



## **Algoritma Genetik Pada Penjadwalan Transportasi Kapal Laut (Studi Kasus PT. Pelni)**

Tombak Gapura Bhagya

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik. Universitas Insan Cendikia Mandiri.

Diterima: Oktober 2021; Disetujui: November 2021; Dipublikasi: November 2021;

\*Corresponding author: [tombak.gapura.bhagya1@gmail.com](mailto:tombak.gapura.bhagya1@gmail.com)

---

### **Abstrak**

Penjadwalan dalam transportasi merupakan bagian terpenting bagi sebuah perusahaan yang mengalami keterbatasan jumlah moda transportasi. Pada transportasi laut selain keterbatasan moda transportasi, biasanya setiap pelabuhan tidak bisa menerima semua jenis kapal laut, sehingga semakin terbatas moda transportasi yang bisa berlabuh pada pelabuhan tertentu. Menjadi penting bagi perusahaan moda transportasi laut untuk menentukan rute yang tepat dan penugasan kapal yang cocok serta sesuai dengan pelabuhan. Algoritma genetik merupakan salah satu metode heuristic yang biasa digunakan dalam pemecahan masalah penjadwalan. Pada kasus transportasi kapal laut, metode ini menjadi salah satu opsi heuristic terbaik untuk mendapatkan penjadwalan terbaik dalam penentuan rute dan penugasan kapal. Dalam pemakaiannya, algoritma genetik dimulai dengan pembangkitan rute secara heuristic agar di dapatkan inisialisasi rute dari penjadwalan awal. Setelah mendapatkan inisialisasi dilakukan pendekatan operator genetic (elitist, crossover dan mutasi) untuk menghasilkan penjadwalan baru dengan fitness function yang lebih baik. Sebagai model penelitian digunakan Sistem PT. Pelni sebagai studi kasusnya dengan fitness function berupa biaya operasional terkecil. Hasil dari pemakaian metode ini memberikan penjadwalan secara fitness function lebih murah dengan selisih hingga Rp 2.350.980.244,20 dan waktu tempuh yang lebih panjang dengan selisih 65,36 hari dibandingkan dengan penjadwalan yang ada saat ini. Semakin banyak iterasi yang digunakan pada algoritma genetik, hasil yang diperoleh cenderung akan semakin baik, jika hasilnya belum mencapai tahap jenuh.

**Kata Kunci:** Algoritma genetik, penjadwalan, transportasi laut.

### **Abstract**

*Scheduling in transportation is the most important part for a company that experiences a limited number of modes of transportation. In maritime transportation in addition to the limitations of the mode of transportation, usually each port cannot accept all types of ships, so the more limited modes of transportation can be anchored at a particular port. It is important for sea transportation mode companies to determine the right route and the assignment of ships that are suitable and in accordance with the port. Genetic algorithm is one of the heuristic methods commonly used in scheduling problem solving. In the case of ship transportation, this method is one of the best heuristic options to get the best scheduling in determining the route and assignment of ships. In use, genetic algorithms begin with heuristic route generation to get route initialization from initial scheduling. After getting initialization, genetic operator approach (elitist, crossover and mutation) is carried out to produce a new scheduling with better fitness function. As a research model used PT. Pelni as a case study with the fitness function in the form of the smallest operational costs. The results of using this method provide a cheaper fitness function scheduling with a difference of up to Rp 2,350,980,244.20 and a longer travel time of 65.36 days compared to the current scheduling. The more iterations used in genetic algorithms, the results obtained tend to be better, if the results have not yet reached the saturation stage.*

**Keywords:** Genetic algorithm, scheduling, maritime transportation.

**How to Cite:** Bhagya, Tombak Gapura (2021). Algoritma Genetik Pada Penjadwalan Transportasi Kapal Laut (Studi Kasus PT. Pelni). *JIME (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)*. 5(2): 81-92

---

## PENDAHULUAN

Perencanaan dan pengaturan transportasi merupakan issue yang tidak pernah berhenti. Karakter lingkungan yang terus berubah, menjadi penyebab permasalahan transportasi menjadi lebih kompleks. Sudah banyak kasus yang muncul dalam pengendalian transportasi baik di darat, laut maupun udara. Pengembangan metode riset operasi menjadi salah satu cara untuk memecahkan problem-problem yang muncul dalam pengaturan transportasi. Pada beberapa penelitian ini sudah diterapkan seperti pada (Zhao & Lu, 2019) yang menerapkan pendekatan *heuristic* pada transportasi listrik, lalu (Bhagya, 2019) menggunakan metode *saving matrix* untuk mengatur rute transportasi darat dan (Subramanian et al., 2018) menggunakan *hybrid algorithm* untuk memecahkan rute transportasi darat, (Życzkowski, 2018) menjelaskan terkait metode dalam penentuan rute kapal laut.

Penjadwalan transportasi pada laut dan udara semakin penting, dibandingkan di darat. Ini dikarenakan adanya keterbatasan jumlah alat transportasi laut dan udara pada sebuah perusahaan, sehingga penjadwalan harus dilakukan seoptimal mungkin untuk menghasilkan biaya operasional yang minim tapi memiliki daya cakupan yang luas. Indonesia sebagai Negara kepulauan, maka optimalisasi penjadwalan transportasi laut dan udara menjadi cukup penting untuk terus dikembangkan.

(Jinca, 2011) Transportasi laut menawarkan kapasitas angkut yang lebih besar dibandingkan transportasi udara, sehingga untuk Negara seperti Indonesia yang memiliki jumlah penduduk yang

tinggi optimalisasi penjadwalan transportasi laut menjadi prioritas utama.

Penjadwalan transportasi laut akan lebih terpusat pada bagaimana perusahaan dapat menentukan rute yang terbaik bagi kapal dan penugasannya. Ini karena tidak semua pelabuhan tidak dapat menerima semua jenis kapal yang ada. Sebagai kasus pada PT X, memiliki 23 buah kapal tetapi harus melayani 65 pelabuhan yang tersebar di Indonesia.

Penjadwalan kapal laut yang selama ini terjadi di PT PELNI, penugasan kapal tidak dilakukan secara optimal, sehingga banyak kapal yang berlayar dibawah *commission day* yang telah ditetapkan, dan ini jelas menimbulkan kerugian bagi PT PELNI karena banyak kapal yang tidak beroperasi karena penugasan yang tidak optimal. Sedangkan biaya operasional yang dikeluarkan setiap kapal laut hampir sama seperti berlayar penuh sesuai dengan *commission day*.

Banyak cara yang bisa digunakan untuk memecahkan masalah penjadwalan transportasi laut, tetapi hasilnya belum tentu optimal. Dalam riset operasi, ada metode *heuristic* yang bisa digunakan untuk memecahkan masalah yang kompleks, seperti *branch and bound*, *set covering* dan lainnya. (Permana et al., 2020) mendesain riset operasi melalui metode *heuristic* dengan penerapan *Fuzzy Logic*, dimana dengan model tersebut dilakukan prediksi jumlah positif *covid 19* walaupun hasilnya dinyatakan belum optimal. Algoritma genetik merupakan salah satu metode metaheuristic dalam riset operasi yang termasuk dalam *improvement algorithm*. Artinya algoritma genetik merupakan salah satu metode *heuristic* yang selalu mengalami perbaikan dalam setiap penyelesaian

permasalahannya, sehingga hasilnya akan lebih mendekati optimal dibandingkan dengan metode heuristic lainnya.

Algoritma genetik sudah banyak digunakan pada kasus penjadwalan di luar transportasi seperti (Taufiq et al., 2017) pada kasus optimasi pembuatan pakan sapi, (Hamamoto et al., 2018) pada kasus deteksi pengambilan keputusan dalam sistem informasi, (Ramadhani et al., 2018) pada kasus pendistribusian obat farmasi, (Setiawan et al., 2019) pada kasus memprediksi penyakit autoimun pada manusia, dan (Utama et al., 2019) pada kasus penjadwalan produksi pada model flowshop. Sehingga pemakaian algoritma genetik untuk memecahkan permasalahan penjadwalan transportasi laut sangat memungkinkan untuk dilakukan.

Penelitian ini akan fokus pada bagaimana menghasilkan model penentuan rute dan penugasan kapal yang lebih mendekati kondisi sebenarnya melalui algoritma genetik dan bagaimana menerapkan contoh numerik dan penyelesaian kasus nyata yang disertai dengan proses analisis terhadap algoritma yang dibuat.

Menurut (Garside & Rahmasari, 2017) salah satu komponen utama dalam sistem logistik adalah pengelolaan pergerakan produk (antara lain bahan baku, barang setengah jadi hingga barang jadi) dari titik asal ke titik konsumen. Suatu produk yang diproduksi pada suatu titik memiliki nilai rendah bagi calon konsumennya, kecuali produk tersebut dipindahkan atau disediakan pada titik dimana produk tersebut akan dikonsumsi. Transportasi adalah salah satu elemen yang paling berpengaruh terhadap performansi operasional suatu sistem logistik, terutama terhadap ongkos

transportasi dan tingkat pelayanan yang diberikan kepada konsumen. Pergerakan produk dalam suatu ruangan atau wilayah menciptakan nilai guna tempat. Walaupun nilai guna waktu sebagian besar dihasilkan oleh gudang, namun transportasi juga berperan dalam menghasilkan nilai guna waktu dimana transportasi menentukan seberapa cepat dan seberapa konsistennya suatu produk bergerak dari satu titik ke titik lainnya.

Sistem pelayanan transportasi menurut (Lazar et al., 2019) dapat digolongkan ke dalam tiga kategori, yaitu: moda dasar (alat untuk pengiriman barang), agen transportasi yang memfasilitasi dan mengkoordinasi proses pengiriman barang dan carrier yang digunakan sebagai moda dasar namun hanya menangani pengiriman barang dalam ukuran kecil. Pemilihan moda ini tergantung kepada banyak factor yang akan jadi pertimbangan diantaranya: waktu, berat dan dimensi produk, jaminan keselamatan, system penanganan dan lainnya.

Pendekatan model matematik untuk system transportasi merupakan topik dalam penelitian operasional. Penelitian operasional dapat dinyatakan sebagai disiplin yang terkait dengan aplikasi metode ilmiah untuk pengambilan keputusan terutama untuk masalah pengalokasian sumber. Aktivitas utama dari studi penelitian operasional adalah formulasi model matematik dari sistem. (Irfan et al., 2018) menjelaskan beberapa konsep pendekatan model matematik seperti model ikonik, model analog dan model simbolik. Model matematik menggambarkan perilaku system menggunakan persamaan dan hubungan logika. Tipe model matematik mencakup

pemrograman matematik dan simulasi. Model matematik mencakup komponen-komponen dari variable keputusan, parameter, kendala dan fungsi tujuan.

Sistem transportasi merupakan sistem yang cukup kompleks, karena didalamnya memasukan kerjasama antara manusia dan sumber material serta menjelaskan hubungan yang cukup kompleks dan *trade-off* antara banyak keputusan dan kebijakan manajemen yang menggambarkan komponen yang berbeda. Sehingga kasus dalam system transportasi akan lebih banyak dipecahkan secara matematis.

Permasalahan dalam sistem transportasi akan lebih banyak bagaimana melakukan proses penentuan rute dan penjadwalan, pada saat ini hal tersebut menjadi konsentrasi keahlian tersendiri dari sistem transportasi. (Fatimah, 2019) Permasalahan transportasi terbagi ke dalam tiga bagian, yaitu masalah penentuan rute kendaraan (*vehicle routing problem*), masalah penentuan rute dan penugasan kapal (*ships routing problem*) serta masalah penjadwalan kru (*crew scheduling problem*).

(Jinca, 2011) Penentuan rute dan penugasan kapal merupakan kasus khusus dari penentuan rute kendaraan. Ini dikarenakan dalam penentuan rute dan penugasan kapal ada perbedaan dan system yang lebih kompleks dibandingkan moda transportasi lainnya, seperti: kapal berbeda dalam karakteristik operasionalnya (kapasitas kecepatannya) dengan yang lain termasuk dalam struktur ongkosnya, kapal tidak perlu kembali ke pelabuhan asal, penjadwalan kapan melibatkan ketidakpastian yang tinggi, kapal beroperasi sepanjang waktu sedangkan kendaraan tidak beroperasi

pada malam hari (kecuali kendaraan yang mempunyai kelebihan muatan seperti truk gandeng), lingkup penjadwalan kapal tergantung pada besarnya cakupan mode dari operasi kapal.

Untuk mendapatkan rute dan penugasan kapal yang memberikan hasil yang baik, maka digunakanlah metode *metaheuristic* seperti algoritma genetik. Algoritma genetik merupakan algoritma pencarian terstruktur yang didasarkan pada mekanisme seleksi alami dan informasi genetika alami. Pada setiap generasi, suatu kumpulan dari individu disusun dengan menggunakan informasi dari individu unggul pada generasi sebelumnya. Ketika menggunakan mekanisme acak, algoritma genetik bukanlah pencarian acak yang sederhana. Algoritma ini secara efisien mengeksplorasi informasi-informasi historis untuk kemudian menentukan titik pencarian solusi berikutnya dengan ekspektasi dapat meningkatkan performansi.

Operator yang digunakan dalam penyelesaian masalah dengan menggunakan algoritma genetik terdiri dari tiga macam, yaitu: seleksi (melakukan pemilihan individu yang akan mati untuk kemudian diganti oleh individu lainnya sedangkan individu yang bertahan diperbanyak); *crossover* (menggabungkan dua induk yang berbeda menjadi dua individu yang baru yang secara genetic berbeda dengan induknya), mutasi (merubah genetik pada suatu individu tanpa melibatkan individu lainnya).

## **METODE PENELITIAN**

Sistem yang dibuat dalam penentuan rute dan penugasan kapal ini, menggunakan beberapa asumsi, yaitu:

jarak tempu antar lokasi adalah simetris, waktu tempuh satu kali perjalanan tidak melebihi batas 14 commision time, kecepatan kapal konstan, spesifikasi kapal bervariasi, port time tiap kapal berbeda di tiap pelabuhan, port time tidak mempertimbangkan waktu mengantri masuk pelabuhan dan semua kapal ditugaskan pada rute.

Adapun model matematis yang telah disusun dan dibuat untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } Z = \sum_r \sum_k C_{kr} X_{kr} \quad (1)$$

Dengan memperhatikan pembatas:

$$\sum_{r \in R_k} \sum_{k \in K} A_{rki} X_{kr} \geq 1, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{r \in R_k} X_{kr} = 1, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_k} X_{kr} = 1, \forall r \in R_k \quad (4)$$

$$X_{kr} \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall r \in R_k \quad (5)$$

Notasi:

r = rute

k = kapal

i = pelabuhan

R<sub>k</sub> = himpunan dari rute yang layak dari alat transportasi k

K = himpunan dari kapal yang ada

I = himpunan dari pelabuhan

Cr<sub>k</sub> = biaya total jika kapal melayani rute r

Ar<sub>ki</sub> = bernilai 1, jika rute r dilayani oleh kapal k dan melalui pelabuhan i; bernilai 0 untuk lainnya.

X<sub>rk</sub> = bernilai 1, jika rute t yang dilayani oleh kapal k terdapat dalam solusi; bernilai 0 untuk lainnya.

Rumusan pemrograman bilangan bulat di atas merupakan gabungan rumusan set covering dan set partitioning. Fungsi tujuan (1) adalah meminimalkan biaya perjalann total, pembatas (2) menyatakan bahwa tiap pelabuhan harus dilayani minimal oleh satu rute dan

penugasan kapal. Pembatas (3) menjamin bahwa tiap kapal pasti ditugaskan. Pembatas (4) menjamin bahwa tiap kapal hanya melayani satu rute. Pembatas (5) merupakan pembatas biner, yaitu X<sub>kr</sub> = 1 jika rute r menggunakan kapal k masuk dalam solusi dan X<sub>kr</sub> = 0 jika sebaliknya.

Fungsi tujuan masalah penentuan rute dan penugasan kapal adalah meminimalkan biaya perjalanan total. Biaya penugasan kapal k pada rute r, O<sub>kr</sub> merupakan penjumlahan dari biaya perjalanan dan biaya berlabuh.

$$O_{kr} = S_{kr} + P_{kr}$$

Biaya perjalanan yang dimaksud dalam model adalah biaya operasional. Biaya perjalanan ini dihitung dengan rumusan:

$$S_{kr} = D_{rk} \times b_k$$

Dimana D<sub>rk</sub> adalah jarak total perjalanan kapal k pada rute r dan b<sub>k</sub> adalah biaya operasional kapal k per satuan jarak.

Biaya berlabuh yang dimasukan dalam model adalah biaya selama kapal berada dalam pelabuhan. Biaya berlabuh ini dihitung dengan rumusan:

$$P_{kr} = t_{rk} \times k_k$$

Dimana tr<sub>k</sub> adalah waktu berlabuh total kapal k pada rute r, dan k adalah biaya berlabuh kapal k per satuan waktu.

Untuk penghitungan waktu perjalanan total sebagai berikut:

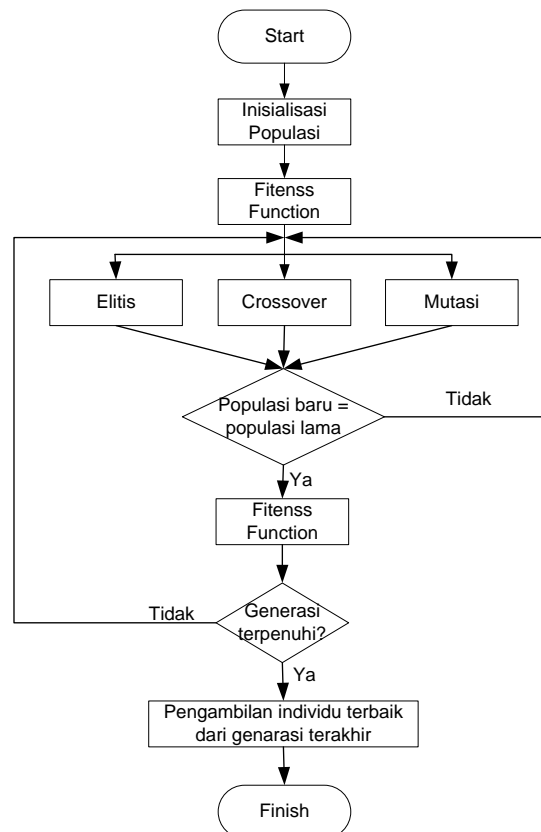
$$B_{rk} = \frac{D_{rk}}{V_k \cdot 1,825 \cdot 24} + \frac{t_{kr}}{24}$$

Waktu perjalanan total adalah penjumlah antara waktu perjalanan kapal k dan rute r dan waktu berlabuh rute r dan

kapal  $k$ . Waktu perjalanan di dapatkan dari total jarak rute  $r$  dibagi kecepatan kapal, factor konversi kecepatan kapal dan 24 jam. Sedangkan waktu berlabuh total didapatkan dari waktu berlabuh total rute  $r$  dengan penugasan kapal  $k$  dalam satuan hari maka dibagi 24 jam.

Dalam memecahkan permasalahan penentuan rute dan penugasan kapal, maka digunakan algoritma genetik sebagai

pendekatan pemecahan masalah. Proses algoritma genetik secara umum dimulai dari proses inialisasi populasi hingga pernyataan apakah generasi sudah terpenuhi yang nantinya akan menghasilkan satu individu terbaik jika telah mencapai solusi akhir. Secara lebih jelas proses algoritma genetik mengikuti alur flowchart yang ada pada gambar 1.



**Gambar 1.** Flowchart algoritma genetik untuk model ini

Tahapan algoritma genetik dimulai dari beberapa tahapan, kalau kita lihat dari flowchart pada gambar

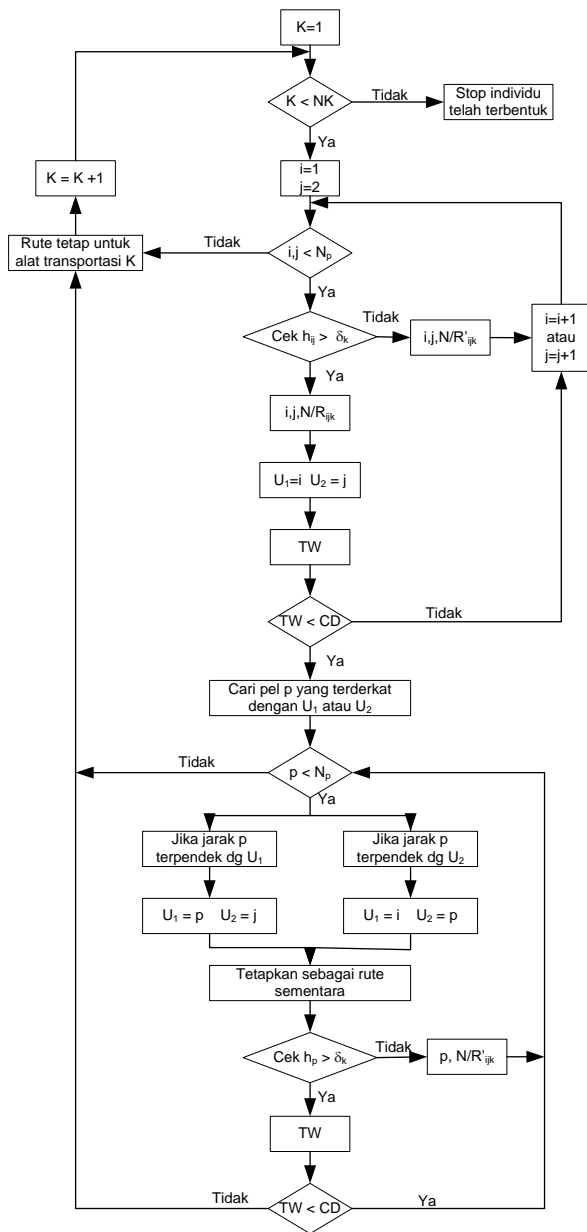
1. Setiap aktivasi pada algoritma genetik menghasil urutan pengerjaan masing-masing, seperti:
  - a. Inialisasi populasi, langkah pengerjaannya disesuaikan dengan flowchart pada gambar

2. Dengan indeks notasi sebagai berikut:

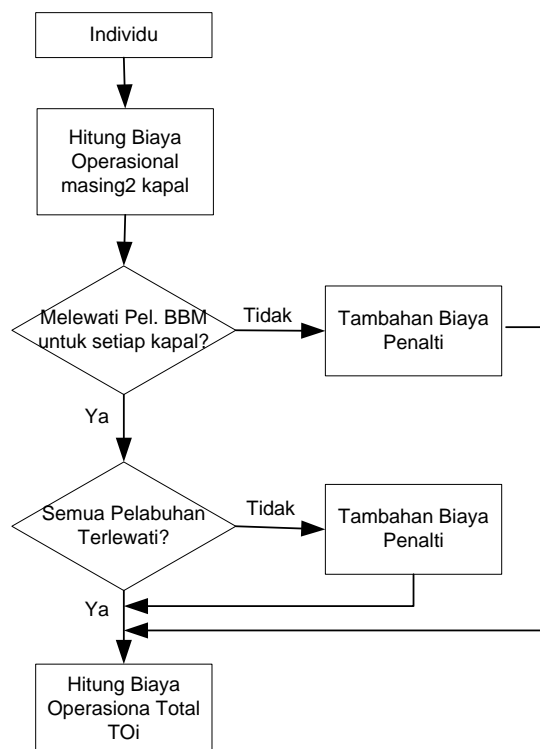
- $i, j, p$  : indeks pelabuhan
- $k$  : indeks kapal
- $h$  : kedalaman pelabuhan
- $Q_k$  : draft kapal  $k$
- $N$  : himpunan semua pelabuhan
- $K$  : himpunan kapal
- $R$  : himpunan rute yang layak untuk kapal  $k$
- $I$  : himpunan pelabuhan dalam rute  $r$

$R_{ijk}$  : himpunan pelabuhan yang dilalui oleh kapal  $k$  yang dimulai pencariannya dari pelabuhan  $i$  atau  $j$   
 $R'_{ijk}$  : himpunan pelabuhan yang tidak dapat dilalui oleh kapal  $k$  yang dimulai pencariannya dari pelabuhan  $i$  atau  $j$   
 $TW$  : waktu total untuk rute yang terpilih  
 $CD$  : batas waktu pelayaran kapal  
 $Np$  : jumlah pelabuhan  
 $NK$  : jumlah alat transportasi

b. *Fitness function*, langkah ini untuk menilai apakah rute yang tersusun sudah menghasilkan biaya operasional yang minimal. Pada bagian ini, dikenakan biaya penalty jika rute yang tersusun mengalami kondisi, yaitu: kapal pada masing-masing individu tidak melewati pelabuhan BBM dan individu tidak mengakomodasi semua pelabuhan yang ada. Lebih jelas dapat terlihat pada gambar 4.



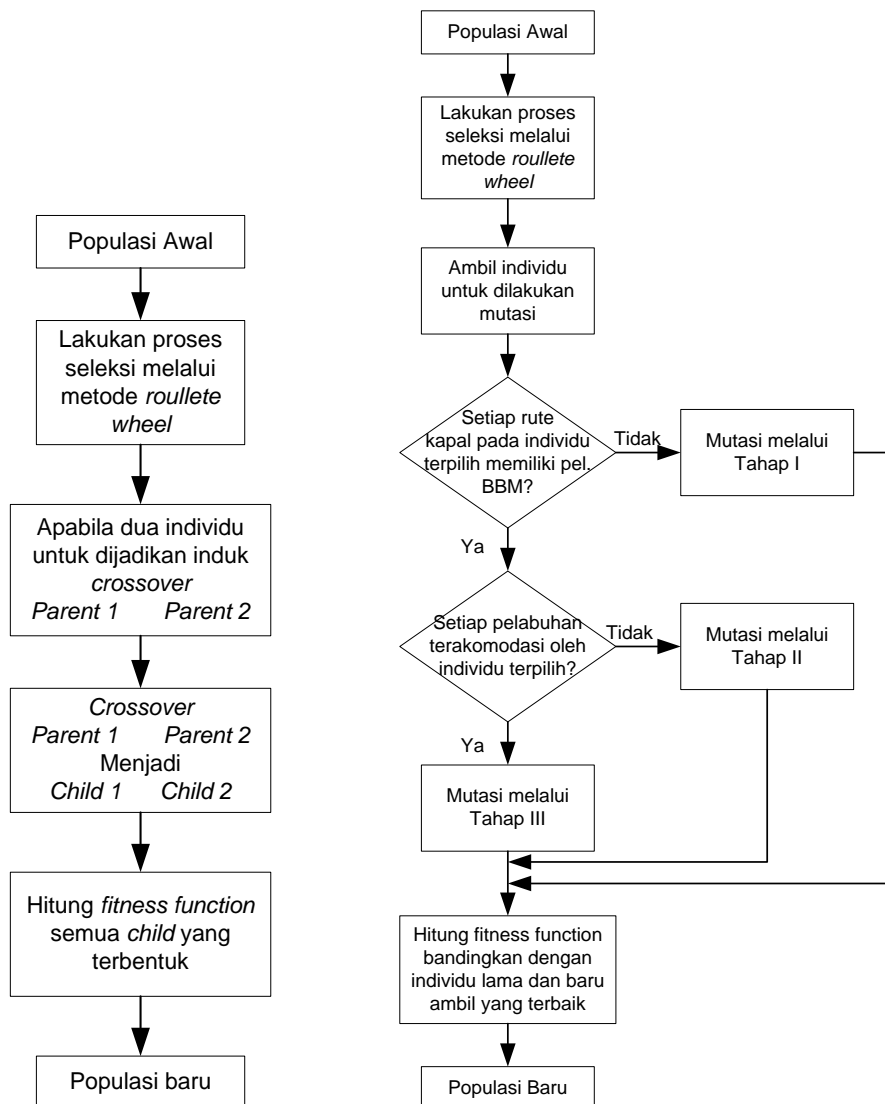
Gambar 3. Flowchart inisialisasi populasi pada algoritma genetik



Gambar 4. Flowchart Fitness Function pada Algoritma Genetik

c. *Elitis*, setelah melakukan inisialisasi populasi dan menghitung *fitness function*, tahapan selanjutnya terbagi menjadi 3 sektor, yang pertama adalah elitis yaitu proses seleksi dengan mengambil individu terbaik dari populasi sebelumnya dengan jumlah pengambilan yang sudah ditentukan sebelumnya. Ini perlu dilakukan agar proses generasi pada

- tahap selanjutnya akan memiliki solusi yang minimal sama dengan generasi sebelumnya.
- d. *Crossover*, merupakan sektor yang dikerjakan bersamaan dengan tahap elitis dan mutasi. Proses *crossover* dilakukan dengan melakukan penukaran kromosom diantara dua individu yang terpilih (*parent*), agar dihasilkan individu yang lebih baik (*child*) untuk populasi baru. Lebih detail untuk tahapan *crossover*, bisa dilihat pada gambar 5.
- e. *Mutasi*, merupakan sector selanjutnya setelah elitis dan *crossover*. Mutasi merupakan proses yang merubah kromosom pada suatu individu dengan kromosom yang lebih baik, sehingga akan dihasilkan *fitness function* yang lebih baik. Mutasi dikatakan berhasil jika individu yang baru memiliki *fitness function* yang lebih baik dari individu yang lama, jika sebaliknya maka individu lama yang akan masuk ke dalam populasi baru. Lebih jelas terkait langkah mutasi ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Flowchart *crossover* dan Mutasi pada Algoritma Genetik



**HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS**

Berdasarkan studi kasus pada PT PELNI dengan deskripsi kasus bahwa PT. PELNI memiliki 23 kapal yang bisa digunakan dan jumlah pelabuhan yang dilayani ada 65 pelabuhan dengan 10 diantaranya pelabuhan bahan bakar, selain itu Berdasarkan studi kasus pada PT PELNI dengan deskripsi kasus bahwa PT. PELNI memiliki 23 kapal yang bisa digunakan dan jumlah pelabuhan yang dilayani ada 65 pelabuhan dengan 10 diantaranya pelabuhan bahan bakar, selain itu waktu maksimal kapal berlayar

adalah selama 14 hari (*commission day*). Setiap kapal yang doperasikan memiliki kecepatan yang berebda-beda, sehingga dalam waktu 14 hari, setiap kapal memiliki daya jelajah yang berbeda. Hal lain yang menjadi perhatian dan cukup penting setiap pelabuhan memiliki kedalaman permukaan laut yang berbeda, sehingga tidak semua kapal PELNI bisa berlabuh pada pelabuhan yang memiliki kedalaman di bawah 5 meter. Maka hasil dari penyelesaian studi kasus tersebut adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. Rute Inisialisasi Populasi dari Kasus PT. PELNI**

Kapal	Rute Pelabuhan
Kapal 1	BO-I-AA-AW-AR-AM-AE-AK-AG-V-W-AO-AH-BH-AQ-T-BE-BL-A
Kapal 2	Z-AC-Q-U-BC-AH-BH-AO-W-V-AG
Kapal 3	E-AX-C-AS-AV-BI-BK-N-BL-A-AQ-T-BE-Y-BM-BJ-BF
Kapal 4	Q-U-Z-AC-AI-J-H-AP-BG-X-O-BD-AU-R
Kapal 5	AU-I-AA-AW-AK-AE-AM
Kapal 6	AT-AF-BB-P-F-G-BC-AP-BG-AI-J
Kapal 7	BG-AP-J-AI-Z-AC-X-O-BD-AU-R-C-AX-AS-AV-AN-S
Kapal 8	Z-AC-Q-J-AI-BG-AP-BC-G-F-L-M-AY-AJ-BA-AL-B-AW-AA-I
Kapal 9	BO-I-AA-AW-B-AL-BK-BI-AV-AS-C-AX-E
Kapal 10	BH-AH-AO-AQ-T-BE-A-BL-AK-AE-AM-AR-AW-AA-I
Kapal 11	AU-BD-O-X-BG-AP-J-AI-Z-AC-AN-S-BF-BJ-BM-Y
Kapal 12	AW-AR-AM-AE-AK-A-BL-BE-T-AQ-BH-AH-AO-O-X
Kapal 13	AC-Q-J-AI-BG-AP-H-X-O-BD-Y-BM-BJ-BF
Kapal 14	L-M-AY-AJ-A-BE-T-AQ-AO-AH-BH-AM-AR-AK-AE-B-AL-BA
Kapal 15	AI-J-BB-P-AB
Kapal 16	AD-BO-I-AA-AW-AK-AE-AM-AR-A-BE-T-AQ-AO
Kapal 17	BO-I-AA-AW-AK-AE-E-AX-C-AS-AV-AN-S-BF-BJ-BM
Kapal 18	AT-AF-BB-P-B-AL-BA-AJ-AY-M-L-F
Kapal 19	S-AN-AV-AS-AX-C-R-Y-BM-BJ-BF-V-AG
Kapal 20	BG-AP-J-AI-BB-P-AB-AF-AT
Kapal 21	E-AT
Kapal 22	W-D-Y-BM-BJ-BF-S-AN-AV-AS-P-BB-AF-AT
Kapal 23	BO-I-AA-AW-AK-AE-AY-AJ-BA-AL-B-AM-AR-A

Tabel 1 menunjukkan inisialisasi rute yang dibuat secara acak dan komputasi, sedangkan pada table 2 akan diperlihatkan hasil akhir dari penentuan rute jika

menggunakan algoritma genetik dengan menggunakan 50 iterasi/genarasi. Berikut ditampilkan hasilnya, yaitu:

**Tabel 2. Solusi rute melalui Algoritma Genetik setelah 50 Iterasi**

Kapal	Rute Pelabuhan
Kapal 1	AB-AF-P-BB-L-M-AY-AJ-BA-B-AE-AW
Kapal 2	BC-G-UQ-AC-Z-J-AI-AP-BG-BD-H-O-AU-X
Kapal 3	AE-B-BA-AJ-AY-M-L-F-G-BC-BG-AP-AI-J
Kapal 4	AO-AQ-T-BE-AG-V-AP-BG-BC-G-F
Kapal 5	AS-AX-C-BI-BK-BL-D-W-BM-BJ-BF-V-AG
Kapal 6	G-F-L-M-AY-AJ-BA-C-AX-AS-AV-N-BL-BK-BI
Kapal 7	AT-BB-P-AF-BM-BJ-BF-V-AG-BE-A-AQ-BH-AH
Kapal 8	BG-BC-G-F-L-M-AY-AJ-BA-B-AW-AE-BE-A-AQ
Kapal 9	AK-AR-AE-AW-AL-B-BA-AJ-AY-M
Kapal 10	F-L-M-AO-BH-AH-BO-I
Kapal 11	AC-Z-J-AI-AP-BG-H-BD-AU-O-X
Kapal 12	AV-AS-AX-C-BI-BK-VL-N-I-BO-Y-K-D-BM-BJ-BF
Kapal 13	AN-S-I-BO-AH-BH-AQ-A-BE-AE-AW-B-BA-AJ-AY
Kapal 14	A-BE-AE-AW-B-BA-AJ-AY-M-L-F-G-BC-BG-AP-AI-J-Z
Kapal 15	G-U-Q-AC-Z-J-AI-AP-BG-H-BD-X-O-AU
Kapal 16	H-BG-AP-AI-J-Z-AC-Q-M-AY-AJ-BA-B-AW-AE
Kapal 17	E-AX-C-AS-AV-N-BL-BI-BK-AA-A-BE-AG-V-BF-BJ-BM
Kapal 18	AN-S-M-BM-BJ-BF-V-AG-BE-A-AQ-BH-AH-BO-I
Kapal 19	AQ-BH-AH-BO-I-AA-BK-BI-BL-N-AV-AS-C-AX-E-AD
Kapal 20	BL-N-I-BO-AH-BH-AQ-A-BE-AG-V-W-D-BJ-BM-BF
Kapal 21	BA-AJ-AY-M-L-F-G-BC-BG-AP-AI-J-AN-S
Kapal 22	R-BI-BK-BL-AX-C-AS-AV-N-AF-P-BB-AT
Kapal 23	AM-AK-AR-AE-AW-AL-B-BA-AJ-AY-M-L-W-D

Dari hasil verifikasi pada tabel 2, dapat dikatakan bahwa rute yang dihasilkan telah memenuhi syarat dari criteria *set covering*. Sehingga dikatakan layak karena telah memenuhi kondisi sebagai berikut:

- Rute mencakup paling sedikit satu pelabuhan bukan bakar.
- Kapal  $k$  yang tugaskan pada rute  $r$  harus memenuhi syarat bahwa ukuran draftnya harus lebih kecil dari kedalaman air dari semua pelabuhan yang tercakup dalam rute tersebut.
- Panjang waktu perjalanan dari kapal  $k$  untuk rute  $r$  harus lebih kecil atau sama dengan *commission day*.

Solusi dari algoritma genetik dapat memenuhi criteria *set covering* karena telah memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut:

- Tiap pelabuhan paling sedikit dilayani oleh satu kapal.
- Tiap rute hanya dilayani oleh satu kapal.
- Tiap kapal hanya melayani satu rute.

Pada tabel 3 ditampilkan perbandingan biaya operasional, waktu perjalanan dan jumlah pelabuhan yang dilayani antara rute existing dengan rute hasil penjadwalan melalui algoritma genetik.

**Tabel 3. Perbandingan antara rute existing dan rute baru.**

Kriteria	Rute Existing	Rute Baru
Biaya Operasional	Rp 42.578.290.677,00	Rp 40.227.310.432,00
Waktu Perjalanan	245,12 hari	309,48 hari
Jumlah pelabuhan yang dilayani	318	322

Berdasarkan tabel 3, terlihat dari segi biaya operasional yang lebih kecil dibandingkan dengan rute existing,

dikarenakan dalam pemilihan rute, unsur kedekatan antar pelabuhan mendapat bobot yang besar, biaya operasional bisa ditekan dengan sekecil mungkin. Dari waktu perjalan, rute baru menghasilkan waktu perjalanan lebih panjang dibandingkan dengan rute existing, ini berarti rute baru menghasilkan cara-rata waktu perjalanan lebih mendekati *commission day* yang telah ditetapkan, sehingga efektivitas dan efisiensi perjalan menjadi lebih baik bagi setiap rutenya. Jika dilihat dari jumlah pelabuhan yang dilayani dari 23 rute, maka rute baru memberikan hasil jumlah pelabuhan yang dilayani lebih banyak dibandingkan dengan rute existing.

## KESIMPULAN

Algoritma genetik merupakan salah satu metode *heuristic*. Pada penjadwalan transportasi kali ini algoritma genetik bisa memberikan hasil yang baik bahkan mendekati optimal, ini terlihat dari waktu tempuh yang dihasilkan untuk semua armada kapal laut menghasilkan waktu yang lebih lama dari rute yang sudah ada dengan selisih sekitar 4 hari. Selain itu waktu perjalanan yang dihasilkan lebih lama dengan selisih hingga 64 hari dengan biaya operasional yang bisa ditekan hingga Rp 2 milyar lebih. Waktu *commission day* yang dihasilkan rata-rata mencapai 13,46 hari, dan ini hampir 96% *commission day* telah tercapai dibandingkan rute existing yang hanya mencapai 76%. Semakin banyak iterasi yang dilakukan dalam algoritma genetik, maka akan menghasilkan rute yang jauh lebih baik. Ini dikarenakan semakin banyak rute yang mengalami perubahan proses genetika dengan tujuan rute baru harus lebih baik dari rute sebelumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bhagya, T. G. (2019). Model Sistem Pendukung Keputusan Transportasi Melalui Metode Saving Matrix Pada CV XYZ. *SisInfo*, 1(1), 59–68.
- Fatimah, S. (2019). *Pengantar Transportasi (Pertama)*. Myria Publisher.
- Garside, A. K., & Rahmasari, D. (2017). *Manajemen Logistik (Pertama)*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Hamamoto, A. H., Carvalho, L. F., Sampaio, L. D. H., Abrao, T., & Proenca, M. L. (2018). Network Anomaly Detection System using Genetic Algorithm and Fuzzy Logic. *Elsevier: "Expert Systems with Applications"*, 92(February), 390–402.
- Irfan, S., Razali, R., KuShaari, K., Mansor, N., Azeem, B., & Versypt, A. (2018). A review of mathematical modeling and simulation of controlled-release fertilizers. *Elsevier: Journal of Controlled Release*, 271(February), 45–54.
- Jinca, M. Y. (2011). *Transportasi Laut Indonesia: Analisis Sistem & Studi Kasus* (A. Wijaya (ed.); Pertama). Brilian Internasional.
- Lazar, A., Ballow, A., Jin, L., Spurlock, C. A., Sim, A., & Wu, K. (2019). Machine Learning for Prediction of Mid to Long Term Habitual Transportation Mode Use. *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 4520–4524.
- Permana, A. D., Nasution, V. M., & Prakarsa, G. (2020). Design and Development of Fuzzy Logic Application Tsukamoto Method in Predicting the Number of Covid-19 Positive Cases in West Java. *International Journal of Global Operations Research*, 1(2), 85–95.
- Ramadhani, F., Fathurrachman, F. A., Fitriawanti, R., Rongre, A. C., & Wijyaningrum, V. N. (2018). Sistem Informasi Perindustribusian. *Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, 5(2), 159.
- Setiawan, D., Putri, R. N., & Suryanita, R. (2019). Perbandingan Algoritma Genetika dan Backpropagation pada Aplikasi Prediksi Penyakit Autoimun. *Khazanah Informatika: Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 5(1), 21–27.
- Subramanian, A., Uchoa, E., & Ochi, L. S. (2018). A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems. *Computers and Operations Research*, 40(10).
- Taufiq, M. N., Dewi, C., & Mahmudy, W. F. (2017). Optimasi Komposisi Pakan Sapi Perah Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, 1(1), 571–582.
- Utama, D. M., Ardiansyah, L. R., & Garside, A. K. (2019). Penjadwalan Flow Shop untuk

**Tombak Gapura Bhagya.** Algoritma Genetik Pada Penjadwalan Transportasi Kapal Laut (Studi Kasus PT. Pelni).

- Meminimasi Total Tardiness Menggunakan Algoritma Cross Entropy–Algoritma Genetika. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 18(2), 133.
- Zhao, M., & Lu, Y. (2019). A heuristic approach for a real-world electric vehicle routing problem. *Algorithms*, 12(2).
- Życzkowski, M. (2018). Method of Routing Ships Sailing in Dedicated Environment. *Annual of Navigation*, 24(1), 147–158.
- Polewangi, Y.D (2016). Penerapan Sistem Antrian pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) 14.203.1165 PT.Kawasan Industri Medan II. *Journal of Industrial and Manufacturing Engineering* 2(2),65-70.