

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan hasil dan pembahasan penyelesaian masalah optimasi *economic dispatch* sistem pembangkit tenaga listrik *thermal* menggunakan Algoritma Genetika.

4.1 Tinjauan Umum

Pemilihan Algoritma Genetika sebagai metode optimasi didasarkan pada karakteristik Algoritma Genetika yang berbeda dengan metode optimasi yang lain yang secara hipotesis sangat memungkinkan untuk memiliki performa yang lebih baik dari metode-metode yang lain. Karakteristik - karakteristik tersebut adalah:

- Algoritma Genetika menggabungkan solusi-solusi yang baik menjadi solusi yang lebih baik lagi.
- Algoritma Genetika bekerja pada parameter-parameter yang telah dikodekan, tidak bekerja secara langsung terhadap parameter-parameter yang akan dioptimasi sehingga tampak lebih sederhana dan lebih mudah dipahami. Dalam skripsi ini parameter-parameter dikodekan ke dalam angka biner.
- Algoritma Genetika melakukan pencarian solusi secara *paralel* tidak hanya dari satu titik saja.
- Algoritma Genetika melakukan pencarian secara acak, sehingga membuka kemungkinan untuk menemukan solusi yang optimal dalam lingkup global/keseluruhan, bukannya solusi yang optimal dalam lingkup lokal.

4.2 Data Masukan

Langkah selanjutnya yang peneliti lakukan dalam menyelesaikan operasi ekonomis pembangkit *thermal* sistem 500 kV Jawa-Bali yaitu mencari data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan. Data-data yang dicari yaitu *heat reat* pembangkit *thermal*, batas maksimum dan minimum pengoperasian pembangkit *thermal* serta beban harian pembangkit *thermal*.

Selanjutnya mengolah data *heat reat* masing-masing pembangkit *thermal* menjadi persamaan biaya bahan bakar unit pembangkit dengan pendekatan fungsi *polynomial*.

Kemudian menentukan parameter-parameter genetika yaitu *popsize*, peluang *crossover* (ρ_c), peluang mutasi (ρ_m) dan kriteria berhenti (iterasi maksimum). Adapun beberapa penentuan parameter sebagai berikut:

$$Popsiz e = 50$$

$$\rho_c = 0,6$$

$$\rho_m = 0,027$$

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan operasi ekonomis pembangkit *thermal* yaitu batas pengoperasian pembangkit serta data riil sistem penjadwalan unit pembangkit yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan peneliti. Batas pengoperasian pembangkit dan data riil sistem penjadwalan unit pembangkit ditunjukkan dalam Tabel 4.1 dan 4.2.

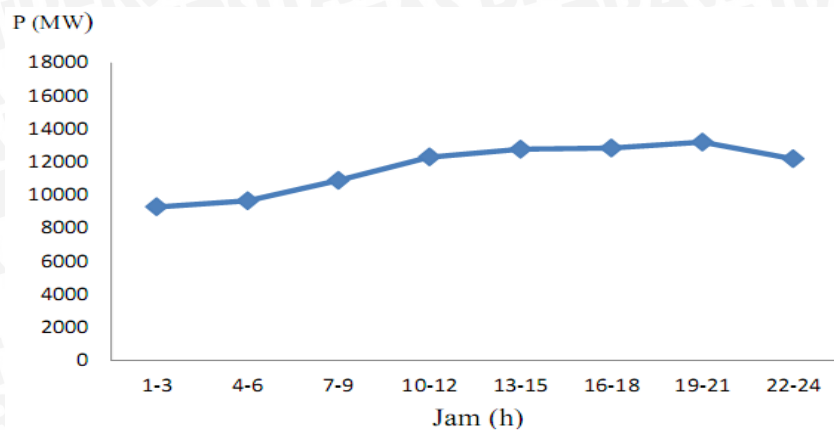
Tabel 4.1 Batas Pengoperasian Pembangkitan Jawa-Bali

Unit Pembangkit	P min (MW)	P mak (MW)
Suralaya	1600	3400
Muaratawar	600	1400
Tanjung Jati	1200	2100
Gresik	900	2100
Paiton	1800	4300
Grati	290	800

Tabel 4.2 Pembangkitan Unit Sistem 500kV Jawa-Bali Sebelum Optimasi (Senin, 9 September 2013)

Pukul	Beban (MW)	Suralaya (MW)	Muaratawar (MW)	Tanjungjati (MW)	Gresik (MW)	Paiton (MW)	Grati (MW)
1-3	9293	2043	684	1664	1315	3179	408
4-6	9658	2418	657	1544	1243	3364	432
7-9	10891	2816	801	1799	1799	3673	396
10-12	12301	3112	1123	1933	1933	4010	341
13-15	12780	3252	1329	1967	1967	4076	355
16-18	12843	3188	1143	1987	1987	4115	481
19-21	13203	3151	1128	1983	1983	4232	641
22-24	12192	2995	835	1976	1976	4060	328

Adapun grafik beban harian pembangkit *thermal* 500kV ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Beban Harian Pembangkit *Thermal* Sistem 500KV Jawa-Bali (Senin, 9 September 2013)

Sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali terdiri atas 25 bus dengan 30 saluran, dan 8 pembangkit. Pembangkit-pembangkit tersebut adalah pembangkit Suralaya, pembangkit Muaratawar, pembangkit Cirata, pembangkit Saguling, pembangkit Tanjungjati, pembangkit Gresik, pembangkit Paiton, dan pembangkit Grati. Pada 8 pembangkit tersebut, terdapat pembangkit Cirata dan Saguling sebagai pembangkit tenaga air (PLTA) sedangkan 6 pembangkit lainnya adalah pembangkit thermal. Adapun Suralaya bertindak sebagai slack pembangkit. Adapun koefisien rugi-rugi daya (B) dalam satuan per unit (pu) 6 pembangkit ditunjukkan sabagai berikut:

$$B_{ij} =$$

0,007894	0,002322	-0,003579	-0,005503	-0,006413	0,004981
0,002322	0,008612	-0,002950	-0,006133	-0,008469	0,004668
-0,003579	-0,002950	0,020465	0,004459	0,004114	0,003855
-0,005503	-0,006133	0,004459	0,013941	0,012981	0,008039
-0,006413	-0,008469	0,004115	0,012981	0,021338	0,010520
-0,004981	-0,004668	0,003855	0,008038	0,010521	0,012048

Selanjutnya memberikan data masukan nama unit pembangkit, daya minimum (P_{\min}) dan maksimum (P_{\max}) yang bisa dibangkitkan oleh tiap unit pembangkit, karakteristik *heat rate* (H), harga biaya bahan bakar tiap unit. Adapun data *heat rate* ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristik Daya Pembangkitan Dan Heat Rate

Pembangkit	Daya Pembangkitan (MW)				Heat Rate (Kcal/KWh)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Suralaya	1703	2221	2561	3247	19287	18783	18521	18103
Muaratawar	666	826	993	1140	28387	28304	25412	24756
Tanjung Jati	1227	1525	1812,8	1982,8	7261,96	7182,02	7107,04	7054,62
Gresik	1141	1382	1649	1973	48200	47886	47715	47562
Paiton	2071,5	2792,5	3358,75	4005	19203,66	18409,8	17861,9	17372
Grati	320	400	560	795,6	31413	28223	27456	26895

Tabel 4.3 merupakan data *heat reat* (laju panas) pembangkit thermal sistem 500 kV Jawa-Bali. Setiap unit pembangkit terdiri dari empat titik *heat reat* yang diperoleh dari hasil percobaan. Apabila data tersebut didekati dengan fungsi *polynomial* maka akan diperoleh persamaan laju panas dari pembangkit thermal dalam Mcal/h. Perkalian persamaan laju panas dengan biaya bahan bakar akan menghasilkan persamaan baru yang menggambarkan karakteristik biaya bahan bakar pembangkit thermal. Adapun biaya bahan bakar masing-masing pembangkit yaitu:

- Suralaya = Rp.19,66/Mcal
- Muaratawar = Rp.59,44/Mcal
- Tanjung Jati = Rp.40,68/Mcal
- Gresik = Rp.12,5/MCal
- Paiton = Rp.18,12/MCal
- Grati = Rp.83/Mcal

Penjadwalan unit pembangkit bertujuan untuk mengoptimalkan pembebanan unit pembangkit yang beroperasi dengan menekan besarnya biaya bahan seekonomis mungkin atau yang dikenal dengan istilah operasi ekonomis. Keadaan optimal tersebut didapat apabila pembangkit dioperasikan dengan incremental cost (laju penambahan biaya) yang sama dengan memperhatikan batas maksimum dan minimum pengoperasian unit pembangkit. Untuk dapat menghitung operasi ekonomis pembangkit terlebih dahulu dicari fungsi biaya bahan bakar pembangkit thermal sistem 500 kV Jawa-Bali dengan cara mengolah data heat reat pembangkit menggunakan pendekatan fungsi *polynomial*, yang kemudian dikalikan dengan fungsi biaya bahan bakar sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 4.4

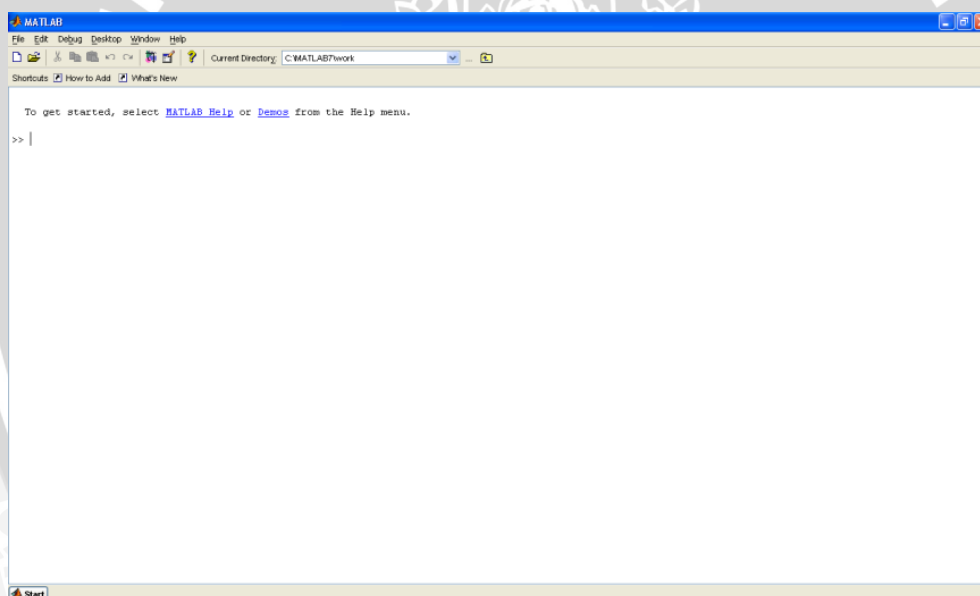
Tabel 4.4 Karakteristik Biaya Bahan Bakar Sistem Pembangkit *Thermal* 500kV Jawa-Bali

Pembangkit	Fungsi Biaya Bahan Bakar Pembangkit (Rp/h)
Suralaya	$F(P) = 50128314,5979 + 360033,1927 P + 6,0281 P^2$
Muaratawar	$F(P) = -200845202,0238 + 2529579,058 P - 784,2664 P^2$
Tanjung Jati	$F(P) = -4524287,3983 + 314915,0144 P - 12,9134 P^2$
Gresik	$F(P) = 29801981 + 571956,5276 P + 3,7995 P^2$
Paiton	$F(P) = 63773353,0886 + 337171,0187 P - 9,5862 P^2$
Grati	$F(P) = 363187302,3549 + 1200210,1699 P + 727,5461 P^2$

4.3 Rancangan Program Aplikasi

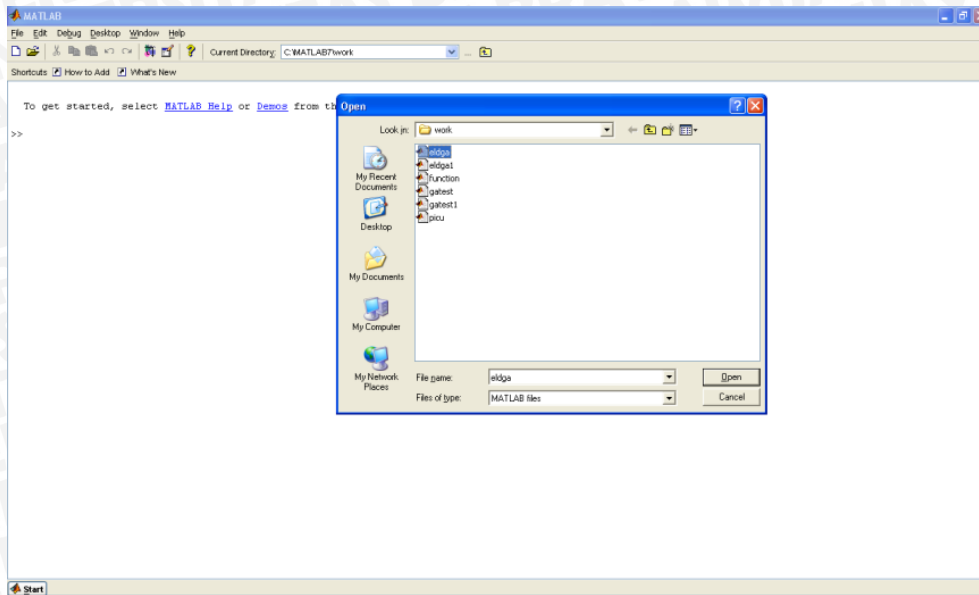
Untuk mengaplikasikan metode Algoritma Genetika dalam penyelesaian masalah *economic dispatch* unit pembangkit dibutuhkan sebuah program aplikasi untuk mensimulasikannya. Pada skripsi ini digunakan Matlab 7. Adapun langkah-langkah pengaplikasian dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuka Aplikasi Matlab 7 sampai tertampil seperti dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Tampilan Awal Aplikasi Matlab 7

2. Membuka file matlab yang digunakan sebagai pemrosesan *economic dispatch* berbasis algoritma genetika yang pada penelitian ini menggunakan 2 file yaitu, *eldga.m* dan *gates.m*.



Gambar 4.3 File Directory listing program *gates.m* dan *eldga.m*

3. Langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai-nilai parameter fungsi biaya, P_{\min} , P_{\max} koefisien *loss transmission*, P_d (P demand), *PopulationSize*, *Generations*, *TimeLimit*, *StallTimeLimit*, *PlotFcns*. Berikut adalah data yang tertampil pada listing program yang ditunjukkan dalam Gambar 4.4.

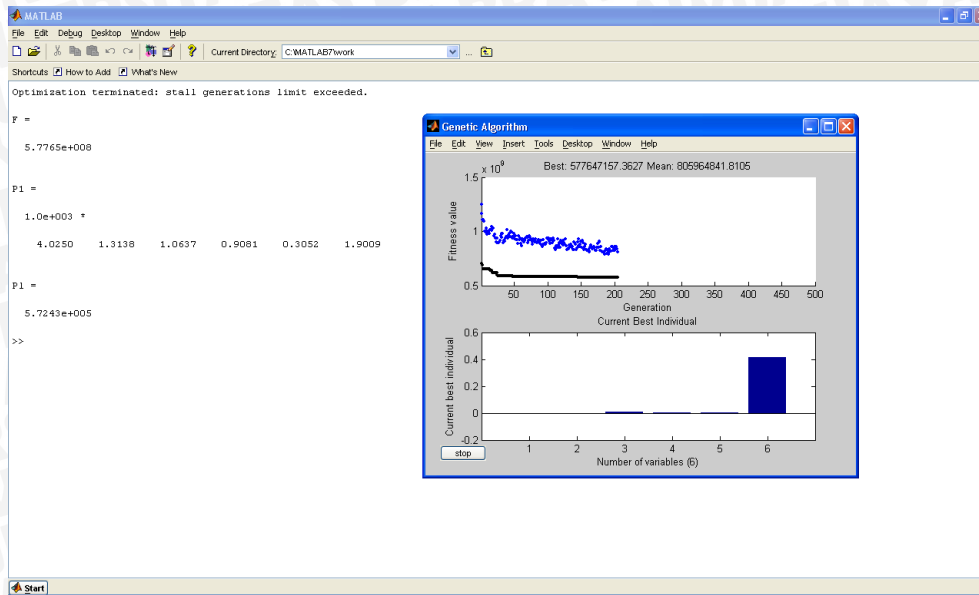
```

1 clear;
2 clc;
3 tic;
4 global data B Pd
5 % This program solves the economic dispatch with Bm coefficients by Genetic
6 % Algorithm toolbox of MATLAB 7.04. For any discussions Clarification the
7 % author can be contacted by mail (zalorajan@gmail.com)
8 % The data matrix should have 5 columns of fuel cost coefficients and plant limits.
9 % 1.a ($/MW^2) 2. b $/MW 3. c ($) 4. lower limit (MW) 5. Upper limit (MW)
10 % no of rows denote the no of plants (n)
11 data=[0.0079 407 47071 1610 4025
12 0.1162 1322 196895 1300 3251
13 0.0348 199.77 104589 1056 2640
14 0.0027 831.82 81256 895 2239
15 0.0753 1176.9 198252.08 305 764
16 0.0352 466.63 5575.24 1886 4714];
17 % Loss coefficients it should be squarematrix of size nXn where n is the no
18 % of plants
19 B=[-4|0.7 0.2 0.35 0.55 0.84 0.49
20 0.23 0.66 0.29 0.61 0.84 0.46
21 0.35 0.29 0.20 0.44 0.41 0.38
22 0.55 0.61 0.44 0.13 0.12 0.33
23 0.64 0.84 0.41 0.12 0.21 0.10
24 0.49 0.46 0.38 0.80 0.10 0.12
25 ];
26 % Demand (MW)
27 Pd=700;
28 % setting the genetic algorithm parameters.
29 options = gaoptimset;
30 options = gaoptimset('PopulationSize', 50, 'Generations', 500, 'TimeLimit', 200, 'StallTimeLimit', 100, 'PlotFcns', (@gapiplotbestz,@gapiplotbestindiv));
31 [x ff]=ga(eldga,5,options);
32 [ F P1 P] = eldga(x)
33 tic;
34 % F is the total fuel cost
35 % P1 is the allocation vector
36 % P1 is the transmission loss

```

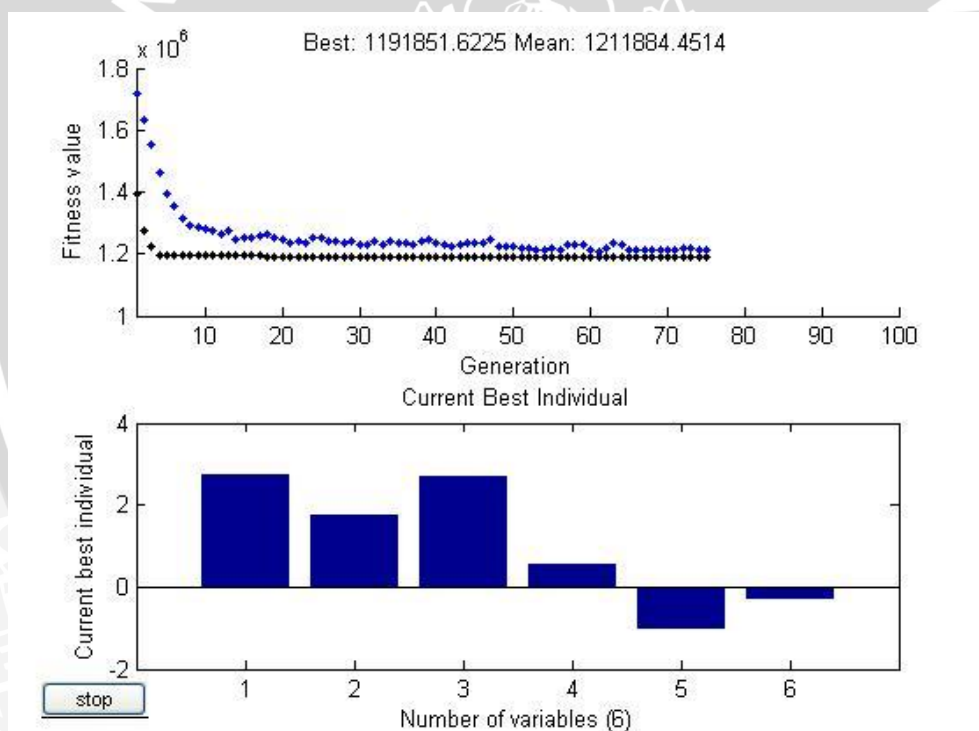
Gambar 4.4 Parameter *Economic Dispatch* Pada Matlab

4. Listing program diatas untuk optimasi *economic dispatch* pada jam ke 1 pembebanan pada sistem *thermal 500kV*. Untuk menjalankan program klik *debug -> Run*. Hasil optimasi pada jam ke – 1 ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Proses perhitungan optimasi *economic dispatch* jam ke-1 pada Matlab 7

Adapun hasil grafik dari optimasi *economic dispatch* ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil Pencarian Optimasi *Economic Dispatch* Jam ke 1

Berdasarkan hasil optimasi *economic dispatch* pada jam ke 1 menunjukkan daya yang dibangkitkan masing-masing pembangkit dengan daya beban sebesar 9293MW. Hasil optimasi *economic dispatch* ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Optimasi *Economic Dispatch* Pada Jam ke-1

Beban (MW)	Suralaya (MW)	M.tawar (MW)	T.jati (MW)	Gresik (MW)	Paiton (MW)	Grati (MW)	Ploss (MW)	Total (MW)
9293	3.400	1.400	2.100	2.100	3.194	800	3.701	12.994

4.4 Hasil

Hasil pengujian *economic dispatch* dengan menggunakan algoritma genetika pada sistem pembangkit thermal 500kV ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

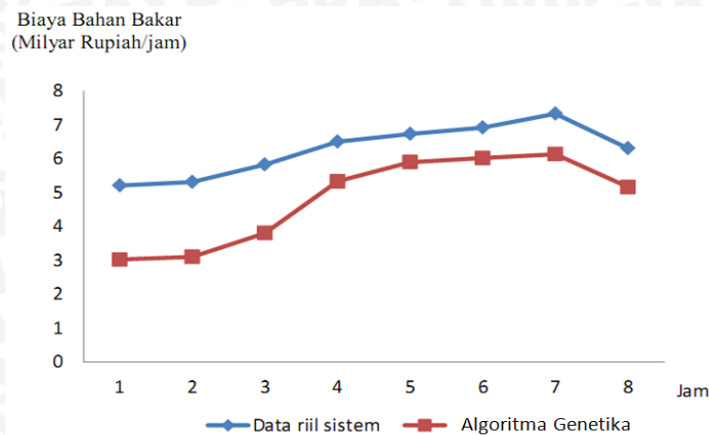
Tabel 4.6 Hasil *Economic Dispatch* Pada Sistem Pembangkit *Thermal* 500KV Jawa-Bali

Beban (MW)	Suralaya (MW)	M.tawar (MW)	T.jati (MW)	Gresik (MW)	Paiton (MW)	Grati (MW)	Ploss (MW)	Total (MW)
9293	3.400	1.400	2.100	2.100	3.194	800	3.701	12.994
9658	3400	1400	2100	2100	3199	800	3.706	12.999
10891	3400	1400	2100	2100	3195	800	3.702	12.995
12301	3400	1400	2100	2100	3199	800	3.706	12.999
12780	3400	1400	2100	2100	3191	800	3.698	12.991
12843	3400	1400	2100	2100	3199	800	3.706	12.999
13203	3400	1400	2100	2100	3199	800	3.706	12.999
12192	3400	1400	2100	2100	3199	800	3.706	12.999

Tabel 4.7 Biaya Pembangkitan Sebelum Dan Sesudah Optimasi

Pukul	Biaya Riil	Biaya Setelah Optimasi(Rp/h)
1-3	5.210.563.289	3.020.739.433
4-6	5.389.673.835	3.100.371.442
7-9	5.732.329.129	3.803.999.776
10-12	6.234.264.923	5.328.968.124
13-15	6.643.238.321	5.895.704.857
16-18	6.832.432.239	6.018.608.149
19-21	7.215.324.634	6.130.325.306
22-24	6.132.532.253	5.161.234.879
Total	Rp.150.371.894.794	Rp.115.379.855.898

Berdasarkan hasil penjadwalan unit pembangkit thermal sistem 500 kV menggunakan algoritma genetika yang diperoleh dari aplikasi Matlab dibandingkan dengan data riil yang terjadi. Perbandingan biaya bahan bakar antara data riil dengan hasil optimasi *economic dispatch* ditunjukkan dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Biaya Bahan Bakar Pembangkit Berdasarkan Data Riil Sistem Dengan Algoritma Genetika

4.5 Pembahasan

Algoritma Genetika menghasilkan solusi yang konvergen ke nilai terbaik. Seiring dengan meningkatnya jumlah iterasi, biaya pembangkitan yang diperoleh semakin menurun atau lebih kecil daripada nilai yang diperoleh pada beberapa iterasi sebelumnya. Hal ini dikarenakan dalam Algoritma Genetika terdapat proses reproduksi jadwal dengan tahapan seleksi, crossover dan mutasi sehingga jadwal yang diperoleh pada sebuah iterasi merupakan perbaikan dari jadwal yang diperoleh pada iterasi sebelumnya. Pada tahapan seleksi, jadwal dengan nilai fitness rendah atau biaya pembangkitan yang besar akan tereliminasi dan digantikan oleh jadwal dengan nilai fitness terbaik (biaya pembangkitan minimal) yang selanjutnya akan menjadi induk pada tahapan crossover. Induk terbaik ini disilangkan pada tahapan crossover dan menghasilkan anak terbaik. Tahapan mutasi menjaga agar tidak terjadi kerusakan jadwal (berubahnya jadwal menjadi tidak optimal) selama tahapan crossover. Oleh karena itu, Algoritma Genetika menghasilkan solusi yang lebih baik dari iterasi ke iterasi sebelumnya.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa perhitungan penjadwalan pembangkit thermal sistem 500 kV Jawa-Bali menggunakan Algoritma Genetika menghasilkan biaya bahan bakar lebih murah dibandingkan dengan data riil sistem. Berdasarkan perhitungan Algoritma Genetika, pada beban puncak, pukul 19.00–21.00 WIB, untuk menghasilkan daya 13.203 MW, pembangkit harus mengeluarkan biaya bahan bakar rata-rata sebesar Rp. 6.130.325.306 per-jam nya. Hal ini lebih murah dibandingkan dengan data riil sistem dengan biaya bahan bakar rata-rata Rp.7.327.853.973 per-jam nya.

Sedangkan pada beban terendah, pukul 1.00–3.00 WIB, untuk menghasilkan daya 9293 MW, pembangkit harus mengeluarkan biaya bahan bakar rata-rata sebesar Rp. 3.020.739.433 per-jam nya untuk Algoritma Genetika dan Rp. 5.207.957.098 per-jam nya untuk data riil sistem. Dengan demikian, penjadwalan unit pembangkit dengan pendekatan Algoritma Genetika memberikan hasil 23,27% lebih ekonomis dibandingkan dengan data riil sistem.

