

ALGORITMA GENETIKA SEBAGAI SOLUSI *OPTIMAL POWER FLOW* PADA SISTEM KELISTRIKAN 500 KV JAWA BALI

Yassir^{*)}, Sarjiya^{*)}, and T. Haryono^{*)}

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

^{*)}E-mail: yassirasnawi@gmail.com, sarjiya@ugm.ac.id, thr@te.ugm.ac.id.

Abstrak

Optimal power flow dengan batasan transmisi adalah salah satu solusi optimisasi biaya produksi energi listrik dengan tetap menjaga keandalan sistem. Pada penelitian ini diaplikasikan metode Algoritma Genetika (AG) dengan daya aktif pembangkit, tegangan bus pembangkit, tap transformator dan injeksi kapasitor digunakan sebagai variabel control. Efektifitas metode diuji pada kasus sistem IEEE 30 bus, dan dibandingkan dengan metode *evolutionary programming (EP)*, *differential evolution (DE)* dan *particle swarm optimization (PSO)*. Hasil simulasi menunjukkan metode yang diusulkan lebih baik dari metode pembanding. Simulasi pada sistem tenaga Jawa-Bali 500 kV dengan metode yang diusulkan dapat mengurangi biaya pembangkitan sebesar 13,4% dibanding dengan data operasi PT. PLN (Persero).

Kata kunci : Optimal Power Flow, batasan transmisi, Algoritma Genetika.

Abstract

Transmission constrained Optimal Power Flow is one of several methods to minimize fuel costs while maintaining system reliability constraints. In this study, Genetic Algorithm was applied to solve the problem of OPF. Active power generator, generator bus voltages, transformer tap and injection capacitor used as control variables. Effectiveness of the method was tested on IEEE 30 bus system case and it is compared with the evolutionary programming (EP), differential evolution (DE) and particle swarm optimization (PSO) method. Simulation results using the proposed method give better result than the mentioned methods. Simulation on the Java-Bali 500 kV power system based on proposed method can reduce the cost 13,4% compared with the existing operation of PT. PLN (Persero).

Keywords : Optimal Power Flow, Genetic Algorithm, transmission constraint.

1. Pendahuluan

Pembangkit tenaga listrik yang ada di Indonesia umumnya adalah jenis pembangkit thermal dengan bahan bakar semakin menipis dan mahal yang membuat biaya produksi listrik semakin meningkat. Dalam komponen biaya pokok penyediaan listrik di jaringan Jawa Bali, kontribusi biaya bahan bakar sekitar 60% terhadap total biaya. Sementara itu, biaya bahan bakar pembangkit didominasi oleh biaya penyediaan gas, batu bara dan minyak untuk jenis pembangkit thermal. Salah satu solusi untuk mengurangi kenaikan harga listrik adalah dengan melakukan optimisasi biaya pada proses produksi energi listrik. Dalam sistem tenaga interkoneksi, salah satu optimisasi biaya dilakukan dengan mengatur daya aktif dan daya reaktif masing-masing pembangkit untuk meminimalkan biaya operasi. Metode ini disebut *Optimal Power Flow (OPF)* [1].

OPF menggunakan semua variabel kontrol untuk membantu meminimalkan biaya operasi sistem tenaga listrik. OPF mempunyai kekangan dengan memperhitungkan batas daya aktif dan reaktif pembangkit, batas kemampuan daya dari sistem transmisi, tap transformator dan tegangan bus pembangkit [2].

Beberapa teknik optimasi telah diterapkan untuk masalah OPF seperti *Non-Linear programming (NLP)* [3], *Linear Programming (LP)* [4,5], dan metode *Interior Point (IP)* [6]. Untuk unit pembangkit yang memiliki kurva *non-convex* tidak dapat di selesaikan dengan menggunakan metoda tradisional ini. Metode optimasi klasik sangat sensitif terhadap titik awal dan sering menghasilkan solusi optimasi lokal atau menyimpang sama sekali. Metode ini biasanya terbatas pada kasus-kasus OPF tertentu dan tidak menawarkan kebebasan yang besar dalam fungsi tujuan atau jenis kendala yang dapat digunakan. Hal itu penting untuk mengembangkan algoritma baru yang lebih umum

dan dapat diandalkan yang mampu menggabungkan kendala baru yang timbul.

Salah satu teknik untuk mengatasi masalah tersebut digunakan metode optimasi global heuristic. Penggunaan metode heuristik sudah banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah OPF, seperti *evolutionary programming* (EP) [7], *differential evolution* (DE) [7], *particle swarm optimization* (PSO) [8], dan Algoritma Genetika (AG) [9-11]. Metode AG dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah OPF dengan kurva *non-convex*. AG tidak dibatasi oleh bentuk kurva karakteristik pembangkit, karena algoritma ini bekerja dengan menggunakan metode probabilitas, bukan deterministik, AG juga mencari solusi dari populasi yang dibangkitkan sehingga AG dapat memberikan banyak pilihan solusi.

Metode AG [9] menggunakan daya aktif dan tegangan bus pembangkit sebagai variabel kontrol. Metode AG [10 -11] menggunakan seleksi *roulette wheel* untuk seleksi orang tua. Sistem seleksi ini tidak memberikan konvergensi hasil yang cepat pada kasus-kasus tertentu seperti pada sistem yang besar. Hasil yang diberikan biasanya jauh berbeda untuk setiap kali program dijalankan.

Pada penelitian ini diusulkan metode AG dengan *tournamen selection*. Penggunaan seleksi ini mempunyai keunggulan untuk meningkatkan kemampuan menemukan nilai *fitness* dengan lebih cepat dan konstan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk konvergen lebih cepat. Pengkodean kromosom menggunakan *real coding* dengan fungsi fitness yang melibatkan fungsi biaya pembangkitan ditambah hubungan pembatas pada nilai minimum biaya total pembangkit serta fungsi penalti sebagai kekangan saluran transmisi, daya reaktif dan tegangan setiap bus, untuk memperoleh biaya operasi pembangkit yang minimum. Variable control melibatkan daya aktif pembangkit, tegangan bus pembangkit, tap transformator dan injeksi kapasitor. Pengujian efektifitas metode dilakukan pada kasus sistem IEEE 30 bus dan sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali.

2. Metode

2.1 Model Matematika Optimal Power Flow

Fungsi tujuan diberikan oleh model biaya bahan bakar berikut [12]:

$$F(P_g) = \sum_{i=1}^{N_g} \alpha_i + \beta_i P_{g_i} + \gamma_i P_{g_i}^2 \quad (1)$$

dengan batasan persamaan mewakili keseimbangan daya aktif dan reaktif, ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3).

$$P_i - P_{g_i} + P_{d_i} = 0 \quad i = 1, \dots, N_b \quad (2)$$

$$Q_i - Q_{g_i} + Q_{d_i} = 0 \quad i = 1, \dots, N_b \quad (3)$$

Persamaan daya aktif dan reaktif setiap bus diberikan pada persamaan (4) dan (5) [12].

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^{N_b} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_i - \theta_j + \psi_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^{N_b} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_i - \theta_j + \psi_{ij}) \quad (5)$$

Sementara itu fungsi tujuan juga dibatasi dengan pertidaksamaan:

- 1) Batasan tegangan setiap bus

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad i = 1 \dots n_b \quad (6)$$

- 2) Batasan daya aktif pembangkit

$$P_{g_i}^{min} \leq P_{g_i} \leq P_{g_i}^{max} \quad i = 1 \dots n_g \quad (7)$$

- 3) Batasan daya reaktif pembangkit

$$Q_{g_i}^{min} \leq Q_{g_i} \leq Q_{g_i}^{max} \quad i = 1 \dots n_g \quad (8)$$

- 4) Batasan *tap-setting* transformator

$$T_k^{min} \leq T_k \leq T_k^{max} \quad (9)$$

- 5) Batasan aliran daya setiap saluran transmisi

$$s_l \leq s_l^{max} \quad (10)$$

dengan :

- $F(P_g)$ = Total biaya bahan bakar, sebagai fungsi dari P_g
- P_{g_i} = Daya aktif pembangkit pada bus i
- P_{d_i} = Daya aktif beban pada bus i
- Q_{g_i} = Daya reaktif pembangkit pada bus i
- Q_{d_i} = Daya reaktif beban pada bus i
- $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = Parameter biaya bahan bakar unit i
- N_g = Jumlah unit pembangkit
- N_b = Jumlah total bus
- V_i, V_j = Tegangan pada bus i dan j
- δ_i, δ_j = Sudut pada bus i dan j
- P_i = Daya aktif injeksi pada node i
- Q_i = Injeksi daya reaktif pada node i
- P_L = Rugi-rugi transmisi
- P_D = Daya total beban
- Y_{ij} = Besaran matriks admitansi baris ke-i dan kolom ke-j
- θ_{ij} = Sudut elemen matriks admitansi pada posisi i,j
- V_i^{min}, V_i^{max} = Batasan besarnya tegangan pada bus i
- $Q_{g_i}^{min}, Q_{g_i}^{max}$ = Batasan daya reaktif dari pembangkit i.

2.2 Algoritma Genetika

2.2.1 Umum

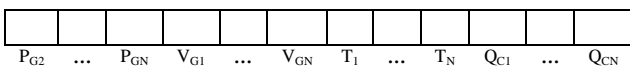
Algoritma Genetika adalah algoritma komputasi untuk masalah optimasi yang terinspirasi oleh teori evolusi untuk mencari solusi suatu permasalahan. Terdapat banyak sekali variasi pada Algoritma Genetika, salah satunya adalah Algoritma Genetika untuk masalah optimasi kombinasi, yaitu mendapatkan nilai solusi yang optimal terhadap suatu masalah yang memiliki banyak kemungkinan solusi [13].

Algoritma Genetika pertama kali dirintis oleh John Holland dari Universitas Michigan pada tahun 1960-an, Algoritma Genetika telah diaplikasikan secara luas pada berbagai bidang. Algoritma Genetika banyak digunakan untuk memecahkan masalah optimasi, walaupun pada kenyataannya juga memiliki kemampuan yang baik untuk masalah-masalah selain optimasi. John Holland menyatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi (alam maupun buatan) dapat diformulasikan dalam teknologi genetika.

2.2.2 Inisialisasi Populasi

Suatu matriks dengan nilai pada setiap elemennya berupa bilangan acak antara 0 dan 1 dibangkitkan. Dalam populasi tersebut, satu baris adalah satu individu, setiap individu terdapat beberapa kromosom yang dikodekan sebagai variabel kontrol yaitu daya aktif pembangkit, tegangan bus pembangkit, tap transformator dan injeksi kapasitor sesuai batasan nilai minimum dan maksimumnya. Gambar 1 menunjukkan struktur kromosom AG yang mewakili seluruh variabel control. Skema pengkodean kromosom yang digunakan dalam penelitian ini adalah *real number encoding* [13].

$$x_i = x_{min} + (x_{max} - x_{min}) \cdot \text{kromosom} \quad (11)$$



Gambar 1. Struktur kromosom AG

2.2.3 Nilai Fitness

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performasinya. Fungsi yang digunakan untuk mengukur nilai kecocokan atau derajat optimalitas suatu kromosom disebut dengan *fitness function*. Nilai yang dihasilkan dari fungsi tersebut menandakan seberapa optimal solusi yang diperoleh [13].

Dalam kasus yang dibahas dalam penelitian ini tujuannya adalah minimasi maka fitness adalah kebalikan dari nilai paling maksimum sehingga nilai *fitness* ditentukan oleh satu dibagi fungsi tujuan. Fungsi tujuannya adalah untuk mencari biaya pembangkitan dan besar rugi jaringan yang

minimal dengan batasan-batasan yang terpenuhi sehingga jika semua batasan pada analisis aliran daya optimal telah terpenuhi, *fitness* dapat dihitung dari variabel tersebut.

Dengan melibatkan batasan-batasan pertidaksamaan maka fitness ditunjukkan pada persamaan (12).

$$F = \frac{1}{\sum F(P_g) + P_L + \text{PENALTY_FUNCTION}} \quad (12)$$

dengan:

$$\text{Penalty_Function} = k \sum_{i=1}^{N_g} f(Q_{gi}) + k \sum_{i=1}^N f(V_i) + k \sum_{m=1}^{N_l} f(S_{lm}) \quad (13)$$

Komponen fungsi penalti berturut-turut merupakan fungsi penalti terhadap pelanggaran batasan daya reaktif, tegangan dan batasan kapasitas transmisi. Nilai penalti dinyatakan dengan persamaan (14).

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x^{\min} \leq x \leq x^{\max} \\ (x - x^{\max})^2 & \text{if } x > x^{\max} \\ (x^{\min} - x)^2 & \text{if } x < x^{\min} \end{cases} \quad (14)$$

2.2.4 Tournament Selection

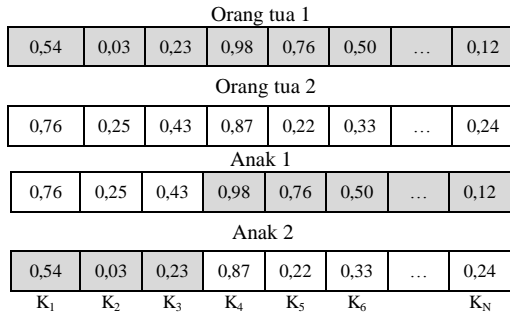
Dalam bentuk paling sederhana, metode ini mengambil dua individu secara random dan kemudian menyeleksi salah satu yang bernilai fitness paling tinggi untuk menjadi orang tua pertama. Cara yang sama dilakukan lagi untuk mendapatkan orang tua kedua. Metode *tournament selection* yang lebih rumit adalah dengan mengambil *m* individu secara random. Kemudian individu bernilai fitness tertinggi dipilih sebagai orang tua pertama jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari suatu nilai batas yang ditentukan *p* dalam interval [0,1]. Pemilihan orang tua akan dilakukan secara random dari *m - 1* individu yang ada jika bilangan random yang dibangkitkan lebih dari atau sama dengan *p*. Pada *tournament selection*, variabel *m* adalah *tournament size* dan *p* adalah *tournament probability* [13].

2.2.5 Pindah Silang

Proses pindah silang adalah salah satu operator penting dalam Algoritma Genetika, metode dan tipe pindah silang yang dilakukan tergantung dari *encoding* dan permasalahan yang diangkat. Sebuah individu yang mengarah pada solusi yang bagus dapat diperoleh dari proses memindahsilangkan dua buah individu [13].

Pindah silang juga berakibat buruk jika populasinya sangat kecil. Dalam suatu populasi yang kecil, suatu kromosom yang mengarah ke solusi akan menyebar ke kromosom-kromosom lainnya. Untuk mengatasi masalah ini, pindah silang dikendalikan oleh probabilitas tertentu *p_c*. Artinya, pindah silang dilakukan hanya jika suatu bilangan random

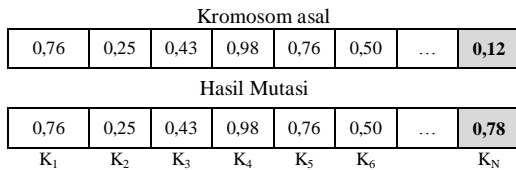
yang dibangkitkan kurang dari p_c yang ditentukan. Pada umumnya, p_c diset mendekati 1, misalnya 0,8 [13]. Pada penelitian ini p_c diset 0,85, hal ini untuk menghindari akibat buruk dari proses pindah silang agar individu yang mengarah ke solusi tidak hilang. Gambar 2 menunjukkan proses pindah silang.



Gambar 2. Proses pindah silang

2.2.6 Mutasi

Mutasi merupakan proses mengubah nilai dari suatu kromosom. Mutasi ini berperan untuk menggantikan kromosom yang hilang dari populasi akibat seleksi dan juga memungkinkan munculnya kembali kromosom yang tidak muncul pada inisialisasi populasi. Untuk semua kromosom yang ada, jika bilangan acak yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka kromosom tersebut diubah menjadi nilai kebalikannya. Gambar 3 menunjukkan proses mutasi [13].



Gambar 3. Proses mutasi

2.2.7 Elitisme

Karena seleksi dilakukan secara random, maka tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Kalaupun individu bernilai fitness tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai fitness turun) karena proses pindah silang. Untuk menjaga individu tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa salinannya. Prosedur ini dikenal sebagai *elitism* [13].

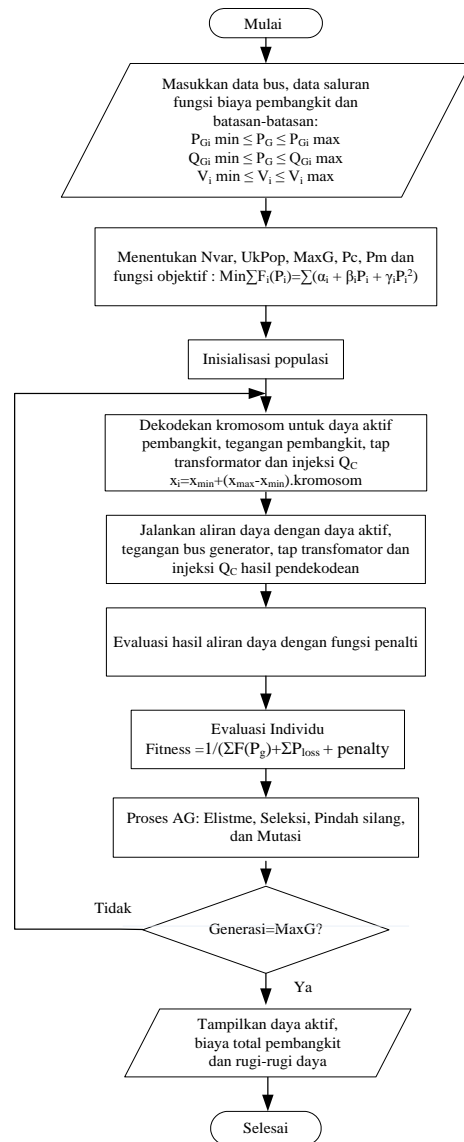
2.3 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap penelitian dengan metode yang ditawarkan adalah sebagai berikut:

1. Membangkitkan populasi awal
2. Mendekodekan kromosom

3. Jalankan aliran daya dengan variable hasil pendkodean ditentukan menggunakan metode Newton-Raphson.
4. Evaluasi individu dengan kekangan yang ditentukan untuk mencari nilai fitness.
5. Melakukan proses seleksi dengan metode *tournament selection*, elitisme, pindah silang dan mutasi.
6. Ulangi langkah 2 - 5 sampai generasi maksimum.
7. Menghitung daya pembangkit, rugi-rugi dan biaya total pembangkit.

Flow chart tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flow chart tahapan penelitian

3 Hasil dan Pembahasan

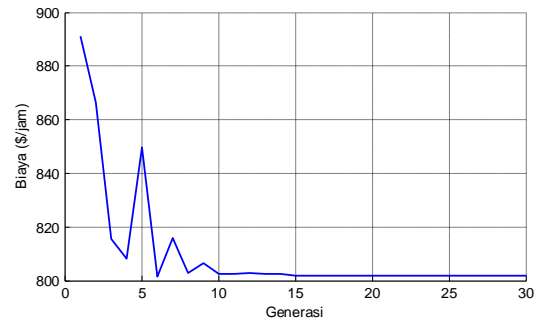
3.1 Kasus 1: Sistem IEEE 30 bus

Sebelum diterapkan pada sistem Jawa Bali, untuk mengetahui efektifitas dalam menyelesaikan masalah OPF, metode yang diusulkan terlebih dahulu diuji dengan sistem IEEE 30 bus [16]. Sistem ini mempunyai 6 pembangkit thermal, 30 bus dan 41 saluran dengan total beban sebesar 283,4 MW. Sistem ini mempunyai 18 variabel pengontrolan, yaitu: lima unit daya aktif output, enam *magnitude* tegangan bus pembangkit, empat pengaturan tap transformer dan tiga injeksi kapasitor.

Dalam kasus ini, simulasi dilakukan menggunakan parameter AG dengan 18 variabel, 100 populasi dan 30 generasi. Simulasi dilakukan sepuluh kali dengan hasil terbaik yang diambil. Gambar 5 menunjukkan total biaya pembangkitan yang nilai optimalnya dapat dicapai sebelum generasi ke-20. Hasil simulasi metode Algoritma Genetika yang diusulkan dibandingkan dengan metode DE [7], EP [7], dan PSO [8]. Perbandingan juga dilakukan dengan metode GA [9] yang hanya menggunakan daya aktif pembangkit dan tegangan bus pembangkit sebagai variabel control. Tabel 2 menunjukkan hasil perbandingan. Total biaya hasil simulasi metode AG yang diusulkan menunjukkan penghematan 1,05 \$/jam dibandingkan dengan metode EP, penghematan 0,63 \$/jam dibanding dengan metode DE dan penghematan 1,45 \$/jam dibandingkan dengan metode GA[9] serta penghematan 4,7 \$/jam dibandingkan metode PSO. Rugi-rugi dibandingkan dengan metode EP memperlihatkan adanya penurunan sebesar 0,42 MW, penurunan sebesar 0,48 MW dibandingkan dengan metode DE dan penurunan sebesar 0,43 MW dibandingkan metode GA [9] serta penurunan 1,32 MW dibandingkan dengan metode PSO. Tegangan setelah simulasi seperti pada Gambar 6 terlihat bahwa berada dalam batasan maksimum dan minimum yang ditentukan yaitu 0,90 pu sampai 1,1 pu untuk bus pembangkit (PV) dan 0,95 pu sampai 1,05 pu untuk bus beban (PQ) [16]. Hasil terbaik, terburuk, rata-rata dan standar deviasi dari sepuluh kali simulasi diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 1. Fungsi Biaya dan Batasan Pembangkitan

Pembangkit	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)	α	β	γ
1	200	50	0	2	0,00375
2	80	20	0	1,75	0,0175
3	50	15	0	1	0,0625
4	35	10	0	3,25	0,0083
5	30	10	0	3	0,25
6	40	12	0	3	0,25



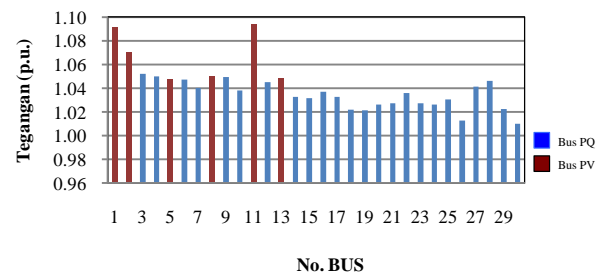
Gambar 5. Total biaya sistem IEEE 30 bus

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi system IEEE 30 bus

Pembangkit	EP[7]	DE[7]	GA[9]	PSO[8]	AG
P_1 (MW)	175,58	177,30	179,39	173,68	174,02
P_2 (MW)	49,08	49,18	48,83	49,10	48,39
P_3 (MW)	14,74	12,24	21,84	21,81	21,61
P_4 (MW)	11,18	11,19	21,75	23,30	21,99
P_{11} (MW)	21,27	21,23	12,05	13,88	13,42
P_{13} (MW)	20,99	21,24	12,36	12,00	13,00
Total Biaya (\$/Jam)	802,65	802,23	803,05	806,36	801,60
Rugi-rugi (MW)	9,47	9,53	9,48	10,37	9,05

Tabel 3. Hasil terbaik, rata-rata dan standar deviasi

Hasil Simulasi	Biaya (\$/jam)
Hasil terburuk	803.50
Hasil terbaik	801.60
Rata-rata	802,47
Standar deviasi	0,63



Gambar 6. Tegangan bus sistem IEEE 30 bus

3.2 Kasus 2: Sistem Tenaga 500 kV Jawa Bali

Data sistem 500 kV Jawa Bali bersumber dari PT.PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali. Sistem ini terdiri dari 25 bus dengan 8 stasion pembangkit dan 30 saluran. Unit pembangkit Suralaya sebagai slack bus sedangkan bus Muaratawar, Cirata, Saguling, Tanjung Jati, Gresik Baru, Grati, dan Paiton sebagai bus generator (PV). Diagram satu garis sistem tenaga 500 kV Jawa Bali ditunjukkan pada Gambar 7. Diantara 8 pembangkit tersebut, pembangkit Cirata dan Saguling merupakan pembangkit tenaga air, sedangkan

lainnya merupakan pembangkit tenaga thermal. Tabel 4 menunjukkan fungsi biaya dan batasan pembangkitan. Data beban ditunjukkan pada Tabel 5.

Sistem ini mempunyai 22 variabel pengontrolan, yaitu: tujuh unit daya aktif output, delapan *magnitude* tegangan bus PV, dan tujuh injeksi kapasitor.

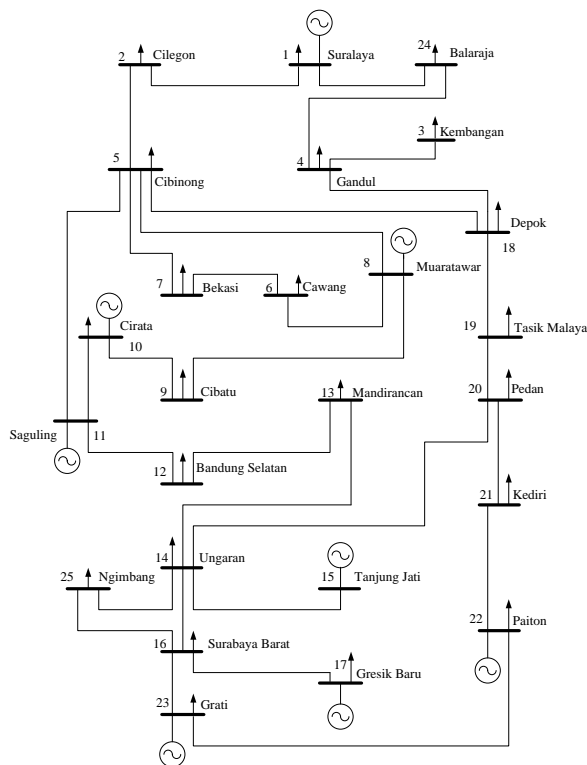
Tabel 4. Fungsi Biaya dan Batasan Pembangkitan

Pembangkit	Fungsi Biaya (Rp/jam)x1000	P_{Min}	P_{Max}
Suralaya	$47071.2998+407.99P1-0.0079P1^2$	1610	4025
Muaratawar	$-196885.5874+1322.7707P2-0.1162P2^2$	1300.4	3251
Tanjungjati	$104589.6848+199.7724P3+0.0348P3^2$	1056	2640
Gresik	$81256.9130+831.8210P4+0.0027P4^2$	895.62	2239
Grati	$198252.0822+1176.9390P5-0.0753P5^2$	305.8	764.5
Paiton	$5575.2483+466.6308P6-0.0352P6^2$	1886	4714

hasil simulasi pembangkitan setiap pembangkit dalam MW dengan daya operasi yang diperoleh dari PT. PLN. Biaya total pembangkit dari data daya operasi PLN adalah sebesar Rp. 6.556.151.000/jam. Metode yang diusulkan mampu mereduksi sebesar Rp. 881.051.779/jam atau sebesar 13,4% dengan rugi-rugi total sebesar 190,33 MW. Kenaikan rugi-rugi dibandingkan data operasi PLN diakibatkan berpindahnya sebahagian pelayanan beban dari pembangkit yang dekat dengan beban kepada pembangkit yang lebih ekonomis namun jauh dari beban. Akan tetapi kenaikan rugi-rugi ini tidak menyebabkan drop tegangan melebihi batasan yang ditentukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Tegangan setiap bus berada dalam batasan maksimum-minimum yang ditetapkan PLN sesuai dengan Grid Code (Aturan Jaringan 2007) yaitu $\pm 5\%$ dari tegangan nominal untuk sistem 500 kV.

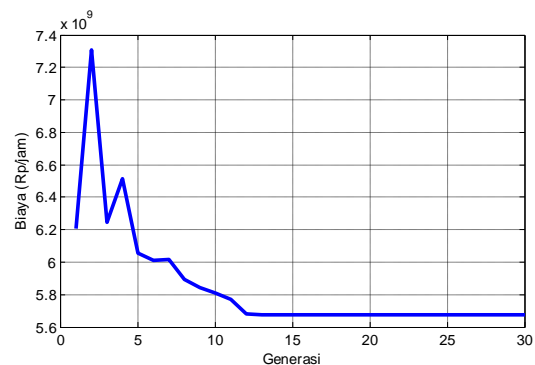
Tabel 5. Data Beban Sistem 500 kV Jawa Bali

No	Nama bus	Type	Beban	
			MW	Mvar
1	Suralaya	Slack	201	98
2	Cilegon	Beban	293	221
3	Kembangan	Beban	522	125
4	Gandul	Beban	761	132
5	Cibinong	Beban	616	330
6	Cawang	Beban	322	75
7	Bekasi	Beban	1118	264
8	Muaratawar	Generator	-	-
9	Cibatu	Beban	688	467
10	Cirata	Generator	586	-
11	Saguling	Generator	-	-
12	Bandung Selatan	Beban	733	423
13	Mandirancan	Beban	309	131
14	Ungaran	Beban	417	468
15	Tanjung Jati	Generator	238	11
16	Surabaya Barat	Beban	899	512
17	Gresik Baru	Generator	174	64
18	Depok	Beban	641	204
19	Tasikmalaya Baru	Beban	219	83
20	Pedan	Beban	608	229
21	Kediri	Beban	627	188
22	Paiton	Generator	650	146
23	Grati	Generator	510	191
24	Balaraja	Beban	624	-14
25	Ngimbang	Beban	302	70
Total			12058	4650



Gambar 7. Sistem 500 kV Jawa Bali

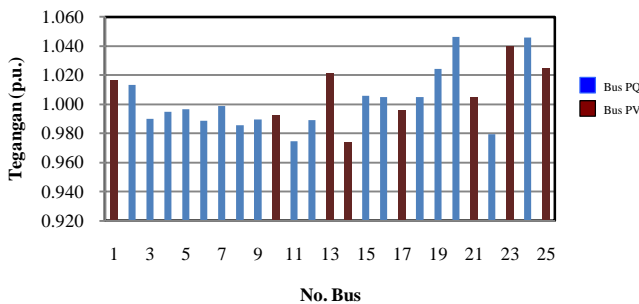
Simulasi dilakukan pada kondisi beban tanggal 30 November 2011 pukul 19.00 dengan total pembebanan sebesar 12058 MW menggunakan parameter AG dengan 22 variabel, 100 populasi dan 30 generasi. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 8. Pembangkit PLTA dianggap membangkitkan daya sesuai data operasi PLN, karena pembangkit PLTA berbeda perhitungan biaya pembangkitannya. Hal ini disebabkan dalam pengoperasian PLTA harus mempertimbangkan cadangan air, pengoperasian waduk dan lain-lain. Dari Gambar 8 terlihat bahwa biaya optimal dapat tercapai sebelum generasi ke-20. Tabel 6 memperlihatkan perbandingan



Gambar 8. Biaya pembangkitan sistem 500 kV Jawa Bali

Tabel 6. Perbandingan hasil simulasi sistem Jawa Bali, dengan Data Operasi PLN

Pembangkit	Data Operasi PLN		AG	
	Daya (MW)	Biaya (Rp/Jam)x10 ³	Daya (MW)	Biaya (Rp/Jam)x10 ³
Suralaya	2792,94	1.125.458	2919,30	1.168.619
Muara Tawar	1785	1.819.867	1300,40	1.326.747
Cirata	594	-	594,00	-
Saguling	662	-	662,00	-
Tanjung Jati	1971	632.633	1344,35	436.046
Gresik	1371	1273.483	895,62	828.418
Paiton	2572	972784	4232,81	1.350.068
Grati	441	731.926	305,80	565.201
Jumlah Total	12188,94	6.556.151	12248,28	5.675.099
Total Rugi-rugi (MW)		130,94		190,33



Gambar 9. Tegangan bus system 500 kV Jawa Bali

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini metode Algoritma Genetika dengan *tournament selection* diusulkan untuk menyelesaikan *optimal power flow*. Simulasi terhadap sistem IEEE 30 bus dan sistem tenaga Jawa Bali 500 kV telah dilakukan dan dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode yang diusulkan telah diuji dengan sistem IEEE 30 bus dan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode DE, EP, PSO dan GA[9] yang telah dikembangkan sebelumnya.
2. Metode yang diusulkan juga telah diuji dengan sistem 500 kV Jawa Bali dan mampu mereduksi biaya total pembangkitan sebesar Rp. 881.051.779/jam atau sebesar 13,4% dengan rugi-rugi total sebesar 190,33 MW
3. Pada sistem IEEE 30 bus dan sistem 500 kV Jawa Bali konvergen sudah tercapai sebelum generasi ke-20, hal ini menunjukkan metode yang diusulkan mampu menemukan nilai optimal dengan cepat.

Referensi

- [1]. Hadi Saadat, "Power System Analysis," WCB McGraw-Hil, New York, 1999.
- [2]. Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. "Power Generation, Operation and Control". John Wiley & Sons, Inc., 1996. Pp. 514-518.
- [3]. J. A. Momoh, R. Adapa, M. E. El Hawary, " A review of selected optimal power flow literature to 1993, part I: nonlinear and quadratic programming approaches", IEEE Trans. Power Syst. 14, Vol. 1, 1999, pp. 96-104.
- [4]. J. A. Momoh, R. Adapa, M. E. El Hawary, " A review of selected optimal power flow literature to 1993, part II: Newton, linear programming and interior point method", IEEE Trans. Power Syst. 14, Vol. 1, 1999, pp. 105-111.
- [5]. H.W. Dommel dan W.F. Tinney, "Optimal power flow solutions," IEEE Trans. Power Apparatus and Syst, Vol. PAS-87, No. 10, Oktober 1968, pp. 1866-1876.
- [6]. J.A. Momoh, S.X. Guo, E.C. Ogbuobiri & R. Adapa, "The Quadratic Interior Point Method Solving Power System Optimisation Problems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, Aug. 1994, pp 1327 - 1336.
- [7]. K. Vaisakh, L.R. Srinivas, "Differential Evolution based OPF with Conventional and Non-Conventional Cost Characteristics," Power System Technology and IEEE Power India Conference, India, 2008, Page(s): 1 - 9
- [8]. M.A. Abido "Optimal power flow using particle swarm optimization," Electrical Power and Energy System, 24: 2000, pp. 563-571.
- [9]. D. Devaraj dan B. Yegnanarayana "Genetic-algorithm-based Optimal Power Flow for security enhancement," IEE Proceeding Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 6, November 2005, pp. 899-905
- [10]. Z. L. Gaing dan H. S. Huang, "Real-coded Mixed-Integer Genetic Algorithm for constrained Optimal Power Flow," IEEE Region 10 Conference, Taiwan, Vol. 3, 2004, pp. 323-326.
- [11]. G. Bakirtzis, P. N. Biskas, C. E. Zoumas, dan V. Petridis, "Optimal Power Flow by Enhanced Genetic Algorithm," IEEE Transaction on Power System, Vol. 17, No. 2, MAY 2002, pp. 229-236.
- [12]. James A. Momoh, "Electric power system applications of optimization," Marcel Dekker, Inc., 2001. Pp. 339-348
- [13]. Suyanto, "Algoritma Genetika dalam MATLAB," Andi Yogyakarta, 2005.
- [14]. Kelompok Pembakuan Bidang Transmisi, "Tegangan-Tegangan Standar," SPLN 1, PT. PLN (Persero) Kelistrikan Negara, Jakarta, 1995.
- [15]. William D. Stevenson, Jr., "Power System Analysis," McGraw-Hill Inc, 1994.
- [16]. IEEE 30-bus system data available at <http://www.ee.washington.edu/research/pstca>