



OPTIMAL POWER FLOW (OPF) PEMBANGKIT JAWA BALI 500 KV MENGGUNAKAN ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION(PSO) TEMPLATE

¹Efrita Arfah Z, ²Faris Firmansyah

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jln. Arif Rahman Hakim 100 Surabaya 60117 (telp : 031-5945043; fax : 031-5994620; e-mail: zuliary_efri@yahoo.co.id)

ABSTRACT

The optimal power flow (OPF) problem is to optimize a certain objective over power network variables under certain constraints. The variables may include real and reactive power outputs, bus voltages and angles; the objective may be the minimization of generation cost dan losses; and the constraints may be bounds on voltages or power levels, or that the line loading not exceeding thermal or stability limits. This paper is aims to develop OPF based on particle swarm optimization (PSO) with a more realistic constraint of using limit P_{min} / P_{max} and Q_{min} / Q_{max} . In this study comparing methods of Optimal Power Flow using Lagrange method with the method of (PSO). The results showed that using the (PSO) to determine the combined cost of electric power system operation and the amount of power on any Java-Bali power cheaper than using the method of Lagrange. Methods of (PSO) can reduce costs by up to 44.62%, with operating costs of Rp.8.002 .149.694. - Per hour. Whereas if you use manual methods of calculation of costs, operating Rp.14.450.627.156 54. - Per Hour. This data can be cost-effective operation of electric power systems in Rp.6.448.477.462, 54 - Per Hour

Key word: *Optimal Power Flow (OPF); Lagrange, Particle Swarm Optimization (PSO); Interconnection Jawa Bali 500kV.*

ABSTRAK

Masalah *optimal Power Flow (OPF)* yaitu untuk mengoptimalkan tujuan tertentu atas variabel jaringan listrik di bawah batasan tertentu. Variabel dapat mencakup output daya nyata dan reaktif, tegangan bus dan sudut, obyektif yaitu meminimalkan kerugian Dan biaya pembangkitan, dan batasan mungkin pada tegangan batasan atau tingkat daya, atau bahwa pembebanan saluran tidak melebihi batas termal atau stabilitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aliran daya optimal (OPF) berdasarkan partikel swarm optimasi (PSO) dengan batasan lebih realistis menggunakan batas P_{min} / P_{max} dan Q_{min} / Q_{max} . Dalam penelitian ini membandingkan metode Optimal Power Flow menggunakan metode Lagrange dengan metode (PSO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan algoritma (PSO) untuk menentukan biaya gabungan operasi sistem tenaga listrik dan jumlah daya pada setiap listrik di Jawa-Bali lebih murah daripada menggunakan metode Lagrange. Metode algoritma (PSO) dapat mengurangi biaya hingga 44,62%, dengan biaya operasi dari Rp.8.002 .149.694. - Per jam. Sedangkan jika menggunakan metode manual perhitungan biaya, operasi Rp.14.450.627.156 54. - Per Jam. Data ini dapat menjadi efektif biaya operasi sistem tenaga listrik di Rp.6.448.477.462, 54 - Per Jam

Kata kunci: *Optimal Power Flow (OPF); Lagrange, Particle Swarm Optimization (PSO); Interconnection Jawa Bali 500kV.*



1. PENDAHULUAN

Bab ini membahas upaya Penentuan pengiriman daya nyata dari setiap stasiun pembangkit guna memperkecil biaya operasi disebut *Optimal Power Flow (OPF)*. Pengaturan pengiriman ini dikarenakan pembangkitan dalam sistem tenaga listrik pada setiap stasiun tidak ditempatkan pada jarak yang sama dari pusat beban. Oleh sebab itu harga bahan bakar setiap stasiun pembangkit menjadi berbeda dan dengan OPF akan memperkecil fungsi-fungsi objektif yang dipilih sambil mempertahankan daya guna sistem yang dapat diterima dari batas kemampuan daya pada generator.

Optimal Power Flow (OPF) telah banyak dikembangkan dan menggunakan Algoritma Artificial Intelligence (AI) dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan pola pembebanan. Algoritma Artificial Intelligence (AI) yang paling sering digunakan dan telah banyak diaplikasikan adalah genetic algorithm, fuzzy, simulated annealing, expert system, Neural network (NN), Particle Swarm Optimization (PSO) dan gabungan dari metode-metode tersebut.

Biaya operasi pembangkit dan losses di jaringan sistem tenaga listrik telah lama menjadi bahasan yang menarik baik dikalangan akademisi maupun praktisi, dan telah banyak metode yang berkembang untuk menekan biaya operasi pembangkit dan losses di jaringan sistem tenaga listrik antara lain, dengan penggunaan algoritma PSO (Particle Swarm Optimization) yaitu untuk optimisasi penentuan kombinasi pembangkitan termurah dalam suatu kondisi pembebanan tertentu.

PSO merupakan salah satu metode terbaik dalam mengatasi masalah lokal optimum dalam optimisasi. Selain itu kelebihan lainnya yaitu mempunyai konsep yang sederhana dan mudah diimplementasikan jika dibandingkan dengan algoritma matematika dan teknik optimisasi lainnya.

Kebanyakan paper yang menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) menekankan pada solusi optimal pada system tenaga listrik yang non linear. Hanya sedikit paper yang membahas konstrain yang lebih realistis pada masalah Optimal Power Flow (OPF). Perhitungan Optimal Power Flow (OPF) digunakan untuk menentukan variable-variabel kendali optimal dan kuantitas system didalam perencanaan dan operasi system tenaga listrik. Pada penelitian ini digunakan konstrain Pmin/Pmax generator sehingga daerah operasi generator tetap aman dan biaya operasi menjadi lebih minimum.

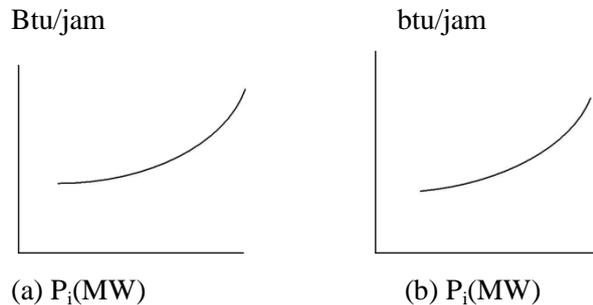
I. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Unit Pembangkit

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengiriman daya nyata yang optimal pada pembangkit adalah beroperasinya generator yang efisien, biaya bahan bakar, dan rugi-rugi daya pada saluran transmisi. Banyak juga generator yang beroperasi secara efisien di dalam sistem tenaga namun hal itu tidak menjamin bahwa biaya operasinya minimum. Hal ini disebabkan oleh biaya bahan bakar yang tinggi. Jika stasiun pembangkit berada ditempat yang jauh dari pusat beban maka rugi-rugi daya pada saluran transmisi dapat menjadi besar. Oleh sebab itu stasiun pembangkit tersebut menjadi sangat tidak ekonomis. Masukan pada stasiun termis umumnya diukur dalam Btu/jam dan keluarannya diukur dalam MW.

Kurva masukan dan keluaran dalam bentuk sederhana dari sebuah unit termis berupa kurva laju panas seperti ditunjukkan pada Gambar 1.(a).

Pembangkitan merupakan bagian dari sistem tenaga listrik guna menghasilkan daya listrik untuk kemudian dialirkan melalui sistem transmisi yaitu menyalurkan daya listrik dari pembangkitan menuju ke sistem distribusi beban. Sistem distribusi selanjutnya membagi daya listrik dari sistem transmisi menuju ke beban-beban listrik sesuai dengan permintaan daya dari konsumen. Beban adalah komponen sistem tenaga listrik yang mengkonsumsi daya listrik. Kurva Btu/jam terhadap MW menjadi \$/jam terhadap MW akan menghasilkan kurva biaya bahan bakar seperti ditunjukkan pada gambar 1 (b).



Gbr 1(a) kurva laju panel; (b)kurva biaya bahan bakar

Analisis operasi sistem tenaga khususnya masalah operasi ekonomis, dibutuhkan adanya dasar mengenai karakteristik *input-output* dari suatu unit pembangkit *thermal*. Karakteristik input output pembangkit *thermal* adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). dan dirumuskan sebagai pendekatan fungsi polinomial orde dua yaitu :

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (1)$$

Dengan :

H_i =Input bahan bakar pembangkit termal ke-i
 (liter/jam)

P_i =Output Pembangkit Termal ke- i (MW)

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ =Konstanta dari input-output pembangkit termal ke-i.

2.2.Optimal Power Flow

Metode OPF (Optimal Power Flow) akan menentukan kondisi operasi optimal dari jaringan listrik yang mengalami hambatan secara fisik dan operasional. Factor mana yang akan dicari titik optimalnya, akan dirumuskan dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma optimasi yang sesuai seperti metode Newton Raphson dan metode PSO. Tujuan utama dari metode OPF adalah untuk menentukan pengaturan variable control dan system persamaan yang mengoptimalkan nilai fungsi objektif. Pemilihan fungsi ini harus didasarkan analisis yang cermat dari system daya listrik dan secara ekonomi. Penelitian yang berkaitan dengan aplikasi *Artificial Intelligence* (AI) khususnya PSO untuk *load flow* maupun OPF telah dilakukan J.B.Park et al, pada tahun 2005. Aplikasi metoda-metoda optimasi berbasis AI semisal PSO telah menggantikan metoda-metoda analitik konvensional semacam *Dynamic Programming*, *Sensitivity Theory* karena kemampuannya mengatasi ketidaklinieran sistem tenaga listrik. Fungsi biaya dapat menunjukkan berbagai tujuan seperti :

1. Ekonomi Dispatch [biaya pembangkitan]. Dalam aplikasi tenaga listrik, masalah ini diselesaikan dengan terus mengevaluasi biaya operasi, menyusun alokasi pembangkitan dengan aplikasi teknik optimasi tenaga listrik.
2. Rugi transmisi yang minimal. Terutama daya reaktif pada masalah pengiriman, diimplementasikan dengan minimalisasi generator slack ketika semua generator lainnya tetap konstan pada nilai yang ditetapkan untuk kebutuhan beban yang diperlukan dalam penyelesaian load flow. Kontrol injeksi daya aktif tidak dapat digunakan untuk tujuan ini, sebagai gantinya akan meminimalkan slack generator, dan tanpa jaminan dapat meminimalkan kerugian.
3. *Economic dispatch* diselesaikan terlebih dahulu dengan mempertimbangkan daya hanya aktif pembangkit dan solusi digunakan dengan pengiriman daya reaktif menggunakan transmisi minimalisasi kerugian.



2.3.Optimasi Menggunakan Metode Lagrange

Salah satu cara untuk memasukkan efek dari rugi-rugi pada jaringan adalah dengan cara menyatakan total rugi-rugi jaringan sebagai fungsi kuadrat dari keluaran daya pembangkit. Bentuk persamaan kuadrat sederhananya adalah

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P_i B_{ji} P_j) \tag{2}$$

Rumus yang lebih umum terdiri dari persamaan linier dan persamaan konstan yang dikenal sebagai rumus *losses*

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P_i B_{ji} P_j) + \sum_{i=1}^N B_{0i} + P_i + B_{00} \tag{3}$$

Koefisien Bij adalah koefisien *losses* atau koefisien B. Koefisien B ini dianggap konstan. Maka, permasalahan pembangkitan daya yang optimal dapat dinyatakan sebagai

$$F_T = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{j=1}^n \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2$$

- i = indeks unit yang dioptimasi
- FT = fungsi biaya masukan-keluaran unit (Rp/jam)
- Pi = daya yang dibangkitkan unit i
- αi ,βi , γi = koefisien biaya unit i
- N = jumlah unit yang dioptimasi

Untuk membatasi agar pembangkitan sama dengan beban ditambah dengan *losses*, maka

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_L + P_D$$

Masalah batas pertidaksamaan, dapat ditulis sebagai

$$P_i(max) \leq P_i \leq P_i(min) \quad i= 1, \dots, \dots, \dots, N$$

Dengan keterangan *Pi(min)* dan *Pi(max)* adalah batas minimum dan maksimum pembangkit I Dari persamaan di atas, maka persamaan Lagrange dapat dituliskan sebagai berikut.

$$L = F_T + \lambda \phi$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} + \lambda \left(\frac{\partial P_D}{\partial P_i} + \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - \frac{\partial P_i}{\partial P_i} \right) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} + \lambda \left(\frac{\partial P_L}{\partial P_i} - 1 \right) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial F_i}{\partial P_i} - \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \right) = 0$$

$$\frac{\partial F_i}{\partial P_i} = \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \right)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

- PD tidak tergantung atas perubahan P_i , maka $\frac{\partial P_D}{\partial P_i}$
- P_L perubahannya tergantung harga arus dan impedansi jaringan transmisi, maka $\frac{\partial P_L}{\partial P_i} \neq \frac{\partial P_L}{\partial P_i}$

Dalam analisis aliran daya optimal, pembangkitan daya listrik harus memenuhi kondisi yang sama seperti kondisi yang dinyatakan dalam analisis aliran daya. Kondisi tersebut adalah seluruh aliran daya direduksi menjadi satu persamaan yang sederhana. Latar belakangnya adalah bahwa dalam menyatakan perhitungan analisis aliran daya optimal untuk biaya pembangkitan, diperlukan keseluruhan persamaan-persamaan yang ada dalam analisis aliran daya itu sendiri sebagai batasan. Kita dapat melakukan analisis aliran daya optimal untuk fungsi tujuan biaya pembangkitan yang minimal dan tentu saja perhitungannya akan menghasilkan aliran daya yang seimbang untuk satu saat pembebanan tertentu. Fungsi tujuan dalam analisis aliran daya optimal dapat saja berbeda-beda selain biaya pembangkitan. Analisis aliran daya optimal dapat dilakukan untuk fungsi tujuan meminimalkan



rugi-rugi pada jaringan transmisi atau penjadwalan pembangkitan maupun variabel kontrol lainnya pada suatu titik operasi yang optimal. Dengan mengabaikan fungsi tujuan di atas, suatu analisis aliran daya optimal harus memberikan solusi dengan syarat bahwa seluruh batasan-batasan dalam sistem dapat terpenuhi. Jika seluruh persamaan aliran daya diselesaikan bersamaan dengan perhitungan optimasi biaya pembangkitan, maka akan terjadi perubahan nilai rugi-rugi jaringan. Oleh karena itu, untuk fungsi tujuan yang juga meminimalkan rugi-rugi pada jaringan, persamaan aliran daya sangat diperlukan.

Analisa OPF terdapat beberapa batasan yang digunakan yaitu:

1. Batasan keseimbangan daya, dapat dirumuskan sebagai:

$$\sum_{i=1}^N P_{DGi} = \sum_{i=1}^N P_{Di} + P_L \quad (4)$$

2. Batasan tegangan :

$$|V_1|^{min} \leq |V_1| \leq |V_1|^{max} \quad (5)$$

3. Batasan arus

$$|I_{ij}| \leq |I_{ij}|^{max} \quad (6)$$

Dimana : $Loss_k$ merupakan pada bagian k , N_{SC} jumlah total dari bagian, P_L rugi daya riil sistem, P_{DGi} daya riil pembangkitan DG pada bus i dan P_{Di} permintaan beban pada bus i .

2.4. Particle Swarm Optimization

2.4.1. Dasar PSO

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah teknik optimisasi stokastik berbasis pada sebuah populasi yang dikembangkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995. Metode PSO berasal dari studi terhadap kebiasaan burung flocking dalam mencari makanan. PSO menginisialisasi partikel secara random. Masing-masing partikel dirubah dengan pencarian nilai terbaik pada setiap iterasi. *Particle swarm optimization*, disingkat sebagai PSO, didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan *kecerdasannya* (intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut. Metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*. Algoritma PSO ini awalnya diusulkan. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multi dimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam *ruang/space* tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut

1. Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
2. Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
3. Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut:

1. Kohesi – terbang bersama
2. Separasi - jangan terlalu dekat



3. Penyesuaian(alignment) - mengikuti arah bersama

Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu
2. Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memori tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

PSO mempunyai banyak kemiripan dengan teknik komputasi yang lain seperti algoritma genetika. Metode ini diinisialisasikan oleh sebuah populasi acak yang bekerja sama mencari solusi optimal pada suatu fungsi obyektif dengan mengupdate tiap generasi. Pada PSO, potensial solusi yang dikenal dengan nama partikel-partikel, terus bergerak di area fungsi obyektif dengan cara mengikuti partikel paling optimum pada saat itu. Tiap partikel terus mencari solusi terbaik untuk fungsi obyektif terkait dengan solusi terbaik (fitness) yang telah dicapai sejauh ini. Nilai dari fitness ini kemudian disimpan. Nilai inilah yang disebut pbest. Ketika sebuah partikel mengambil seluruh populasi sebagai topologi tetangganya maka nilai terbaik (best value) yang dicapai disebut gbest.

Konsep PSO terdiri dari langkah tiap iterasi dan perubahan velocity (akselerasi) pada tiap partikel menuju lokasi pbest dan gbest. Nilai akselerasi didapat dari sebuah proses dengan membangkitkan nilai acak untuk akselerasi menuju lokasi pbest dan gbest.

Pada beberapa tahun terakhir, PSO diaplikasikan pada beberapa riset dan aplikasi lain dengan sukses. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode PSO, didapat hasil yang lebih baik dan lebih cepat serta lebih murah dibanding dengan metode lain. Alasan lain mengapa PSO lebih menarik adalah penggunaan sedikit parameter. Dengan satu versi yg mudah, PSO dapat bekerja dengan baik pada aplikasi yang luas.

2.4.2. Basic Algoritma dari PSO

PSO sebagai metode optimisasi mempunyai beberapa langkah untuk menjalankan algoritmanya. Algoritma tersebut dapat kita bagi menjadi beberapa poin sebagai berikut :

1. inialisasi populasi agen (partikel) yang terdistribusi uniform pada suatu bidang pencarian. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawanan (jumlah partikel) adalah N . Untuk mengurangi jumlah evaluasi fungsi yang diperlukan untuk menemukan solusi, sebaiknya ukuran N tidak terlalu besar, tetapi juga tidak terlalu kecil, agar ada banyak kemungkinan posisi menuju solusi terbaik atau optimal. Jika terlalu kecil, sedikit kemungkinan menemukan posisi partikel yang baik. Terlalu besar juga akan membuat perhitungan jadi panjang. Biasanya digunakan ukuran kawanan adalah 20 sampai 30 partikel.
2. evaluasi tiap-tiap posisi dari partikel terhadap fungsi obyektif.
3. jika posisi partikel saat ini lebih baik daripada posisi best sebelumnya maka update posisi best
4. tentukan best partikel menurut best posisi dari partikel tersebut
5. update velocity dari tiap partikel menurut persamaan :

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 X_i^k \times (Pbest_i^k - X_i^k) + c_2 rand_2 \times (Gbest^k - X_i^k) \tag{7}$$

Dimana :

v_i^{k+1} = velocity individu i pada iterasi k

ω = parameter *weight*

$c_1 c_2$ = koefisien akselerasi

$rand1, rand2$ = jumlah random antara 0 dan 1

X_i^k = posisi individu i pada iterasi k

$Pbest_i^k$ = *Pbest* individu i sampai iterasi k

$Gbest^k$ = *Gbest* kelompok sampai iterasi k



Update velocity (kecepatan) untuk semua partikel pada waktu $k+1$ menggunakan fungsi objektif atau nilai fitness posisi partikel saat ini pada *design space* saat waktu ke k . Dari nilai fitness dapat ditentukan partikel mana yang memiliki nilai global terbaik (*global best*) pada *swarm* saat ini, P_g^k dan juga dapat ditentukan posisi terbaik dari tiap partikel pada semua waktu yang sekarang dan sebelumnya, P^1 . Perumusan *update velocity* dua informasi tersebut untuk semua partikel pada kumpulan dengan pengaruh menggunakan perpindahan yang sekarang, v_k^i , untuk memberikan arah pencarian, v_{k+1}^i , untuk generasi selanjutnya. Perumusan *update velocity* mencakup beberapa parameter random, rnd , untuk mendapatkan cakupan yang baik pada *design space*, tiga parameter yang mempengaruhi arah pencarian, yaitu *inertia factor* (w), *selfconfidence* ($c1$), *swarm confidence* ($c2$) akan digabungkan dalam satu penyajian, seperti yang ditunjukkan persamaan (7).

6. pindahkan partikel pada posisi barunya menurut persamaan :

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \tag{8}$$

7. Cek apakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi semua partikel menuju ke satu nilai yang sama, maka ini disebut konvergen. Jika belum konvergen maka langkah 4 diulang dengan memperbarui iterasi $i = i + 1$, dengan cara menghitung nilai baru dari $P_{best,j}$ dan G_{best} . Proses iterasi ini dilanjutkan sampai semua partikel menuju ke satu titik solusi yang sama. Biasanya akan ditentukan dengan kriteria penghentian (stopping criteria), misalnya jumlah selisih solusi sekarang dengan solusi sebelumnya sudah sangat kecil. Dalam hal ini tujuh langkah algoritma di atas diulang terus sampai fungsi obyektif yang dievaluasi memperoleh hasil yang optimal (minimal). Pada gambar 3 menunjukkan konsep mekanisme pencarian PSO dengan modifikasi *velocity* dan posisi individu i berdasarkan pada Persamaan (7) dan (8) jika nilai w , $c1$ dan $c2$ $rand1$, $rand2$ adalah 1

II. METODE PENELITIAN

3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sistem kelistrikan Jawa Bali 500 kV, berikut single line (gbr 2)

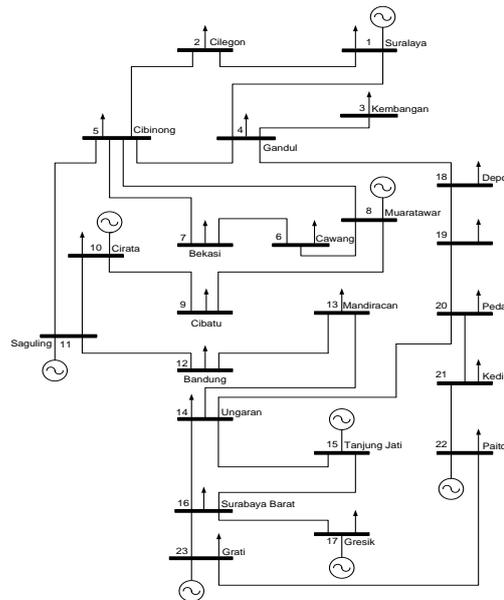
TABEL 1
 KARAKTERISTIK KOEFISIEN BIAYA

Pembangkit	Persamaan Karakteristik
P1 (Suralaya)	$65.94P_1^2 + 395668.05P_1 + 3163021$
P2 (Muaratawar)	$690.98P_8^2 + 2478064.47P_8 + 107892572.17$
P3 (Cirata)	$0 + 6000.00P_{10} + 0$
P4 (Saguling)	$0 + 5502.00P_{11} + 0$
P5 (Tanjung Jati)	$21.88P_{15}^2 + 197191.76P_{15} + 1636484.18$
P6 (Paiton)	$132.15P_{17}^2 + 777148P_{17} + 13608770.96$
P7 (Gresik)	$52.19P_{22}^2 + 37370.67P_{22} + 8220765.38$
P8 (Grati)	$533.92P_{23}^2 + 2004960.63P_{23} + 86557397.40$



Persamaan Karakteristik Biaya Pembangkitan

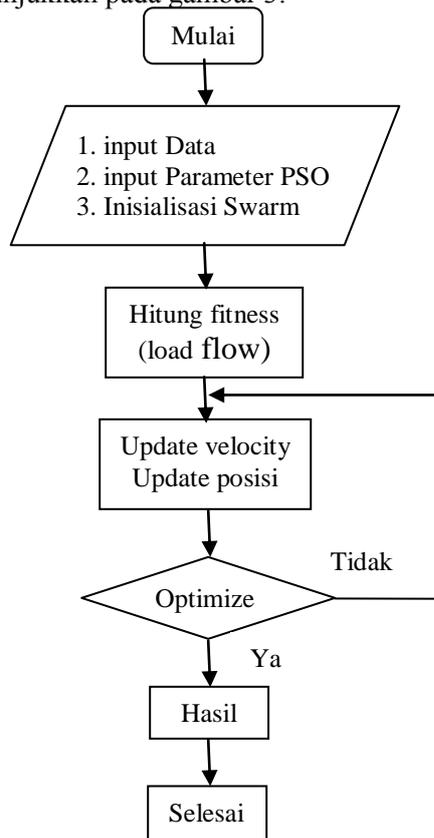
Persamaan karakteristik biaya pembangkitan masing-masing pembangkit adalah sebagai berikut (tabel 3.1)



Gbr 2 Single line diagram Interkoneksi 500kV Jawa Bali

3.2. Flowchart Program OPF dengan PSO

Flowchart untuk pembuatan program “Optimal Power Flow pembangkit listrik 500 kV menggunakan algoritma PSO” ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart OPF-PSO



Data yang dimasukkan berupa :

- Data Saluran Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali
- Data Pembangkitan Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa Bali
- Data karakteristik biaya pembangkitan
- Batas kemampuan pembangkitan daya aktif

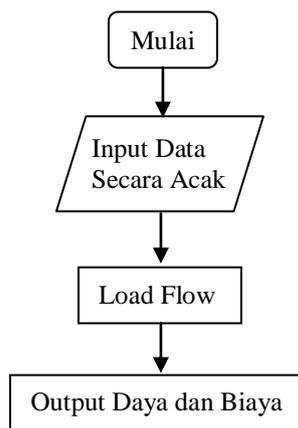
Parameter PSO ditunjukkan pada tabel 2

TABEL 2
PARAMETER PSO

Jumlah partikel	20
Jumlah variable adalah sejumlah pembangkit sama	8
Iterasi maximum	50 iterasi
c1 dan c2	0.3
Wmax	0.9
Wmin	0.4
M	4
Kontrol parameter (fo)	0.75

3.2. Flowchart Program OPF dengan menggunakan *langrange* (Konvensioanal)

Pembandingan Perhitungan OPF digunakan metode *Langrange* (konvensional). Berikut flowchart metode *langrange*



Gambar 4. Flowchart OPF- *Langrange*

III. HASIL DAN ANALISIS

4.1. PERHITUNGAN BIAYA TANPA OPTIMISASI PSO

Untuk mengetahui kondisi sebelum optimisasi pengaturan daya dilakukan analisis alirandaya (*loadflow*) menggunakan metode Newton Raphson dengan menggunakan data riil. Hasil aliran daya diperlihatkan pada Tabel 4.1.



Tabel 4.1. Tabel hasil metode manual tanpa menggunakan optimisasi PSO

Pembangkit	Tanpa Optimisasi	
	Daya(MW)	Biaya (Rp/Jam)
Suralaya	3332.176	2.050.625.201,64
Muaratawar	1760.0	8.830.679.506,57
Cirata	948.0	5.688.000
Saguling	698.4	3.842.596,8
TanjungJati	1321.6	300.461.303,33
Gresik	900.0	820.084.163
Paiton	3180.0	1.468.681.424,6
Grati	398.6	970.564.960,6
Total	12538.78	14.450.627.156,54

Dari perhitungan *optimal power flow* menggunakan metode manual di atas didapat biaya total pembangkitan sebesar 14.450.627.156,54Rp/Jam. Sebagai pembandingan dilakukan optimisasi menggunakan PSO.

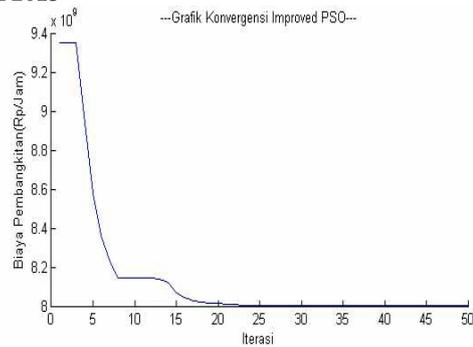
4.2. Hasil Program menggunakan optimisasi PSO

Hasil aliran daya setelah dilakukan optimisasi pengaturan daya reaktif dan tegangan dengan menggunakan PSO diperlihatkan pada Tabel 4.2

TABEL 4.2 Dengan Parameter PSO

Pembangkit	Tanpa Optimisasi	
	Daya(MW)	Biaya (Rp/Jam)
Suralaya	2999.751	1780299101
Muaratawar	1174.144	3970090761
Cirata	960.673	5764037.369
Saguling	770.906	4241525.38
TanjungJati	696.889	149683274.6
Gresik	530.184	462787539.3
Paiton	2796.593	520905932
Grati	454.61	1108377525
Total	10383.75	8002149694

Total biaya setelah dilakukan optimisasi dengan menggunakan PSO yaitu: 8002149694 Rp/jam



Gambar 5. grafik konvergensi PSO

Hasil simulasi menggunakan PSO menunjukkan konvergen pada iterasi ke23 gambar 5. PSO adalah berbasis-populasi untuk algoritma pencarian, yaitu PSO memiliki paralelisme implisit. Properti ini memastikan PSO kurang rentan untuk terjebak pada minimum lokal. PSO memiliki exhibility untuk mengontrol keseimbangan antara eksplorasi global dan local dari pencarian ruang. Properti ini meningkatkan kemampuan mencari Teknik PSO dan menghindari konvergensi prematur dari proses pencarian

Biaya pembangkitan listrik tanpa optimisasi Rp.14.450.627.156,54 Rp/Jam, biaya pembangkitan listrik dengan optimisasi Rp.8.002.149.694.40 Rp/Jam. Dengan hasil tersebut membuktikan bahwa dengan optimisasi bias menurunkan biaya listrik sebesar :

$$= \frac{14450627156,54 - 80021496941}{14450627156,54} \times 100\%$$

$$= 44,62\%$$

Dan selisih penurunan biaya pembangkitan listrik per jam sebesar :

$$= 14450627156,54 - 8002149694$$

$$= 6448477462,54 \text{ Rp / Jam}$$

PSO menggunakan aturan probabilistic untuk gerakan partikel, buka aturan deterministik. Oleh karena itu, PSO adalah semacam algoritma optimasi stokastik yang dapat mencari yang rumit dan daerah pasti. Hal ini membuat PSO lebih flexible dan kuat daripada metode konvensional.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode optimisasi menggunakan PSO lebih baik daripada metode optimisasi tanpa menggunakan PSO. Biaya pembangkitan listrik tanpa optimisasi Particle Swarm Optimization (PSO) Rp. 14.450.627.156,54 Rp/Jam, sedangkan biaya pembangkitan listrik dengan optimisasi Particle Swarm Optimization (PSO) Rp. 8.002.149.694.40 Rp/Jam. Dengan hasil tersebut membuktikan bahwa dengan optimisasi bisa menurunkan biaya listrik sebesar 6.448.477.462,54 Rp/Jam.
2. Dengan menggunakan optimisasi PSO mampu menekan biaya pembangkitan termurah sampai 44,62%.



REFERENSI

- Adi Soeprijanto, Eko Mulyanto, Fuzzy Based Early Warning And Control System Of Multi Generator Security Level, The 2006 International Conference On Electrical Machines And Systems, Nagasaki , Japan, 20-23 Nopember 2006.
- Adi Soeprijanto, Nanang Widyatmoko, *Visual Ews For Electrical System Security*, Proceeding Of International Seminar Of The Ews Of Disasters, C.88, March, 2004.
- Adi Soeprijanto, *Visualisasi Level Keamanan Transmisi Untuk Kepentingan Operasi Dan Perencanaan*, Forum Transmisi Ke-3, Balikpapan, 25-26 Juli 2007.
- Amirullah, Ontoseno Penangsang , Mauridhi Hery P, Studi Aliran Daya Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation*, Proc. Of the 9th Seminar on Intelligent Technology and Its Applications, Surabaya, 8th May 2008, pp.50
- Balci, H.H, Valenzuela, J.F., “Scheduling electric power generators using particle swarm optimization combined with the lagrangian relaxation method”, *AMCS Appl.Math.Comput.Sci*, Vol.14. No. 14, pp. 411 – 421, 2004.
- Boukir, T., Labdani, R., “Economic power dispatch of power system with pollution control using multiobjective particle swarm optimization”, *University of Sharjah Journal of Pure & Applied Sciences*, Vol.4. No..2, pp. 57–73, 2007.
- Cekdin, Cekmas, Sistem Tenaga Listrik contoh sol dan penyelesaiaanny menggunakan Matlab, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- Jong Bae Park, etc, An Improved PSO for Economic Dispatch with Valve-Point Effect, Int, Journal of Innovations in Energy Ssystems and Power, Vol.1 no.1, Nov. 2006.
- Mat Syai'in, Adi Soeprijanto, T. Hiyama.,”Generator Capability Curve Constraint for PSO based Optimal Power Flow”. International Journal of Electrical power and Energy Systems Engineering Volume 3.2 .2010 pp 61-66.
- Sudhakaran M., Palanivelu,T.G., *GA and PSO culled hybridtechnique for economic dispatch problem with prohibited operating zones*, *Journal of Zhejiang University*, ISSN 1673-565X, pp. 896 – 903, 2007.