

IMPLEMENTASI *BINARY GENETIC ALGORITHM* (BGA) UNTUK OPTIMASI PENUGASAN KAPAL PATROLI TNI - AL DALAM RANGKA KEAMANAN WILAYAH LAUT INDONESIA

Pudji Santoso¹, Ketut Buda Artana², AA Masroeri², AAB Dinariyana², M.Isa Irawan³

¹Program Diploma Pelayaran Universitas Hangtuah Surabaya

²Laboratorium Keandalan dan Keselamatan, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS

³Laboratorium Komputasi, Jurusan Matematika, FMIPA - ITS

Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolio, Surabaya

*Email: pudji2013@gmail.com

Abstrak

Paper ini membahas tentang konsep pengambilan keputusan pada model sistem keamanan wilayah laut untuk mengatasi kasus pelanggaran di wilayah Amada Timur (ARMATIM) oleh kapal negara asing. Pelanggaran yang sering terjadi adalah illegal fishing, illegal logging dan pelanggaran wilayah perbatasan. Dalam rangka mencari strategi keputusan untuk meminimalisasi pelanggaran yang terjadi di wilayah ARMATIM maka penelitian ini akan melakukan simulasi penugasan kapal patroli dengan metode optimasi Binary Genetic Algorithm (BGA). Model optimasi BGA digunakan untuk memilih kombinasi kapal patroli yang optimal di masing-masing zona Armatim dengan tiga skenario yaitu lima zona, tujuh zona dan sembilan zona. Pembagian ini di maksudkan untuk mendapatkan fleet mix kapal yang terbaik di tiap-tiap zona dengan biaya operasi yang minimum serta coverage area yang maksimum. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah probabilitas crossover ($P_c < 75\%$) dan probabilitas mutasi ($P_m = 0,1$) yang dilakukan terhadap 10 -100 populasi, 500 - 1000 generasi. Hasil simulasi dari 3 zona didapatkan hasil untuk 5 (lima) zona didapatkan fleet mix $\{Z_1=5; Z_2=5; Z_3=6; Z_4=6; Z_5=6\}$, untuk 7 (tujuh) zona didapatkan fleet mix $\{Z_1=4; Z_2=4; Z_3=4; Z_4=4; Z_5=4; Z_6=4; Z_7=3\}$, untuk 9 (sembilan) zona didapatkan fleet mix $\{Z_1=2; Z_2=3; Z_3=3; Z_4=3; Z_5=3; Z_6=3; Z_7=2; Z_8=3; Z_9=3\}$, berdasarkan perbandingan capaian coverage area dan operational cost antara 5 zona, 7 zona dan 9 zona didapatkan hasil yang paling optimal di 9 zona dengan hasil Coverage area=1.732.670 Mil² dan Operational Cost= Rp. 4.347.717.100

Kata kunci: BGA(Optimasi), Fleet Mix, Zona, Pengambilan keputusan

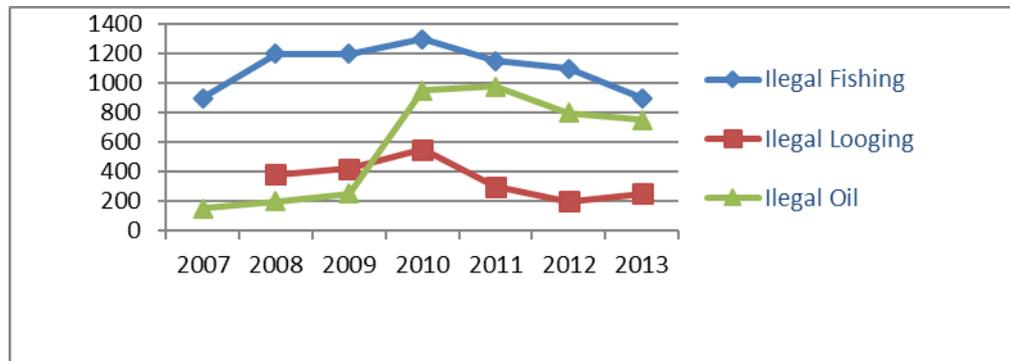
1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai Negara kepulauan dengan 2/3 wilayah laut dan memiliki tiga alur laut kepulauan (ALKI) yang bebas digunakan sebagai jalur transportasi oleh Negara lain baik untuk kepentingan perdagangan maupun kepentingan militer, sehingga konsekuensinya Indonesia harus dapat mengendalikan dan mengamankan seluruh wilayah lautan yang dimilikinya sesuai dengan ketentuan dalam *United Nations Convention On The Law Of The Sea (UNCLOS Th 1982)*, dengan wilayah laut sedemikian luas menyebabkan sering terjadi kasus pelanggaran, berupa *illegal fishing*, *illegal logging* dan pelanggaran wilayah teritorial Indonesia, hal ini menunjukkan bahwa belum sepenuhnya wilayah laut Indonesia terawasi dengan baik oleh kapal patroli TNI AL, hal ini disebabkan karena keterbatasan jumlah kapal patroli dan anggaran yang disediakan oleh Negara. Maka perlu adanya pemikiran tentang optimalisasi penugasan kapal patroli di sektor-sektor operasi untuk keamanan wilayah Armada Timur.

Pebagian zona identik dengan pembagian pangkalan TNI AL yang merupakan tempat pengembangan kekuatan ke daerah operasi atau "*deployment forces position*" yang memiliki arti penting dalam menunjang tugas operasi TNI AL. Dalam penelitian ini direncanakan pembagian zona penugasan kapal patroli Armada Timur dalam tiga alternatif penyebaran pangkalan yaitu 5 (lima) zona, 7 (tujuh) zona dan 9 (sembilan) zona. Untuk mendukung pemikiran tersebut diatas disampaikan data pelanggaran yang terjadi di laut yurisdiksi Nasional Indonesia Timur, dapat ditunjukkan seperti pada gambar 1. (Sumber SOPS Armatim 2013)

Hasil riset komisi stok ikan Nasional kerugian Negara akibat *illegal fishing* diperkirakan 2 miliar dollar AS per tahun dan aktivitas *illegal logging* mengakibatkan kerugian Negara sebesar

Rp. 30 triliun per tahun. Paper ini akan mencari solusi pemecahan masalah penugasan dan penempatan kapal patroli di sektor operasi Armatim dengan konsep manajemen gelar operasi keamanan laut, dengan keterbatasan kapal patroli maka perlu ada langkah-langkah optimalisasi jumlah zona dan *fleet mix* kapal yang bekerja di masing-masing zona tersebut.



Gambar 1. Data Pelanggaran yang berhasil ditangkap Tahun 2007 – 2013
(Sumber SOPS Armatim 2013)

Metoda optimasi *Binary Genetic Algorithm* adalah algoritma pencarian heuristik yang didasarkan pada mekanisme evolusi makhluk hidup dengan menggunakan bilangan biner. Algoritma genetika diperkenalkan pertama kali oleh John H. Holland dalam bukunya "*Adaptation in Natural and Artificial System*" pada tahun 1978, yang mempresentasikan algoritma genetika dengan teori evolusi dalam biologi, khususnya teori evolusi Darwin. Prinsip evolusi tersebut adalah sebagai berikut : suatu persoalan ditentukan terlebih dahulu kandidat pemecahannya, masing-masing kandidat disebut sebagai individu.

Individu tersebut memiliki kromosom, yaitu sekumpulan gen. Gen itu adalah komponen pemecahan dari persoalan tersebut. Sekumpulan individu itu dikenal sebagai populasi. Masing-masing individu kemudian dihitung 'daya tarik'-nya, yang dikenal sebagai nilai kebugaran (*fitness value*). Berdasarkan nilai-nilai tersebut maka akan terjadi saling tarik-menarik antar individu (dengan proses tertentu, misalnya teknik *roulette wheel* untuk memilih pasangan yang akan kawin) sehingga terjadilah proses perkawinan. Dalam perkawinan tersebut akan terjadi proses pertukaran *gen* antar individu yang kawin itu. Ada dua operator utama dalam proses tersebut, yaitu perkawinan silang (*crossover*) dan mutasi. Dari proses perkawinan tersebut dihasilkan keturunan (*spring*). Anak-anak tersebut kemudian dikawinkan dengan langkah yang sama seperti diatas, maka akan dapat dihasilkan individu yang cukup baik. Apabila sebaliknya, maka akan dihasilkan individu yang sebaliknya pula.

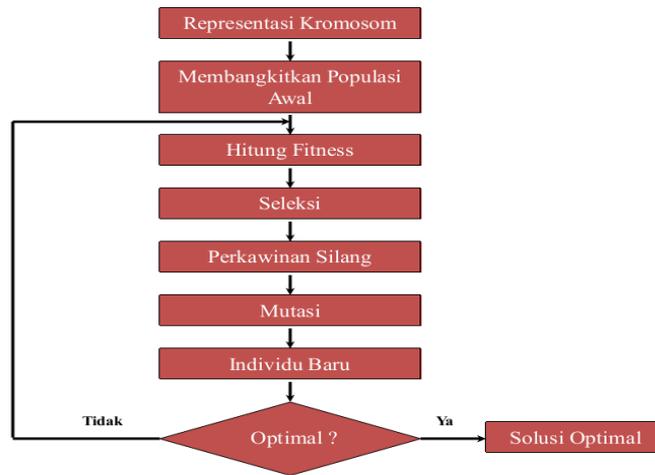
Hasil dari teknik *binary algoritma genetika* bukanlah *global optimum* (yaitu optimum untuk semua daerah pencarian) tetapi tidak mudah terperangkap pada *local optimum* (yaitu optimum untuk hanya daerah tertentu). Hasilnya adalah *acceptable optimum*, suatu hasil yang ke-optimumannya lumayan dan dapat diterima. Teknik ini baik untuk suatu persoalan yang rumit dan belum ada teknik optimasinya.

2. METODE PENELITIAN

Algoritma genetika adalah suatu algoritma pencarian (*searching*) berdasarkan cara kerja melalui mekanisme seleksi alam dan genetik. Tujuannya untuk menentukan struktur-struktur yang disebut individu berkualitas tinggi di dalam suatu domain yang disebut populasi untuk mendapatkan solusi suatu persoalan. *John Holland* mengembangkan algoritma genetik melalui prosedur iteratif untuk mengatur populasi individu yang merupakan calon solusi.

Algoritma genetika berbeda dengan algoritma pencarian konvensional karena dimulai dengan suatu himpunan awal yang disebut *populasi*. Tiap individu dalam populasi yang disebut kromosom adalah *string* dari symbol, umumnya satu bit *string* biner. Algoritma genetik menggunakan dua prinsip dasar system biologis, yaitu :

- Seleksi terhadap spesies yang ada (*evolusi*)
- Peningkatan keanekaragaman (*gen dengan operasi genetik*)



Gambar 2. Flowchart Algoritma Genetika

Elemen utama dari algoritma genetika adalah individu dan populasi. Individu merupakan sebuah kandidat solusi sedangkan populasi merupakan sekelompok individu atau beberapa calon solusi. Individu merupakan satu calon solusi, setiap individu berkelompok membentuk dua bentuk solusi yaitu kromosom adalah *string* dari simbol umumnya satu bit *string* biner, yang merupakan informasi dasar genetika (*genotype*) dan *Phenotype*, yang merupakan model dari sebuah kromosom.

Sebuah populasi terdiri dari sejumlah individu yang diuji dan ditentukan oleh parameter *phenotype* ditambah informasi lainnya yang ada dalam proses pencarian. Dua aspek penting populasi yang digunakan dalam algoritma genetika adalah generasi populasi awal dan ukuran populasi yang menggunakan kromosom dalam bentuk kode biner, masing-masing bit diinisialisasikan bernilai 1 atau 0 secara acak.

Gambar 3. Proses Binary Genetic Algorithms (BGA)

Gen adalah sebuah bit tunggal atau sebuah blok yang terdiri dari bit-bit yang berdampingan yang melambangkan elemen tertentu dari kandidat solusi. Sebuah kromosom merupakan rangkaian dari gen. Sebuah gen yang direpresentasikan secara biner dengan interval dari batas bawah ke batas atas. Jangkauan batas tersebut dapat dibagi menjadi sejumlah interval yang ditunjukkan oleh bit string dalam gen. Sebuah *bit string* yang memiliki panjang n dapat merepresentasikan nilai 0 hingga $(2^n - 1)$. Beberapa hal yang harus dilakukan dalam *Binary Genetic Algorithm* adalah:

2.1. Mendefinisikan Individu

Individu menyatakan salah satu solusi dari permasalahan pemilihan zona operasi di ARMATIM dan fleet mix kapal patroli dimasing-masing zona sesuai dengan spesifikasi kapal dan kondisi zona.

INDIVIDU							
V_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	.....	K_{27}
	Z_1	Z_3	Z_2	Z_4	Z_5	.....	Z_2

Keterangan:

- K_{1-27} = Kapal 1 sampai kapal 27
- Z_{1-5} = Zona 1 sampai zona 5
- V_i = Kromosom ke- i

Gambar 4. Pendefinisian Individu

Karena ada 27 Kapal, maka jumlah gen pada setiap individu adalah 27 gen yang membentuk 1 kromosom (V_i). Isi dari setiap gen adalah 4 bit, 4 bit mewakili posisi kapal di zona ke- n . Misalnya didapat pada kolom 1 pada baris 2 diatas adalah Z_5 (1001) berarti posisi kapal 1 di zona 5 dan seterusnya. Jika didapat nilai biner lebih dari 5 untuk alternatif 5 zona maka akan dimodulo dengan 6. Misal $Z_3(1011)$, nilai desimal dari 1011 adalah 13 modulo 6 = 1 sehingga kapal 1 di zona 3. Dari gambar 3 dapat dijelaskan bahwa pada tiap-tiap kromosom 4 bit pertama adalah posisi kapal 1 pada zona Z_n , 4 bit kedua (5,6,7,8) posisi kapal 2 pada zona Z_n , dan seterusnya sampai 4 bit ke-27 (105,106,107,108) posisi kapal 27 pada zona Z_n . Dimana $n = 1,2,3,\dots,5$ untuk 5 zona. Dan perlu disampaikan disini bahwa setiap kapal hanya akan menempati satu zona saja artinya tidak bisa pindah ke zona lain.

INDIVIDU							
V_i	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	.....	K_{27}
V_1	Z_1	Z_3	Z_2	Z_4	Z_5	.....	Z_2
V_2	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	.....	K_{27}
	Z_2	Z_3	Z_1	Z_5	Z_3	.....	Z_2
V_3	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	.....	K_{27}
	Z_4	Z_3	Z_2	Z_4	Z_3	.....	Z_1
.....	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
V_{20}	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	.....	K_{27}
	Z_3	Z_4	Z_3	Z_2	Z_1	.....	Z_2

Keterangan:

- K_{1-27} = Kapal 1 sampai kapal 27
- Z_{1-5} = Zona 1 sampai zona 5 (alternatif1)
- Z_{1-7} = Zona 1 sampai zona 7 (alternatif2)
- Z_{1-9} = Zona 1 sampai zona 9 (alternatif3)
- V_{1-20} = Kromosom 1 sampai kromosom 20

Gambar 5. Populasi (terdiri dari sekumpulan individu)

2.2. Mendefinisikan Nilai Fitness

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performasinya. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai *fitness* tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai *fitness* rendah akan mati. Pada masalah optimasi ini, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h (dikenal sebagai masalah maksimasi), maka nilai fitness yang digunakan adalah nilai dari fungsi h tersebut:

$$\text{Fitness} = h \quad (1)$$

Tetapi jika masalahnya adalah meminimalkan h (*masalah minimisasi*), maka fungsi h tidak bisa digunakan secara langsung. Hal ini disebabkan adanya aturan bahwa individu yang memiliki nilai fitness tinggi lebih mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya. Oleh karena itu nilai fitness yang digunakan sebagai berikut:

$$Fitness = 1 / h \quad (2)$$

Artinya, semakin kecil nilai h , semakin besar nilai *fitness*. Tetapi hal ini akan menjadi masalah jika h bernilai 0, akan mengakibatkan *fitness* bernilai tak hingga. Untuk itu h perlu ditambah sebuah bilangan yang dianggap sangat kecil sehingga nilai *fitness* menjadi:

$$Fitness = \frac{1}{(h+a)} \quad (3)$$

Dimana a adalah bilangan yang dianggap sangat kecil dan bervariasi sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan. Untuk masalah penempatan kapal patroli, ada dua nilai yang dioptimasi yaitu maksimum **coverage area** (C) dan minimum **biaya operasi** (B). Karena algoritma genetika menggunakan logika maksimum maka nilai *fitness* untuk **coverage area** didefinisikan sebagai berikut:

$$Fitness = C \quad (4)$$

Dan untuk biaya operasional sebagai berikut:

$$Fitness = \frac{1}{(B+a)} \quad (5)$$

2.3. Pembangkitan Populasi Awal

Membangkitkan populasi awal adalah proses membangkitkan sejumlah individu secara acak. Ukuran populasi tergantung pada masalah yang akan diselesaikan dan jenis operator yang akan digunakan. Setelah ukuran populasi ditentukan, kemudian dilakukan pembangkitan populasi awal. Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk menunjukkan suatu solusi harus benar-benar diperhatikan dalam pembangkitan setiap individu.

Teknik yang digunakan dalam membangkitkan populasi awal ini adalah *random-walk* dengan menggunakan beberapa parameter dibawah ini:

- [1]. Jumlah kapal yang ditugaskan dan data kapal yang siap.
- [2]. Jumlah zona yang akan digunakan dan data pangkalan yang ada didalam zona.
- [3]. Alternatif zona yang akan diuji adalah 5 zona, 7 zona dan 9 zona.
- [4]. Biaya yang disediakan oleh pemerintah maksimum 5 milyar untuk sekali operasi.
- [5]. Diviasi coverage area (D), $0 < D \leq 5\%$

Inti dari cara kerja *random-walk* ini adalah melibatkan bilangan random untuk nilai setiap gen sesuai dengan representasi kromosom yang digunakan.

$$IPOP = \text{round}\{\text{random}(N_{ipop}, N_{bits})\} \quad (6)$$

IPOP adalah gen yang nantinya berisi pembulatan dari bilangan random yang dibangkitkan sebanyak N_{ipop} (*jumlah populasi*) X N_{bits} (*jumlah gen dalam setiap kromosom*).

2.4. Proses Seleksi

Seleksi digunakan untuk memilih individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk proses kawin silang dan mutasi. Seleksi digunakan untuk mendapatkan calon individu terbaik, dengan asumsi induk yang baik akan menghasilkan keturunan yang baik pula. Semakin tinggi nilai *fitness* suatu individu maka akan semakin besar kemungkinan untuk terpilih.

Proses seleksi yang digunakan dalam sistem penugasan dan penempatan kapal patroli ini adalah:

- [1]. **Roulette Wheel**, untuk memilih individu berdasarkan pengaruh nilai *fitnessnya*. Individu dengan *fitness* yang tinggi berarti individu yang baik akan lebih mudah terpilih.
- [2]. **Rank**, proses ini digunakan untuk menjamin tidak munculnya super-individu yang akan merusak proses evolusi sehingga terjebak dalam *local-optima*. Proses ini menggunakan *fungsi exponensial negatif* dalam mengurutkan *fitness* pada sebuah populasi.
- [3]. **Elitism**, proses ini digunakan untuk menjamin *fitness* sebuah generasi selalu lebih baik atau sekurang-kurangnya sama dengan *fitness* generasi sebelumnya dengan cara mengganti individu terjelek dengan individu terbaik pada generasi sebelumnya.

2.5. Proses Perkawinan Silang (*crossover*)

Kawin silang (*cross-over*) adalah satu komponen yang sangat penting dalam algoritma genetika karena sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus bisa diperoleh dari proses pindah-silang dua buah kromosom. Metode *crossover* dalam penelitian ini menggunakan *random-swap crossover*, dengan menukar gen dari setiap pasang induk yang kemudian dicek kembali bila ada gen kembar maka diperbaiki.

Operasi ini tidak selalu dilakukan pada semua individu yang ada. Individu dipilih secara acak untuk dilakukan crossing dengan Probabilitas *crossover* (P_c), dengan syarat kromosom yang terpilih harus genap (2,4,6,8,10,12,14,16,18,20). Pasangan tersebut akan dikawin silang sementara titik potong dibangkitkan secara acak dari 1-108. *Crossover* (kawin silang) pada penelitian ini yang digunakan *One Point Crossover* (OPC), kromosom yang terpilih untuk *dicrossover* ditentukan dengan sebuah probabilitas (P_c) < 75% sehingga kromosom yang mempunyai probabilitas *crossover* $\geq 75\%$ tidak dikawin silangkan, pada penelitian ini nilai probabilitas *crossover* terbesar yang dapat dikawin silangkan adalah 0,70465 atau mendekati 70%. Sehingga semua kromosom yang mempunyai probabilitas *crossover* < 70% dikawin silangkan.

2.6. Proses Mutasi

Mutasi dilakukan setelah proses *crossover*. Mutasi memungkinkan memunculkan kromosom-kromosom baru yang bukan berasal dari hasil kawin silang. Mutasi mengacu pada perubahan urutan atau penggantian elemen dari vektor solusi, pemunculan nilai baru (optimasi fungsi). Elemen tersebut juga dipilih secara random. Parameter penting dalam mutasi adalah probabilitas mutasi (P_m). Probabilitas ini akan menentukan kromosom mana yang akan mengalami perubahan gen. Semakin besar nilai probabilitas mutasi, semakin banyak kromosom dalam populasi yang akan mengalami mutasi. Pada penelitian ini probabilitas mutasi (P_m) sebesar 5% maka akan ada sekitar 5% dari seluruh gen dalam kromosom yang akan mengalami mutasi. Sehingga maksimal ada 108 titik mutasi. Jumlah titik mutasi = 5% * 20 * 108. Titik yang terpilih adalah titik dimana nilai $P_m < 0.05$. Mutasi gen ini berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada seleksi. Titik yang terpilih akan diberi tanda – atau 0. Dimana “–“ berarti titik tersebut akan dimutasi dari 1 \rightarrow 0 sedangkan “o” berarti titik tersebut akan dimutasi dari 0 \rightarrow 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, tools software yang digunakan untuk membangun aplikasi *binary algoritma genetika* adalah Visual Basic 6.0 dengan memanfaatkan Microsoft Acces sebagai databasenya. Tujuan aplikasi ini bisa digunakan untuk mengoptimasi penempatan armada kapal patroli TNI AL diwilayah timur dengan membagi menjadi tiga alternatif zona yaitu 5 zona, 7 zona dan 9 zona. Parameter yang digunakan untuk simulasi *binary algoritma genetika* (BGA) sebagai berikut:

- Ukuran populasi (Pop_size) = 20;
- Peluang *crossover* (P_c) < 0.75;
- Peluang mutasi (P_m) = 0,1;

3.1. Optimasi dengan alternative 5 (lima) zona

Untuk optimasi penempatan kapal patroli TNI AL di ARMATIM dengan alternatif 5 (lima) zona, yaitu : Zona I = 326.980 Mil², Zona II = 326.721 Mil², Zona III = 343.718 Mil², Zona IV =

358.067 Mil², Zona V = 333.227 Mil². Berdasarkan data diatas, hasil optimasi penugasan dan penempatan kapal patroli di 5 sektor ARMATIM seperti gambar 6.

Keterangan:

- Zona I = K₂₅, K₁₃, K₁, K₂₁, K₂₄, K₁₀**
 Coverage Area (C_a) = 566.359 Mil²
 Cost (C_o) = 1.254.980.146. (Rp)
- Zona II = K₅, K₁₈, K₁₂, K₈, K₁₉, K₄**
 Coverage Area (C_a) = 514.402 Mil²
 Cost (C_o) = 1.459.298.452 (Rp)
- Zona III = K₃, K₁₄, K₁₅, K₁₆, K₇, K₁₁**
 Coverage Area (C_a) = 651.924 Mil²
 Cost (C_o) = 1.360.269.594 (Rp)
- Zona IV = K₁₇, K₂₂, K₂₀, K₀, K₂, K₂₆**
 Coverage Area (C_a) = 488.388 Mil²
 Cost (C_o) = 1.666.590.394 (Rp)
- Zona V = K₂, K₂₃, K₀, K₉, K₆, K₁**
 Coverage Area (C_a) = 732.358 Mil²
 Cost (C_o) = 1.504.050.714 (Rp)

Gambar 6. Hasil Optimasi di 5 Zona menggunakan metode BGA

3.2. Optimasi dengan alternative 7 (tujuh) zona

Untuk optimasi penempatan kapal patroli TNI AL di ARMATIM dengan alternatif 7 (lima) zona, yaitu : Zona I = 248.720 Mil², Zona II = 264.975 Mil², Zona III = 240.900 Mil², Zona IV = 200.070 Mil², Zona V = 232.215 Mil², Zona VI = 245.725 Mil², Zona VII = 256.160 Mil². Berdasarkan data diatas, hasil optimasi penugasan dan penempatan kapal patroli di 7 sektor ARMATIM seperti gambar 7.

Keterangan:

- Zona I = K₂₆, K₁₅, K₁, K₂₀**
 Coverage Area (C_a) = 384.437 Mil²
 Cost (C_o) = 772.003.740 (Rp)
- Zona II = K₆, K₂₃, K₂₂, K₈**
 Coverage Area (C_a) = 256.650 Mil²
 Cost (C_o) = 516.026.658 (Rp)
- Zona III = K₄, K₂₄, K₉, K₃**
 Coverage Area (C_a) = 301.027 Mil²
 Cost (C_o) = 632.693.075 (Rp)
- Zona IV = K₁₈, K₂, K₁₇, K₇**
 Coverage Area (C_a) = 243.397 Mil²
 Cost (C_o) = 863.530.962 (Rp)
- Zona V = K₃, K₁₃, K₁, K₁₁**
 Coverage Area (C_a) = 323.813 Mil²
 Cost (C_o) = 717.510.857 (Rp)

- Zona VI = K₁₄, K₁₆, K₁₀, K₅**
 Coverage Area (C_a) = 251.242 Mil²
 Cost (C_o) = 599.321.262 (Rp)
- Zona VII = K₁₉, K₂₁, K₂₅, K₁₂**
 Coverage Area (C_a) = 252.321 Mil²
 Cost (C_o) = 859.605.061 (Rp)

Gambar 7. Hasil Optimasi di 7 Zona menggunakan metode BGA

3.3. Optimasi dengan alternative 9 (sembilan) zona

Untuk optimasi penempatan kapal patroli TNI AL di ARMATIM dengan alternatif 9 (lima) zona, yaitu : Zona I = 183.093 Mil², Zona II = 173.059 Mil², Zona III = 264.975 Mil², Zona IV = 170.973 Mil², Zona V = 170.554 Mil², Zona VI = 185.794 Mil², Zona VII = 209.174 Mil², Zona VIII = 183.020 Mil², Zona IX = 147.434 Mil². Berdasarkan data diatas, hasil optimasi penugasan dan penempatan kapal patroli di 9 sektor ARMATIM seperti gambar 8.

SOLUSI KOMBINASI 9 SEKTOR								
Kode kapal								
25	5	3	17	2	13	18	14	22
23	1	12	15	20	9	21	8	16
0	9	24	19	7	2	6	10	4
Nama Kapal								
KRI TALUWANGSA	KRI MEMET SASITI	KRI SUTANTO	KRI LEMADANG	KRI LAMBUNG M	KRI KAKAP	KRI SULLUH PARI	KRI KERAPU	KRI KALAKAE
KRI TEDUNG NAG	KRI NUKU	KRI LAYANG	KRI TONGKOL	KRI HARAKAS	KRI UNTUNG SUR	KRI PANANA	KRI IMAM BONJOL	KRI TODAK
KRI UNTUNG SUR	KRI PANDRONG	KRI PATOLA	KRI KATON	KRI HASAN BASRI	KRI LAMBUNG M	KRI TAJPTADI	KRI SUPA	KRI WIRATNO
Simpan								

Gambar 8. Hasil Optimasi di 9 Zona

Zona V = K₂, K₂₀, K₇

Coverage Area (C_a) = 184.229 Mil²
Cost (C_o) = 475.152.012 (Rp)

Zona VI = K₁₃, K₁₁, K₂

Coverage Area (C_a) = 212.671 Mil²
Cost (C_o) = 569.912.947 (Rp)

Zona VII = K₁₈, K₂₁, K₆

Coverage Area (C_a) = 210.874 Mil²
Cost (C_o) = 456.257.963 (Rp)

Zona VIII = K₁₄, K₈, K₁₀

Coverage Area (C_a) = 206.112 Mil²
Cost (C_o) = 561.575.677 (Rp)

Zona IX = K₂₂, K₁₆, K₄

Coverage Area (C_a) = 186.477 Mil²
Cost (C_o) = 402.311.856 (Rp)

Keterangan:

Zona I = K₂₅, K₂₃, K₀

Coverage Area (C_a) = 171.093 Mil²
Cost (C_o) = 366.745.274 (Rp)

Zona II = K₅, K₁, K₉

Coverage Area (C_a) = 196.598 Mil²
Cost (C_o) = 685.295.137 (Rp)

Zona III = K₃, K₁₂, K₂₄

Coverage Area (C_a) = 175.760 Mil²
Cost (C_o) = 425.960.243 (Rp)

Zona IV = K₁₇, K₁₅, K₁₉

Coverage Area (C_a) = 188.856 Mil²
Cost (C_o) = 404.505.991 (Rp)

3.4. Analisa Efisiensi 3 alternatif zona (5-7-9)

Dari hasil percobaan 3 alternatif zona tersebut diatas, didapatkan beberapa keputusan sebagai berikut:

- Alternatif I untuk 5 zona didapatkan hasil:
 - Coverage Area = 2.996.425 Mil²
 - Operational Cost = Rp. 7.245.189.299
- Alternatif II untuk 7 zona didapatkan hasil:
 - Coverage Area = 2.025.550 Mil²
 - Operational Cost = Rp. 4.960.691.615
- Alternatif III untuk 9 zona didapatkan hasil:
 - Coverage Area = 1.732.670 Mil²
 - Operational Cost = Rp. 4.347.717.100

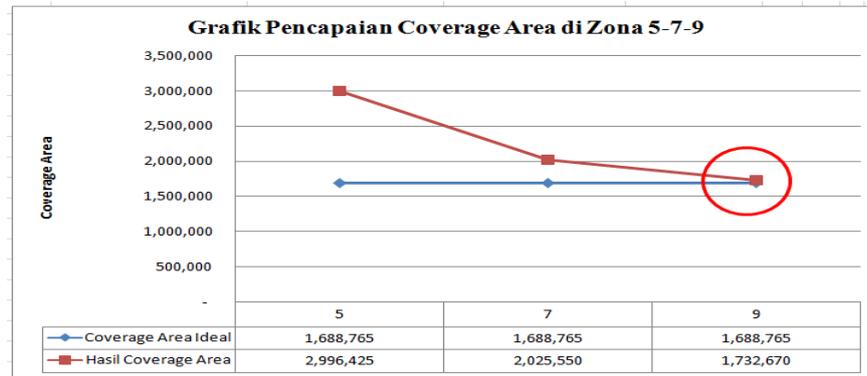
Luasan perairan ARMATIM yang harus diamankan oleh TNI AL adalah sebesar 1.688.765 Mil², maka didapatkan hasil perbandingan antara capaian *coverage area* kapal patroli dengan target luasan area yang harus diamankan seperti tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan capaian coverage area antara 5,7 dan 9 zona

Zona	Coverage Area Ideal	Hasil Coverage Area	Persentase Capaian
5	1,688,765	2,996,425	44%
7	1,688,765	2,025,550	17%
9	1,688,765	1,732,670	3%

Berdasarkan tabel 1 diatas, capaian *coverage area* di 9 zona lebih ideal dibandingkan dengan capaian *coverage area* di 5 zona dan 7 zona. karena persentase capaian di 9 zona \leq 5% yang telah

ditetapkan. Sehingga didapatkan grafik perbandingan capaian *coverage area* dengan *coverage area* sesungguhnya seperti terlihat dibawah ini.



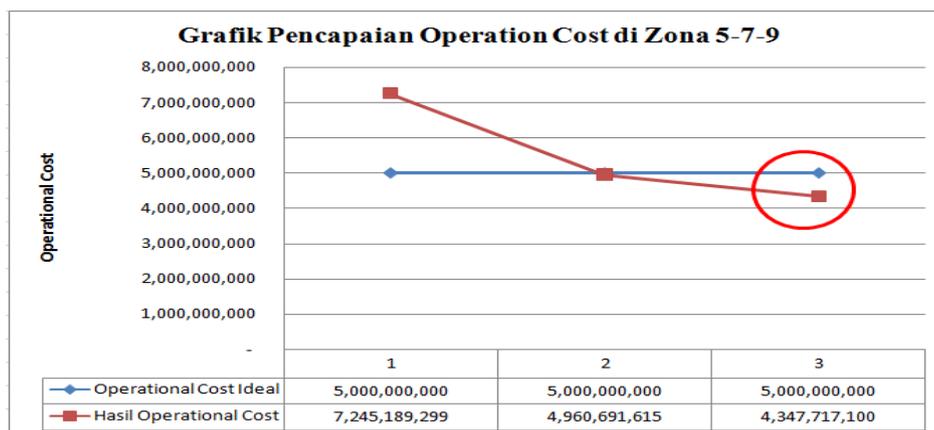
Grafik 1. Pencapaian *coverage area* di zona 5, 7 dan 9

Berdasarkan ketentuan biaya operasional yang ditetapkan oleh Pemerintah adalah sebesar Rp. 5.000.000.000, maka didapatkan hasil perbandingan antara capaian *operational cost* kapal patroli dengan target budget *operational cost* yang disediakan seperti tabel 1.

Tabel 2. Perbandingan capaian *coverage area* antara 5,7 dan 9 zona

Zona	Operational Cost Ideal	Hasil Operational Cost	Persentase Capaian
5	5,000,000,000	7,245,189,299	-31%
7	5,000,000,000	4,960,691,615	1%
9	5,000,000,000	4,347,717,100	15%

Berdasarkan tabel 2 diatas, capaian *operational cost* di 9 zona lebih ideal dibandingkan dengan capaian *operational cost* di 5 zona dan 7 zona. karena persentase capaian di 9 zona $\geq 5\%$ yang telah ditetapkan. Sehingga didapatkan grafik perbandingan capaian *operational cost* dengan *operational cost* sesungguhnya seperti terlihat di grafik dibawah ini.



Grafik 2. Pencapaian *operational cost* di zona 5, 7 dan 9

4. KESIMPULAN

Dari serangkaian pengolahan data dan analisa yang dilakukan pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil optimasi menggunakan *Binary Genetic Algorithms (BGA)* mampu menghasilkan kombinasi kapal patroli yang optimal di 5 zona, 7 zona dan 9 zona.
- Optimasi *coverage area* kapal harus $\geq 5\%$ dan *operational cost* $\leq 5\%$ dari kondisi idealnya.

- Dari hasil optimasi antara beberapa zona didapatkan hasil sebagai berikut:
 - ✓ **5 Zona** : Coverage Area = 2.996.425 Mil² dan Operational Cost = Rp. 7.245.189.299;
 - ✓ **7 Zona** : Coverage Area = 2.025.550 Mil² dan Operational Cost = Rp. 4.960.691.615
 - ✓ **9 Zona** : Coverage Area = 1.732.670 Mil² dan Operational Cost = Rp. 4.347.717.100
- Berdasarkan hasil optimasi diatas dan analisis efisiensi antara 5 zona, 7 zona dan 9 zona maka didapatkan hasil yang paling ideal adalah 9 zona, artinya ditinjau dari penyebaran kapal patroli semakin baik, ditinjau dari efisiensi biaya lebih hemat, ditinjau dari pengoptimalan fleet mix kapal sangat baik. Sehingga apabila 9 zona yang dipilih untuk ARMATIM idealnya wilayah tersebut semakin aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi Santoso, Paul Willy , 2011, *Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi* : Cetakan pertama April 2011, Guna Widya
- Franz Rothlauf “ *Representations for Genetic and Evolutionary Algorithm*” Second Edition Springer.
- Golberg, D.E, 1989 “ *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine*” Reading /Mass: Addison-Wesley.
- Hozairi, M.A (2010) . *Implementasi Algoritma Genetika Untuk Optimasi Penempatan Armada Kapal TNI AL di Kawasan Timur Indonesia dalam rangka mengamankan kedaulatan NKRI* . Seminar Nasional Pascasarjana X - ITS (pp. 41-17). Surabaya : Teknik Informatika - ITS.
- Jorg Biethahn – Volker Nissen (Eds.), “ *Evolutionary Algorithms In Management Applications*” Springer
- S.N. Sivanandam, S.N. Deepa 2010, *Introduction Genetic Algorithms*, Springer.
- Zbigniew Michalewicz, 1995 “ *Genetic Algorithms Data Structures Evolution Programs*” Third, Revised and Extended Edition, Springer.