

## Aplikasi Algoritma Genetika dalam Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

Kemal Arganta Samudra dan I Made Astina

Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung  
Jalan Ganesha No.10, Bandung, 40132  
Email: kemal.arganta@yahoo.com

### Abstrak

Algoritma genetika merupakan sebuah metode optimasi yang menggunakan proses seleksi yang terjadi di alam sebagai prinsipnya. Banyak keuntungan yang dapat diperoleh dari metode optimasi ini, salah satunya ialah metode ini dapat mengoptimasi suatu nilai yang memiliki banyak variabel dan mengoptimasi suatu nilai dengan jumlah individu (kemungkinan) yang banyak. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan gabungan dari unit pembangkit tenaga gas dan tenaga uap. Gas buang dari unit pembangkit tenaga gas yang masih memiliki energi termal yang cukup tinggi dimanfaatkan sebagai sumber energi oleh unit pembangkit tenaga uap. Penggabungan kedua unit ini telah terbukti mampu untuk meningkatkan efisiensi total sistem pembangkit daya. Seiring dengan peningkatan kebutuhan listrik nasional dan menipisnya jumlah energi fosil, peningkatan efisiensi sebuah unit pembangkit merupakan hal yang dapat dilakukan selain menambah unit pembangkit baru untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional tersebut. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi tersebut adalah mencari kondisi operasi optimal fluida kerja yang digunakan pada pembangkit tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan optimasi kondisi-kondisi operasi tersebut. Untuk itu sebuah metode optimasi yang efektif diperlukan. Algoritma genetika yang dinilai sebagai sebuah metode optimasi yang efektif digunakan dalam mengoptimasi kondisi-kondisi operasi pembangkit listrik tenaga gas dan uap seperti, temperatur masuk turbin gas, temperatur keluar turbin gas, temperatur masuk turbin uap, dan temperatur masuk kompresor. Kondisi-kondisi operasi tersebut dioptimasi dengan mempertimbangkan kondisi fluida kerja sebagai batasan-batasan optimasi. Dari hasil optimasi, efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh PLTGU adalah sebesar 0,571931. Efisiensi tersebut dicapai saat temperatur masuk turbin gas 1373K, temperatur keluar turbin gas sebesar 800K, temperatur masuk turbin uap tekanan tinggi sebesar 770K, temperatur masuk turbin uap tekanan rendah sebesar 413K, dan temperatur keluar HRSG sebesar 448K.

**Keywords:** algoritma genetika, pembangkit listrik tenaga gas dan uap, optimasi, kondisi operasi, efisiensi

### Pendahuluan

Listrik merupakan salah satu dari kebutuhan dasar kehidupan manusia. Alat-alat rumah tangga, kantor, hingga industri, sebagian besar dari alat-alat tersebut memerlukan pasokan listrik ketika hendak digunakan. Penjualan listrik oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) pada tahun 2010 adalah sebesar 147.297 GWh, tahun 2011 sebesar 157.993 GWh, dan tahun 2012 sebesar 173.990 GWh. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan listrik di Indonesia mengalami peningkatan sekitar 10% setiap tahunnya, dan diperkirakan akan terus meningkat hingga 272,34 TWh pada tahun 2020. Peningkatan kebutuhan listrik di Indonesia harus diimbangi dengan peningkatan produksi listrik, agar tidak terjadi krisis kelistrikan. Peningkatan produksi listrik dapat dilakukan dengan menambah unit

pembangkit atau dengan mengoptimalkan pembangkit yang telah ada. Algoritma genetika merupakan sebuah metode optimasi berdasarkan prinsip seleksi yang terjadi di alam, dimana individu yang lebih kuat akan memiliki peluang bertahan hidup yang lebih besar. Metode ini telah dipakai oleh para peneliti untuk melakukan optimasi dalam berbagai masalah di berbagai bidang seperti sains, rekayasa, ekonomi, sampai bidang artistik. Fluida kerja pada sebuah PLTGU memiliki kondisi-kondisi operasi yang bervariasi pada setiap prosesnya. Kondisi-kondisi inilah yang akan dioptimalkan menggunakan metode algoritma genetika agar didapat kondisi-kondisi optimal dari fluida kerja tersebut sehingga bisa memperoleh suatu nilai efisiensi yang paling tinggi dari sebuah PLTGU.

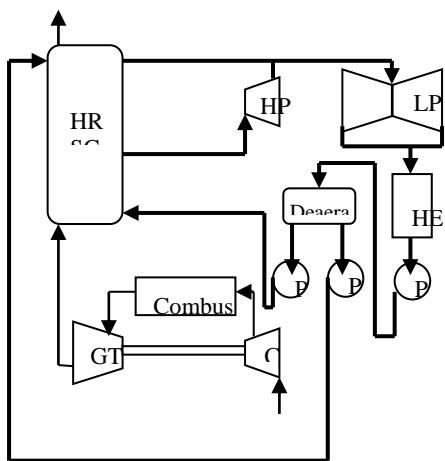
## Metodologi Optimasi

Prosedur optimasi dalam aplikasi algoritma genetik dilakukan mengikuti langkah-langkah yang diuraikan pada bagian ini. Ada lima kelompok tahapan kerja yang dilakukan.

### i. Perumusan fungsi untuk nilai fitness

Fungsi fitness adalah fungsi yang nilainya akan dimaksimalkan. PLTGU yang menjadi objek optimasi untuk aplikasi algoritma genetika diperlihatkan pada gambar 1. Fungsi fitness adalah rumus efisiensi termal sistem PLTGU tersebut. Rumus efisiensi total dari PLTGU adalah

$$\eta_{termal} = \frac{\text{dayaturbin} - \text{dayaparasitik}}{\dot{Q}_{in}} \quad (1)$$



Gambar 1. SkemaPLTGU

### ii. Penentuan kondisi-kondisi operasi yang akan dioptimasi

Kondisi-kondisi operasi yang akan dioptimasi adalah sebagai berikut:

- Temperatur fluida kerja saat masuk turbin gas
- Temperatur fluida kerja saat keluar HRSG
- Temperatur fluida kerja saat keluar turbin gas
- Temperatur fluida kerja saat masuk turbin uap tekanan tinggi
- Temperatur fluida kerja saat masuk turbin uap tekanan rendah

### iii. Penentuan batas-batas kondisi operasi yang akan dioptimasi

Penentuan batas-batas kondisi operasi yang akan dioptimasi didasarkan pada kondisi fasa fluida kerja yang seharusnya pada kondisi tersebut.

### iv. Menyusun langkah-langkah algoritma genetika

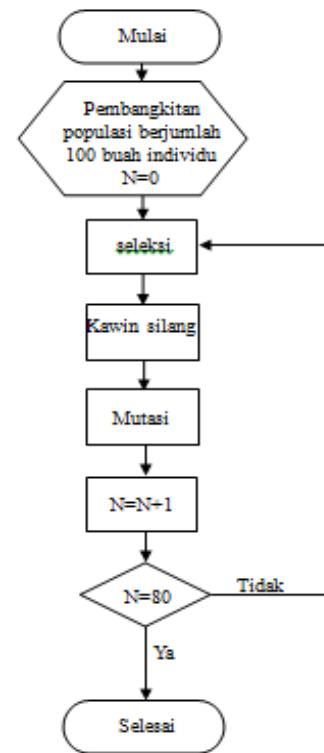
Algoritma genetika yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari empat langkah utama yang tercantum pada gambar 2.

- Pembangkitan populasi  
Jumlah individu yang dibangkitkan untuk populasi awal berjumlah 100 buah.
- Seleksi  
Seleksi yang digunakan adalah jenis roulette wheel. Pada metode ini individu yang memiliki nilai fitness yang lebih tinggi memiliki peluang bertahan yang lebih tinggi.
- Kawin silang  
Kawin silang yang digunakan adalah jenis kawin silang satu titik dan dua titik. Berikut penjelasan dari masing-masing jenis kawin silang tersebut:  
*Kawin silang satu titik:*

Kawin silang satu titik adalah proses kawin silang yang terjadi pada gen-gen yang terletak setelah sebuah titik sampai gen terakhir pada sebuah kromosom. Pemilihan penentuan titik tersebut dilakukan secara acak.

Berikut contoh kawin silang satu titik:

Individu 1	: a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub> d <sub>1</sub> e <sub>1</sub>
Individu 2	: a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub> d <sub>2</sub> e <sub>2</sub>
Keturunan 1	: a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub> d <sub>2</sub> e <sub>2</sub>
Keturunan 2	: a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub> d <sub>1</sub> e <sub>1</sub>



Gambar2. Diagram alir optimasi

### Kawin silang dua titik:

Kawin silang dua titik adalah kawin silang yang dilakukan pada gen-gen yang terletak diantara dua titik yang ditentukan. Pemilihan kedua titik tersebut dilakukan secara acak. Berikut contoh dari kawin silang dua titik:

Individu 1	: a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub> d <sub>1</sub> e <sub>1</sub>
Individu 2	: a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub> d <sub>2</sub> e <sub>2</sub>
Keturunan 1	: a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub> d <sub>2</sub> e <sub>1</sub>
Keturunan 2	: a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub> d <sub>1</sub> e <sub>2</sub>

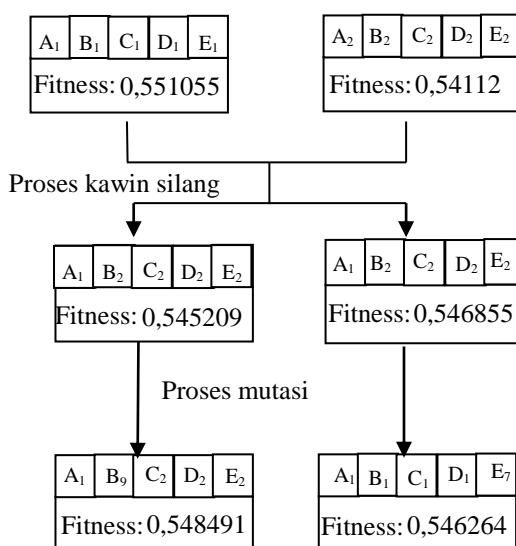
Kedua jenis kawin silang tersebut masing-masing digunakan untuk dua buah siklus algoritma genetika yang berbeda dimana pada akhirnya akan dibandingkan hasil optimasi antara kedua siklus yang memakai dua jenis kawin silang yang berbeda.

#### d) Mutasi

Mutasi yang digunakan adalah mutasi satu titik dengan laju mutasi (*mutation rate*) 10%.

Setelah proses mutasi dilakukan, maka sebuah generasi baru dihasilkan dari populasi awal. Selanjutnya proses diulang kembali menuju proses seleksi agar dihasilkan generasi-generasi baru berikutnya hingga generasi ke 80.

Gambar 3 memberikan contoh hasil operator genetika dalam optimasi dengan kawin silang jenis satu titik dimana kawin silang dilakukan dari gen ke-2 hingga akhir setelah itu dilakukan proses mutasi. Mutasi terjadi pada gen ke-2 individu 1 dan gen ke-5 individu 2



**Gambar 3.** Ilustrasi algoritma genetika

### v. Mengaplikasikan algoritma genetika pada optimasi

Langkah-langkah optimasi yang telah disusun pada subbab sebelumnya kemudian diimplementasikan pada sebuah perangkat lunak. Perangkat lunak tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menjalankan operasi-operasi pada algoritma genetika sesuai dengan batas-batas kondisi dan diagram alir yang telah dibuat. Perangkat lunak tersebut dijalankan (*running*) sebanyaklima kali untuk tiap jenis kawin silang. Perangkat lunak ini pada akhirnya akan menghasilkan sebuah nilai efisiensi yang paling tinggi disertai dengan kondisi (entalpi) fluida kerja saat nilai efisiensinya paling tinggi tersebut. Dari nilai entalpi fluida kerja dan data tekanan fluida kerja, nilai dari temperatur fluida kerja pada setiap kondisidapat dicari.

### Hasil dan Pembahasan

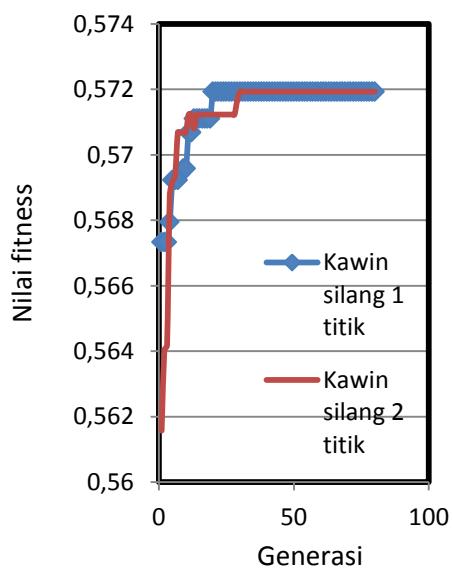
Hasil dari optimasi menggunakan algoritma genetika ditampilkan pada tabel 1. Proses pencapaian nilai fitness maksimum yang diperlihatkan pada gambar 4 menunjukkan proses iterasi pada algoritma genetika akan mencapai suatu nilai fitness maksimal tertentu dan nilai tersebut tidak akan berubah lagi (tidak ada nilai fitness yang lebih tinggi dari nilai tersebut). Hal ini menunjukkan optimasi dengan algoritma genetika yang dilakukan dapat menghasilkan fitness yang konvergen. Kondisi ini sesuai dengan konsep algoritma genetika yang ada, dimana pada generasi tertentu hasil dari proses algoritma genetika menuju pada suatu nilai (konvergen), dan ini merupakan salah satu indikator bahwa proses algoritma genetika yang dilakukan berhasil dan operator genetika dalam algoritma genetika algoritma telah berfungsi dengan baik.

Hasil *running* yang didapat menunjukkan sebagian besar hasil yang didapat menunjukkan nilai yang sama pada setiap *running* dari tiap jenis kawin silang seperti yang tampak pada gambar 5 dan gambar 6. Hal ini dikarenakan fitness yang dioptimasi adalah sebuah fungsi yang sederhana sehingga nilai maksimum globalnya dapat dicari dengan mudah.

Hasil *running* dari perangkat lunak menunjukkan kawin silang satu titik merupakan jenis kawin silang dengan pencapaian nilai fitness maksimum yang paling cepat (nilai maksimum dicapai saat jumlah generasi masih rendah). Pada kawin silang jenis satu titik dan dua titik, jumlah gen yang dikawinkan ditentukan secara acak

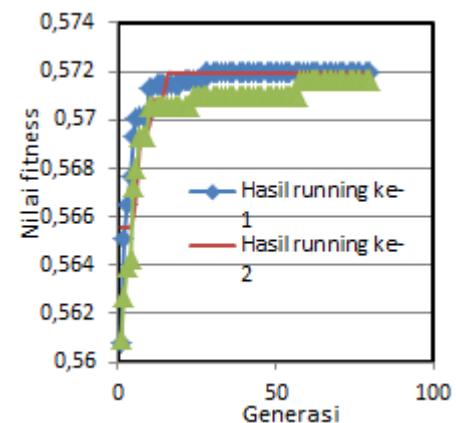
**Tabel 1.** Hasil optimasi algoritma genetika

Jenis kawin silang	Hasil running ke-	Nilai fitness terbaik	No. generasi saat nilai fitness terbaik mulai konvergen	Rata-rata
Satu titik	1	0,571931	28	
	2	0,571931	16	
	3	0,571658	58	27,2
	4	0,571931	14	
	5	0,571931	20	
	1	0,571931	35	
	2	0,571931	57	
Dua titik	3	0,570958	9	35,2
	4	0,571931	45	
	5	0,571931	30	

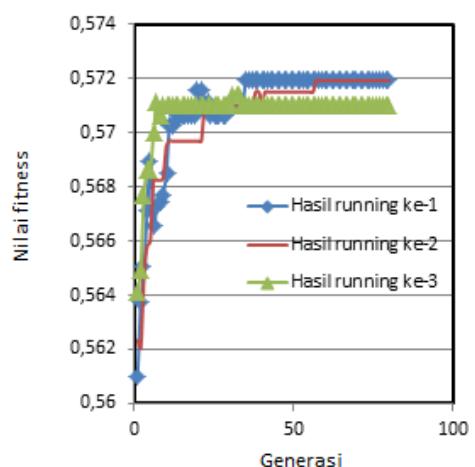


**Gambar4.**Grafik pencapaian nilai fitness maksimum

Namun dari hasil yang didapat, kawin silang satu titik dapat mencapai nilai yang konvergen lebih cepat. Dari hal ini dapat diprediksi bahwa pada kawin silang satu titik jumlah gen yang dikawinkan lebih banyak daripada kawin silang dua titik.



**Gambar 5.**Grafik hasil tiga kali running algoritma genetika dengan kawin silang jenis satu titik



**Gambar 6.**Grafik hasil tiga kali running algoritma genetika dengan kawin silang jenis dua titik

Hal ini dapat terjadi karena pada kawin silang satu titik, salah satu batas gen yang dikawinkan telah ditentukan, yaitu gen terakhir, sedangkan pada kawin silang dua titik batas-batas gen yang disilangkan ditentukan secara acak, sehingga sangat memungkinkan hanya sedikit gen yang mengalami kawin silang.

Hasil seluruh *running* perangkat lunak dalam mengaplikasikan algoritma genetika menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yang sama yaitu 0,571931. Efisiensi tersebut tercapai pada kondisi entalpi operasi sebagai berikut:

entalpi masuk kompresor	:	429,442 kJ/kg
entalpi masuk ruang bakar	:	784,992 kJ/kg

entalpi masuk turbin gas	:	1610,63 kJ/kg
entalpi keluar turbin gas	:	948,651 kJ/kg
entalpi masuk turbin tekanan tinggi	:	3415,34 kJ/kg
entalpi masuk turbin tekanan rendah	:	2738,41 kJ/kg
entalpi keluar HRSG	:	576,243 kJ/kg
entalpi keluar turbin lp	:	2098,37 kJ/kg
entalpi masuk pompa kondensat	:	175,229 kJ/kg
entalpi masuk deaerator	:	179,947 kJ/kg
entalpi keluar deaerator	:	567,53 kJ/kg
entalpi keluar pompa deaerator tekanan rendah	:	571,824 kJ/kg
entalpi keluar pompa deaerator tekanan tinggi	:	576,618 kJ/kg

**Tabel 2.** Kondisi operasi PLTGU hasil optimasi

No	Kondisi	Tekanan (MPa)	Temperatur hasil optimasi algoritma genetika
1	Masuk kompresor	0,1	
2	Keluar kompresor/masuk ruang bakar	1,2	
3	Keluar ruang bakar/masuk turbin gas	1,2	1373
4	Keluar turbin gas	0,1	800
5	Masuk turbin uap tekanan tinggi (HP)	6,0	770
6	Masuk turbin uap tekanan rendah (LP)	0,31	413
7	Keluar turbin uap tekanan rendah/masuk kondensor	0,0085	
8	Keluar kondensor/masuk pompa	0,0085	
9	Keluar pompa/ masuk deaerator	1,1	
10	Keluar deaerator	1,1	
11	Keluar pompa deaerator tekanan rendah	1,1	
12	Keluar pompa deaerator tekanan tinggi	7,8	
13	Keluar Heat Recovery Steam Generator (HRSG)	0,1	448

Setelah diketahui entalpi-entalpi dan tekanan dari kondisi operasi PLTGU, dapat dicari temperatur operasi PLTGU tersebut. Kondisi operasi (tekanan dan temperatur) setelah dilakukan optimasi menggunakan algoritma genetika diperlihatkan pada tabel 2.

Dari hasil algoritma genetika seperti yang tampak pada tabel 2, terlihat bahwa untuk mencapai efisiensi yang maksimum, temperature operasi yang harus diatur sampai maksimum adalah temperatur masuk kompresor, masuk turbin (gas dan kedua turbin uap), dan temperatur keluar HRSG. Sedangkan temperatur yang harus diatur pada nilai terkecilnya adalah temperatur keluar turbin gas. Hal ini merupakan hal

yang wajar, karena jika dilihat rumus dari nilai fitnessnya, memang variabel-variabel yang tersebut pada no (1), (3), (4), (5), (6), dan (13) harus diatur agar pada kondisi maksimum/minimurnya untuk mendapatkan nilai fitness tertinggi.

Proses validasi dilakukan dengan menghitung secara manual nilai

efisiensi PLTGU dengan menggunakan data-data yang didapat dari hasil optimasi. Hasil perhitungan manual menunjukkan efisiensi yang didapat adalah sebesar 0,573207. Hasil yang didapat pada perhitungan manual memiliki perbedaan sebesar 0,22%. Perbedaan ini cukup kecil sehingga hasil hitungan dengan perangkat lunak yang mengaplikasikan algoritma genetika dapat dianggap benar.

## Kesimpulan

Efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh PLTGU adalah sebesar 0,571931. Efisiensi tersebut dicapai saat temperatur masuk turbin gas 1373K, temperatur keluar turbin gas sebesar 800K, temperatur masuk turbin uap tekanan tinggi sebesar 770K, temperatur masuk turbin uap tekanan rendah sebesar 413K, dan temperatur keluar HRSG sebesar 448K.

## Referensi

- Angus R. Simpson, Graene C. Dandy, and Laurence J. Murphy. Genetic Algorithm to Other Techniques for Pipe Optimization. Journal, Vol.1, 5-8 (1994).

2. Randy L. Haupt and Sue Ellen Haupt.Practical Genetic Algorithm. second ed. John Wiley & Sons, New Jersey.2004
3. Mitchell Melanie. An Introduction to Genetic Algorithms. Fifth ed. Massachusetts Institute of Technology.London.1999
4. Moch. Muchlis dan Adhi Darma Permana.Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d 2020
5. Statistik PLN, Statistik DJK dan Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia, Pusdatin KESDM
6. DR. Manoj Kumar.Genetic Algorithm – an Approach to Solve Global Optimization Problems.Indian Journal of Computer Science and Engineering.Vol 1 No 3 199-206.2010