

HARMONY SEARCH ALGORITHM (HSA) UNTUK OPTIMAL POWER FLOW (OPF)

Efrita Arfah Zuliari
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Email : zuliary_efri@yahoo.co.id

ABSTRAK

Salah satu masalah *Optimal Power Flow* (OPF) adalah bagaimana mendapatkan kombinasi daya masing-masing unit pembangkit untuk mendapatkan fungsi biaya termurah dengan tidak melanggar ketentuan yang ada, yaitu *equality dan inequality*. Optimisasi berbasis stokastik telah banyak digunakan dalam penelitian OPF, di antaranya adalah GA, EP dan PSO. Penelitian ini menggunakan algoritma stokastik yang relatif baru dibandingkan dengan algoritma-algoritma di atas, yaitu *Harmony Search Algorithm* (HSA). Gagasan utama dibalik itu didasarkan pada instrumen untuk menemukan harmoni yang indah. HSA digunakan untuk mendapatkan fungsi biaya termurah. Data yang digunakan adalah data Jawa Bali 500 kV 23 bus dengan delapan generator. Untuk mengetahui performa dari HSA, HSA dibandingkan dengan *improve-PSO* (IPSO). Hasil perhitungan menunjukkan HSA memiliki biaya lebih rendah sebesar 9,21 % dari total biaya pembangkitan dibandingkan perhitungan menggunakan IPSO.

Kata kunci: *Improved Particle Swarm Optimization (IPSO), Harmony Search Algorithm (HSA), Optimal Power Flow (OPF).*

ABSTRACT

One of the Optimal Power Flow (OPF) problems is getting minimize cost by optimizing the power of each unit generator with the equality and inequality constrain. Many researches have developed OPF with optimization based on stochastic like genetic Algorithm (GA), evolutionary programming (EP) and particle swarm optimization (PSO). In this research using HSA, the newer algorithm than all of them. The main idea behind it is based on the musician in order to seek of a fantastic state of harmony. HSA is proposed to minimize the cost function. The prop osed approach is tested on 500kv Java-Bali Power system, 23 bus and 8 generator. To test the robust of HSA, it was compared with Improved-PSO, the result showed that performance of HSA is better than IPSO. The total cost HSA lower 9.21% than IPSO.

Keywords: *Improved Particle Swarm Optimization (IPSO), Harmony Search Algorithm (HSA), Optimal Power Flow (OPF).*

PENDAHULUAN

Optimal power flow (OPF) digunakan sebagai dasar perencanaan operasi ekonomi dari sistem tenaga. Akhir-akhir ini banyak penelitian mengenai OPF menggunakan berbagai macam teknik optimisasi maupun metode tradisional (*quadratic programming, mixed integer programming*)^[2]. Metode tradisional mulai ditinggalkan karena tidak dapat diaplikasikan dalam kasus pembangkit lebih dari satu jenis bahan bakar. OPF juga dikembangkan dengan metode optimisasi meta-heuristic (*simulated annealing, genetic algorithm, evolusionary algorithm, adaptic tabu search, particle swarm optimization* (PSO), dll). Beberapa algoritma berhasil mendapatkan solusi optimal, tetapi algoritma tersebut biasanya lambat dalam konvergensi dan fitness biaya terhitung mahal. Sebagian metode tersebut mudah terjebak dalam lokal optimum atau dengan kata lain konvergen sebelum waktunya^[1]. Beberapa algoritma stokastik telah terbukti sangat efektif didalam permasalahan non-linier meskipun tidak menjamin solusi global optimum dalam batasan waktu^[3]. Optimisasi telah dicoba dengan banyak konstrain dengan mengembangkan matematika

programming dan pencarian heuristik modern. Evolusi metode pencarian tidak asing untuk memecahkan fungsi matematika. Seleksi alamiah dan meta-heuristik sangat berguna untuk menemukan solusi global optimum.

Tahun 2001 Geem *et.al.* menemukan *harmony search algorithm* (HSA) sebagai algoritma metaheuristik yang terinspirasi dengan proses improvisasi permainan musik, yaitu musisi selalu mencoba mengontrol pitch untuk memperoleh harmoni yang lebih baik. Proses improvisasi musik hampir mirip dengan proses desain optimum untuk mencari solusi optimum. Pitch dari masing-masing instrumen musik menentukan kualitas harmoni tertentu seperti halnya *objective function* menentukan bobot variabel^[4]. Dalam paper ini HSA digunakan untuk mendapatkan nilai OPF, kemudian dibandingkan dengan IPSO. Data yang digunakan adalah data Jawa Bali 500 kV 23 bus dengan delapan generator.

METODE PENELITIAN

1. Optimal Power Flow

OPF bertujuan untuk meminimalkan biaya bahan bakar pembangkit dengan tidak melanggar batas titik aman masing-masing pembangkit. Dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^{NG} F_i(P_{gi}) \quad (1)$$

Dimana F adalah total biaya bahan bakar dan F_i adalah biaya bahan bakar pembangkit ke- i . Batasan equality dijelaskan persamaan keseimbangan daya

$$P_{gi} - P_{di} = \sum_{j=1}^N |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$Q_{gi} - Q_{di} = - \sum_{j=1}^N |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (3)$$

$$i = 1, \dots, N$$

Dimana P_{gi} adalah total daya pembangkitan ke i , P_{di} adalah total daya beban, Q_{gi} adalah total daya reaktif, Q_{di} adalah total daya beban reaktif pada bus ke i . $|V_i|$ adalah magnitude tegangan pada bus ke i , $|V_j|$ adalah magnitude tegangan pada bus ke j , θ_{ij} adalah sudut elemen ij Y_{bus} , $|Y_{ij}|$ adalah magnitude dari elemen ij pada Y_{bus} , δ_i adalah sudut tegangan dari bus i , δ_j adalah sudut tegangan pada bus j ^{[3][5]}.

Batasan *inequality* pada sistem

1. Batasan pembangkit. Output daya riil pembangkit, output daya reaktif dan tegangan dibatasi oleh batasan minimum dan maksimum

$$\begin{aligned} P_{gi}^{\min} &\leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} & i=1, \dots, NG \\ Q_{gi}^{\min} &\leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max} & i=1, \dots, NG \\ |V_{gi}^{\min}| &\leq |V_{gi}| \leq |V_{gi}^{\max}| & i=1, \dots, NG \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana

P_{gi}^{\min} dan P_{gi}^{\max} adalah daya riil minimum dan maksimum pembangkit pada i bus generator,

Q_{gi}^{min} dan Q_{gi}^{max} daya reaktif minimum dan maksimum pembangkit pada i bus generator, $|V_{gi}^{min}|$ dan $|V_{gi}^{max}|$ adalah minimum dan maksimum magnitudo tegangan pada i bus generator.

2. Batas keamanan meliputi batas magnitudo tegangan dari bus beban

$$|V_{Li}^{min}| \leq |V_{Li}| \leq |V_{Li}^{max}| \quad i=1, \dots, NL \quad (5)$$

Dimana $|V_{Li}^{min}|$ dan $|V_{Li}^{max}|$ adalah minimum dan maksimum magnitudo tegangan pada bus beban ke i . [3]

2. *Harmony Search Algorithm (HSA)*

HSA adalah sebuah algoritma pencarian meta-heuristik, dikembangkan oleh Geem, Kim dan Loganathan. HSA adalah konsep sederhana dengan beberapa parameter dan mudah untuk penerapannya. Terbukti berhasil memecahkan beberapa masalah seperti TSP (*travelling salesman program*) [7][6].

Perkiraan keindahan dimunculkan dengan memainkan pitch masing-masing instrumen seperti evaluasi *objective function* ditentukan oleh nilai masing-masing variabel. Kualitas solusi ditentukan oleh iterasi by iterasi. Berikut ini tahapan dari HSA [6].

1. Inisialisasi masalah dan parameter HSA

Parameter HSA meliputi harmony memory size (HMS); harmony memory considering rate (HMCR); pitch adjusting rate (PAR); dan jumlah iterasi. Agar *harmony memory* dapat digunakan secara efektif, algoritma HS mengadopsi sebuah parameter yang disebut *Harmony Memory Considering Rate* (HMCR). Jika *rate* ini terlalu rendah, maka hanya sedikit harmoni elit yang terpilih dan juga dapat menyebabkan proses konvergensi terlalu lambat. Jika *rate* ini terlalu besar, maka akan menyebabkan nada-nada pada *harmony memory* banyak terpakai dan tidak sempat mengeksplorasi nada lain, dimana pada akhirnya sulit mencapai solusi yang bagus. Oleh karena itu, biasanya digunakan $HMCR \sim 0.7 \sim 0.95$.

2. Inisialisasi harmony memory (HM)

Step ini matrik HM di isi dengan pembangkitan vektor solusi secara random sejumlah HMS

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dimana

$$x_N = x_{Nmin} + rand(x_{Nmax} - x_{Nmin}) \quad (7)$$

3. Improvisasi new harmony vector (NHV)

$$NHV \ x' = (x_1', x_2', \dots, x_N')$$

Pembangkitan NHV disebut dengan improvisasi. Berdasarkan memori yang ada, nilai dari variabel pertama untuk NHV dipilih dari nilai yang ada di HM. Nilai yang lain dipilih dengan cara yang sama. HMCR dengan range nilai antara 0 sampai 1 adalah rata-rata pemilihan satu nilai dari nilai historikal didalam HM, ketika $(1-HMCR)$ adalah rata-rata pemilihan random satu nilai dari kemungkinan nilai range seperti ditunjukkan pada persamaan 8.

$$\begin{aligned}
 & \text{if}(\text{rand}() < \text{HMCR}) \\
 & x_i' \leftarrow x_i' \in \{x_i^2, x_i^2, \dots, x_i^{\text{HMS}}\} \\
 & \text{Else} \\
 & x_i' \leftarrow x_i' \in X_i \\
 & \text{end}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Nilai random dengan range antara 0 sampai 1. x_i adalah nilai yang ditetapkan untuk masing-masing variabel. Sebagai contoh HMCR ditetapkan dengan nilai 0,85 itu artinya HSA akan memilih nilai variabel dari HM dengan 85 % kemungkinan untuk dipilih. Setiap komponen dites apakah perlu untuk diatur pitchnya. Operasi ini menggunakan parameter PAR. PAR yang bernilai rendah dengan *bandwidth* yang sempit dapat menyebabkan proses konvergensi lambat, dikarenakan keterbatasan eksplorasi pada ruang pencarian yang besar. Pada sisi lain, PAR yang tinggi dengan *bandwidth* yang lebar dapat menyebabkan solusi-solusi yang ada terlalu menyebar dari potensi solusi optimal.

$$\begin{aligned}
 & \text{if}(\text{rand}() < \text{PAR}) \\
 & x_i' = x_i' \pm \text{rand}() * bw \\
 & \text{else} \\
 & x_i' = x_i' \\
 & \text{end}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Update harmony memory

Jika NHV memiliki fitness lebih baik dari pada harmoni terjelek yang ada di HM, NHV akan dimasukkan kedalam HM dan harmoni terjelek dikeluarkan dari HM.

4. Cek syarat berhenti

HSA akan berhenti ketika kriteria penghentian terpenuhi jika tidak kembali ke tahap 3 ^{[5][6][7]}.

3. Particle Swarm Optimization (PSO)

Kenedy dan Eberhart pada tahun 1995 memperkenalkan algoritma baru yang dinamakan *particle swarm optimization* (PSO). Teknik komputasi PSO didasarkan pada penelusuran algoritma. Diawali dengan suatu populasi random yang disebut *particle*. *Particle-particle* tersebut bergerak berdasarkan *velocity* ke area pencarian yang lebih baik. Pada algoritma PSO *vector velocity* di update untuk masing-masing *particle*, kemudian dijumlahkan dengan posisi *particle*. Update velocity dipengaruhi oleh *particle* terbaik (Pbest) dan *particle global best* (Pgbest).

Tahap-tahap algoritma standar PSO

1. Inisialisasi posisi dan *velocity* secara random untuk masing-masing *particle* dalam populasi range tertentu, sesuai dengan ruang dimensi pencarian. ukuran swarm yang digunakan antara 20-50.
2. Evaluasi fungsi *fitness*.
3. Membandingkan evaluasi fitness dari *particle* untuk mencari Pbest dan Pgbest.
4. Update velocity dan posisi *particle*.

Ketika update velocity dibutuhkan koefisien akselerasi (c_1 dan c_2), biasanya nilai c_1 dan c_2 adalah sama dan berada antara rentang 0-4

Update velocity

$$V_{id} = \omega V_{id} + c_1 \times \text{rand}_1 \times (P_{id} - X_{id}) + c_2 \times \text{rand}_2 \times (P_{g_{best}} - X_{id}) \tag{10}$$

Update posisi

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \tag{11}$$

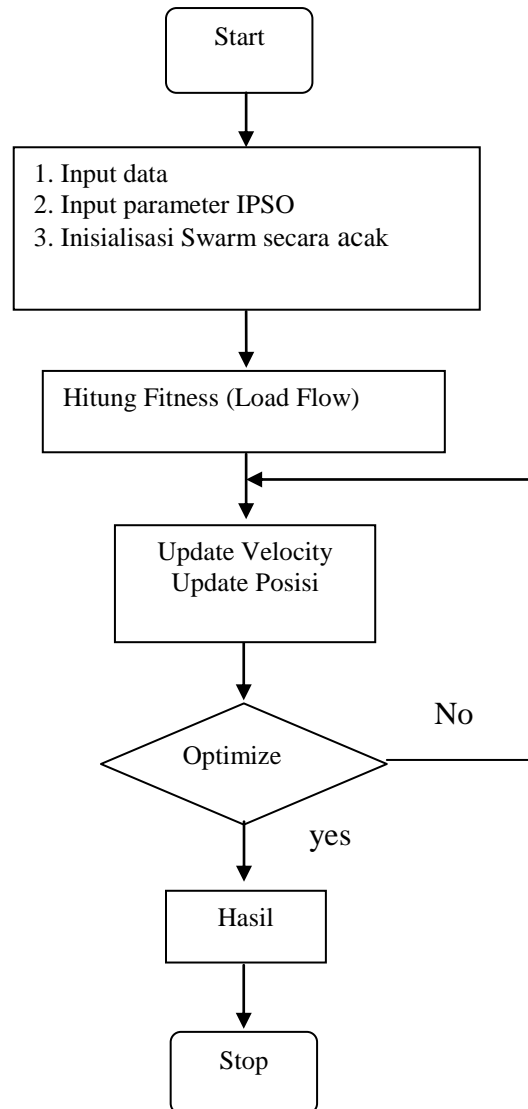
5. Kembali ke tahap 2 sampai iterasi maksimum tercapai

Improved Particle Swarm Optimization (IPSO)

$$f_k = \mu \cdot f_{k-1} \cdot (1 - f_{k-1}) \tag{12}$$

Faktor tersebut diturunkan dari fenomena iterator yang disebut peta fungsi (*logistic map*)^[8]. Faktor bobot baru didapatkan dari perkalian faktor bobot lama dikalikan faktor sequences, seperti ditunjukkan pada persamaan 13.

$$\omega_{new} = \omega \cdot f \quad (13)$$



Gambar 1. Flowchart Algoritma PSO.

4. Karakteristik Pembangkit

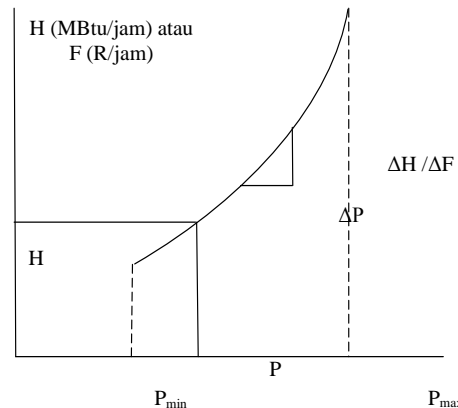
Masalah operasi ekonomis dibutuhkan adanya dasar karakteristik *input-output* dari suatu unit pembangkit, yaitu *gross input* dan *net output*. *Gross input* merepresentasikan total input (dalam Rp/Jam atau kubik gas/ Jam atau bentuk unit lainnya). *Net output* adalah output daya listrik yang tersedia pada sistem tenaga.

Dalam mendefinisikan karakteristik dari unit turbin uap digunakan beberapa konstanta sebagai berikut.

H = Btu per jam masukan panas pada unit (Mbtu/h)

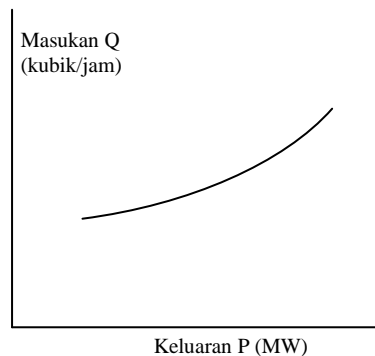
F = Biaya bahan bakar dikalikan H adalah Rupiah per jam (Rp/Jam) masukan pada unit untuk bahan bakar.

Gambar 2 menunjukkan karakteristik *input-output* suatu unit pembangkit tenaga uap yang ideal. Masukan unit yang ditunjukkan pada sumbu ordinat dapat diterjemahkan pula dalam bentuk kebutuhan energi panas (MBtu/jam) atau bentuk biaya total per jam (Rp/jam). Output adalah keluaran daya listrik dari unit tersebut.



Gambar 2. Kurva *Input-Output* Pembangkit Tenaga Uap.

Unit pembangkit tenaga air mempunyai karakteristik *input-output* sama dengan unit pembangkit tenaga uap. Input berupa volume air per unit waktu, sedangkan keluarannya adalah berupa daya listrik. Gambar 3 menunjukkan kurva *input-output* pembangkit tenaga air. Karakteristik ini menunjukkan kurva yang hampir linier dengan kebutuhan volume masukan air per waktu unit sebagai fungsi dari daya keluaran, dengan daya keluaran naik dari nilai minimum hingga beban nominal.



Gambar 3. Kurva *Input-Output* Pembangkit Tenaga Air.

Karakteristik *input-output* pembangkit adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara input bahan bakar (liter/jam) dan output yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). Pada umumnya karakteristik *input-output* pembangkit didekati dengan fungsi polinomial orde dua yaitu:

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (14)$$

Dimana H_i adalah Input bahan bakar pembangkit termal ke- i (liter/jam), P_i adalah Output Pembangkit Termal ke- i (MW), $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ adalah Konstanta *input-output* pembangkit ke- i [8].

Biaya Pembangkitan

Biaya pembangkitan meliputi biaya tetap, biaya bahan bakar, biaya start up, biaya produksi, dan biaya daya cadangan. Penghitungan biaya tiap pembangkit dapat ditentukan dari rumus pada Tabel 1.

Tabel 1 Koefisien Biaya Masing-masing Pembangkit

Pembangkit	Fungsi Biaya			
Suralaya	31630.21	+ 395668.05P ₁	+ 65.94P ₁ ²	
Muaratawar	107892572.17	+ 2478064.47P ₂	+ 690.98P ₂ ²	
Cirata	0	+ 6000.00P ₃	+ 0	
Saguling	0	+ 5502.00P ₄	+ 0	
Tanjung Jati	163648.18	+ 197191.76P ₅	+ 21.88P ₅ ²	
Gresik	13608770.96	+ 777148.77P ₆	+ 132.15P ₆ ²	
Paiton	8220765.38	+ 37370.67P ₇	+ 52.19P ₇ ²	
Grati	86557397.4	+ 2004960.63P ₈	+ 533.92P ₈ ²	

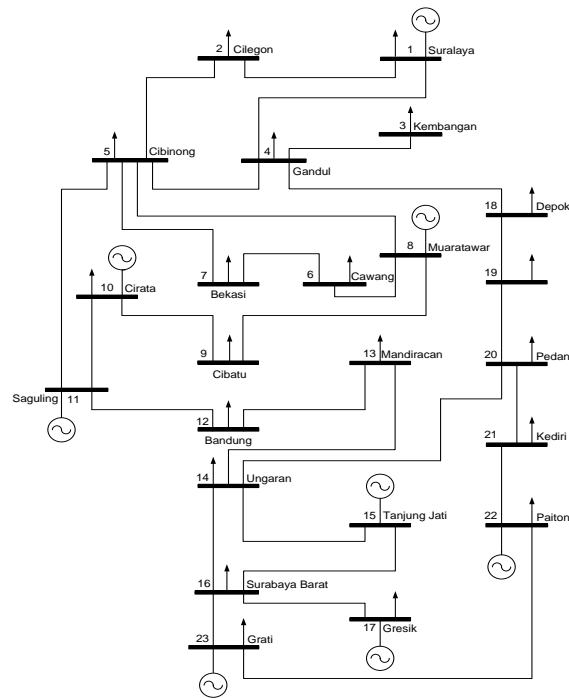
Tabel.2 Batas Kemampuan Daya Aktif

No	Pembangkit	DAYA (MW)	
		Min	Max
1	Suralaya	1500	3400
2	Muaratawar	1040	2200
3	Cirata	400	1008
4	Saguling	400	700
5	Tanjung Jati	600	1220
6	Gresik	238	1050
7	Paiton	1425	3254
8	Grati	150	827

Data karakteristik Tabel 1 dan Tabel 2, diperoleh dari perhitungan desain atau dari hasil pengukuran. Pengoperasian tiap unit pembangkit termal mempunyai batas kritis operasi minimum dan maksimum. Batas minimum disebabkan dari desain generator yaitu tidak bisa beroperasi dibawah 30% dari kapasitas desain. Batas maksimum berkisar antara 80% -90% dari kapasitas desain. Unit pembangkit hydro mempunyai karakteristik input output yang mirip dengan pembangkit termal. Masing-masing kapasitas minimum dan maksimum dari tiap pembangkit dapat dilihat pada Tabel 2.

Rancangan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data dari PLN dengan sistem interkoneksi 500 kV Jawa-Bali dengan 8 pembangkit, Enam pembangkit merupakan pembangkit termal dan 2 pembangkit lainnya merupakan pembangkit hidro. Pembangkit Saguling dan Cirata adalah pembangkit hidro. Single line diagram seperti terlihat pada Gambar 4. Sedangkan untuk karakteristik generator dan biaya pada Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 4. Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa –Bali

Implementasi *Harmony Search Algorithm* (HSA)

Implementasi algoritma HS agar dapat menyelesaikan OPF ditunjukkan *flowchart* pada Gambar 1. Berikut ini adalah penjelasan dari *flowchart*:

- 1) Inisialisasi masalah pada tahap ini diperkenalkan masalah yang akan diselesaikan. Masalah dalam penelitian ini adalah OPF dengan fungsi tujuan meminimasi biaya pembangkitan. Dengan batasan P_{min} dan P_{mak} . HM awal dibangkitkan secara random dengan range sejumlah HMS antara P_{min} dan P_{max} masing masing unit pembangkit seperti pada persamaan 11. P_{min} dan P_{mak} ada pada Tabel 2.

$$HM = \begin{bmatrix} P_1^1 & P_2^1 & \dots & P_8^1 \\ P_1^2 & P_2^2 & \dots & P_8^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_1^{HMS-1} & P_2^{HMS-2} & \dots & P_N^{HMS-1} \\ P_1^{HMS} & P_2^{HMS} & \dots & P_8^{HMS} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$P_N = P_{Nmin} + rand(P_{Nmax} - P_{Nmin}) \quad (16)$$

- 2) Memasukkan Data.

Data yang diperlukan untuk menyelesaikan:

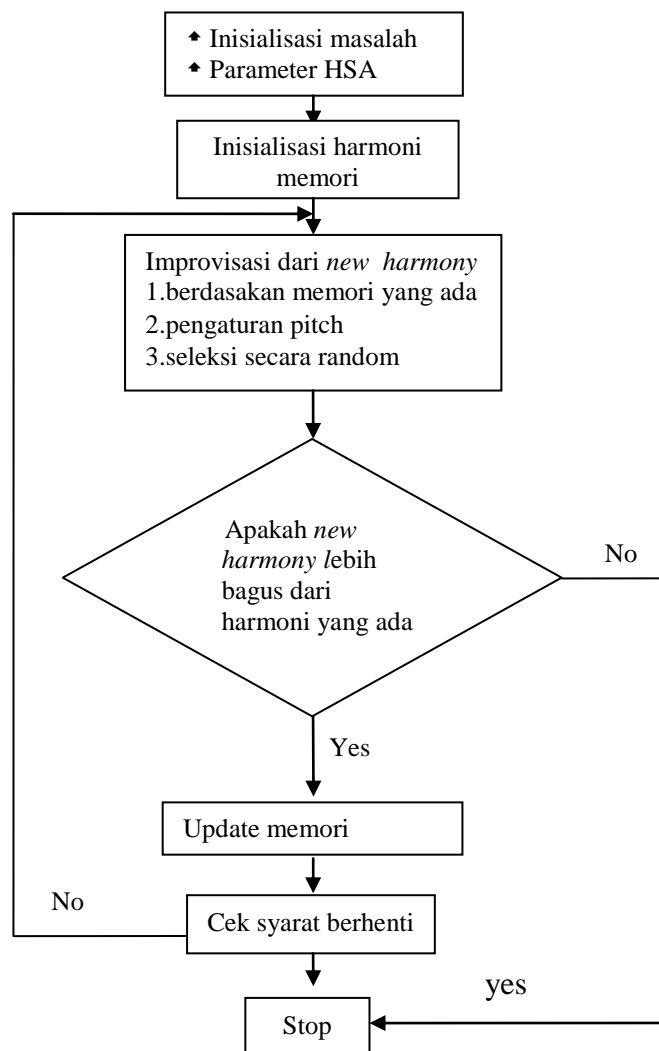
1. Input parameter sistem, batasan minimum dan maksimum dari variabel.
2. Menetapkan ukuran dari harmoni memori atau HMS, *pitch adjusting rate* (PAR), *bandwidth* dan maksimum iterasi.
3. Data bus dan line bus.

Menghitung *objective function* untuk masing- masing vektor HM masuk ke *load flow* akan diperoleh daya pembangkitan, kemudian dikalikan dengan fungsi biaya. Total biaya sebagai *objective function*.

- 3) Improvisasi *New harmony Memory* (NHV). NHV didapat dari proses improvisasi seperti pada penjelasan tahap 3.
- 4) Memilih harmoni memory terbaik dari vektor.
- 5) Update HM dengan NHV yang baik.
- 6) Cek kriteria berhenti, jika belum berhenti kembali ke tahap 3.

Implementasi IPSO

- 1) Inisialisasi Masalah seperti pada tahap satu implementasi HSA
- 2) Memasukkan Data.
Data yang diperlukan untuk menyelesaikan:
 - 1) Input parameter sistem, batasan minimum dan maksimum dari variabel.
 - 2) Menetapkan ukuran swarm, $c_1, c_2, \omega_{max}, \omega_{min}, f, \mu$ dan maksimum iterasi.
 - 3) Data bus dan line bus.



Gambar 5. Flowchart algoritma HSA

- 3) Menghitung *objective function* untuk masing- masing partikel. Partikel masuk ke load flow akan diperoleh daya pembangkitan, kemudian dikalikan dengan fungsi biaya. Total biaya sebagai *objective function*.
- 4) Mendapatkan Pbest dan Pgbest.
- 5) Update velocity dan posisi.
- 6) Cek kriteria berhenti, jika belum berhenti kembali ke tahap 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode algoritma IPSO dan HSA dengan tujuan mendapatkan biaya minimal dan membandingkan efektivitas masing-masing algoritma untuk mencapai optimisasi biaya dengan parameter dari masing-masing algoritma yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

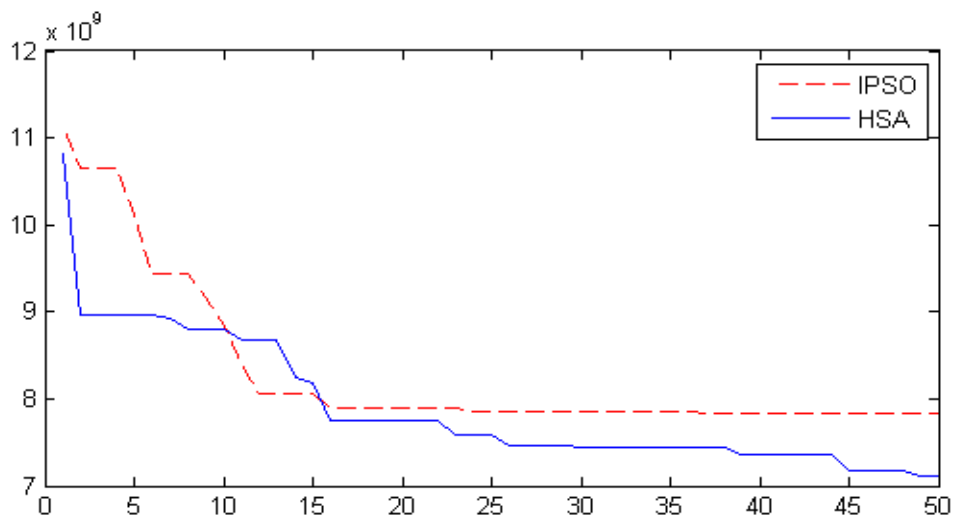
Tabel 3. Parameter HAS

Populasi	20
----------	----

Tabel 4. Parameter IPSO dan HSA

Populasi	Iterasi	c_1, c_2	ω_{max}	ω_{min}	μ	F
20	50	1,5	4	0,5	4	0,75

Hasil perhitungan OPF menggunakan algoritma IPSO ditunjukkan pada Tabel 5 dan algoritma HSA pada Tabel 6. Hasil terbaik tersebut setelah dilakukan beberapa kali running. Algoritma IPSO didapatkan kombinasi pembebanan dengan total biaya sebesar 7841984387.22 Rp/Jam, sedangkan algoritma HSA sebesar 7119999445.88 Rp/Jam. Algoritma IPSO menunjukkan efektifitas kinerja yang kurang dalam meminimalkan biaya dari pada HSA. Algoritma HSA dapat mereduksi total biaya 9.21% dibandingkan dengan IPSO. Selain itu, IPSO juga lebih cepat konvergen dibandingkan HAS, dimana IPSO konvergen pada iterasi ke 38 dan HSA pada iterasi ke 48, seperti terlihat pada Gambar 6. Waktu komputasi pada IPSO dalam sekali running membutuhkan waktu 54 detik, sedangkan HSA sekitar 86 detik hal ini karena HSA memiliki tahapan lebih banyak dari pada IPSO.



Gambar 6. Grafik Konvergensi IPSO dan HSA

Tabel 5. Hasil Optimisasi Menggunakan *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO)

Pembangkit	Daya		Biaya pembangkit Rp/jam	
Suralaya	3335.778	MW	2053633842.702	Rp/Jam
Muaratawar	1101.711	MW	3676693226.168	Rp/Jam
Cirata	1033.044	MW	6198266.788	Rp/Jam
Saguling	623.186	MW	3428771.609	Rp/Jam
Tanjung Jati	1001.290	MW	221019203.503	Rp/Jam
Gresik	609.438	MW	536315347.040	Rp/Jam
Paiton	2266.557	MW	361038125.789	Rp/Jam
Grati	403.980	MW	983657603.621	Rp/Jam
Total	9509.077	MW	7841984387.22	Rp/Jam

Tabel 6. Hasil Optimisasi Menggunakan *Harmony Search Algorithm* (HSA)

Pembangkit	Daya		Biaya pembangkit	Rp/jam
Suralaya	3397.917	MW	2105811820.032	Rp/Jam
Muaratawar	1041.758	MW	3439328680.790	Rp/Jam
Cirata	990.881	MW	5945284.276	Rp/Jam
Saguling	657.379	MW	3616897.726	Rp/Jam
Tanjung Jati	975.359	MW	214784214.432	Rp/Jam
Gresik	338.189	MW	291545933.735	Rp/Jam
Paiton	2762.300	MW	509675210.678	Rp/Jam
Grati	218.124	MW	549291404.209	Rp/Jam
Total	9509.077	MW	7119999445.88	Rp/Jam

KESIMPULAN

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa IPSO terhitung cepat dalam proses komputasi dalam menyelesaikan masalah optimisasi nonlinier seperti OPF. Namun, IPSO mempunyai kelemahan lebih cepat terjebak local optimum dan hasil efisiensi biaya yang rendah. Dalam penelitian ini diajukan *Harmony search algorithm* (HSA) dimana merupakan algoritma baru berbasis stokastik untuk dibandingkan dengan IPSO dalam memecahkan masalah OPF pada pembangkit 500kV Jawa-Bali. Hasilnya HSA mempunyai kemampuan dalam pencarian global optimum lebih baik dari pada IPSO. Dimana HSA dapat mereduksi biaya pembangkitan sebesar 9,21%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Momoh, J.A., El-Hawary, M.E., Adapa, R; 1999 , *A review of selected optimal power flow literature to 1993 Part I: Nonlinier and quadratic programming approaches*, IEEE Trans. On power System 14, 96-104 .
- [2]. Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. V. Loganathan; 2001, *A new heuristic optimization algorithm; harmony search*, Simulation, vol. 76, no. 2, pp. 6068.
- [3]. H. Altun and T. Yalcinoz; 2008, *Implementing soft computing techniques to solve economic dispatch problem in power*, An International of Expert System with Applications. Vol. 35, issue 4, pp.1668-1678.
- [4]. E.G. Talbi; 2009, *Metaheuristics: from design to implementation*, Wiley.
- [5]. Mat Syai'in, Adi Soeprijanto, Takashi Hiyama; 2010, *Generator Capability curve constrain for PSO based optimal power flow*. International journal electric power and energy system engineering. Vol.3 no. 2 pp.61-66.

- [6]. **Panigrahi, B.K., Pandi, V.R., Das, S., and Abraham, A.**; 2010. *Population Variance Harmony Search Algorithm to Solve Optimal Power Flow with Non-Smooth Cost Function*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. SCI 270, pp 65-75. www.springerlink.com.
- [7]. **T. Ratniyomchai, A., Oonsivilai, A., and Kulworawanichpong.** Solving *economic dispatch problem with Improved Harmony Search*. Recent Advance in Energy & Environment. ISBN:978-960-474-159-5. Pp.247-251.
- [8]. **Z.W Geem, C. Tseng and Y. Park**; 2005. *Harmony search for generalized orienteering problem: best touring in China.*, Springer Lecture Notes Comput. Sci., 3412 (2005) 741750