

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah penempatan penugasan kapal patroli PPLP yang meliputi deskripsi masalah, tahapan penelitian, model optimasi dan teknik penyelesaiannya dengan model *set covering* dan algoritma genetika dan contoh kasus beserta penyelesaiannya.

3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini membahas masalah penempatan penugasan kapal patroli PPLP, yaitu bagaimana menentukan kapal yang ingin ditugaskan pada titik rawan tertentu di antara sejumlah kapal dan menentukan lokasi optimal penempatan penugasan kapal. Penugasan kapal patroli PPLP ini disusun dengan memperhatikan kendala utama dan kendala tambahan. Kendala utama merupakan ketentuan yang tidak dapat dilanggar seperti perhitungan jarak antara titik rawan dan kemampuan teknis kapal. Adapun kendala tambahan merupakan batasan ketentuan yang dapat dilanggar seminimal mungkin seperti batas maksimal jumlah kapal di setiap titik rawan. Masalah penugasan kapal patroli PPLP diselesaikan dengan tujuan untuk meminimumkan biaya operasional kapal dan kapal tersebut dapat menjangkau seluruh titik rawan. Pada penelitian ini, masalah penugasan kapal akan dimodelkan menggunakan model *set covering* yang akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma genetika.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan cara mempelajari teori-teori yang terkait dengan penelitian dari buku dan jurnal baik nasional maupun internasional. Pada dasarnya, penelitian ini merupakan penerapan model *set covering* dan algoritma genetika dalam bidang transportasi, yaitu penempatan penugasan kapal patroli PPLP. Dengan demikian, untuk menjalankan penelitian ini,

beberapa konsep pembelajaran yang harus dipahami melibatkan gagasan-gagasan dalam bidang transportasi terkait penugasan kapal patroli PPLP, serta prinsip-prinsip matematika terkait model *set covering* dan algoritma genetika. Dalam bidang transportasi, aspek-aspek yang harus dipelajari mencakup aspek-aspek penugasan kapal patroli PPLP dan ciri-ciri penugasan kapal patroli PPLP. Di sisi lain, dalam ranah matematika, konsep-konsep yang perlu dikuasai melibatkan permasalahan dengan model *set covering* dan algoritma genetika.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berhubungan dengan penempatan penugasan kapal patroli PPLP di Perairan Banten

3. Pembangunan Model Optimasi

Pada tahapan ini akan dibangun model *set covering* dengan terlebih dahulu mendefinisikan asumsi-asumsi.

4. Penyelesaian Masalah

Pada tahapan ini akan dibangun model masalah penempatan penugasan kapal patroli PPLP akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma genetika.

5. Validasi

Pada tahapan ini akan dilakukan validasi model optimisasi dan penyelesaiannya menggunakan GA yang diimplementasikan pada bahasa pemrograman python. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan solusi optimal yang dihasilkan program dengan solusi optimal hasil perhitungan manual dari suatu kasus penempatan kapal berukuran kecil. Jika solusi optimal yang dihasilkan sama, maka model dan teknik penyelesaiannya akan diimplementasikan pada studi kasus. Jika solusinya tidak sama, maka tahapan akan diulangi dari pemodelan.

6. Implementasi

Model optimasi penempatan penugasan kapal di atas selanjutnya akan diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah penempatan penugasan kapal PPLP.

7. Penarikan Kesimpulan

Pada penarikan kesimpulan, dirangkum kembali hasil penelitian yang sudah dilakukan. Hasil penelitian tersebut meliputi kesesuaian hasil penelitian dengan rumusan masalah serta hasil implementasi berupa optimasi penempatan penugasan kapal yang dapat dibentuk dari data-data penelitian

3.3 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah spesifikasi kapal, biaya operasional kapal, jumlah titik rawan dan jarak antar titik rawan di Perairan Banten. Data-data tersebut diperoleh melalui bantuan pihak KPLP yang memiliki pemahaman mendalam terkait perkapalan. Perairan Banten memiliki banyak titik rawan yang perlu dijaga. Karena sampai saat ini belum ada penetapan pembagian titik rawan di perairan banten, maka penelitian ini diasumsikan terdapat 13 titik rawan, pembagian ini dimaksudkan untuk mempermudah operasional kapal.

3.4 Model Optimasi

Terdapat n buah kapal yang akan ditempatkan di m buah titik rawan. Titik rawan merupakan lokasi atau koordinat titik di mana sering terjadi tindakan pelanggaran di laut. Setiap kapal mempunyai jarak jelajah (R_j) dan jarak jangkauan deteksi radar (D). Jarak jangkauan maksimum kapal dihitung berdasarkan jarak jelajah dan jarak jangkauan deteksi radar (D).

Jarak jangkauan maksimum kapal adalah kemampuan kapal bergerak dari titik A ke titik B ditambah dengan jarak jangkauan deteksi radar (D) dikalikan dengan koefisien probabilitas deteksi radar, yaitu $P = 0.9$. Jarak ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$R_m = R_j + (D \times 0.9) \quad (3.1)$$

Satuan yang digunakan oleh jarak jelajah, jarak deteksi radar dan jarak maksimum kapal adalah *Nautical Mile* (NM). *Nautical Mile* adalah suatu satuan panjang yang digunakan di seluruh dunia untuk keperluan kelautan seperti menghitung jarak dalam pelayaran.

Model optimisasi dari masalah penempatan penugasan kapal patroli PPLP di wilayah perairan Banten dibangun dengan menggunakan asumsi-asumsi berikut:

- a. Wilayah Operasi Keamanan Laut hanya di wilayah perairan Banten;
- b. Seluruh unsur kapal Patroli PPLP diasumsikan siap operasi;
- c. Operasi Keamanan Pantai dan Laut dilaksanakan dengan kondisi Negara dalam keadaan damai;
- d. Keadaan cuaca di Pantai dan Laut kondisi tenang.
- e. Kapal tersedia dalam jumlah yang cukup.

Tahapan pertama pemodelan adalah mendefinisikan himpunan dan parameter yang akan dipergunakan dalam model optimasi. Pendefinisian himpunan dan parameter-parameter pada model penugasan kapal PPLP tercantum pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Himpunan dan Parameter Pada Model.

Himpunan dan Parameter	Keterangan
J	Himpunan titik rawan
d_{ij}	Jarak jangkauan titik rawan i ke titik rawan j
Rm	Jarak jangkauan maksimum kapal

Variabel-variabel keputusan pada model penugasan kapal patroli PPLP didefinisikan untuk menentukan lokasi di mana kapal akan ditempatkan. Oleh karena itu, variabel keputusan model tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{jika ada kapal ditugaskan ke titik rawan } j. \\ 0, & \text{yang lainnya.} \end{cases}$$

Adapun kendala-kendala dari model optimisasi adalah sebagai berikut:

1. Jarak jangkauan total titik rawan ke- i ke titik rawan ke- j tidak melebihi kemampuan jarak jangkauan maksimum kapal

$$d_{ij} \cdot x_j \leq Rm \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3.2)$$

2. Titik rawan ke- j dapat dicover oleh sekurangnya satu unit kapal yang bergerak dari titik rawan ke- i

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1 \quad (3.3)$$

Batasan variabel menyatakan bahwa variabel keputusan merupakan anggota bilangan biner. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

Fungsi tujuan dari model optimasi didefinisikan untuk meminimumkan total biaya operasi kapal. Fungsi tujuan ini dituliskan sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$Z = \sum_{j \in J} x_j \quad (3.5)$$

Selengkapnya, model *set covering* masalah penempatan penugasan kapal adalah sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$Z = \sum_{j \in J} x_j$$

Terhadap:

$$d_{ij} \cdot x_j \leq Rm \quad \forall i \in I, j \in J$$

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

Pada sub bab selanjutnya akan dibahas penyelesaian model dengan menggunakan algoritma genetika.

3.5 Teknik Penyelesaian

Permasalahan SCP termasuk dalam kategori *NP-hard problem*, yang artinya solusi *feasible* yang dihasilkan akan semakin banyak seiring dengan bertambahnya variabel. Akibatnya, akan membutuhkan waktu yang lama jika menggunakan solusi eksak. Oleh karena itu, diperlukan metode pendekatan untuk menyelesaikan masalah SCP secara efisien. Dalam penelitian ini, metode pendekatan yang digunakan adalah algoritma genetika.

Terdapat dua tahapan untuk menyelesaikan masalah penugasan kapal. Tahapan pertama adalah menentukan jangkauan maksimum kapal. Jangkauan maksimum tersebut digunakan untuk menentukan titik/daerah rawan mana saja yang dapat dijangkau oleh kapal. Tahapan kedua adalah melakukan optimisasi

penugasan kapal untuk menempatkan kapal pada daerah rawan sedemikian sehingga seluruh daerah rawan terjangkau dan banyaknya kapal yang ditugaskan sesedikit mungkin. Optimisasi akan dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma genetika.

Untuk menentukan titik/daerah rawan mana saja yang dapat dijangkau oleh kapal dilakukan langkah berikut:

1. Hitung jarak maksimum kapal (R_m) dengan menggunakan Persamaan (3.1)
2. Tentukan jangkauan tiap titik rawan, yaitu titik rawan j sehingga $d_{ij} \cdot x_j \leq R_m$

Setelah dijalankan, maka akan diperoleh informasi terkait titik rawan apa saja yang dapat dijangkau oleh setiap kapal jika kapal tersebut ditempatkan pada suatu titik rawan.

Tahapan kedua digunakan untuk menempatkan kapal pada daerah rawan sedemikian sehingga seluruh daerah rawan terjangkau dan banyaknya kapal yang ditugaskan sesedikit mungkin. Metode yang akan digunakan adalah algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan cabang dari algoritma evolusi yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang terjadi pada makhluk hidup, dimana perkembangan generasi pada suatu populasi yang alami secara lama-kelamaan akan mengikuti seleksi alam yaitu dimana yang kuat yang akan bertahan. Teori evolusi tersebut pertama kali dikemukakan oleh Charles Darwin (Ruse, 1975).

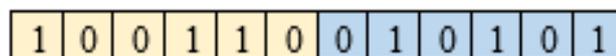
Pada algoritma genetika solusi dari permasalahan yang dihadapi dikodekan sebagai kromosom-kromosom. Tahap awal kromosom-kromosom tersebut dibangkitkan secara acak dalam sebuah populasi. Individu-individu dalam suatu populasi dianalogikan sebagai himpunan-himpunan solusi yang mungkin dalam suatu permasalahan optimisasi. Kemudian himpunan-himpunan solusi dievaluasi tingkat penyesuaian diri terhadap lingkungannya dengan nilai *fitness*. Nilai *fitness* ini berhubungan erat dengan fungsi tujuan dari permasalahan yang hendak diselesaikan. Semakin rendah nilai *fitness* maka himpunan solusi tersebut akan memiliki peluang yang besar untuk menuju solusi optimum. Himpunan yang mempunyai nilai *fitness* tinggi akan dihapus dan diganti dengan himpunan baru yang dibentuk berdasarkan informasi-informasi genetika dari himpunan sebelumnya yang memiliki nilai *fitness* paling rendah.

Individu yang memiliki pertahanan yang tinggi memberikan kesempatan untuk melakukan reproduksi melalui kawin silang dengan individu lain dalam populasi tersebut. Individu dalam populasi yang tidak terseleksi dalam reproduksi tidak akan digunakan kembali. Sedangkan individu baru yang dihasilkan dinamakan keturunan, dimana keturunan membawa beberapa sifat dari induknya. Dengan cara seperti ini, beberapa generasi dengan karakteristik yang bagus akan bermunculan dalam populasi untuk mengawinkan individu sebanyak mungkin, maka kemungkinan terbaik yang dapat diperoleh akan semakin banyak.

Dengan semua proses seleksi alam genetika, diharapkan gen-gen dari kedua kromosom/induk menghasilkan kromosom baru dengan nilai *fitness* yang lebih rendah dari generasi sebelumnya sebagai generasi baru. Setelah didapat beberapa generasi maka akan didapatkan kromosom terbaik yang merupakan solusi optimal. Pada penelitian ini, masalah penempatan penugasan kapal patroli akan diselesaikan menggunakan algoritma genetika yang terbagi menjadi tujuh tahap yaitu representasi kromosom, inialisasi parameter, pembentukan populasi awal, evaluasi nilai *fitness*, seleksi, *crossover*, dan mutasi.

1. Representasi Kromosom

Representasi kromosom merupakan proses pengkodean dari penyelesaian permasalahan. Dalam GA, calon solusi diwakili oleh kromosom. Sejumlah kromosom disebut populasi. Dalam hal ini, satu kromosom harus merupakan suatu penugasan kapal pada setiap titik/daerah rawan. Pada penelitian ini kromosom direpresentasikan dalam bentuk *binary encoding*. Kromosom dari *binary encoding* adalah kromosom yang dibentuk dari bilangan *biner* yakni 0 dan 1. Panjang kromosom (banyaknya gen) menyatakan banyaknya jenis kapal dikali banyaknya titik/daerah rawan.



Gambar 3.1 Representasi Kromosom

Gambar 3.1 adalah contoh representasi kromosom dari 2 jenis kapal yang akan ditempatkan pada 6 titik/daerah rawan dimana kromosom tiap jenis kapal dibedakan dengan warna. Kolom berwarna kuning merupakan kromosom jenis kapal pertama yang berarti kapal kelas pertama ditempatkan pada titik rawan ke 1, 4, dan 5 sedangkan kolom berwarna biru merupakan kromosom kapal jenis

kedua yang berarti kapal kelas kedua ditempatkan pada titik rawan ke 2, 4, dan 6.

2. Inisialisasi parameter

Parameter yang digunakan oleh algoritma genetika adalah sebagai berikut. Parameter P_{size} merupakan banyaknya individu dalam populasi awal yang akan bernilai sesuai jumlah titik rawan pada permasalahan. Selanjutnya probabilitas mutasi atau P_m merupakan probabilitas suatu gen dalam kromosom individu mengalami mutasi. Nilai dari P_m tidak boleh terlalu besar dan juga tidak boleh terlalu kecil karena akan mempengaruhi kecepatan algoritma genetika, sehingga diambil nilai P_m dalam range 0,01-0,3 merupakan *probabilitas mutation* yang baik. Selanjutnya, diperlukan nilai C_{max} untuk mencari nilai *fitness*. Nilai C_{max} tidak boleh kurang dari nilai fungsi tujuan.

3. Pembangkitan populasi awal

Populasi dalam GA umumnya terdiri dari beberapa individu, di mana individu tersebut dapat dikodekan sebagai kromosom. Pada penelitian ini, akan dibentuk populasi awal yang merupakan proses membangkitkan individu sebanyak P_{size} secara acak. Setiap individu yang ada dalam populasi awal akan diperiksa apakah sudah memenuhi semua kendala pemodelan atau tidak. Apabila terdapat individu yang tidak memenuhi salah satu kendala, maka individu tersebut akan dihapus dan akan dibangkitkan lagi individu baru. Setelah semua individu dalam populasi awal sudah memenuhi semua kendala pemodelan, maka proses GA dapat dilanjutkan ke proses berikutnya, yaitu evaluasi nilai *fitness*.

4. Evaluasi Nilai *Fitness*

Setelah dilakukan proses pembangkitan populasi awal, tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah mengevaluasi nilai *fitness*. Nilai *fitness* merupakan ukuran kinerja suatu individu agar tetap bertahan hidup yaitu mengukur kelayakan sebuah kromosom untuk dipelihara atau ditiadakan. Untuk mencapai solusi yang optimal nilai *fitness* dapat dijadikan sebagai acuan, di mana nilai *fitness* merupakan ukuran baik tidaknya suatu solusi yang dinyatakan sebagai satu individu pada permasalahan yang ada. Pada proses generasi berikutnya menggunakan individu dengan nilai *fitness* terbaik. Nilai *fitness* diperoleh dari

fungsi *fitness*. Pada penelitian ini, persamaan fungsi *fitness* yang digunakan menurut Zhu dkk dalam (Saputra, 2023) yaitu:

$$f = \begin{cases} C_{max} - f(x), & f(x) < C_{max} \\ 0, & \text{yang lain.} \end{cases} \quad (3.6)$$

di mana:

C_{max} = Nilai *input* untuk menentukan nilai *fitness*

$f(x)$ = Fungsi tujuan

5. Seleksi

Seleksi adalah proses memilih individu terbaik dari populasi untuk dimasukkan ke dalam generasi berikutnya. Tujuannya adalah untuk mempertahankan kualitas populasi dan meningkatkan performa genetik secara keseluruhan. Dalam seleksi, individu-individu yang memiliki kualitas genetik yang lebih baik (lebih cocok dengan lingkungan) akan memiliki kemungkinan lebih besar untuk dipilih dan bertahan hidup dalam populasi. Seleksi dilakukan berdasarkan pada nilai *fitness* individu. Individu yang memiliki nilai *fitness* tinggi akan memiliki peluang lebih besar terpilih daripada individu yang memiliki nilai *fitness* kecil. Pada penelitian ini, metode seleksi yang digunakan untuk memilih *parents* adalah *rank selection*. Metode ini digunakan karena peluang individu yang terpilih menjadi *parents* lebih merata.

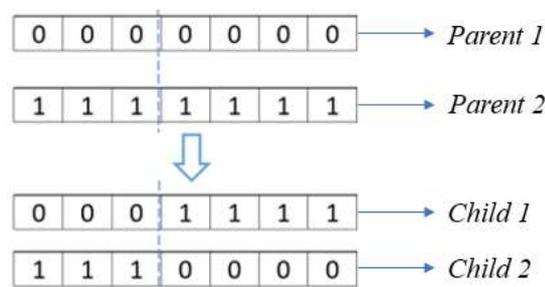
Langkah pertama, akan dilakukan perankingan untuk populasi dan setiap kromosom akan mendapat nilai *fitness* berdasarkan rankingnya pada populasi. Kromosom terburuk diberi nilai 1, kedua terburuk diberi nilai 2, dan seterusnya sampai kromosom terbaik diberi nilai N (jumlah total individu pada populasi). Setelah itu, semua kromosom mempunyai kesempatan untuk diseleksi. Selanjutnya melakukan proses seleksi, pilih sebanyak n kromosom dari N jumlah kromosom di mana n adalah bilangan positif yang lebih kecil dari N .

6. Kawin Silang (*Crossover*)

Crossover (kawin silang) adalah proses yang menggabungkan bagian-bagian dari dua kromosom induk (*parent*) untuk menciptakan dua kromosom baru (*offspring*). *Crossover* dapat meningkatkan variasi genetik di antara populasi dan membantu menghindari konvergensi prematur ke solusi yang kurang optimal. Pada umumnya, *crossover* dilakukan pada titik-titik yang

dipilih secara acak pada kedua kromosom induk, sehingga menghasilkan dua kromosom baru (*offspring*) dengan kombinasi informasi genetik dari kedua kromosom induk.

Pada penelitian ini akan menggunakan metode *single point crossover*. Kelebihan dari metode ini adalah tidak mengurangi kinerja dari algoritma karena tidak banyak jalur *crossover*. Selain itu, pemahaman mengenai metode ini mudah dipahami dan juga keturunan yang dihasilkan lebih baik dengan menggabungkan sifat kedua *parent*. Ilustrasi *single point crossover* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Single Point Crossover*.

Langkah-langkah *single point crossover* yaitu:

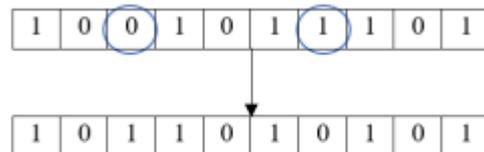
1. Sejajarkan kedua *parent* yang akan melakukan operator *crossover*.
2. Bangkitkan jalur *crossover* secara random dengan interval $[1, n]$, di mana n merupakan panjang string dari kromosom *parent*.
3. Tukarkan nilai gen *parent* yang berada pada kanan jalur *crossover*. Pertukaran ini akan menghasilkan 2 kromosom baru yang akan menjadi keturunan.

7. Mutasi

Setelah proses kawin silang maka proses selanjutnya adalah mutasi gen. Dalam proses mutasi terdapat istilah *probabilitas mutation* yang merupakan presentase dari jumlah total gen pada suatu populasi yang mengalami mutasi. Jika probabilitas mutasi terlalu kecil, maka semakin kecil kemungkinan individu baru dengan karakteristik berbeda muncul yang menyebabkan banyak individu dengan gen baru yang mungkin merupakan solusi terbaik tetapi tidak masuk evaluasi. Tetapi apabila *probabilitas mutation* terlalu besar, maka akan

terlalu banyak terjadinya mutasi yang menyebabkan keturunan yang termutasi kehilangan kemiripan dengan induk.

Pada penelitian ini, metode *bit flipping* akan digunakan untuk melakukan proses mutasi. Mutasi *bit flipping* adalah suatu proses di mana salah satu *bit* pada kromosom yang diacak diubah nilainya dari 0 menjadi 1 atau sebaliknya secara acak. Ilustrasi mutasi *bit flipping* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Metode Mutasi *Bit Flipping*.

Langkah-langkah *bit flipping mutation* adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai dari *probabilitas mutation*.
2. Bangkitkan nilai *random* dengan interval $[0, 1]$ pada setiap gen. Apabila nilai dari nilai *random* $<$ *probabilitas mutation*, maka gen tersebut akan mengalami mutasi.
3. Nilai gen yang terpilih secara random akan diubah. Gen yang bernilai 1 akan berubah menjadi 0, begitu juga sebaliknya.
4. Setelah nilai gen yang terpilih diubah, maka akan menghasilkan keturunan dengan kromosom baru yang nantinya akan dievaluasi nilai *fitness*nya.

8. Kriteria Pemberhentian Algoritma Genetika

Algoritma genetika akan terus berjalan dari generasi ke generasi lain memilih dan mereproduksi parent sampai kriteria penghentian terpenuhi. Algoritma genetika akan berhenti jika sudah memenuhi kriteria konvergensi yaitu sudah mencapai jumlah generasi maksimal, melebihi batas waktu yang ditentukan, dan tidak ada perubahan pada nilai *fitness* selama beberapa generasi. Pada penelitian ini, kriteria pemberhentian yang akan digunakan adalah metode *mean error*. Metode ini merupakan metode kriteria pemberhentian dengan memanfaatkan selisih rata-rata antara dua generasi di mana selisih rata-rata dua generasi ini harus kurang dari suatu nilai ϵ yang cukup kecil. Dalam skripsi ini, diambil nilai ϵ adalah 1×10^{-7} dan nilai *mean error* harus sama minimal 10 generasi.

3.6 Contoh Kasus

Berikut ini diberikan contoh masalah penempatan kapal dan penyelesaiannya menggunakan GA. Misalkan suatu daerah perairan yang memiliki 6 titik rawan. Dinas Perhubungan Laut berencana untuk menempatkan kapal untuk menjaga titik rawan. Adapun data spesifikasi kapal diberikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Kapal

Jenis Kapal	Ukuran (meter)	Kecepatan (V, Knots)	Jarak radar (D, NM)	Jarak Jelajah (Rj, NM)
Kelas I	71.33 × 10 × 3	24	50	3000
Kelas II	44 × 7.8 × 4.2	16	50	1500

Akan ditentukan dimanakah kapal harus ditempatkan supaya banyaknya kapal yang harus ditempatkan seminimum mungkin sehingga biaya APBN bisa dihemat untuk dialokasikan pada bidang lain. Jarak yang dibutuhkan dari titik rawan ke titik rawan yang lain diberikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jarak Antar Titik Rawan

Titik Rawan ke	1	2	3	4	5	6
1	0	1200	3100	4000	1700	4100
2	1200	0	1350	3250	3750	4200
3	3100	1350	0	1400	3300	3500
4	4000	3250	1400	0	3650	3400
5	1700	3750	3300	3650	0	2400
6	4100	4200	3500	3400	2400	0

Data-data pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 serta hasil dari pengembangan model optimasi *set covering* digunakan sebagai data masukan untuk diolah dengan menggunakan algoritma genetika. Data keluaran merupakan solusi optimum dalam penentuan alokasi titik rawan penempatan kapal patroli. Pemecahan permasalahan diselesaikan dengan menggunakan 2 jenis kapal yaitu:

- a. Kapal Kelas I, menggunakan jarak jangkauan maksimum kapal sejauh 3.045 NM.
- b. Kapal Kelas II, menggunakan jarak jangkauan maksimum kapal sejauh 1.545 NM.

Jarak tempuh antar titik rawan berbeda-beda sesuai dengan Tabel 3.3. Akibatnya, perencanaan penempatan kapal harus memikirkan lokasi yang tepat supaya dapat memenuhi permintaan semua wilayah dengan jarak tempuh yang berbeda. Dengan melihat jangkauan maksimum kapal, maka diperoleh jangkauan kapal pada setiap titik rawan seperti pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Titik rawan yang dapat dijangkau oleh Kapal Kelas I

Titik rawan ke	Titik rawan yang dapat dijangkau
1	1,2,5
2	1,2,3
3	2,3,4
4	3,4
5	1,5,6
6	5,6

Tabel 3.5 Titik rawan yang dapat dijangkau oleh Kapal Kelas II,

Titik rawan ke	Titik rawan yang dapat dijangkau
1	1,2
2	1,2,3
3	2,3
4	4
5	5,6
6	5,6

Kendala masalah penempatan kapal di atas, dapat dimodelkan sebagai kendala model optimisasi berikut:

A. Kapal kelas I

$$x_1 + x_2 + x_5 \geq 1$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 1$$

$$\begin{aligned}
 x_2 + x_3 + x_4 &\geq 1 \\
 x_3 + x_4 &\geq 1 \\
 x_1 + x_5 + x_6 &\geq 1 \\
 x_5 + x_6 &\geq 1 \\
 x_j &= \{0,1\} \quad j = 1,2, \dots,6
 \end{aligned}$$

B. Kapal kelas II

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 &\geq 1 \\
 x_1 + x_2 + x_3 &\geq 1 \\
 x_2 + x_3 &\geq 1 \\
 x_4 &\geq 1 \\
 x_5 + x_6 &\geq 1 \\
 x_5 + x_6 &\geq 1 \\
 x_j &= \{0,1\} \quad j = 1,2, \dots,6
 \end{aligned}$$

Berikut adalah langkah-langkah penyelesaian permasalahan di atas:

1. Inisialisasi parameter

Misalkan diambil parameter awal sebagai berikut:

Parameter	Nilai
P_{size}	6
P_m	0,1
C_{max}	18

Parameter P_{size} merupakan banyaknya individu dalam populasi awal yang akan bernilai 6 sesuai jumlah titik rawan pada permasalahan. Selanjutnya, probabilitas mutasi atau P_m merupakan probabilitas suatu gen dalam kromosom individu mengalami mutasi. Nilai dari P_m tidak boleh terlalu besar dan juga tidak boleh terlalu kecil karena akan mempengaruhi kecepatan algoritma genetika, sehingga diambil nilai P_m sebesar 0,1. Selanjutnya, diperlukan nilai C_{max} untuk mencari nilai *fitness*. Nilai C_{max} tidak boleh kurang dari nilai fungsi tujuan, sehingga diambil nilai C_{max} sebesar 18.

2. Representasi kromosom

Langkah pertama adalah membangkitkan kromosom awal yang memenuhi kendala secara acak. Kromosom awal tersebut tercantum pada Gambar 3.4.

1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Gambar 3.4 Representasi Kromosom

Selanjutnya, dari kromosom tersebut, dibangkitkan individu/kromosom sebanyak P_{size} secara acak membentuk populasi awal yang tertera pada Tabel 3.6, yaitu:

Tabel 3.6 Populasi Awal

Individu	Kromosom						Kromosom					
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1

Setiap individu akan dievaluasi apakah sudah memenuhi kendala atau tidak. Jika tidak, akan dibangkitkan individu baru. Proses ini berulang hingga diperoleh semua individu dalam populasi memenuhi kendala permasalahan.

3. Evaluasi nilai *fitness*

Setelah semua individu dalam populasi awal memenuhi kendala permasalahan, akan dicari nilai *fitness* setiap individu. Dengan menetapkan nilai $C_{max} = 18$, maka diperoleh nilai *fitness* setiap individu tertera pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Evaluasi Nilai *Fitness* Populasi Awal

Individu	Kromosom						Kromosom						<i>Fitness</i>
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9

4. Seleksi

Langkah selanjutnya akan dilakukan proses seleksi. Proses seleksi akan menggunakan metode *rank selection*. Pertama, dilakukan perankingan

individu sesuai nilai *fitness*, kromosom terkecil akan mendapatkan nilai 1, dan kromosom terbaik akan memperoleh nilai jumlah total individu pada populasi dimana dalam algoritma ini jumlah populasi adalah 6. Ranking individu dalam populasi tertera pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Ranking Individu

Individu	Kromosom						Kromosom						<i>Fitness</i>	Ranking
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9	3
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10	4
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10	5
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12	6
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8	1
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9	2

Langkah selanjutnya adalah memberikan nilai persentase pada setiap individu dengan menggunakan rumus $\frac{\text{Ranking Individu}}{\sum P_{\text{size}}}$, sehingga peroleh persentase pada setiap individu untuk proses *roulette wheel* tertera pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Presentase Individu

Individu	Kromosom						Kromosom						<i>Fitness</i>	Ranking	Persentase
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8	1	4.761905
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9	2	9.52381
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9	3	14.28571
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10	4	19.04762
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10	5	23.80952
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12	6	28.57143
Jumlah:												21			

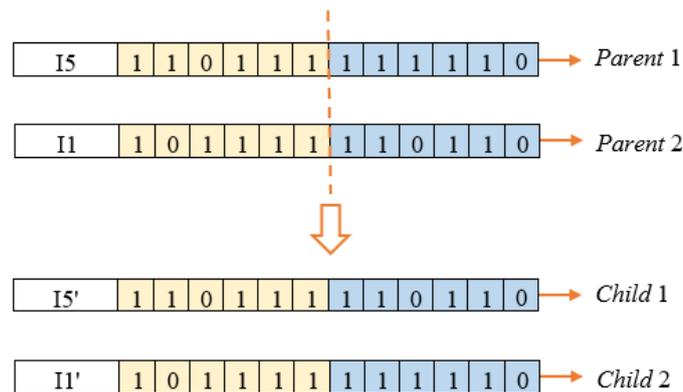
Selanjutnya, Metode *roulette wheel* dijalankan. Misalkan terpilih individu I5 dan I1 untuk melakukan *crossover* seperti pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Individu Hasil Seleksi

Individu	Kromosom						Kromosom						<i>Fitness</i>
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9

5. Crossover atau Persilangan

Proses selanjutnya adalah persilangan/*crossover* dengan yaitu kromosom individu hasil seleksi akan disilangkan sesuai jalur *crossover* yang diperoleh secara random. Untuk masalah penugasan kapal ini menggunakan metode *single point crossover*. Dengan menggunakan metode ini satu titik persilangan dipilih. Misalkan terpilih individu I5 dan I1 untuk melakukan *crossover*, dipilih satu titik persilangan dengan dibangkitkan sebuah bilangan acak 1-12. Bilangan acak yang terpilih yaitu 6, maka titik persilangan pada gen ke-6. Selanjutnya menempatkan gen-gen sebelum titik potong tersebut kedalam ruang gen anak, kemudian mengisi ruang kosong gen anak dengan gen induk kedua yang belum ada dalam ruang gen anak yang sudah terisi. Maka hasil dari persilangan/*crossover* diilustrasikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Single Point Crossover*

Diperoleh keturunan dari proses persilangan yang tertera pada Tabel 3.11.

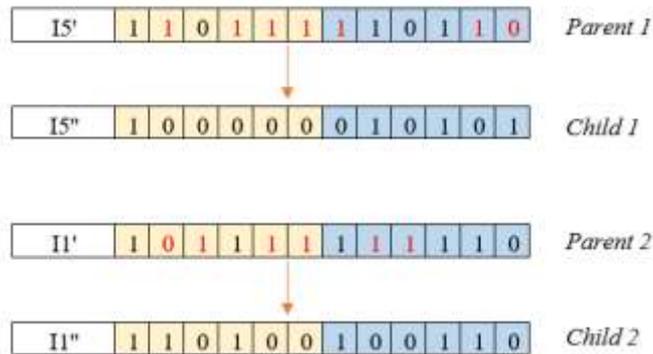
Tabel 3.11 Individu Hasil Persilangan/*Crossover*

Individu	Kromosom						Kromosom						Fitness
I5'	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9
I1'	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8

6. Mutasi

Proses selanjutnya dilakukan proses mutasi dengan menggunakan metode *bit flipping* pada anak yang diperoleh. Pertama-tama dibangkitkan bilangan acak C_m dengan interval 0 sampai 1 untuk setiap gen. Apabila nilai dari bilangan acak $C_m \leq P_m$, dengan P_m merupakan probabilitas mutasi yang

bernilai 0,1, maka gen tersebut akan mengalami mutasi. Nilai gen yang mengalami mutasi akan berubah, gen yang bernilai 1 akan berubah menjadi 0, begitu juga sebaliknya. Misalkan individu I5' dan I1' bermutasi, maka hasil dari mutasi diilustrasikan pada Gambar 3.6. Keturunan hasil mutasi tertera pada Tabel 3.12.



Gambar 3.6 Mutasi *Bit Flipping*

Tabel 3.12 Individu Hasil Mutasi

Individu	Kromosom						Kromosom					Fitness	
I5''	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	14
I1''	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	12

7. Evaluasi Keturunan

Hasil proses persilangan dan proses mutasi disebut keturunan yang akan dievaluasi nilai *fitness* serta akan dimasukkan ke dalam populasi sebelumnya dan diperoleh hasil pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Gabungan Populasi Awal dan Keturunan

Individu	Kromosom						Kromosom					Fitness	
I1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12
I5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	8
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9
I5''	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	14
I1''	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	12

Selanjutnya, akan dipilih individu terbaik sebanyak P_{size} berdasarkan nilai *fitness* dari hasil gabungan keturunan dan populasi. Diperoleh evaluasi keturunan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Populasi Hasil Evaluasi

Individu	Kromosom						Kromosom						Fitness
I5"	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	14
I1"	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	12
I4	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12
I2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10
I3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9

Selanjutnya, kolom individu pada Tabel 3.14 akan ditulis ulang dari I1 sampai I6. Hal ini digunakan supaya hasil dari setiap generasi lebih rapi dan mudah dipahami. Diperoleh generasi pertama pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Populasi Generasi Pertama

Individu	Kromosom						Kromosom						Fitness
I1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	14
I2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	12
I3	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	12
I4	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10
I5	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	10
I6	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	9

Langkah 1 sampai Langkah 7 adalah tahapan dalam 1 generasi. Langkah tersebut akan diulang sebanyak maksimum generasi yang diambil. Selanjutnya akan dipilih kromosom dengan nilai *fitness* terbesar yang memenuhi kendala pada suatu generasi sebagai solusi optimal. Misalkan diperoleh kromosom terbaik seperti pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Generasi Terbaik

Individu	Kromosom						Kromosom						Fitness
I1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16

Maka diperoleh penugasan sebagai berikut:

- Kapal 1 “tidak” ditempatkan di titik rawan 1
- Kapal 1 “tidak” ditempatkan di titik rawan 2

- Kapal 1 ditempatkan di titik rawan 3
- Kapal 1 “tidak” ditempatkan di titik rawan 4
- Kapal 1 ditempatkan di titik rawan 5
- Kapal 1 “tidak” ditempatkan di titik rawan 6
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 1
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 2
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 3
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 4
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 5
- Kapal 2 “tidak” ditempatkan di titik rawan 6

Jadi, 2 Kapal Kelas 1 ditempatkan di 2 titik rawan, yaitu Titik Rawan 3 dan 5.