

OPTIMASI PENENTUAN JUMLAH KAPAL PENGAWAS PERIKANAN DI WILAYAH PENGELOLAAN PERIKANAN – 716 MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Hozairi¹⁾, Buhari²⁾, Heru Lumaksono³⁾, dan Marcus Tukan⁴⁾

^{1, 2)}Teknik Informatika, Universitas Islam Madura
Jl. PP. Miftahul Ulum Bettet, Pamekasan, Madura

³⁾Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia ITS, Kampus PPNS

⁴⁾Teknik Industri, Universitas Pattimura
Jl. Ir. M. Putuhena, Poka, Tlk. Ambon

e-mail: dr.hozairi@gmail.com¹⁾, buharinahrawi@gmail.com²⁾, heruppns@gmail.com³⁾, marcustukan@gmail.com⁴⁾

ABSTRAK

Wilayah Pengelolaan Perikanan - Republik Indonesia (WPP-RI) terbagi menjadi sebelas wilayah pengelolaan perikanan, salah satunya adalah WPP RI - 716. Wilayah Pengelolaan Perikanan RI – 716 meliputi laut Aru, laut Arafuru, dan laut Timur dengan luas wilayah 215.725 square milies. Permasalahan di WPP RI-716 adalah tingginya pelanggaran Illegal, Unreported dan Unregulated (IUU) Fishing yang menyebabkan kerugian Negara. Salah satu faktor terjadinya illegal, unreported dan unregulated fishing adalah belum tersedianya kapal pengawas perikanan secara optimal dan minimnya biaya anggaran pengawasan dan pengamanan laut Indonesia. Untuk menyelesaikan permasalahan ketersediaan kapal pengawas perikanan di WPP RI – 716 dan meminimumkan biaya operasional adalah dengan menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Metode GA adalah metode optimasi yang paling cocok untuk menyelesaikan permasalahan multi obyektif yang bekerja berdasarkan mekanisme seleksi alami dan evolusi biologis. Hasil analisa perhitungan GA dengan 1000 iterasi diperoleh nilai kombinasi kapal yang paling optimal yaitu 7 (tujuh) kombinasi kapal [A-B-B-B-E-D-C] dengan capaian coverage area 222.375 Mil², dan biaya operasional Rp. 1.638.756.100. Jika kombinasi kapal tersebut digunakan untuk mengawasi wilayah pengelolaan perikanan – 716 akan diperoleh peningkatan capaian coverage area dibandingkan luas wilayah sebesar $\pm 3\% \sim 6.650 \text{ Mil}^2$ dan efisiensi biaya operasional sebesar $\pm 18\% \sim \text{Rp. } 361.243.900$. Salah satu temuan signifikan dari penelitian ini adalah bahwa GA mampu menyajikan calon solusi kombinasi kapal yang optimal sesuai dengan nilai fitness yang ditetapkan, tetapi metode GA tidak bisa memilih calon solusi terbaik diantara solusi.

Kata Kunci: Optimasi, GA, WPP-716.

ABSTRACT

The Indonesian Fisheries Management Area (FMA RI) is divided into eleven fisheries management areas, one of which is the FMA RI - 716. The Fisheries Management Area - 716 includes the Aru Sea, Arafuru Sea, and East Sea with an area of 198,500 square miles. The problem at FMA-716 is the high violation of illegal, unreported and unregulated (IUU) Fishing which causes state losses. One of the factors causing illegal, unreported and unregulated fishing is the lack of optimal availability of fishery surveillance vessels and the minimal budget costs of Indonesian marine surveillance and security. To solve the problem of limited fisheries control vessels and the minimum operational costs in FMA-716 is to use a multi-objective optimization method, namely Genetic Algorithms (GA). GA method is the most suitable optimization method to solve multi-objective problems that work based on the mechanism of natural selection and biological evolution. The results of the GA method analysis with 1000 iterations obtained the most optimal value of the combination of the seven fisheries monitoring vessels [A-B-B-B-E-D-C] with an area coverage of 222.375 Mil², and operational costs of IDR 1.638.756.100. If the combination of these vessels is used to oversee the fisheries management area - 716 will obtain an increase in coverage area of $\pm 3\%$ equivalent to 6.650 Mil² and able to operating cost efficiency of $\pm 18\%$ equivalent to IDR. 361.243,900. One of the significant findings from this research is the GA method is able to present the optimal candidate solutions in accordance with the determined fitness values, but the GA method cannot choose the best candidate solution among the solutions.

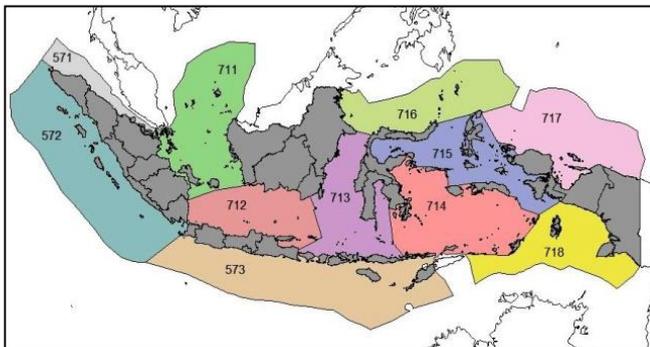
Keywords: Optimization, GA, FMA-716

I. PENDAHULUAN

Indonesia dianugerahi potensi sumber daya kelautan dan perikanan yang melimpah. Hal ini menjadi salah satu keunggulan dalam pembangunan nasional untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat. Namun, disadari bahwa masih terdapat kegiatan-kegiatan yang tidak taat aturan dalam memanfaatkan sumber daya laut. Untuk itu, pengawasan hadir dalam rangka menjamin tertib pelaksanaan peraturan perundang-undangan yang berlaku di bidang kelautan dan perikanan. Undang-Undang RI No.27 Tahun 2007 mengamanahkan tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan legitimasi dari kegiatan pengawasan sumberdaya perikanan. Pengawasan dan penegakan hukum di bidang perikanan merupakan salah satu tugas pokok dan fungsi Direktorat Kapal Pengawas yang diimplementasikan melalui kapal pengawas untuk melakukan operasi pengawasan sumber daya kelautan dan perikanan [1], [2].

Kementerian Kelautan dan Perikanan melakukan kegiatan penelitian dalam rangka identifikasi potensi produksi dan karakteristik sumber daya ikan di 11 (sebelas) Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPP-RI). Sebelas WPP-RI tersebut meliputi WPP-571, WPP 572, serta WPP-573 dan WPP-711, WPP 712, WPP 713, WPP 714, WPP 715, WPP 716, WPP 717, serta WPP-718 [3].

Penamaan tersebut berdasarkan pembagian wilayah statistik perikanan FAO (*Food and Agriculture Organization*), dikarenakan perairan Indonesia berada pada dua area, yaitu area 57 kawasan Samudera Hindia bagian timur (*Eastern Indian Ocean*) dan area 71 (*the Western Central Pacific*) kawasan Indo-Pasifik bagian barat seperti terlihat pada Gambar 1. Oleh karena itu, wilayah operasi kapal pengawas dibagi menjadi 2 (dua), yaitu: (a). Wilayah Barat (Selat malaka, laut cina selatan, samudera hindia, mentawai dari barat sumatera hingga selatan jawa), (b) Wilayah Timur (Samudera hindia, sebelah timur laut flores, laut banda, laut arafuru, laut Maluku, teluk tomini, laut Sulawesi dan samudera pafisik) [4], [5].



Gambar 1. Peta Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPP RI)

Penelitian ini fokus untuk menyelesaikan permasalahan di WPP RI - 716 yang meliputi wilayah

perairan Laut Sulawesi dan perairan sebelah utara Pulau Halmahera yang tercakup dalam wilayah administrasi 5 provinsi yaitu: Kalimantan Utara, Gorontalo, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Maluku Utara. Sedangkan untuk Laut Sulawesi sendiri membentang disebelah utara provinsi Sulawesi Utara dan dibatasi oleh Samudera Pasifik dan kepulauan Sulu, Laut Sulu dan Kepulauan Filipina di bagian utara. Di sebelah timur dibatasi oleh rantai kepulauan Sangihe, dan disebelah barat berbatasan langsung dengan perairan Tarakan (Kalimantan Utara), sehingga perlu melakukan analisa optimasi penempatan kapal pengawas perikanan untuk memastikan WPP RI – 716 terjaga dengan baik [1].

Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan hingga kini, pemerintah RI hanya memiliki 23 kapal pengawas yang berukuran 28m x 36m untuk mengawasi keamanan laut. Setiap kapal tersebut diawakin oleh 15 anak buah kapal (ABK). Menurut Ajie Sularso, “*idealnya dengan daerah perairan Indonesia yang begitu luas, harusnya pemerintah mempunyai 70 kapal pengawas untuk menambah pengawasan di laut*”. Akibat minimnya personel dan infrastruktur yang dimiliki KPP, kejahatan *illegal fishing* masih sering terjadi. Pada tanggal 22 dan 23 september 2016 di WPP -716 perairan laut Sulawesi, kapal pengawas milik Kementerian Kelautan dan Perikanan (KPP) menangkap 8 kapal yang di duga melakukan penangkapan ikan secara illegal. Jumlah ABK dari 8 kapal tersebut sebanyak 64 orang, yang terdiri 63 orang filiphina dan 1 orang WNI (Warga Negara Indonesia) [6]. Sehingga dengan begitu seringnya terjadi pencurian ikan di WPP-716 di butuhkan pengawasan yang optimal agar tidak terjadi lagi pelanggaran tersebut.

Namun, Problem penempatan kapal pada titik rawan yang jumlahnya cukup banyak, memerlukan sebuah formulasi model optimasi, dan Model optimasi yang paling sesuai untuk problem ini adalah algoritma genetika. Algoritma genetika adalah pencarian yang berdasarkan pada mekanisme seleksi alam dan genetic. Keuntungan dari algoritma genetika adalah proses pencariannya yang lebih optimal, tanpa terlalu memperbesar ruang pencarian, dan tanpa kehilangan kelengkapannya [7]. Sehingga dengan jumlah kapal yang minimal mungkin dapat mencakup semua titik rawan yang ada dan budget yang terpakai juga seminimal mungkin. Dalam penelitian ini model algoritma genetika, berarti meminimumkan biaya kapal dan jumlah kapal yang ditugaskan namun dapat mencakup atau meliputi semua titik rawan yang ada.

Berdasarkan kondisi diatas perlu dilakukan model keputusan yang mampu bekerja pada lingkungan yang dinamis dan ketidakpastian secara cepat dan tepat. Pemerintah dipandang harus lebih cermat, cerdas dan cepat dalam menentukan strategi pengawasan WPP RI - 716, khususnya untuk operasi pengawasan disetiap

satuan kerja di WPP RI – 716. Kementerian Kelautan dan Perikanan dituntut untuk mampu menghadapi tantangan antara lain: mengoptimalkan *coverage area* operasi kapal, meminimumkan biaya operasional, penugasan kapal pengawas, *scheduling* kapal pengawas, dll. Oleh sebab itu, permasalahan pada penelitian ini termasuk permasalahan *multi obyektif* [8].

Algoritma Genetika (GA) adalah metode yang mampu menyelesaikan permasalahan multi obyektif karena GA bekerja didasarkan pada prinsip-prinsip genetika dan seleksi alam [9]. Elemen-elemen dasar dari genetika alam adalah: *reproduksi*, *crossover* dan *mutasi*. Elemen-elemen ini yang dipakai dalam prosedur GA. Algoritma ini banyak dipakai dalam penyelesaian masalah kombinatorial seperti TSP, VRP, Crew Scheduling untuk *airline* hingga permasalahan control. Dengan prosedur tertentu seperti mutasi, seleksi dan crossover akan didapatkan solusi akhir dari problem optimasi yang dihadapi [10], [11], [12]. GA termasuk temuan penting dalam bidang optimasi, dimana suatu algoritma diciptakan dengan meniru mekanisme evolusi dalam perkembangan makhluk hidup [13].

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan jumlah kapal pengawas perikanan di WPP-716 menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). GA adalah algoritma pencarian yang didasarkan atas mekanisme seleksi alami dan evolusi biologis. Kelebihan GA jika dibandingkan dengan algoritma pencarian lainnya adalah: (a) Algoritma ini hanya melakukan sedikit perhitungan matematis yang berhubungan dengan masalah yang ingin diselesaikan, (b) Operator-operator evolusi membuat algoritma ini sangat efektif pada pencarian global, (c) Algoritma ini

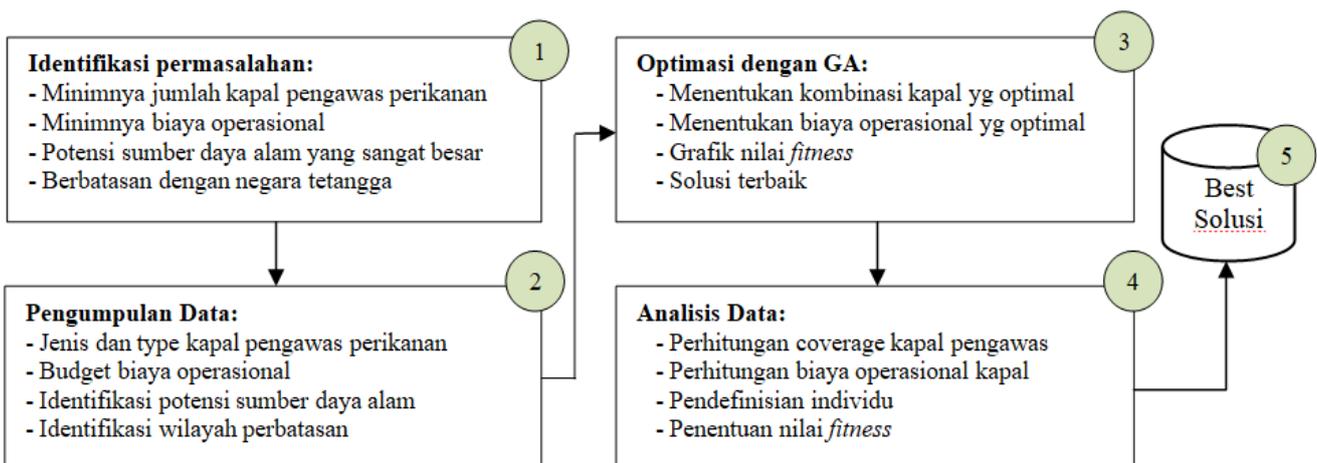
memiliki fleksibilitas yang tinggi untuk dihibridkan dengan metode pencarian lainnya agar lebih efektif [14], [15].

II. BAHAN DAN METODE

Bab ini membahas tentang bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, kajian pustaka yang digunakan dan metode penelitian yang dipakai.

A. Tahapan penelitian

Berdasarkan Gambar 2, peneliti menyusun beberapa tahapan proses, yaitu: (a) proses identifikasi permasalahan di WPP RI – 716 yaitu minimnya jumlah kapal pengawas perikanan, minimnya biaya operasional kapal, potensi sumber daya alam yang sangat besar dan WPP RI – 716 berbatasan langsung dengan Negara tetangga; (b) proses pengumpulan data yaitu jenis dan type kapal yang digunakan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan, mengetahui biaya operasional yang ditetapkan oleh pemerintah untuk melaksanakan pengawasan wilayah pengelollan perikanan, mengidentifikasi potensi sumber daya alam yang ada dan mengidentifikasi wilayah perbatasan di WPP RI – 716; (c) proses analisa data yaitu melakukan perhitungan capaian *coverage area* kapal pengawas perikanan, melakukan perhitungan kebutuhan biaya operasional, melakukan pendefinsian terhadap individu dan menentukan nilai *fitness*; (d) proses optimasi algoritma genetika yaitu menentukan kombinasi kapal pengawas perikanan yang optimal, menentukan biaya operasional kapal pengawas yang optimal, membuat grafik nilai *fitness* dan menentuka solusi yang terbaik; (e) merekam beberapa calon solusi yang direkomendasikan oleh GA sesuai degan nilai *fitness*.

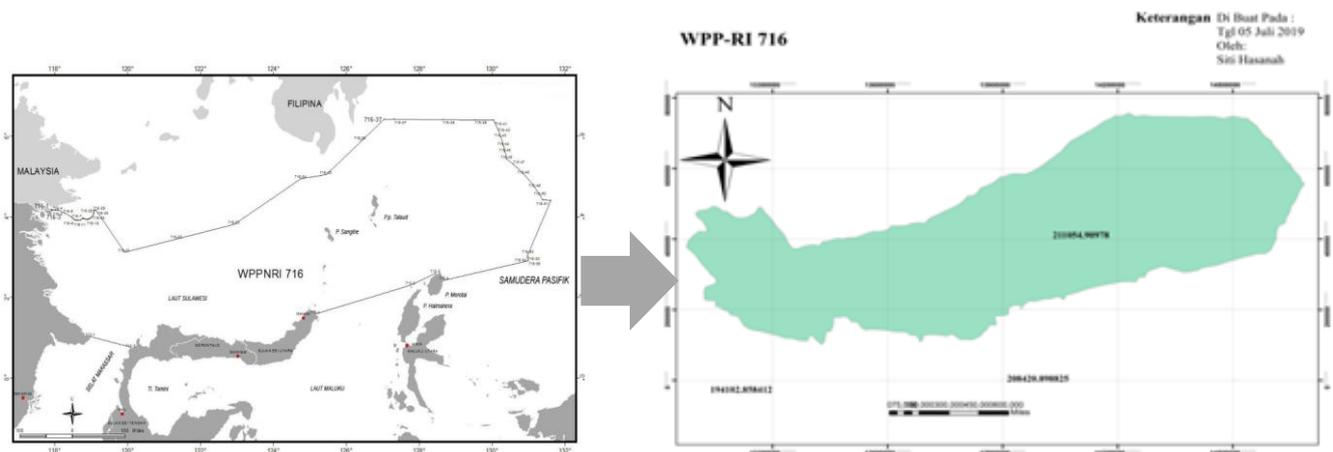


Gambar 2. Tahapan proses penelitian

B. Perhitungan Luas WPP-716

Untuk mengetahui luas wilayah WPP RI – 716 seperti terlihat pada Gambar 3, tim peneliti melakukan

digitasi pada peta WPP RI-716 dengan menggunakan software *Arc GIS* sehingga diperoleh luas adalah 215.725 square milies.



Gambar 3. Luas WPP RI – 716 (Sumber: hasil pengolahan Arc GIS)

Berdasarkan keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor: KEP.01/MEN/2009 tentang Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia 716 mencakup wilayah perairan Laut Sulawesi dan perairan sebelah utara Pulau Halmahera yang tercakup dalam wilayah administrasi 5 provinsi yaitu: Kalimantan Utara, Gorontalo, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Maluku Utara. Sedangkan untuk Laut Sulawesi sendiri membentang disebelah utara provinsi Sulawesi Utara dan dibatasi oleh Samudera Pasifik dan kepulauan Sulu, Laut Sulu dan Kepulauan Filipina di bagian utara. Di sebelah timur dibatasi oleh rantai kepulauan Sangihe, dan di sebelah barat berbatasan langsung dengan perairan Tarakan (Kalimantan Utara).

C. Kapal Pengawas Perikanan Republik Indonesia

Kapal Pengawas Perikanan adalah kapal yang digunakan untuk melindungi sumber daya kelautan dan perikanan. Kapal Pengawas Perikanan merupakan penegak hukum dilaut di bidang perikanan. Dalam melakukan pengawasan berkoordinasi dengan TNI Angkatan Laut, Polair dan Bakamla. Kapal Pengawas Perikanan berada dalam lingkup Ditjen PSDKP naungan Kementerian Kelautan dan Perikanan. Dalam

melaksanakan tugasnya, Kapal Pengawas Perikanan dapat menghentikan, memeriksa, membawa, dan menahan kapal yang diduga melakukan pelanggaran ke pelabuhan terdekat untuk pemrosesan lebih lanjut. Selain itu, berdasarkan UU No. 31 Tahun 2004 tentang Perikanan, sebagaimana telah diubah dengan UU No. 45 Tahun 2009, dalam hal tertentu Kapal Pengawas Perikanan, dalam hal ini pengawas perikanan atau Penyidik PNS Perikanan, juga dapat melakukan tindakan khusus berupa penenggelaman [16], [17].

Meningkatkan Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan, strategi yang dilaksanakan melalui: (a) Peningkatan kualitas penyelenggaraan Surat Keterangan Aktivasi Transmitter dan Surat Laik Operasi (SLO); (b) Peningkatan pemeriksaan atas kapal perikanan, sebelum melaut dan pada saat pendaratan hasil tangkapan; (c) Pengawasan atas usaha pembudidayaan ikan; (d) Pengawasan atas pengolahan hasil perikanan; (e) Fasilitasi klaim ganti rugi atas kasus-kasus pencemaran; (f) Pengawasan kawasan konservasi, pemanfaatan ekosistem perikanan (mangrove, terumbu karang, padang lamun, dan lain sebagainya); (g) Pengawasan pemanfaatan BMKT, pasir laut, jasa kelautan, dan lain sebagainya [5],[18].

Tabel 1. Data kapal pengawas perikanan di WPP RI

No	Type Kapal	Jumlah Kapal	Ukuran (m)	Kecepatan (Knot)	Waktu Operasi (hari)	Radar	Penempatan	
							Barat	Timur
1	A	4	60	25	8	64	4	0
2	B	2	42	18	4	96	1	1
3	C	7	36	24	3	48	2	5
4	D	17	23	28	3	48	13	4
5	E	5	18	15	3	48	3	2

Sumber: data primer yang diolah

Menurut perundangan-undangan, Kapal Pengawas Perikanan adalah kapal pemerintah yang diberi tanda tertentu untuk melaksanakan pengawasan dan penegakan hukum di bidang perikanan dalam wilayah pengelolaan perikanan Negara Republik Indonesia. Dalam melakukan pengawasan kapal perikanan dilakukan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI), pelabuhan perikanan

atau pelabuhan bukan pelabuhan perikanan, pelabuhan umum yang ditetapkan sebagai pelabuhan pangkalan, pangkalan pendaratan ikan, dan sentra-sentra kegiatan nelayan. Meskipun ada dari tahun 2003 namun perkembangan kapal pengawas perikanan di Indonesia masih dirasa kurang karena wilayah pengelolaan perikanan republik Indonesia yang sangat luas. Saat ini

Indonesia memiliki 35 Kapal Pengawas Perikanan yang tersebar di berbagai daerah seperti terlihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Table 1, terlihat bahwa Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) memiliki 5 (lima) type kapal yang siap dioperasikan di masing-masing wilayah dengan spesifikasi yang berbeda-beda, sehingga butuh analisa untuk menghitung masing-masing coverage area kapal sehingga bisa menentukan kebutuhan jumlah dan type kapal pengawas di WPP RI 716.

D. Algoritma Genetika

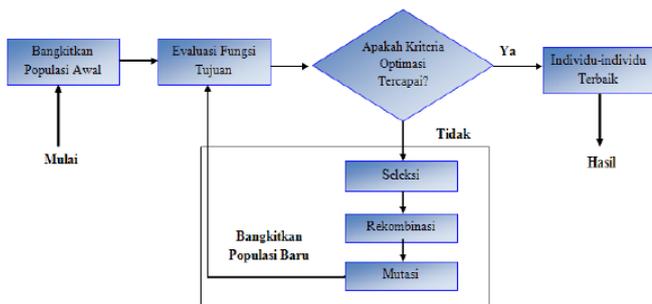
Algoritma genetika adalah suatu algoritma pencarian (*searching*) berdasarkan cara kerja melalui mekanisme seleksi alam dan genetik. Tujuannya untuk menentukan struktur-struktur yang disebut individu berkualitas tinggi di dalam suatu domain yang disebut populasi untuk mendapatkan solusi suatu persoalan. *John Holland* mengembangkan algoritma genetik melalui prosedur iteratif untuk mengatur populasi individu yang merupakan calon solusi [19], [20], [21].

Algoritma genetika berbeda dengan algoritma pencarian konvensional karena dimulai dengan suatu himpunan awal yang disebut *populasi*. Tiap *individu* dalam populasi disebut *kromosom*, didalam kromosom ada beberapa *gen* dan setiap gen memiliki nilai yang disebut dengan *allele*.

Dengan teori evolusi dan teori genetika, didalam penerapan Algoritma Genetika akan melibatkan beberapa operator yaitu:

- a. **Operator Evolusi** yang melibatkan proses seleksi (*selection*) di dalamnya.
- b. **Operator Genetika** yang melibatkan operator pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*).

Untuk memeriksa hasil optimasi, kita membutuhkan fungsi *fitness*, yang menandakan gambaran hasil (*solusi*) yang sudah dikodekan. Selama berjalan, induk harus digunakan untuk reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan.



Gambar 4. Blok diagram Algoritma Genetika

Beberapa hal yang harus dilakukan dalam Algoritma Genetika adalah:

- a. **Mendefinisikan individu**, dimana individu menyatakan salah satu solusi (*penyelesaian*) yang mungkin dari permasalahan yang diangkat.

Secara detail definisi kromosom, individu, gen dan allele dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2. Komponen Algoritma Genetika

Komponen	Definisi	Keterangan
Populasi	A-B-C-D-E C-D-A-B-E C-C-B-A-D	Kumpulan jenis kapal pengawas
Individu	A-B-C-D-E	1 Kombinasi kapal pengawas
Gen	A	1 type kapal pengawas
Allele	37.454 Mil ²	Nilai coverage area kapal pengawas type A
	Rp. 666.859.900	Nilai operational kapal pengawas type A

- b. **Mendefinisikan nilai fitness**, yang merupakan ukuran baik-tidaknya sebuah individu atau baik-tidaknya solusi yang didapatkan.

$$Ca_{total} = \sum_{i=1}^n Ca_i \dots\dots\dots (1)$$

$$Oc_{total} = \sum_{i=1}^n Oc_i \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- i* = Jumlah type kapal
- n* = Jumlah kapal
- C_a* = Coverage Area
- O_c* = Operational Cost

Selanjutnya mencari nilai fitness pada masing-masing *Coverage Area* (*C_a*) dan *Operational Cost* (*O_c*).

$$f_{(Ca)} = \frac{Ca_{total}}{Luas\ WPP\ RI} \text{ Fungsi Max } \dots\dots\dots (3)$$

$$f_{(Co)} = \frac{Budget\ Pemerintah}{Oc_{total-kapal\ pengawas}} \text{ Fungsi Min } \dots\dots\dots (4)$$

Fitness:

$$F_{total} = F_{ca} + F_{oc} \rightarrow F_{total} = F_{max(ca)} + F_{min(oc)}$$

Constraint:

$$1 \leq F_{total} \leq 2 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- F_(Ca)* = Fitness Coverage Area
- F_(Oc)* = Fitness Operational Cost
- F_(total)* = Fitness total
- F_{Max(Ca)}* = Fitness Maksimum Coverage Area
- F_{Min(Oc)}* = Fitness Minimum Operational Cost

- c. Menentukan proses **pembangkitan populasi awal**. Hal ini biasanya dilakukan dengan

menggunakan pembangkitan acak seperti *random-walk*.

Inti dari cara kerja *random-walk* ini adalah melibatkan bilangan random untuk nilai setiap gen sesuai dengan representasi kromosom yang digunakan [22].

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

Keterangan:

IPOP adalah gen yang nantinya berisi pembulatan dari bilangan random yang dibangkitkan sebanyak N_{IPOP} (jumlah populasi) x N_{bits} (jumlah gen dalam satu kromosom).

- d. Menentukan proses **seleksi** yang akan digunakan. Seleksi digunakan untuk memilih 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 [23], [24].

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

- **Roulette Wheel**, untuk memilih individu berdasarkan pengaruh nilai *fitness*-nya. Individu dengan *fitness* yang tinggi berarti individu yang baik akan lebih mudah terpilih.
- **Rank**, proses ini digunakan untuk menjamin tidak munculnya super-individu yang akan merusak proses evolusi sehingga terjebak dalam local-optima.
- **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.

- e. Menentukan proses **perkawinan silang** (*cross-over*) dan **mutasi gen** yang akan digunakan. 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 *cross-over* dalam penelitian ini menggunakan *random-swap cross-over*, dengan menukar gen setiap dari setiap pasang induk yang kemudian dicek kembali bila ada gen kembar maka diperbaiki.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan mencari kombinasi kapal pengawas perikanan yang optimal untuk ditugaskan ke

masing-masing satuan kerja (Satker) di Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia 716 (WPP RI-716). Kementerian Perikanan dan Kelautan (KKP) memiliki budget anggaran biaya yang disiapkan oleh Pemerintah sebesar Rp. 2.000.000.000,- Miliar untuk operasional pengawasan di WPP RI-716 dengan total luas wilayah yang harus diamankan adalah 215.725 Mil².

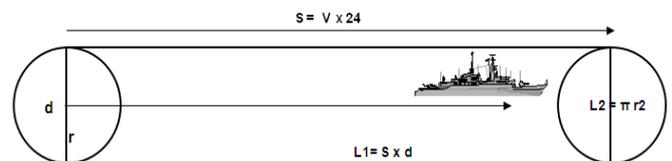
WPP RI-716 memiliki 4 Satuan pengawasan yang tersebar di beberapa wilayah dengan kondisi wilayah yang berbeda-beda dan fasilitas pendukung yang berbeda pula, nama masing-masing satuan pengawas di WPP RI-716 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nama satuan pengawasan di WPP RI – 716

Kode	Satuan Pengawasan
A1	Bitung
A2	Tarakan
A3	Tahuna
A4	Ambon

Pemerintah Indonesia memiliki beberapa type kapal pengawas perikanan dengan spesifikasi yang berbeda, tetapi sampai saat ini keberadaan model pengawasan di WPP RI - 716 belum optimal, hal ini dibuktikan sering terjadinya *illegal fishing* di beberapa satker yang memiliki potensi sumber daya alam perikanan yang berlimpah di Laut Arafuru. Type dan spesifikasi kapal pengawas perikanan yang dimiliki KKP dapat dilihat pada Table 1. Berdasarkan Table 1, diperoleh informasi bahwa KKP memiliki jumlah kapal type D sebanyak 17 unit, type C sejumlah 7 unit, type E sejumlah 5 unit, type A sejumlah 4 unit dan type B sejumlah 2 unit. Masing-masing kapal bisa ditempatkan di beberapa satker WPP RI.

Dalam penelitian ini digunakan 2 (dua) objective atau *fitness function* untuk menentukan fungsi minimal dan fungsi maksimal. Untuk *Fitness Function* (1) memaksimalkan *coverage area*, (2) meminimalisasi biaya operasional. Untuk menghitung *Fitness Function* (1) adalah luas jangkauan *coverage* kapal pengawas perikanan selama berlayar digambarkan dan dirumuskan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Luas coverage area kapal pengawas perikanan

Keterangan:

- S = Jarak jelajah perHari = Kecepat x 24 jam = V x 24 (mil)
- L1 = Luas persegi panjang = S x d (mil²)
- L2 = Luasan lingkaran = πr^2 (mil²)
- d = Jangkauan radar (mil)

Luas jangkauan coverage kapal pengawas perikanan adalah luasan persegi panjang (L1) ditambah luasan lingkaran (L2).

$$\text{Coverage Area} = (L1+L2) \times \text{Probability deteksi radar}$$

$$= (L1+L2) \times 0.9 \text{ (mil}^2\text{)}$$

$$\text{Jarak Jelajah Max} = \text{Jarak jelajah perHari} \times \text{Endurance}$$

$$RE = S \times E \text{ (mil)}$$

Endurance adalah lama ketahanan kapal berlayar (hari) tanpa bekal ulang.

Untuk fungsi fitness (2) adalah meminimalisasi biaya operasional kapal pengawas, yaitu:

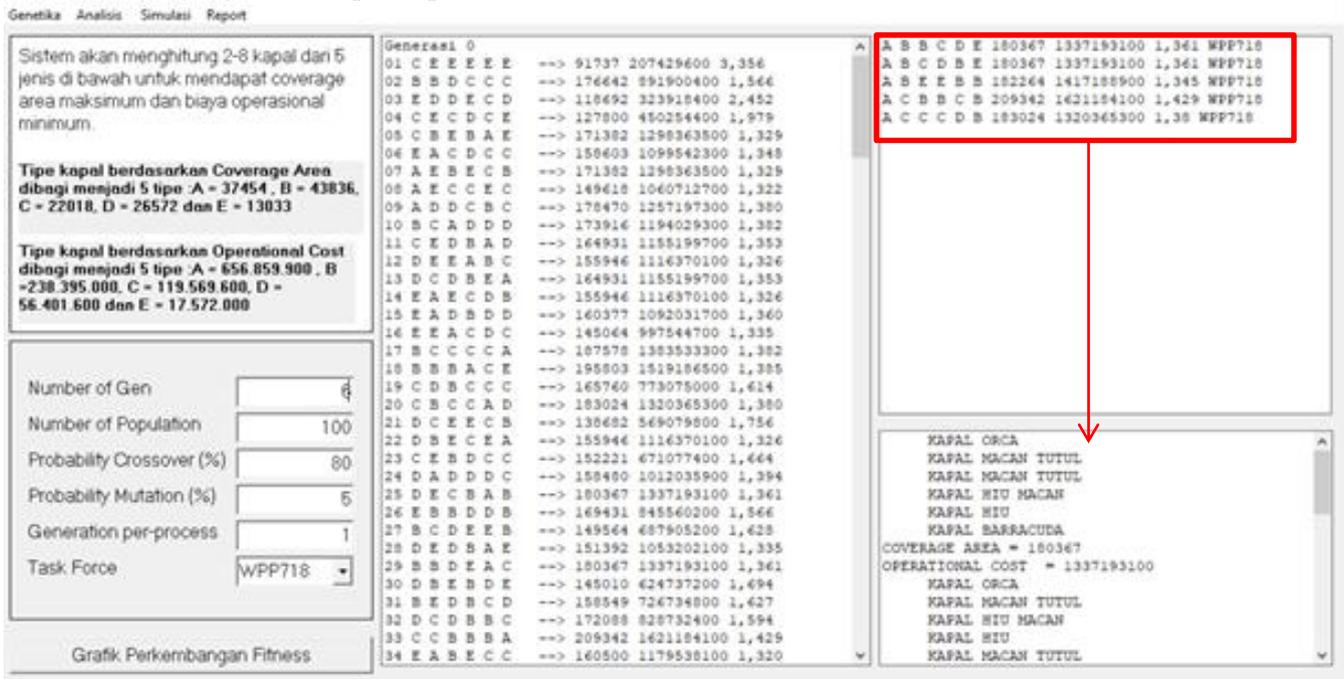
- a. Biaya Penggunaan Logistik Cair
 - Biaya BBM = Pemakaian BBM per Hari x Harga BBM
 - Biaya Air Tawar (AT) = Pemakaian AT per Hari x Harga AT
 - Minyak Lumas (ML) = Pemakaian ML per Hari x Harga ML
- b. Biaya Penggunaan Logistik Personel
 - Tunjangan Layar (Rp. 5.000/hr/personel)
 - Uang Makan Operasi (Rp. 15.000/hr/personel)
 - Tunjangan Pemimpin (Rp. 220.000/E)

- c. Biaya Pemeliharaan Kapal selama Operasi (Har Kap Ops)
 - Type A = (Rp. 1.500.000/hr E)
 - Type B = (Rp. 1.500.000/hr E)
 - Type C = (Rp. 1.200.000/hr E)
 - Type D = (Rp. 1.000.000/hr E)
 - Type E = (Rp. 800.000/hr E)
- d. Biaya Operasi Total = Biaya Logistik Cair + Logistik Personel + Harkap Ops.
= Rp. / hari operasi layar

Parameter yang digunakan dalam simulasi penelitian ini sebagai berikut:

- Jumlah Gen = 6;
- Ukuran populasi (Pop_size) = 100;
- Peluang crossover (Pc) = 80%;
- Peluang Mutasi (Pm) = 5%;

Parameter diatas akan mengacu pada luas WPP RI – 716 dan biaya yang disiapkan oleh Pemerintah ± 2.000.000,-. Berdasarkan parameter yang ditetapkan untuk simulasi dan constraint yang telah ditetapkan, maka diperoleh hasil simulasi dengan kombinasi kapal pengawas di WPPRI-716.



Gambar 6. Hasil optimasi jumlah dan kombinasi kapal pengawas perikanan di WPP RI-716

Berdasarkan Gambar 6, proses optimasi dengan algoritma genetika akan dibangkitkan dengan 6 (enam) gen dengan 100 iterasi, 0,8 probabilitas cross over dan 0.005 probabilitas mutasi. Berdasarkan inisialisasi komponen algoritma genetika seperti pada Tabel 2, maka diperoleh populasi awal secara acak sebanyak 100:

- 01 = [C-E-E-E-E-E] 91737 207429600 3,356
- 02 = [B-B-D-C-C-C] 176642 891900400 1,566
- 03 = [E-D-D-E-C-D] 118692 323918400 2,452

- 04 = [C-E-C-D-C-E] 127800 450254400 1,974
- 05 = [C-B-E-B-A-E] 171382 129836350 1,329
- 0.. = [.....]
- 100 = [A-C-B-B-C-B] 91737 207429600 3,356

Artinya calon solusi kesatu direkomendasikan type kapal [C-E-E-E-E-E] dengan capaian fitness 1= 91.737 M², dan fitness 2 = 207.429.600, calon solusi kedua direkoemndasikan type kapal [B-B-D-C-C-C] dengan capaian fitness 1 = 176642 dan fitness 2 = 891900400, dst.

Berdasarkan nilai fitness yang telah ditetapkan, maka diperoleh solusi terbaik diantara 100 calon solusi yang dihasilkan oleh perhitungan Algoritma Genetika, yaitu

kombinasi 6 type kapal untuk melakukan pengawasa di WPP RI - 716 seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil optimasi algoritma genetika untuk WPP RI-716

No	Kombinasi Kapal	Luas WPP RI-716 (Mil ²)	Coverage Area (Mil ²)	Anggaran Pemerintah (Rp)	Operasional Cost (Rp)
1	A-B-C-D-E-B-B		217.821		1.575.588.100
2	A-B-B-B-E-D-C		217.821		1.575.588.100
3	A-B-B-C-C-B-E	215.725	222.375	2.000.000.000	1.638.756.100
4	A-B-C-E-B-B-D		217.821		1.575.588.100
5	A-B-C-B-B-D-E		217.821		1.575.588.100

Sumber: Hasil simulasi optimasi dengan algoritma genetika

Berdasarkan analisa nilai fitness yang ditetapkan, kajian capaian coverage area kapal pengawas dan efisiensi operasional cost pada masing-masing kombinasi seperti terlihat pada Tabel 5.

Indonesia No 18/Permen-KP/2014 tentang Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia

Tabel 5. Hasil analisa capaian coverage area dan efisiensi biaya operasional

No	Kombinasi Kapal	Coverage Area (%)	Operasional Cost (%)
1	A-B-C-D-E-B-B	1%	21%
2	A-B-B-B-E-D-C	1%	21%
3	A-B-B-C-C-B-E	3%	18%
4	A-B-C-E-B-B-D	1%	21%
5	A-B-C-B-B-D-E	1%	21%

Sumber: Hasil analisa capaian dan efisiensi

Berdasarkan Tabel 5, solusi yang terbaik untuk kombinasi kapal di WPP RI-716 adalah type [A-B-B-B-E-D-C] dengan capaian peningkatan coverage area kapal pengawas 3% ~ 6.650 Mil² dan efisiensi biaya operasional sebesar 18% ~ Rp. 361.243.900. Oleh karena itu, kombinasi kapal yang terpilih adalah type kapal A-B-B-B-E-D-C, yaitu satu kapal type A, tiga type kapal B, satu type kapal C dan satu type kapal D. Algoritma Genetika merekomendasikan lima kombinasi kapal pengawas terbaik, tetapi solusi yang sesuai dengan nilai fitness hanya satu saja.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode Algoritma Genetika permasalahan kebutuhan kombinasi kapal pengawas perikanan dengan mudah diperoleh dengan mengacu pada nilai fitness yang telah ditetapkan, yaitu peningkatan capaian *coverage area* dan minimalisasi biaya operasional. Salah satu temuan dalam penelitian ini adalah kombinasi kapal yang paling optimal untuk mengamankan WPP-716 adalah kapal type A-B-B-B-E-D-C, dengan kombinasi tersebut penelitian ini berkontribusi peningkatan capaian coverage area sebesar ±3% atau setara 6.650 Mil² dan efisiensi biaya operasional sebesar ±18% atau setara Rp. 361.243.900. Penelitian ini akan membantu Pemerintah menjalankan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Strategis Nasional Konsorsium (PSNK) yang didanai pada Tahun 2019, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi Republik Indonesia (Kemenristek Dikti). Tidak lupa kami juga ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada Badan keamanan Laut Republik Indonesia (Bakamla RI) yang telah mendukung dan membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007," 2007.
- [2] D. J. P. S. D. K. dan Perikanan, *Buku Data dan Informasi Pengawasan Sumber Daya Kelautan dan Perikanan*, vol. 1, no. 1. 2013.
- [3] K. K. dan P. R. Indonesia, "Rencana Pengelolaan Perikanan WPP-RI 718," 2014.
- [4] K. K. dan Perikanan, "Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia," 2014.
- [5] F. Soemargono, "Kata Pengantar," *Archipel*, vol. 13, no. 1, pp. 15–20, 1977.
- [6] A. Kadar, "Pengelolaan Kemaritiman Menuju Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia," *J. Keamanan Nas.*, vol. VI, no. 21, pp. 427–442, 2015.
- [7] K. Deb and N. Srinivas, "Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms," *Evol. Comput.*, vol. 2, no. 3, pp. 221–248, 1995.
- [8] M. Ma and H. Li, "A hybrid genetic algorithm for solving bi-objective traveling salesman problems," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 887, no. 1, pp. 0–7, 2017.
- [9] J. McCall, "Genetic algorithms for modelling and optimisation," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 184, no. 1, pp. 205–222, 2005.
- [10] T. Kozel and M. Stary, "Stochastic Management of the Open Large Water Reservoir with Storage Function with Using a Genetic Algorithm," in *Word Multidisciplinary Earth Sciences Symposium*, 2016,

- vol. 44, no. 2, pp. 0–5.
- [11] R. J. Kowalski, C. Li, and G. M. Ganjyal, “Optimizing twin-screw food extrusion processing through regression modeling and genetic algorithms,” *J. Food Eng.*, vol. 234, pp. 50–56, 2018.
- [12] C. K. H. Lee, “A review of applications of genetic algorithms in operations management,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 76, no. May, pp. 1–12, 2018.
- [13] J. Yuan Ong, Y. Jin King, L. Huat Saw, and K. Keng Theng, “Optimization of the Design Parameter for Standing Wave Thermoacoustic Refrigerator using Genetic Algorithm,” in *Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 268, no. 1, pp. 1–7.
- [14] C. T. Utari, M. Zarlis, and Sutarman, “Optimization of Production Scheduling and Actual Stock Using Fuzzy Genetic Algorithm,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1235, p. 012035, 2019.
- [15] V. Sanchez-Tembleque, V. Vedia, L. M. Fraile, S. Ritt, and J. M. Udias, “Optimizing time-pickup algorithms in radiation detectors with a genetic algorithm,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 927, pp. 54–62, 2019.
- [16] Y. Krisnafi, B. H. Iskandar, S. H. Wisudo, and J. Haluan, “Optimization of fisheries surveillance vessel deployment in indonesia using genetic algorithm (Case study: Fisheries management area 711, Republic of Indonesia),” *AACL Bioflux*, vol. 10, no. 3, pp. 565–577, 2017.
- [17] Y. K. Hozairi, “Decision Support System Determination of Main Work Unit in WPP-711 using Fuzzy TOPSIS,” *Knowl. Eng. Data Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–19, 2018.
- [18] D. R. Munaf and T. Sulistyningtyas, “Sistem Operasi Tersinergi Bakamla Sesuai Dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2014 Tentang Kelautan,” *J. Sosioteknologi*, vol. 14, no. 3, pp. 273–287, 2015.
- [19] M. I. I. Hozairi, Ketut Buda Artana, AA.Masroeri and Irawan, “Implementation of Intelligent Control for Optimization of Fleet Placement Tni-AI Ships Using,” *Acad. Res. Int.*, vol. 2, no. 3, pp. 17–30, 2012.
- [20] C. Guerrero, I. Lera, and C. Juiz, “Genetic algorithm for multi-objective optimization of container allocation in cloud architecture,” *J. Grid Comput.*, vol. 16, no. 1, pp. 113–135, 2017.
- [21] A. A. Masroeri, “Intelligent Decision Support Systems (IDSS) For Multi-Objective Optimization Problems At Sea Security Indonesia,” *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 81, no. 1, pp. 108–115, 2015.
- [22] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, “Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 91, no. 9, pp. 992–1007, 2006.
- [23] S. Kiehadrouinezhad, N. K. Noordin, A. Sali, and Z. Z. Abidin, “Optimization of an antenna array using genetic algorithms,” *Astron. J.*, vol. 147, no. 6, 2014.
- [24] P. Azimi and N. Azouji, “A New Heuristic Algorithm for The Preemptive and Non-Preemptive Multi-Mode RCPSPs,” *Int. J. Ind. Eng. Prod. Res.*, vol. 28, no. 4, pp. 429–439, 2017.