali proses distribusi (Silaban et al., 2019). Lalu penelitian yang melakukan pencarian rute optimal menggunakan ACO untuk distribusi bakpia pathok diperoleh rute optimal dengan jarak 26,19 km.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang menggunakan metode ACO untuk pencarian rute optimal dan memperoleh hasil yang optimal, maka pada penelitian ini untuk mengoptimalkan rute kapal di PT Pelindo Indonesia Regional 3 menggunakan metode ACO. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan dalam menghemat biaya dan waktu perjalanan kapal.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Sistem Pelayanan Pelabuhan

Pelabuhan adalah alat industri dan komersial utama untuk pembangunan ekonomi dan sosial negara. Sektor pelabuhan tersentuh oleh perubahan sosial ekonomi yang ditandai dengan perkembangan kebutuhan di negara-negara tersebut, melalui

komitmen negara-negara perdagangan bebas dan konteks baru globalisasi, terhadap kendala dan perkembangan baru pembangunan ekonomi, kelembagaan, teknologi, lingkungan dan transportasi laut. Oleh karena itu, pelabuhan selalu dihadapkan pada perubahan tren sosial ekonomi. Perkembangan ini telah menciptakan lingkungan yang sangat tidak pasti dan kompleks untuk pelabuhan dan secara fundamental mengubah konsep Pelabuhan. Produk pelabuhan menawarkan berbagai layanan, yang membuat setiap layanan berbeda (Hlali dan Hammami, 2017).

Semua produk jasa yang diberikan kepada kapal dan diangkut ke pelabuhan barang seperti handling, warehousing, bea cukai, asuransi,dll.). Dengan demikian, kontribusi jasa dapat dibedakan antara lain: Layanan kapal, Layanan barang, Layanan administratif, Layanan penanganan, dan Layanan transportasi darat (Hlali dan Hammami, 2017).

Layanan kapal adalah layanan yang diberikan untuk membantu kapal selama persinggahan misalnya *The pilots, The tugs, The glider*, penerima barang atau agen pelayaran yang mewakili di pelabuhan pemilik kapal atau penyewa kapal, perusahaan pengisian bahan bakar dan bunker, perusahaan reparasi kapal, pemeliharaan peti kemas, perusahaan pengolah limbah kapal dan jasa pantai untuk pelaut (Hlali dan Hammami, 2017).

Dimensi kualitas pelayanan pelabuhan yang sangat penting adalah kecepatan pelayanan yang diberikan, faktor loading, infrastruktur, suprastruktur dan fasilitas pelabuhan (Lestari, 2021). Kecepatan pelayanan kepelabuhanan yang diberikan seperti waktu tunggu kapal, karakteristik fisik pelabuhan tempat beroperasinya dan letak pelabuhan merupakan kriteria yang paling dapat dipertimbangkan bagi pengguna pelabuhan dan baik pengelola pelabuhan untuk memberikan pelayanan yang terbaik kepada para pengguna pelabuhan (Arabelen dan Oral, 2017)

### 2.2 Pendekatan *Time Wining*

Tujuan utama pengelolaan pelabuhan adalah meningkatkan tingkat pelayanan dan waktu tunggu kapal di area berlabuh terminal pelabuhan. Peningkatan jumlah Tug/Pilot di luar titik tertentu tidak berpengaruh terhadap waktu tunggu di terminal pelabuhan, karena waktu tunggu tersebut berasal dari beberapa antrian di area berlabuh terminal peti kemas pelabuhan. Banyak faktor yang berpengaruh dalam waktu tunggu kapal seperti jumlah tempat berlabuh, jumlah crane dan penjadwalan tenaga kerja (Shahpanaha, et al., 2014).

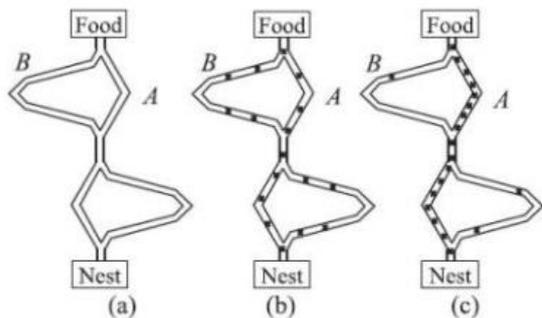
### 2.3 Pencarian Rute Terpendek

Pencarian jalur terpendek atau rute tercepat adalah suatu metode optimalisasi yang digunakan dalam penemuan jalur. Penerapan pencarian jalur terpendek seringkali dipergunakan pada berbagai sektor sehingga membantu meningkatkan efisiensi

suatu sistem, diantaranya meminimalkan biaya atau mempercepat proses tertentu. Salah satu aplikasi yang membantu dalam pencarian jalur terpendek sering berkaitan dengan transportasi. Pencarian jalur terpendek ini bertujuan untuk menemukan jalur terdekat dari titik awal ke titik akhir dengan beban atau jarak yang paling minim dibandingkan dengan seluruh jalur yang ada. Terdapat berbagai algoritma yang dapat dipergunakan dalam pelaksanaan pencarian jalur terpendek ini (Kurniawan et al., 2020).

**2.4 Metode Ant Colony Optimization**

Metode *Ant Colony Optimization* merupakan metode optimasi yang terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari rute terpendek untuk mencari makanan (Bimantara et al., 2021). Dalam metode ACO semut bergerak dari sarang ke tempat makanan dengan cara meninggalkan jejak feromon (Ramdani et al., 2024). Algoritma ACO merupakan bagian dari algoritma kecerdasan segerombolan dan termasuk dalam kategori optimasi metaheuristik (Akmal dan Sheryl Ramadhani, 2022).



Gambar 1. Simulasi *Ant Colony*

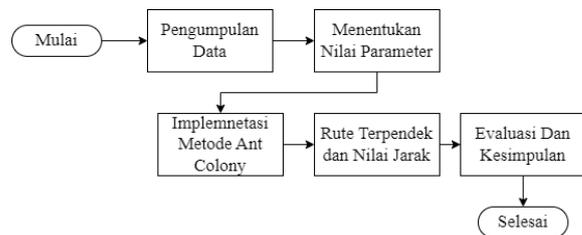
Simulasi ini merepresentasikan penggunaan algoritma optimasi koloni semut dalam mencari jalur terpendek pada masalah TSP (Samsudin et al., 2021). Algoritma ini meniru perilaku semut dalam mencari makanan di alam, dengan menggunakan feromon sebagai media informasi yang disekresikan pada rute-rute yang dilalui oleh semut sebelumnya. Pada awalnya, feromon diinisialisasi dengan nilai yang sama untuk setiap rute dan semut secara acak memilih rute yang akan dilalui dengan mempertimbangkan baik intensitas feromon maupun informasi heuristik tentang jarak antar kota. Semakin pendek jarak antar kota, semakin besar informasi heuristik yang diberikan. Setiap kali semut melewati suatu rute, feromon pada rute tersebut akan diperbarui dengan menggunakan informasi tentang jarak yang ditempuh semut dan intensitas feromon yang disekresikan semut. Feromon pada rute-rute yang sering dilalui semut akan bertambah intensitasnya, sehingga semakin besar kemungkinan rute tersebut akan dipilih oleh semut berikutnya.

Dalam iterasi berikutnya, semut akan memilih rute baru dengan mempertimbangkan intensitas feromon pada setiap rute yang tersedia, serta

informasi heuristik tentang jarak antar kota. Proses ini diulang sebanyak  $n_{Ant}$  kali, di mana  $n_{Ant}$  merupakan jumlah semut dalam populasi. Setelah seluruh semut menyelesaikan perjalanannya, feromon pada setiap rute akan mengalami proses evaporasi dengan tingkat yang ditentukan oleh parameter  $\rho$ . Feromon pada rute-rute yang kurang sering dilalui oleh semut akan hilang seiring dengan proses evaporasi ini (Amrin, 2021). Hasil dari algoritma koloni semut adalah jalur terpendek yang ditemukan oleh semut dengan biaya minimum. Pada simulasi ini, hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan jalur terpendek yang ditemukan oleh semut pada iterasi terakhir, serta grafik yang menunjukkan perkembangan biaya terbaik yang ditemukan oleh algoritma seiring dengan iterasi (Kaunang & Hartomo, 2022). Sehingga dengan penerapan metode ACO dapat memberikan solusi dalam penentuan rute terpendek yang dapat mengurangi jarak dan biaya yang dikeluarkan dalam kegiatan distribusi.

**3. Tahapan Penelitian**

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan untuk optimalisasi pencarian rute menggunakan metode ACO. Gambar 2 menunjukkan diagram alir pada penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**1. Pengumpulan Data**

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan untuk menentukan rute terpendek dan nilai jarak. Data yang diperoleh merupakan data sekunder yang bersumber dari PT. Pelindo Indonesia Regional 3 sejak Bulan Januari – Mei 2022 yaitu data Jumlah Kapal, Nama Kapal, Tanggal Nota, Permohonan Pandu, Penetapan Pandu, Realisasi Pandu, Pandu mulai, dan Pandu Selesai. Data yang nantinya dikumpulkan merupakan data waktu aktual pelabuhan pada Kapal Budi Samudra Jaya Abadi yang diperoleh dari PT. Pelindo Indonesia Regional 3.

**2. Menentukan Nilai Parameter**

Pada tahap ini parameter-parameter yang dibutuhkan dalam algoritma ACO ditentukan. Parameter-parameter ini mempengaruhi hasil perhitungan rute terpendek. Adapun parameter yang akan digunakan adalah parameter jarak

3. Pengolahan dan Analisis Data / Implementasi Metode *Ant Colony*

Tahap ini dilakukan dengan mengimplementasikan metode ACO pada data yang telah dikumpulkan. Metode ACO digunakan untuk menentukan rute terpendek dengan mempertimbangkan nilai parameter yang telah ditentukan.

4. Hasil Rute Terpendek dan Nilai Jarak

Setelah melakukan pengolahan dan analisis data, didapatkan hasil berupa rute terpendek dan nilai jarak yang ditempuh. Hasil ini digunakan untuk evaluasi dan kesimpulan.

5. Evaluasi dan Kesimpulan

Tahap evaluasi dilakukan dengan mengevaluasi hasil perhitungan rute terpendek dan nilai jarak yang ditempuh. Jika hasilnya sudah memenuhi kriteria yang diinginkan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa metode ACO berhasil digunakan untuk menentukan rute terpendek. Selain itu, pada tahap ini juga dapat diambil kesimpulan terkait kelayakan dan efektivitas penggunaan metode ACO dalam konteks yang telah ditentukan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian merupakan sebagian data nilai daftar berdasarkan waktu aktual pelabuhan yang diperoleh dari data Pelabuhan PT. Pelindo Indonesia yang dapat dilihat pada Tabel 1 dengan nama kapal Budi Samudra Jaya Abadi pada tanggal 8 Februari 2022.

Tabel 1. Hasil Pengumpulan Data

Kode Berangkat	Kode Tujuan	Jarak	Mulai Tunda	Mulai Selesai	s
1	2	151,62	21:20	22:00	40
2	3	81,53	00:25	01:00	35
3	4	137,5	06:00	06:35	35
4	5	163,19	14:30	15:05	35
5	6	248,3	05:10	05:45	35
6	1	268,7	04:30	05:05	35

4.2. Menentukan Nilai Parameter

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan atribut yang digunakan pada tahapan pengolahan yaitu hanya atribut jarak dikarenakan ACO dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi seperti mengurangi waktu tunggu. Namun, untuk mengoptimalkan waktu tunggu dengan menggunakan ACO, data yang digunakan harus jarak karena ACO bekerja dengan mencari rute terpendek berdasarkan jarak antara titik awal dan titik tujuan. Berikut adalah hasil dari pemilihan atribut yang akan digunakan yaitu:

Tabel 2. Nilai Parameter

Kode Berangkat	Kode Tujuan	Jarak (km)
1	2	151,62
2	3	81,53
3	4	137,5
4	5	163,19
5	6	248,3
6	1	168,7

Adapun jarak tempuh keseluruhan dapat dihitung dengan menjumlahkan jarak dari setiap rute yang dilalui. Dalam penelitian ini terdapat enam rute dengan jarak masing-masing seperti pada tabel. Untuk menghitung jarak tempuh keseluruhan dilakukan penjumlahan keenam jarak tersebut yaitu sebagai berikut:

$$\text{Total} = 151,62 + 81,53 + 137,5 + 163,19 + 248,3 + 268,7 = 1050,84 \text{ km}$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa jarak tempuh keseluruhan adalah 1050,84 km.

4.3. Pengolahan dan Analisis Data/Implementasi Metode *Ant Colony*

Tahap ini dilakukan dengan mengimplementasikan metode ACO pada data yang telah dikumpulkan. Metode ACO digunakan untuk menentukan rute terpendek dengan mempertimbangkan nilai parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah dalam implementasi Metode ACO yaitu:

- Langkah Pertama dalam proses perhitungan ACO adalah dengan membuat matrix jarak tempuh yang ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 3. Matrix Jarak Tempuh

Kode Berangkat	Kode Tujuan					
	1	2	3	4	5	6
1	0	151,62	179	98	117	268,7
2	151,62	0	81,53	85	124	200
3	179	81,53	0	137,5	65	184
4	98	85	137,5	0	163,19	56
5	117	124	65	163,19	0	248,3
6	268,7	200	184	56	248,3	0

Tabel 3 menunjukkan adalah tabel jarak yang menggambarkan jarak antara perjalanan kapal. Tabel ini terdiri dari tiga kolom yaitu kolom Kode Berangkat (warna abu), kolom Kode Tujuan (warna biru), dan kolom Jarak (warna kuning). Dalam tabel tersebut terdapat enam lokasi diberi kode berangkat dan kode tujuan yang berbeda-beda yaitu kode 1-6. Jarak antara lokasi 1 ke lokasi 2 adalah sejauh 151,62 km, jarak antara lokasi 2 ke lokasi 3 adalah sejauh 81,53 km, jarak antara lokasi 3 ke lokasi 4 adalah sejauh 137,5 km, jarak antara lokasi 4 ke lokasi 5 adalah sejauh 163,19 km, jarak antara lokasi 5 ke lokasi 6 adalah sejauh 248,3 km, dan jarak antara lokasi 6 ke lokasi 1 adalah sejauh 268,7 km.

- Menentukan Visibility dan Jumlah semut  
 Pada penelitian ini jumlah semut yang digunakan yaitu 40. Nilai tersebut diperoleh

berdasarkan penelitian terdahulu yang membandingkan jumlah semut 20, 40, 60, 80, dan 100 diperoleh nilai optimum pada jumlah semut 40 (Soenandi et al, 2019). Jumlah semut yang digunakan dalam ACO dapat mempengaruhi kecepatan dan kualitas solusi yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah semut, maka semakin cepat solusi dapat ditemukan, namun membutuhkan sumber daya komputasi yang lebih besar. Jumlah semut juga dapat mempengaruhi keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi dalam proses pencarian solusi. Lalu untuk nilai Visibility (*heuristic information matrix*) dihitung dengan menggunakan  $\eta = 1 / \text{model.D}$ . Pada penelitian ini digunakan tool matlab untuk membantu dalam analisis data. Berikut adalah flowchart program untuk tahapan Visibility dan Jumlah semut ini yaitu:



Gambar 3. Flowchart Program ACO

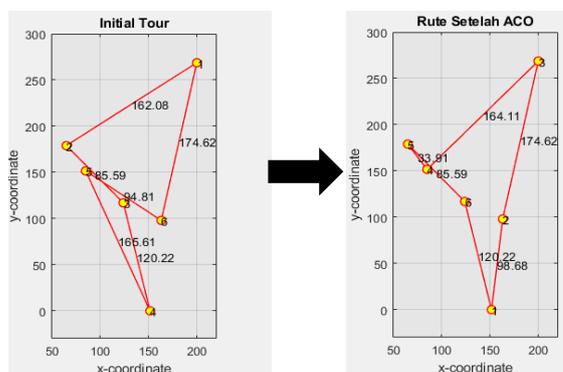
**4.4. Hasil Rute Terpendek dan Nilai Jarak**

Setelah melakukan pengolahan dan analisis data, hasil yang diperoleh adalah rute terpendek dan nilai jarak yang ditempuh. Rute terpendek dan nilai jarak tersebut diperoleh melalui pengoptimalan menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO) selama 500 iterasi. Pada setiap iterasi, sekelompok semut diberi kesempatan untuk menjelajahi graf yang merepresentasikan permasalahan yang ingin dipecahkan.

Dalam konteks ini, graf tersebut merepresentasikan jalur yang dapat dilalui oleh Kapal

di PT. Pelindo Indonesia Regional 3. Semut menjelajahi graf tersebut dengan mengambil keputusan berdasarkan konsentrasi feromon dan informasi heuristik. Setiap semut membentuk suatu rute berdasarkan keputusan yang diambil. Setiap iterasi, feromon pada jalur yang dilalui oleh setiap semut diperbarui berdasarkan nilai objektif dari rute yang dihasilkan oleh semut tersebut. Dalam hal ini, nilai objektif adalah jarak yang ditempuh oleh semut untuk mencapai titik tujuan.

Setelah 500 iterasi, ditemukan nilai jarak terpendek yang ditempuh untuk mencapai titik tujuan sebesar 617.53 km. Rute yang dihasilkan adalah 1 - 4 - 6 - 2 - 3 - 5 - 1, yang menandakan bahwa semut memulai perjalanan dari titik 1, kemudian menuju titik 4, lalu menuju titik 6, dan seterusnya hingga akhirnya kembali ke titik awal, yaitu titik 1. Berikut adalah gambaran lebih jelas mengenai rute sebelum dan setelah ACO.



Gambar 4. Rute Sebelum dan Sesudah ACO

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa graf yang merepresentasikan jalur yang dapat dilalui oleh Kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3. Adapun Initial Tour merupakan jalur yang masih belum efektif. Setelah dilakukan penerapan ACO dapat diketahui bahwa rute yang dibuat menjadi lebih singkat dan efektif terlihat dari garis yang dilalui. Maka dari hasil tersebut penerapan ACO berhasil menemukan rute terpendek yang lebih efektif untuk jalur yang dapat dilalui oleh Kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3.

**5. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Ant Colony Optimization (ACO) dapat mengoptimalkan rute pengiriman kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3. Hal ini terbukti dengan ditemukannya rute terpendek yang lebih efektif untuk jalur yang dapat dilalui oleh Kapal di PT. Pelindo Indonesia Regional 3 dengan jarak tempuh sebesar 617.53 km. Dalam hal ini ACO dapat menjadi alternatif metode yang efektif untuk digunakan dalam mengoptimalkan rute pengiriman kapal di pelabuhan. ACO dapat memberikan solusi yang lebih cepat dan efisien dalam menghitung rute terpendek sehingga

dapat membantu menghemat biaya dan waktu pengiriman kapal di pelabuhan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat keterbatasan dalam penelitian ini karena belum dilakukan perbandingan langsung dengan metode optimasi rute terbaik lainnya seperti *Simulated Annealing* atau *Genetic Algorithm*. Meskipun hasil menunjukkan bahwa ACO dapat menghasilkan rute terpendek yang lebih efektif, perbandingan langsung dengan metode-metode tersebut dapat memberikan wawasan tambahan mengenai keunggulan dan kelemahan masing-masing metode.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan perbandingan dengan metode optimasi lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan optimal.

#### Daftar Pustaka:

- Agarwal, R. and Ergun, Ö. (2008). Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping. *Transportation Science*, Vol. 42, No. 2, pp.175–196.
- Akmal dan Sherly Ramadhani, S. (2022). Perancangan Rute Distribusi Sirup Dengan Menggunakan Metode Algoritma Ant Colony Optimization Di Ud. Sirup Cap Bunga Padi Bireuen. *Industrial Engineering Journal*, 11(1).
- Amrin, A. (2021). Penerimaan Pelayanan Kapal Tunda Di PT. Pelabuhan Indonesia IV (Persero) Cabang Makassar. In *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* (Vol. 4, pp. 19-28).
- Arabelen, Gamze, dan Ersel Zafer Oral. (2017). Prestudy of Port Service Quality Dimensions: Port of İzmir as a Case Study. *Dokuz Eylul University Maritime Faculty*.
- Bimantara, W., Rahayudi, B., & Cholissodin, I. (2021). Optimasi Rute Distribusi Produk PT Indomarco Adi Prima (Stock Point Nganjuk) Dengan Algoritma K-Means Dan Ant Colony Optimization (K-ACO). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(6), 2426-2434.
- Hlali, A., & Hammami, S. (2017). Seaport concept and services characteristics: Theoretical test. *The Open Transportation Journal*, 11(1).
- Ihsan, A., Adlie, T. A., & Harliansyah, S. (2024). Optimalisasi Pencarian Jalur Terpendek Mobile Robot dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO). *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 23(1), 39-54.
- Kaunang, T., & Hartomo, K. (2022). Pencarian Rute Optimal Wisata Alam Kota Tomohon Menggunakan Ant Colony Optimization (ACO). *JOINTER: Journal of Informatics Engineering*, 3(01), 30-33.
- Kurniawan, R., Fachrurrrazi, S., & Ula, M. (2020). Sistem Informasi Geografis Pencarian Rute Terpendek Menuju Rumah Sakit Dengan Menggunakan Metode Algoritma Dijkstra. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 4(2), 1–19. <https://doi.org/10.29103/sisfo.v4i2.6291>.
- Lestari, D. S. (2021). Pelayanan Kedatangan Kapal Menggunakan Metode Host To Host Oleh PT Div Samudera Abadi Dalam Rangka Menunjang Kelancaran Angkutan Laut Di Kantor Pelabuhan Laut Batam. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, 3(2), 26-32.
- Lubis, M. Z., Hakim, R., Widiastuti, H., Putra, L. G. J., Satoto, S. W., Irawan, B. H., ... & Baharudin, B. (2022). Penerapan IbM: Pembuatan Studi Kelayakan Rute Pelayaran Batam Marine Ambulance. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Batam*, 4(1), 10-17.
- Marnani, Christine Sri, Freddy Johannes Rumambi, dan Haposan Simatupang. (2019). Connectivity Indonesia's Maritime Global Axis Policy. *Jurnal Pertahanan Volume 2 Nomor 1 Januari-April 2016 ISSN 2087-9415* hh. 53-70
- Ramdani, A. L., Widyantoro, D. H., & Munir, R. (2024). Optimalisasi Rekomendasi Rute Pada Perencanaan Perjalanan Wisata: Studi Pustaka: Optimization Route Recommendation-Based Tourist Trip Design Problem: A Literature Study. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(2), 515-525.
- Samsudin, M., Wijayanti, H., & Setyaningsih, S. (2021). Optimasi Biaya Distribusi Air Minum dalam Kemasan Menggunakan Algoritma Ant Colony System (Studi Kasus: PT. Tirta Investama Cibinong). *Interval: Jurnal Ilmiah Matematika*, 1(2), 97-109.
- Shahpanaha, A, A. Hashemia, G. Nouredinb, S. M. Zahraeea, dan S. A. Helmia. (2014). Reduction of Ship Waiting Time at Port Container Terminal Through Enhancement of the Tug/Pilot Machine Operation. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 68:3 (2014), 63–66
- Silaban, F. B., Suliantoro, H., & Susanty, A. (2019). Perancangan Rute Distribusi Beras Sejahtera Menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization (Studi Kasus di BULOG Kabupaten Semarang). *Industrial Engineering Online Journal*, 5(1).

- Soenandi, I. A., Joice, J., & Marpaung, B. (2019). Optimasi capacitated vehicle routing problem with time windows dengan menggunakan ant colony optimization. *J. Sist. dan Manaj. Ind*, 3(1), 59.
- Suciaty, F., Ifriyanto, M. H., & Usemahu, S. R. (2023). Estimasi Volume Pengerukan Pelabuhan Tanjung Laut Dengan Metode Integrasi Numerik. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 9(2), 136.
- Sudjasta, B., Hatuwe, M. R., & Riswansyah, F. (2022). Perencanaan Dermaga Kapal Pengangkut Ternak Pada Pelabuhan Calabai, Nusa Tenggara Barat. *Civil Engineering Collaboration*, 87-95.
- Suhartono, A. (2023). Optimasi Waypot dan Lintasan Terbaik Pada Pertunjukkan Dancing Drone Menggunakan Ant Colony Optimazation. *Jurnal Teknik Industri*, 26(01), 53-67. University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies. (2022). *Ports and Harbours*. University of Rijeka, [https://www.pfri.uniri.hr/bopri/documents/14-ME-tal\\_001.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/bopri/documents/14-ME-tal_001.pdf).
- Vernimmen, B., Dullaert, W. dan Engelen, S. (2007). Schedule Unreliability in Liner Shipping: Origins and Consequences for The Hinterland Supply Chain, *Maritime Economics and Logistics*, Vol. 9, No. 3, pp.193–213.
- Zaucha, Jacek dan Maciej Matczak. (2018). Role of Maritime Ports and Shipping in The Creation of The Economic Value of The Sea Areas. *SHS Web of Conferences* 58, 01033 (2018). GLOBMAR 2018. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20185801033>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

---