

OPTIMALISASI PENJADWALAN PEMADAMAN HOTSPOT KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

Usmar Alhamd Ab Aziz¹⁾, Esmeralda C. Djamal²⁾, Faiza Renaldi³⁾

Informatika Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi
Jl. Terusan Jenderal Sudirman Po.box 148, Cimahi
Email : 1

Abstrak

Kebakaran hutan dan lahan saat ini masih terus berlangsung dan berulang setiap tahun, terutama di setiap musim kemarau. Bulan Agustus 2015, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat ada 720 titik api tersebar di Sumatera dan 246 di Kalimantan. Dalam penanggulangan kebakaran hutan dan lahan dapat dilakukan penjadwalan untuk mengoptimalkan penggunaan armada udara yang tersedia. Banyaknya parameter yang terlibat dalam penyusunan jadwal, di antaranya adalah jumlah armada pendukung, estimasi waktu dalam proses pemadaman, jarak hotspot dari sumber air, jarak hotspot, dan tingkat prioritas hotspot. Dalam penelitian ini menggunakan Algoritma Genetik sebagai metode dalam mengoptimasi penjadwalan pemadaman hotspot kebakaran hutan dan lahan, penjadwalan dilakukan terhadap 88 hotspot karhutla, dan empat armada dalam satu hari. Optimalisasi dengan Algoritma Genetika dilakukan dengan tahap pembangkitan populasi awal, evaluasi fungsi kecocokan, seleksi, persilangan, mutasi dan elitisme. Pengujian dilakukan 10 kali dengan 1000 evolusi, sistem menghasilkan solusi dengan jumlah nilai fitness terbesar 504.166, dan waktu proses selama 16.56 menit. Sistem telah diimplementasikan dalam perangkat lunak dan secara fungsional telah sesuai dengan perancangan yang dibangun.

Kata kunci: penjadwalan, optimalisasi, kebakaran, hotspot, algoritma genetika.

1. Pendahuluan

Kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) saat ini masih terus berlangsung dan berulang setiap tahun, terutama di setiap musim kemarau. Bulan Agustus 2015, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat ada 720 titik api tersebar di Sumatera dan 246 di Kalimantan, titik panas di pulau Sumatera terpantau paling banyak di provinsi Riau, selanjutnya provinsi Jambi, dan Sumatera Selatan. Terdapat kendala mendasar dalam penanganan karhutla selama ini di antaranya yaitu sumber daya berupa tenaga, peralatan dan dana belum memadai dan belum terorganisasi dengan baik [1].

Penanggulangan Karhutla dapat dilakukan penjadwalan untuk mengoptimalkan penggunaan armada udara yang tersedia. Parameter yang terlibat dalam penyusunan jadwal, di antaranya adalah jumlah armada pendukung, estimasi waktu dalam proses pemadaman, jarak hotspot dari sumber air, jarak hotspot, luas Karhutla, arah angin, dan tingkat prioritas hotspot. Kriteria dalam menentukan tingkat prioritas hotspot yaitu luas daerah yang terbakar, arah mata angin, jarak dari sumber air, jarak dari pemukiman, jarak dari jalan, jarak dari pos pemadam, jarak dari lahan produktif, jenis tanah, dan waktu yang ditempuh [2]. Penjadwalan pemadaman hotspot tentunya dapat dilakukan secara konvensional, namun akan memakan waktu dan kemungkinan menghasilkan jadwal yang kurang efektif. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat melakukan proses penjadwalan secara otomatis, yang dapat diterapkan dalam sebuah perangkat lunak.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk optimalisasi penjadwalan, seperti penjadwalan matakuliah menggunakan Particle Swarm Optimization [3], Firefly Algorithm [4], Algoritma Genetik (AG) [5]. AG merupakan metode yang cocok dalam permasalahan penjadwalan [6], AG adalah metode optimalisasi dalam mendapatkan kombinasi sesuai kriteria dari banyak kombinasi tanpa perlu mencoba satu persatu dengan meniru proses genetika di alam. Proses AG meliputi pembangkitan populasi awal, proses evaluasi fungsi fitness, operator seleksi, crossover, mutasi, dan elitisme yang akan terus berulang hingga kriteria berhenti terpenuhi.

Penelitian ini membangun sebuah sistem yang dapat melakukan proses optimalisasi penjadwalan pemadaman hotspot Karhutla menggunakan AG dengan ketentuan berupa waktu operasional dimulai dari pukul 06.00-17.00 untuk setiap harinya dan setiap gen merepresentasikan waktu per-lima menit, terdapat empat armada yang digunakan, maka akan menghasilkan 132 x 4 samadengan 528 gen, dan terdapat 88 hotspot Karhutla sehingga kombinasi jadwal yang dapat dihasilkan sebanyak 88⁽⁵²⁸⁾. Estimasi waktu, kemampuan tiap armada dalam membawa air dan terbang, serta tingkat prioritas hotspot dijadikan sebagai parameter yang diperhitungkan.

Algoritma Genetika

AG diawali dari sebuah populasi yang didapat secara acak dan terdiri dari beberapa individu, penelitian terdahulu menggunakan delapan individu [7] [8] dalam sebuah populasi. Populasi tersebut akan menghasilkan populasi baru dengan melewati proses seleksi, *crossover*, dan mutasi. Semakin baik kondisi suatu individu, semakin besar kemungkinan individu tersebut dikembangkan menjadi induk pada populasi selanjutnya. Penelitian terdahulu menggunakan AG untuk kasus penjadwalan mata kuliah dihasilkan rata-rata nilai fitness yang dihasilkan adalah 8.3 dalam waktu rata-rata 2 menit 59 detik dengan jumlah iterasi sebanyak 275 [9]. Menentukan parameter probabilitas *crossover* dan mutasi dapat mempengaruhi kinerja AG, pada kasus optimalisasi penggunaan lahan pertanian menggunakan kombinasi probabilitas *crossover* sebesar 0,4 dan mutasi sebesar 0,6 dan menghasilkan rata-rata nilai fitness yang teroptimal [10].

Kromosom

Kromosom merupakan bagian yang dibangun dari gabungan sejumlah gen yang membentuk nilai tertentu dan menyatakan solusi yang mungkin dari suatu permasalahan. Dalam menggunakan AG dilakukan pengkodean parameter dari masalah yang akan diselesaikan ke dalam bentuk representasi kromosom. Kromosom dapat direpresentasikan menggunakan kode biner, *floating point*, array, dan matriks. Pada penelitian terdahulu merepresentasikan kromosom dalam bentuk array untuk optimalisasi permasalahan tata letak mesin [11], dan optimalisasi perencanaan dan penjadwalan pada *job shop environment* [12], penggunaan matriks pada permasalahan penjadwalan pendidikan [13].

Fungsi Fitness

Fungsi fitness merupakan persamaan matematika yang menyatakan kesesuaian terhadap kriteria yang ditentukan. Fungsi fitness yang digunakan oleh penelitian terdahulu [14] seperti pada Persamaan (1).

$$F = \sum_{x=1}^m \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n f_i(x)} \dots \dots \dots (1)$$

'F' menunjukkan nilai dari fungsi kecocokan, 'f_i' menunjukkan aturan yang bersesuaian dengan jumlah aturan, dan 'x' menyatakan posisi gen.

Seleksi

Seleksi digunakan untuk memilih suatu individu dalam populasi yang akan diproses dengan *crossover* dan mutasi. Seleksi juga digunakan untuk mendapatkan calon induk yang baik. Teknik yang biasa digunakan antara lain Roulette Wheel [15], Tournament [16], Ranking, Sampling Deterministik, dan sebagainya. Penelitian terdahulu dalam permasalahan Travelling Salesman Problem(TSP), membandingkan tiga teknik seleksi yaitu Roulette Wheel, Tournament, dan Elitisme [17].

Crossover

Crossover merupakan salah satu operator dalam AG yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru atau individu lain dalam seluruh kumpulan solusi. Terdapat beberapa teknik dalam melakukan *crossover* di antaranya, pada kasus optimalisasi bobot pada Backpropagation untuk diagnosis Pima Indians Diabetes menggunakan *crossover* Satu Titik, Banyak Titik, dan Campuran [18], pada kasus penjadwalan pemesanan dengan teknik Partially Matched Crossover(PMX) [19].

Mutasi

Mutasi mengacu pada perubahan urutan atau penggantian elemen dari vektor solusi. Penelitian sebelumnya menggunakan parameter probabilitas mutasi sebesar 0.1 [20], hal ini bertujuan untuk mengurangi proses regenerasi. Terdapat setidaknya sembilan teknik dalam melakukan mutasi yang dibahas pada kasus penentu jalur terpendek [21], menggunakan metode mutasi yang tepat dapat mempercepat proses AG, dikarenakan saat dilakukan mutasi kemungkinan hasil mutasi tidak lebih baik. salah satu metode digunakan pada kasus penentu jalur terpendek distribusi barang menggunakan teknik Swapping Mutation [22]. Jumlah kromosom yang mengalami mutasi dalam satu populasi ditentukan oleh parameter mutasi.

Elitisme

Proses AG berjenis Generational Replacement membutuhkan komponen elitisme untuk mempertahankan individu terbaik pada suatu generasi. Elitisme adalah cara untuk menyimpan satu atau dua individu terbaik pada tempat lain untuk dimasukkan pada generasi berikutnya, maka populasi baru yang dihasilkan selalu memiliki satu individu terbaik yang kualitasnya sama baiknya atau bahkan lebih baik.

Heversine Distance Formula

Heversine Distance formula adalah sebuah persamaan untuk mencari jarak busur antara dua titik pada bola dari *longitude* dan *latitude*. Penelitian sebelumnya menggunakan formula tersebut pada kasus deteksi jalur terpendek *landmark* menggunakan A* dan Heversine Distance [23]. Haversine Distance formula ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Hd = 2r \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right) + \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right)} \right) \dots (2)$$

2. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan masukan berupa daftar *hotspot* Karhutla yang terjadi di provinsi Riau di bulan Juni 2015 dan daftar spesifikasi armada udara yang dapat digunakan, ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3, daftar *hotspot* tersebut bersumber dari laman BNPB beralamat www.sipongi.menlhk.go.id.

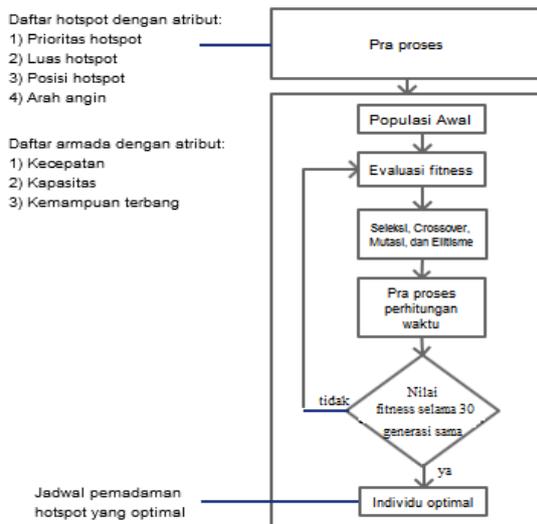
Tabel 1. Tabel Daftar Hotspot Karhutla

No	Lokasi	Latitude	Longitude
1.	Pelalawan, Kampir Kiri Hilir, Segati	-0.133	101.712
2.	Pelalawan, Kampir Kiri Hilir, Segati	-0.123	101.720
3.	Rokan Hilir, Bangko, Bagan Timur	2.198	100.957
..
88.	Siak, Pelalawan, Dayun	0.730	102.120

Tabel 2. Tabel Daftar Spesifikasi Armada

Nama Armada	Kecepatan (Km/H)	Kemampuan Beban (liter)	Batas Terbang (Km)
Sikorsky S-61	267	3.500	833
NBO 105	242	1.000	564
Bolco	254	1.500	602

Gambar arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Optimalisasi Pemadaman Hotspot Karhutla

Sebelum diproses, masukan diolah terlebih dahulu dengan pengkodean yang dapat dimengerti oleh sistem dan dilakukan pra-proses untuk menghitung waktu yang diperlukan oleh tiap armada untuk beroperasi dengan memperhitungkan kecepatan armada, kapasitas air tiap armada, jarak hotspot, kebutuhan air tiap hotspot, jarak sumber air, dan arah angin. masukan yang telah diproses sebelumnya masuk ke dalam proses AG dari pembangkitan populasi awal, selanjutnya tiap individu dievaluasi berdasarkan fungsi *fitness*, evolusi diawali dengan memilih individu yang akan dijadikan induk melalui operator seleksi dengan prosedur Tournament,

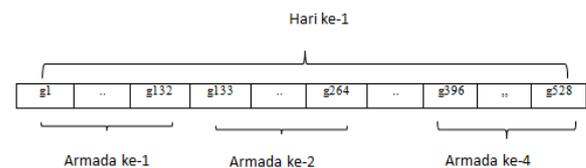
induk yang telah terpilih digunakan pada proses *crossover* menggunakan Satu Titik, selanjutnya melalui proses mutasi menggunakan Swapping Mutation, dan setiap generasi yang dihasilkan akan melalui proses elitisme serta pra-proses untuk memperbaiki estimasi waktu untuk pemadaman *hotspot* yang kemungkinan berubah. Kriteria berhenti jika nilai *fitness* yang dihasilkan memiliki nilai yang sama selama 30 generasi berturut-turut. Keluaran dari sistem berupa jadwal pemadaman *hotspot* Karhutla yang optimal.

Representasi Struktur Kromosom

Kromosom direpresentasikan dalam bentuk array bertipe 'GenInfo' dengan panjang antara 132 hingga 3696, angka tersebut didapat dengan menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Panjang Gen} = \text{Jam Operasi} \times \left(\frac{60 \text{menit}}{5 \text{menit}}\right) \times \text{hari} \times \text{jumlah armada} \quad \dots (3)$$

Satu gen merepresentasikan waktu untuk lima menit, untuk kelipatan 132 merupakan representasi jadwal untuk satu armada dalam satu hari, dan terdapat empat armada yang dijadwalkan untuk satu hari. Struktur kromosom digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Kromosom

Praproses Data

Data masukan terlebih dahulu dilakukan praproses untuk mendapatkan informasi dan ketentuan yang dibutuhkan sehingga data masukan dapat digunakan untuk melakukan proses optimalisasi. Tahap praproses data dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Hotspot dan sumber air mempunyai atribut berupa arah angin, arah angin tersebut ditentukan secara acak dengan nilai berupa utara, barat, timur, selatan, barat laut, timur laut, barat daya, dan tenggara.
- 2) Arah armada ditentukan menggunakan *method* dengan longitude dan latitude *hotspot* sebagai masukan yang akan diproses.
- 3) Kecepatan tiap armada dianggap tetap atau tidak diberlakukannya percepatan, sehingga kecepatan armada yaitu kecepatan maksimal armada dibagi dua.
- 4) Perhitungan jarak *hotspot* menggunakan rumus Haversine Distance yang ditunjukkan pada Persamaan (2).
- 5) Setiap *hotspot* memiliki atribut luas lahan yang terbakar, dan asumsi untuk setiap 5000m2 membutuhkan 1000 liter air.
- 6) Setiap *hotspot* juga memiliki tingkat prioritas yang telah ditetapkan dan tidak dilakukan perhitungan tingkat prioritas.

Membangun Fungsi Fitness

Nilai *fitness* setiap gen dihitung menggunakan Persamaan (1) dan kriteria pada Persamaan (4) hingga Persamaan (7) yang ditetapkan, sehingga gen akan bernilai satu jika memenuhi setiap kriteria tersebut. Berikut kriteria yang digunakan:

a) Jarak sumber air menuju hotspot lebih dekat dibanding *hotspot* selanjutnya untuk setiap harinya.

$$f_1(g) \begin{cases} 0 & \forall H_j[g] \leq \{H_j[g+k]\} \text{ dan } L \neq 0 \\ & H_j = \text{Jarak hotspot karhutla} \\ & g = \text{Gen ke} \\ & k = \{1, \dots, L\} \\ & L = 132 - (g \text{ mod } 132) \\ & \text{panjang gen untuk satu armada} = 132 \\ & 1 \text{ lainnya} \end{cases} \dots\dots(4)$$

b) *Hotspot* memiliki tingkat prioritas lebih tinggi dibanding dengan *hotspot* selanjutnya,

$$f_2(g) \begin{cases} 0 & \forall H_p[g] \geq \{H_p[g+k]\} \text{ dan } L \neq 0 \\ & H_p = \text{Tingkat prioritas hotspot karhutla} \\ & g = \text{Gen ke} \\ & k = \{1, \dots, L\} \\ & L = 132 - (g \text{ Mod } 132) \\ & \text{panjang gen untuk satu armada} = 132 \\ & 1 \text{ lainnya} \end{cases} \dots\dots(5)$$

c) Jumlah total jarak yang telah ditempuh armada ditambah jarak menuju base lebih kecil samadengan kemampuan terbang armada untuk setiap harinya,

$$f_3(g) \begin{cases} 0 & \forall M_j \geq (\sum_{i=0}^k H_j[g-i]) + J_b \\ & M_j = \text{maksimal jarak tempuh armada} \\ & H_j = \text{Jarak hotspot karhutla} \\ & J_b = \text{Jarak menuju base} \\ & g = \text{Gen ke} \\ & k = g \text{ mod } 132 \\ & i = \{0, \dots, k\} \\ & 1 \text{ lainnya} \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

d) Arah laju armada tidak boleh berlawanan dengan arah angin tiap *hotspot*.

$$f_4(g) \begin{cases} 0 & \forall M_h(Hak[g], Ham[g]) \neq H_v \\ & M_h = \text{fungsi pergerakan armada} \\ & Hak = \text{Arah angin hotspot} \\ & Ham = \text{Arah laju armada} \\ & g = \text{Gen ke} \\ & H_v = \text{fungsi pergerakan horizontal vertikal} \\ & 1 \text{ lainnya} \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

Membangkitkan Populasi Awal

Populasi awal dibangkitkan dengan cara mengisi gen dengan nilai acak, dan populasi awal berjumlah delapan individu dengan panjang gen berjumlah 528, dan digambarkan pada Gambar 3.

Individu 1	g1	..	g132	g133	..	g264	..	g396	..	g528
	h02	..	h06	h31	..	h34	..	h21	..	h10
	Armada ke-1			Armada ke-2			..			Armada ke-3
Hari ke 1										
Individu 2	g1	..	g132	g133	..	g264	..	g396	..	g528
	h08	..	h014	h21	..	h31	..	h51	..	h13
	Armada ke-1			Armada ke-2			..			Armada ke-3
Hari ke 1										
..	..									
Individu 8	g1	..	g132	g133	..	g264	..	g396	..	g528
	h12	..	h26	h31	..	h37	..	h24	..	h18
	Armada ke-1			Armada ke-2			..			Armada ke-3
Hari ke 1										

Gambar 3. Pembangkitan Populasi Awal

Operator Seleksi

Proses seleksi menggunakan teknik Tournament, induk didapat dari dua individu yang dipilih secara acak, kemudian dari kedua individu tersebut dibandingkan satu sama lain, dan individu dengan nilai *fitness* yang baik yang akan dipilih sebagai induk yang digunakan pada proses *crossover*. Individu yang menjadi induk sesuai dengan seleksi Tournament ditunjukkan pada Tabel 3.

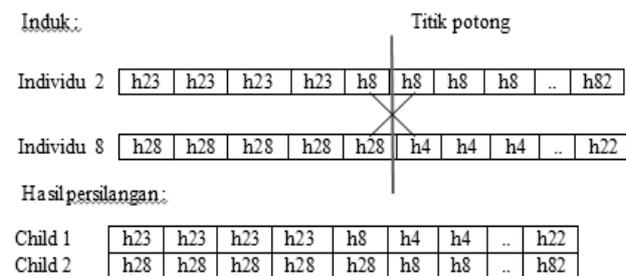
Tabel 3. Tabel Hasil Seleksi Tournament

No	Individu	Nilai Fitness	Individu Terpilih
1.	Individu ke-2 dan individu ke-3	329.2 > 294.5	Individu ke-2
2.	Individu ke-8 dan individu ke-6	326.4 < 310.5	Individu ke-8
3.	Individu ke-5 dan individu ke-7	329.0 < 325.2	Individu ke-5
4.	Individu ke-1 dan individu ke-2	337.1 < 329.2	Individu ke-1

Operator Crossover

Proses *crossover* yang digunakan adalah teknik Satu Titik. Sepasang induk dapat menghasilkan dua anak, sehingga pada proses *crossover* membutuhkan dua pasang induk yang akan disilangkan. Proses *crossover* digambarkan pada Gambar 4, serta langkah-langkah proses *crossover* dengan teknik tersebut yaitu :

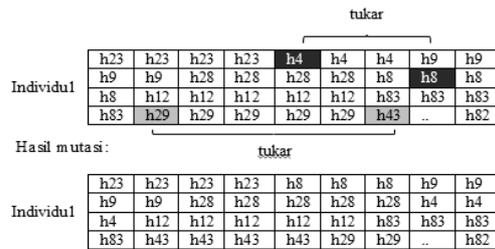
- Empat individu induk hasil proses seleksi, dibagi menjadi dua pasang yaitu [1,2] dan [3,4].
- Tentukan titik *crossover* dengan cara mencari gen yang bermasalah pada setiap induk.
- Pada setiap pasang induk lakukan persilangan terhadap gen yang melanggar, dan lakukan penataan ulang untuk mencegah gen yang sama pada setiap kromosom setelah disilangkan.



Gambar 4. Proses Persilangan

Operator Mutasi

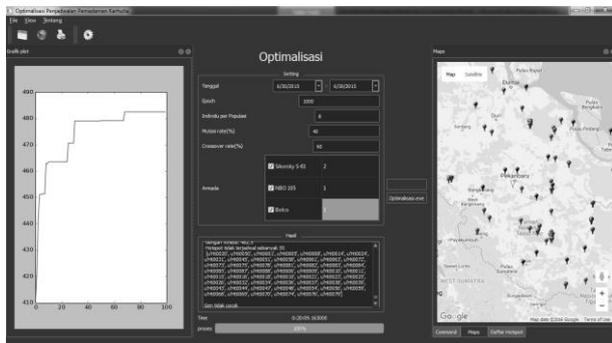
Mutasi menggunakan teknik Swapping Mutation, teknik ini bekerja dengan menukar isi gen yang posisinya ditentukan secara acak dan digambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses Mutasi

Hasil dan Pembahasan

Sistem diimplementasikan kedalam perangkat lunak yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python dan XAMPP untuk koneksi database MySQL. Tampilan dari perangkat lunak Sistem Penjadwalan Pemadaman Hotspot Karhutla ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem Penjadwalan Pemadaman Karhutla

Pengujian dilakukan 10 kali dengan ketentuan 1000 evolusi, delapan individu per populasi, penjadwalan dilakukan untuk satu hari, terdapat 21 sumber air yang ditetapkan, dan dengan kombinasi armada udara yaitu dua armada Sikorsky, satu armada NBO, dan satu armada Bolco, sehingga untuk masing-masing individu memiliki 528 gen. Pada lima kali pengujian awal menggunakan 0.4 probabilitas mutasi dan 0.6 probabilitas crossover, hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Hasil Pengujian Awal

Pengujian	Jumlah Evolusi	Nilai Fitness	Waktu (Menit)
Pengujian Ke-1	76	487.33	12:07
Pengujian Ke-2	98	504.166	16:56
Pengujian Ke-3	79	496.083	13:44
Pengujian Ke-4	68	502.75	10:14
Pengujian Ke-5	63	499.0	11:40
Rata Rata	76.8	497.86	12.72

Lima pengujian selanjutnya menggunakan 0.2 probabilitas mutasi dan 0.4 probabilitas crossover, hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

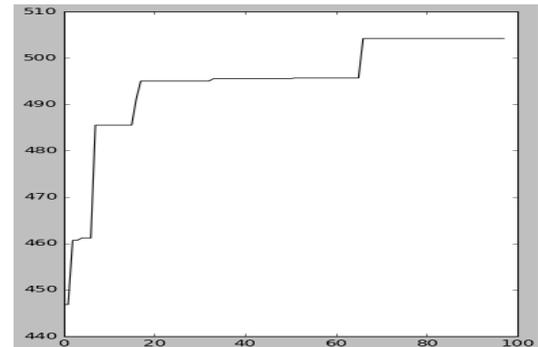
Tabel 5. Tabel Hasil Pengujian Kedua

Pengujian	Jumlah Evolusi	Nilai Fitness	Waktu (Menit)
Pengujian Ke-1	78	471.5	13:37

Tabel 5. Tabel Hasil Pengujian Kedua (lanjutan)

Pengujian Ke-2	42	492.833	08:49
Pengujian Ke-3	40	473.76	07:55
Pengujian Ke-4	53	491.00	10:34
Pengujian Ke-5	60	481.91	11:28
Rata Rata	54.6	479.3	9.51

Pada Gambar 7, menggambarkan grafik plot nilai fitness dari individu hasil evolusi yang terhenti pada generasi ke 98 dengan parameter 0.4 probabilitas mutasi dan 0.6 probabilitas crossover, masih terdapat 41 gen yang tidak memenuhi kriteria.



Gambar 7. Grafik Plot Nilai Fitness

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4 dan Tabel 5, AG yang diproses dengan parameter probabilitas crossover sebesar 0.4 dan probabilitas mutasi sebesar 0.2 memiliki rata-rata waktu proses yang lebih kecil, hal ini disebabkan kesempatan untuk suatu generasi mengalami evolusi semakin kecil, sehingga nilai fitness tiap generasi yang dihasilkan berturut-turut tidak mengalami perbaikan sehingga memaksa sistem untuk melakukan penghentian, berbeda dengan AG yang diproses dengan parameter probabilitas crossover sebesar 0.6 dan probabilitas mutasi sebesar 0.4 menghasilkan rata-rata nilai fitness yang lebih besar, hal ini disebabkan semakin besar kesempatan suatu individu untuk berevolusi, tetapi ketika generasi telah mencapai pada titik tertinggi dari nilai fitness yang muncul, mengakibatkan gen yang telah memenuhi kriteria tetap mengalami proses mutasi, sebab probabilitas mutasi bernilai 0.4 yang artinya 40% dari panjang gen suatu individu akan ditukar secara acak. Penggunaan teknik Tournament pada proses seleksi memungkinkan calon induk yang memiliki nilai fitness yang kecil terpilih sebagai induk, namun hasil dari penggunaan teknik Turnamen ini dapat menghasilkan individu yang lebih bervariasi.

3. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan sebanyak 10 kali pengujian dengan batas maksimal evolusi sebanyak 1000 kali evolusi, dan batas nilai fitness yang sama selama proses evolusi sebanyak 30 generasi, sistem menghasilkan nilai fitness terbesar 504.166 dengan 24 gen yang melanggar dan berhenti pada generasi ke 98, waktu yang dibutuhkan adalah 16.56 menit. Parameter probabilitas crossover sebesar 0.6 dan probabilitas mutasi sebesar 0.4

dianggap dapat menghasilkan solusi yang lebih baik. Setiap pengujian sistem mengeluarkan solusi berbeda karena AG bekerja secara acak, namun dapat memberikan optimalisasi solusi yang dirasa efektif. Masih terdapatnya pelanggaran disebabkan adanya kriteria yang diindikasikan bersifat kontradiktif dengan kriteria lainnya, sehingga mempengaruhi nilai *fitness* yang dihasilkan.

Dalam pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian ini, yaitu perlu adanya perhitungan untuk menentukan tingkat prioritas Karhutla, hal ini disebabkan jarak *hotspot* merupakan salah satu penentu prioritas Karhutla, sehingga diharapkan tingkat prioritas Karhutla dan jarak Karhutla memiliki nilai yang tidak kontradiktif. Penambahan perhitungan percepatan laju armada, dan integrasi dengan sistem yang dapat menghasilkan informasi berupa arah angin atau cuaca, sehingga sistem dapat lebih bersesuaian dengan keadaan yang terjadi di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] "Lampiran Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam No. 21/KPTS/DJ-IV/2002," 13 September 2002.
- [2] Ronggo Bayu Widodo, "Pemodelan Spasial Resiko Kebakaran Hutan (Studi Kasus)," Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota, vol. 10, juni 2014.
- [3] Raisha Ashila Rachman, Dadang Syarif, and Rika Perdana Sari, Analisa dan Penerapan Metode Particle Swarm Optimization Pada Optimasi Penjadwalan Kuliah.: Jurnal Teknik Informatika, Vol 1, 2012.
- [4] Hendry Setiawan, Lo Hanjaya Hanafi, and Kestriana Rega Prilianti, Implementasi Algoritma Kunang-Kunang Untuk Penjadwalan Mata Kuliah di Universitas Ma Chung. Malang: Jurnal Buana Informatika, Volume 6, Nomor 4, 2015.
- [5] E.Yulianti, Esmeralda Djamel C., and A Komarudin, "Optimalisasi Penjadwalan Perkuliahan di Fakultas Mipa Unjani Menggunakan Algoritma Genetik dan Tabu Search," Seminar Nasional Informatika dan Aplikasinya, pp. 254-259, 2013.
- [6] Ashish Jain, Dr. Suresh Jain, and Dr. P.K. Chande, "Formulation of Genetic Algorithm to Generate Good Quality Course Timetable," International Journal of Innovation, Management and Technology, vol. Vol. 1, No. 3, August 2010.
- [7] Fatan Kasyidi, Esmeralda Djamel C., and Agus Komarudin, "Optimalisasi Penempatan Sumber Daya Manusia Berdasarkan Proyek Menggunakan Algoritma Genetik," Seminar Nasional Jenderal Achmad Yani, 2014.
- [8] Nendi Purwana, Esmeralda Djamel C., and Faiza Renaldi, "Optimalisasi Penempatan Dosen Pembimbing Dan Penjadwalan Seminar Tugas Akhir Menggunakan Algoritma Genetika," Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi, Maret 2016.
- [9] Wiga Ayu Puspaningrum, Djunaidy Arif, and Retno Aulia Vinarti, "Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Algoritma Genetika di Jurusan Sistem Informasi," JURNAL TEKNIK POMITS, vol. Vol.2 No.1, 2013.
- [10] Harim Adi Saputro, Wayan Firdaus Mahmudy, and Candra Dewi, "Implementasi Algoritma Genetika Untuk Optimasi Penggunaan Lahan Pertanian," Repository Jurnal Mahasiswa PTHK Universitas Brawijaya, vol. vol. 5, 2015.
- [11] Nelly Indriani Widiastuti, "Algoritma Genetik Pada Masalah Tata Letak Mesin Dengan Pengkodean Kromosom Untuk Ukuran Mesin Yang Berbeda-beda," Jurnal Computech & Bisnis ISSN 1978-9629, vol. Vol. 5, No. 2, Desember 2011.
- [12] Imran Ali Chaudhry, "A Genetic Algorithm Approach for Process Planning and Scheduling in Job Shop Environment," Proceedings of the World Congress on Engineering, vol. Vol III, July 2012.
- [13] Xu Heli, Yang Shanshan, and Lijia, "The Application of Genetic Algorithm Based on Multi-dimension Code Scheme on Course Scheduling In Adult Education," Proceedings of the Third International Symposium on Electronic Commerce and Security Workshops (ISECS '10), pp. 005-009, July 2010.
- [14] Eri Walid Fattin, Esmeralda Djamel C., and Agus Komarudin, "Optimalisasi Penjadwalan Perjalanan Kereta Api Padalarang-Bandung Menggunakan Algoritma Genetika. Cimahi: SENIJA, 2015.
- [15] Riza Arifudin, "Optimasi Penjadwalan Proyek Dengan Penyeimbangan Biaya Menggunakan Kombinasi CPM Dan Algoritma Genetika," Jurnal Masyarakat Informatika, vol. Volume 2 Nomor 4.
- [16] S Romauli, "Pemanfaatan Algoritma Genetika Pada Aplikasi Penempatan Buku Untuk Perpustakaan Sekolah," Pelita Informatika Budi Darma, vol. VI, Nomor 2, pp. 113-118, April 2014.
- [17] Chetan Chudasama, S. M. Shah, and Mahesh Panchal, "Comparison of Parents Selection Methods of Genetic Algorithm for TSP," International Conference on Computer Communication and Networks CSI- COMNET, 2011.
- [18] Asha Gowda Karegowda, A.S. Manjunath, and M.A. Jayaram, "Application Of Genetic Algorithm Optimized Neural Network Connection Weights For Medicaldiagnosis Of Pima Indians Diabetes," International Journal on Soft Computing (IJSC), Vol.2, No.2, May 2011.
- [19] Nora Azmi, Irawadi Jamaran, Yandra Arkeman, and Djumali Mangunwidjaja, "Penjadwalan Pesanan Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Tipe Produksi Hybrid And Flexible Genetika Untuk Tipe Produksi Hybrid And Flexible," Jurnal Teknik Industri, ISSN:1411-6340.
- [20] Ari Janata and Elin Haerani, "Sistem Penjadwalan Outsourcing Menggunakan Algoritma Genetika," Jurnal CoreIT, vol. Vol.1, No.2, Desember 2015.
- [21] Nitasha Soni and Dr Tapas Kumar, "Study of Various Mutation Operators in Genetic Algorithms," (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, vol. Vol. 5, 2014.
- [22] Dewa Made Adi, Baskara Joni and Vivine Nurcahyawati, "Penentuan Jarak Terpendek Pada Jalur Distribusi Barang Di Pulau Jawa Dengan Menggunakan Algoritma Genetika," ISSN 2089-8673 Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI), vol. 1, p. 3, 2012.
- [23] Nitin R Chopde, Landmark Based Shortest Path Detection by.: International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, April 2013.

Biodata Penulis

Usmar Alhamd Ab Aziz, Mahasiswa jurusan Informatika UNJANI Cimahi, angkatan tahun 2011.

Esmeralda Contessa Djamel, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 1994. Memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) Program Pasca Sarjana Magister Instrumentasi dan Kontrol Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 1998. Memperoleh gelar Doktor Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung, lulus tahun 2005. Saat ini menjadi Dosen di Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi.

Faiza Renaldi, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T), memperoleh Master of Science (M.Sc). Saat ini menjadi Dosen di Universitas Jenderal Achmad Yani Cimahi.