

Dynamic Optimal Power Flow dengan kurva biaya pembangkitan tidak mulus menggunakan Particle Swarm Optimization

Afif Nur Wahyudi, Rony Seto Wibowo, Imam Robandi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: ronyseto@ee.its.ac.id, robandi@ee.its.ac.id

Abstrak—*Dynamic optimal power flow* memiliki peranan penting dalam perencanaan sistem tenaga listrik. *Dynamic optimal power flow* (DOPF) adalah sebuah metode untuk penjadwalan output generator online untuk memenuhi permintaan beban dalam jangka waktu tertentu agar sistem tenaga listrik dapat beroperasi dengan ekonomis. DOPF merupakan pengembangan dari *Optimal Power Flow* (OPF) konvensional dengan menambahkan *ramp rate* generator sebagai konstrain. Generator memiliki permasalahan dalam pembangkitan yang diakibatkan oleh pembukaan katup uap untuk menambah putaran turbin generator. Pembukaan katup uap pada generator ini disebut efek *valve point*. Efek *valve point* dapat mempengaruhi biaya pembangkitan yang menyebabkan munculnya kurva biaya yang tidak mulus. Tugas Akhir ini membahas mengenai DOPF yang memiliki kurva biaya pembangkitan yang tidak mulus dengan menggunakan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO). Algoritma PSO terinspirasi dari populasi *swarm* dalam mencari lokasi makanan yang terbaik. *Swarm* menentukan lokasi makanan yang terbaik berdasarkan pengalaman sendiri dan *swarm* lain. Penyelesaian permasalahan DOPF menggunakan metode PSO ini diharapkan memiliki hasil yang dapat dipakai sebagai acuan dalam operasi pembangkitan dan penyaluran daya yang optimal, terutama mengenai biaya pembangkitan pada setiap saat.

Kata Kunci—*dynamic optimal power flow*, efek *valve point*, kurva biaya non-smooth, *particle swarm optimization*, *ramp rate*.

I. PENDAHULUAN

TENAGA listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Permintaan daya listrik yang terus bertambah menyebabkan daya listrik yang harus disuplai oleh pembangkit menjadi sangat besar. Sumber energi yang dapat diperbaharui serta ekonomi energi listrik adalah faktor penentu perkembangan industri yang bisa meningkatkan standar hidup masyarakat. Sejak revolusi industri, kebutuhan energi listrik meningkat tajam [1]. Permintaan terhadap daya listrik berbeda tiap waktu sehingga perubahan beban menjadi tidak dapat diprediksi. Sedangkan generator memiliki batas untuk kedinamisan dalam pembangkitannya. Karena itu perlu adanya optimisasi agar pembangkitan tersebut sesuai dengan *Ramp Rate* generator dan mengeluarkan biaya pembangkitan yang minimum namun tetap bisa menyuplai permintaan beban.

Dynamic Optimal Power Flow (DOPF) adalah sebuah metode untuk menjadwalkan keluaran generator yang *online* dengan permintaan beban yang dibutuhkan selama rentang

waktu tertentu, sehingga sistem dapat dioperasikan secara ekonomis. *Optimal Power Flow* (OPF) konvensional adalah salah satu permasalahan optimisasi yang penting dalam sistem kelistrikan. OPF bertujuan untuk memenuhi permintaan beban dengan biaya produksi yang minimum. Pada saat ini harga bahan bakar meningkat, sehingga biaya pembangkitan daya listrik meningkat juga. Sangat penting untuk menemukan cara membangkitkan daya listrik dengan biaya minimum pada sistem kelistrikan namun tetap memenuhi batasan fisik dan pengoperasian. OPF dapat memenuhi kondisi tersebut, namun hanya untuk satu waktu saja [2].

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan OPF dengan mempertimbangkan beban selama rentang rentang waktu tertentu. Tugas Akhir ini membahas mengenai DOPF yang memiliki kurva biaya pembangkitan yang tidak mulus dengan menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO). Dengan metode PSO ini diharapkan hasilnya dapat dipakai sebagai acuan dalam operasi pembangkitan dan penyaluran daya yang optimal, terutama mengenai biaya pembangkitan pada setiap saat..

II. DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW

A. Dynamic Optimal Power Flow (DOPF)

Optimal Power Flow (OPF) konvensional adalah salah satu permasalahan optimisasi pada sistem tenaga untuk memenuhi permintaan beban yang dibutuhkan pada biaya produksi yang minimum. Penentuan daya output pada setiap generator hanya boleh bervariasi pada batas-batas (*constraint*) tertentu [2]. Fungsi biaya dari *i*-unit generator dimodelkan dengan persamaan :

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (1)$$

Keterangan :

F_i = Besar biaya pembangkitan pada pembangkit ke-*i*

P_i = Daya output dari pembangkit ke-*i*

a_i, b_i dan c_i adalah *cost coefficient* unit generator ke-*i*.

Dynamic Optimal Power Flow (DOPF) adalah metode untuk menjadwalkan output generator yang online dengan prediksi beban yang dibutuhkan selama jangka waktu tertentu untuk mengoperasikan sistem kelistrikan secara ekonomis. DOPF adalah permasalahan OPF dengan level beban yang berbeda berdasarkan rentang waktu yang ditentukan [2]. Fungsi objektif pada permasalahan DOPF adalah :

$$C = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F_i(P_{it})$$

Persamaan 2 adalah persamaan untuk menemukan biaya pembangkitan yang minimum pada rentang waktu T. P_{it} adalah daya keluaran dari unit generator ke- i pada waktu jam ke- t [3]. N adalah jumlah generator yang ada pada sistem.

Pada analisis DOPF dalam tugas akhir ini ditetapkan batas kesamaan dan ketidaksamaan yang telah dirumuskan pada persamaan 3 - 6.

(1) *Real power balance*

$$P_i^t = P_{gi}^t - P_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \cos \theta_{ij}^t + B_{ij} \sin \theta_{ij}^t) \quad (3)$$

keterangan

- V_i : magnitudo tegangan bus i
- V_j : magnitudo tegangan bus j
- P_{gi} : besar pembangkitan daya aktif bus i
- P_{di} : besar daya beban aktif bus i
- G_{ij}, B_{ij} : admitansi saluran m-n
- θ_i : sudut tegangan bus m
- θ_j : sudut tegangan bus n

(2) *Capacity constraint*

$$P_{gi \min} \leq P_{gi}^t \leq P_{gi \max} \quad (4)$$

$$V_{i \min} \leq V_i^t \leq V_{i \max} \quad (5)$$

$$|S_i| \leq S_{i \max} \quad (6)$$

Persamaan 4 menunjukkan pembatasan pembangkitan tiap generator. Persamaan 5 menunjukkan pembatasan tegangan pada tiap bus. Persamaan 6 menunjukkan pembatasan aliran daya yang ada di tiap saluran. $P_{gi \min}$ adalah batas minimum generator. $P_{gi \max}$ adalah batas maksimum generator. $V_{i \min}$ dan $V_{i \max}$ adalah batas minimum dan maksimum generator. S_i adalah aliran daya pada tiap saluran. $S_{i \max}$ adalah kapasitas saluran.

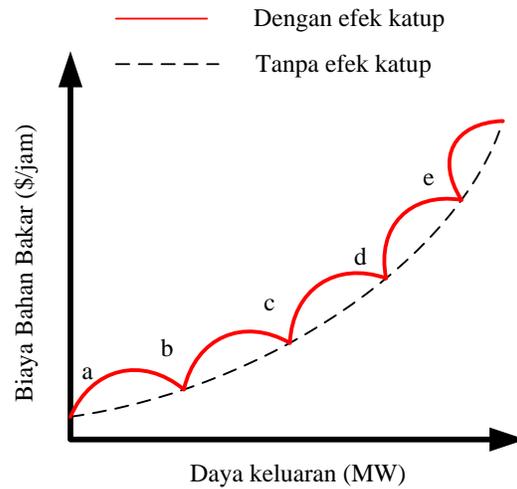
(3) *Ramp constraint*

$$-\delta_i \leq P_{i(t+1)} - P_{it} \leq \delta_i \quad (7)$$

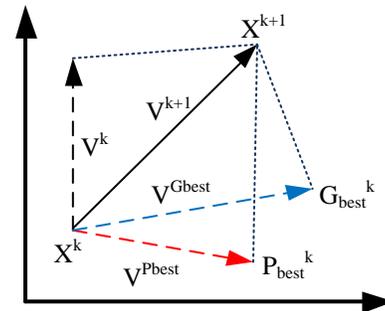
Persamaan 7 menunjukkan batasan perubahan daya yang dapat dilakukan oleh generator. Batasan tersebut dinamakan *ramp rate*. δ_i adalah *ramp limit* dari generator- i .

B. *Efek Valve Point* [4]

Unit pembangkit dengan turbin uap multi katup memiliki variasi yang besar dalam kurva biaya. Pengaruh dari efek katup diilustrasikan sebagai riak dalam Gambar 1. Pada kurva biaya yang tidak mulus, fungsi sinusoidal ditambahkan pada fungsi kuadrat kurva biaya tersebut. fungsi sinusoidal tersebut muncul akibat pembukaan katup uap untuk mengatasi perubahan beban. Kenaikan fungsi biaya dari unit pembangkit dengan efek katup direpresentasikan dalam persamaan 8 e_i dan f_i merupakan koefisien fungsi biaya yang disebabkan oleh efek dari pembukaan katup bahan baka. $P_{gi \min}$ adalah pembangkitan minimum dari generator ke- i .



Gambar 1. Kurva biaya bahan bakar *non-smooth*



Gambar 2. Konsep pencarian Pbest dan Gbest dari PSO

$$F_i(P_{i,t}) = a_i P_{i,t}^2 + b_i P_{i,t} + c_i + |e_i \sin(f_i x(P_{gi \min} - P_i^t))| \quad (8)$$

III. PENERAPAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION PADA DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW

A. *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization mulai diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995. Algoritma PSO terinspirasi dari perilaku populasi burung untuk mencari sumber makanan yang terbaik. Setiap individu pada populasi burung disebut partikel. Letak sumber makanan terbaik direpresentasikan sebagai nilai yang optimal pada pencarian oleh algoritma PSO. Ketika partikel menemukan letak makanan terbaik, partikel lain akan bergerak ke arah partikel yang menemukan letak makanan terbaik tersebut. Bila ada partikel lain yang menemukan letak makanan yang lebih baik daripada letak sebelumnya, partikel yang lain akan mengubah arah ke arah makanan yang lebih baik [5].

Ketika burung terbang untuk mencari makanan, setiap burung menentukan posisinya berdasarkan pengalamannya sendiri (nilai ini yang disebut *Pbest*) dan berdasarkan pengalaman dari partikel tetangganya (nilai ini disebut *Gbest*). Proses pencarian *Pbest* dan *Gbest* dapat diilustrasikan dalam gambar 2.

Pada proses pencarian makanan tersebut, terdapat dua istilah yang ada pada algoritma PSO yaitu kecepatan partikel dan posisi partikel. Kedua istilah tersebut direpresentasikan pada persamaan 9 dan 10 [5]

$$v_i^{k+1} = v_i + c_1 r_1 (Pbest - x_i^k) + c_2 r_2 (Gbest - x_i^k) \quad (9)$$

$$x_i^{k+1} = x_i + v_i^{k+1} \quad (10)$$

keterangan

- I = Partikel ke- i
- k = Iterasi ke- k
- C_1 dan C_2 = *Learning Factor*
- $Pbest$ = Posisi terbaik yang dicapai partikel
- $Gbest$ = $Pbest$ terbaik dalam populasi
- r_1 dan r_2 = Nilai random antara 0 dan 1
- v_i = Kecepatan partikel ke- i
- x_i = Posisi partikel ke- i

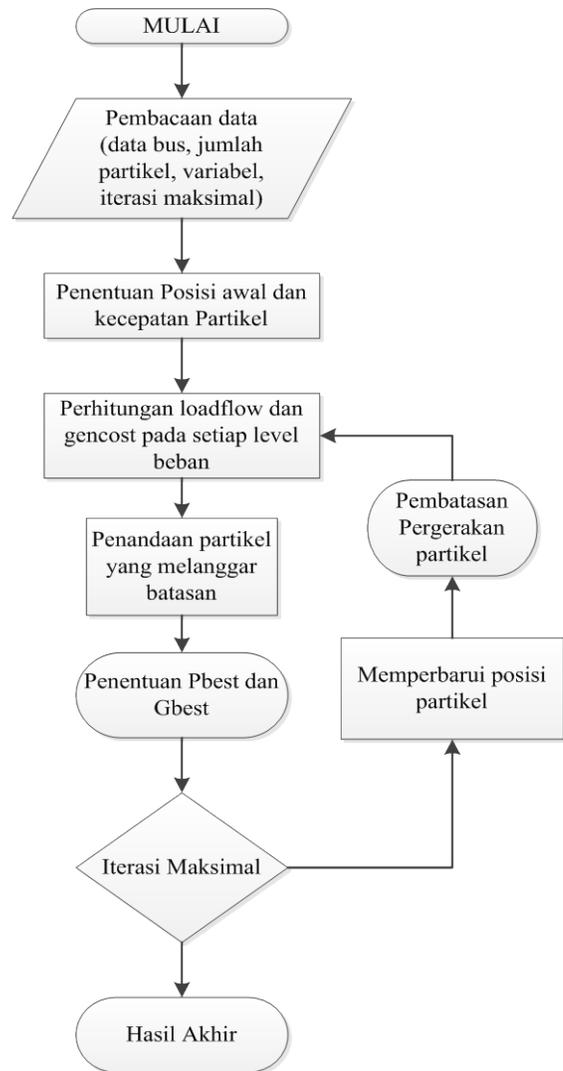
DOPF berbasis PSO untuk pencarian biaya minimum dari pembangkitan mengambil langkah-langkah DALAM Gambar 3.

1. Langkah pertama adalah pembacaan data. Data yang dibutuhkan adalah jumlah variabel yang akan dioptimisasi (berupa banyaknya unit pembangkit), jumlah calon solusi yang disebut partikel, jumlah iterasi maksimum dan konstanta c dan w .
2. Penentuan posisi awal dan kecepatan partikel dengan $weight$ dan konstanta tertentu.
3. Awal iterasi dengan perhitungan aliran daya dan $gencost$.
4. Pencarian posisi terbaik lokal dan posisi terbaik global. Posisi terbaik lokal merupakan posisi terbaik dari partikel itu sendiri. Sedangkan posisi terbaik global adalah posisi terbaik dari sekumpulan partikel yang telah ditentukan.
5. Penentuan nilai *Fitness* terbaik lokal dan terbaik global.
6. Pengecekan batasan kesamaan dan ketidaksamaan.
7. Penandaan terhadap partikel yang melanggar batasan.
8. Selanjutnya adalah memperbarui posisi partikel. Pembaruan posisi partikel diperoleh dengan cara menambah posisi partikel dengan kecepatan yang telah ditentukan.
9. Akhir iterasi dan penampilan hasil akhir untuk harga pembangkitan termurah.

IV. HASIL DAN ANALISIS

Tugas akhir ini menggunakan sistem IEEE 30 Bus. Sistem IEEE 30 Bus terdiri dari 30 bus, 41 saluran dan 6 pembangkit. Simulasi dilakukan untuk membandingkan hasil biaya pembangkitan tanpa efek *valve point* dan biaya pembangkitan dengan efek *valve point*. Kemudian menguji hasil simulasi DOPF *non-smooth* menggunakan PSO memenuhi batas kesamaan dan ketidaksamaan atau tidak. Beban yang digunakan pada simulasi ini adalah 4 jam, yaitu 283,4 MW; 269,23 MW; 255,06 MW; 226,72 MW.

Koefisien biaya pada sistem IEEE 30 Bus ditampilkan dalam tabel 1[6].



Gambar 3. Flowchart PSO untuk DOPF

Tabel 1. Fungsi biaya *non-smooth* sistem standar IEEE 30 bus

Bus No.	Koefisien Biaya (<i>non-smooth</i>)				
	c	b	a	e	f
1	0	2	0,00375	18	0,037
2	0	1,75	0,0175	16	0,038
5	0	1	0,0625	14	0,04
8	0	3,25	0,00834	12	0,045
11	0	3	0,025	13	0,042
13	0	3	0,025	13,25	0,041

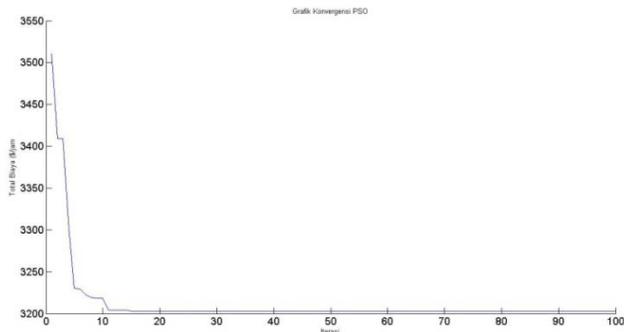
Unit pembangkit yang terhubung pada sistem IEEE 30 Bus memiliki batas daya pembangkitan minimum dan maksimum sebagai berikut

- Bus 1 : $50 \leq P_1 \leq 200$ (MW)
- Bus 2 : $20 \leq P_2 \leq 80$ (MW)
- Bus 5 : $15 \leq P_5 \leq 50$ (MW)
- Bus 8 : $10 \leq P_8 \leq 35$ (MW)
- Bus 11 : $10 \leq P_{11} \leq 30$ (MW)
- Bus 13 : $12 \leq P_{13} \leq 40$ (MW)

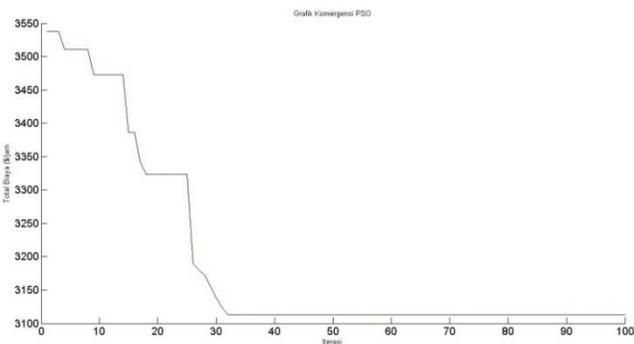
Tabel 2.

Perbandingan daya total biaya pembangkitan antara koefisien biaya *non-smooth* dan *smooth*

Unit	Biaya (\$/4h)	
	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>
Total	3203	3113,12



Gambar 4. Grafik Konvergensi DOPF *non-smooth*



Gambar 5. Grafik Konvergensi DOPF *smooth*

Tabel 3.
Daya yang terbangkit pada jam 1

Pembangkit	Jam ke-1	Pmin	Pmax
1	187,58	50	200
2	28,07	20	80
5	23,75	15	50
8	18,68	10	35
11	11,09	10	30
13	23,89	12	40

Tabel 4.
Daya yang terbangkit pada jam 2

Pembangkit	Jam ke-2	Pmin	Pmax
1	179,1	50	200
2	47,64	20	80
5	20,05	15	50
8	10	10	35
11	10	10	30
13	12	12	40

Simulasi yang dilakukan pada sistem IEEE 30 Bus ini untuk menguji penerapan metode PSO terhadap permasalahan DOPF. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah metode PSO baik atau tidak untuk diimplementasikan dalam permasalahan DOPF. Pada Tabel 2 menunjukkan tegangan tiap bus yang ada pada sistem IEEE 30 Bus dalam rentang

Tabel 5.
Daya yang terbangkit pada jam 3

Pembangkit	Jam ke-3	Pmin	Pmax
1	166,98	50	200
2	45,2	20	80
5	19,3	15	50
8	10	10	35
11	10	10	30
13	12	12	40

Tabel 6.
Daya yang terbangkit pada jam 4

Pembangkit	Jam ke-4	Pmin	Pmax
1	143,05	50	200
2	40,22	20	80
5	17,82	15	50
8	10	10	35
11	10	10	30
13	12	12	40

Tabel 7.
Selisih pembangkitan antara jam

Gen.	Jam 1-2	Jam 2-3	Jam 3-4	Ramp Rate
1	8,48	12,12	23,93	25
2	-19,57	2,44	4,98	25
5	3,7	0,75	1,48	15
8	8,68	0	0	15
11	1,09	0	0	10
13	11,89	0	0	15

waktu 4 jam. Untuk tugas akhir ini batas tegangan yang digunakan adalah $0,95 \text{ p.u.} \leq V_{bus} \leq 1,1 \text{ p.u.}$ Tabel 3 menunjukkan daya yang mengalir pada tiap saluran dalam rentang waktu 4 jam. Daya saluran pada hasil simulasi diperiksa dan dibandingkan dengan kapasitas saluran sistem IEEE 30 Bus. Pada Tabel 4 hingga Tabel 7 menunjukkan hasil pembangkitan tiap unit pembangkit pada jam 1 hingga jam 4. Hasil pembangkitan tiap unit kemudian diperiksa terhadap batas pembangkitan maksimum dan minimum. Tabel 8 menunjukkan selisih pembangkitan antara jam, kemudian hasil pembangkitan diperiksa terhadap *ramp rate* tiap generator. Tabel 9 hingga Tabel 12 menunjukkan perbandingan daya dan biaya pembangkitan tiap unit pembangkit antara DOPF dengan fungsi biaya *non-smooth* dan *smooth*. Tabel 13 menunjukkan perbandingan total biaya pembangkitan antara DOPF dengan fungsi biaya *non-smooth* dan *smooth*. Hasil simulasi DOPF ditunjukkan dalam Gambar 4 dan Gambar 5 yang merepresentasikan total biaya pembangkitan selama 4 jam.

Tabel 8.

Daya yang mengalir pada tiap saluran dalam rentang waktu 4 jam

Dari Bus	Ke Bus	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4	Kapasitas Saluran
1	2	129,582	119,505	111,385	95,404	130
1	3	58,259	59,599	55,591	47,645	130
2	4	29,999	34,857	32,573	28,025	65
3	4	54,483	55,879	52,176	44,798	130
2	5	60,797	62,213	58,401	50,812	130
2	6	42,034	47,013	43,956	37,875	65
4	6	52,901	53,704	50,327	43,581	90
5	7	11,364	8,980	8,631	7,917	70
6	7	34,472	30,888	29,376	26,340	130
6	8	13,373	19,545	18,044	15,049	32
6	9	17,127	18,621	17,219	14,417	65
6	10	12,432	13,099	12,267	10,604	32
9	11	11,094	10,000	10,000	10,000	65
9	10	28,221	28,621	27, 219	24,417	65
4	12	23,140	28,786	26,687	22,499	65
12	13	23,893	12,000	12,000	12,000	65
12	14	8,002	7,193	6,817	6,066	32
12	15	19,081	16,444	15,597	13,907	32
12	16	8,750	6,509	6,194	5,566	16
14	15	1,725	1,239	1,179	1,060	16
16	17	5,181	3,145	3,009	2,738	16
15	18	6,754	5,449	5,175	4,628	16
18	19	3,506	2,378	2,267	2,046	16
19	20	6,022	6,672	6,306	5,573	16
10	20	8,309	8,885	8,371	7,404	32
10	17	3,867	5,440	5,125	4,493	32
10	21	15,347	14,803	14,026	12,476	32
10	22	7,329	7,112	6,744	6,009	32
21	22	2,262	1,926	1,820	1,606	32
15	23	5,608	4,261	4,055	3,646	16
22	24	5,016	5,139	4,880	4,366	16
23	24	2,377	1,202	1,159	1,072	16
24	25	1,360	1,974	1,837	1,560	16
25	26	3,545	3,367	3,189	2,833	16
25	27	4,949	5,386	5,068	4,430	16
28	27	18,230	17,990	16,996	15,011	65
27	29	6,190	5,874	5,559	4,932	16
27	30	7,092	6,730	6,369	5,649	16
29	30	3,704	3,516	3,329	4,932	26
8	28	2,025	0,994	0,996	1,004	32
6	28	16,258	17,050	16,048	14,047	32

Tabel 9.

Perbandingan daya dan biaya tiap generator antara koefisien biaya *non-smooth* dan *smooth* pada jam 1

Unit	Daya terbangkitkan		Biaya (\$/h)	
	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>
P1	187,58	166,97	423,47	282,84
P2	28,07	39,63	63,15	96,84
P5	23,75	38,32	61,55	130,12
P8	18,68	10,44	63,93	34,83
P11	11,09	17,74	64,42	131,94
P13	23,89	18,51	214,64	141,21
Total	293,08	291,62	891,17	817,79

Tabel 10.

Perbandingan daya dan biaya tiap generator antara koefisien biaya *non-smooth* dan *smooth* pada jam 2

Unit	Daya terbangkitkan		Biaya (\$/h)	
	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>
P1	179,1	179,23	504,13	503
P2	47,64	46,8	123,1	120,22
P5	20,05	18,93	48,09	41,34
P8	10	11,83	33,71	39,61
P11	10	10	55,38	55
P13	12	12	72,36	72
Total	278,8	278,78	836,78	831,16

Tabel 11.

Perbandingan daya dan biaya tiap generator antara koefisien biaya *non-smooth* dan *smooth* pada jam 3

Unit	Daya terbangkitkan		Biaya (\$/h)	
	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>
P1	166,98	167,67	464,25	464,91
P2	45,2	45,17	114,89	114,76
P5	19,3	18,69	45,56	40,52
P8	10	10	33,71	33,33
P11	10	10	55,38	55
P13	12	12	72,36	72
Total	263,47	263,54	786,15	780,52

Tabel 12.

Perbandingan daya dan biaya tiap generator antara koefisien biaya *non-smooth* dan *smooth* pada jam 4

Unit	Daya terbangkitkan		Biaya (\$/h)	
	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>	<i>Non-smooth</i>	<i>Smooth</i>
P1	143,05	146,44	387,86	396,55
P2	40,22	39,91	98,81	97,7
P5	17,82	15	40,78	29,06
P8	10	10	33,71	33,33
P11	10	10	55,38	55
P13	12	12	72,36	72
Total	233,09	233,34	688,9	683,65

Tabel 13.

Hasil 15 kali percobaan sistem IEEE 30 Bus

Parameter	Nilai
Nilai Minimum	3199,9
Nilai Maksimum	3477,27
Rata - rata	3358,72
Standar Deviasi (\$)	102,94

Tabel 14.
Tegangan pada tiap bus dalam rentang waktu 4 jam

Bus	Jam 1	Jam 2	Jam 3	Jam 4
Bus 1	1,060	1,060	1,060	1,060
Bus 2	1,043	1,043	1,043	1,043
Bus 3	1,031	1,030	1,031	1,032
Bus 4	1,024	1,023	1,024	1,026
Bus 5	1,010	1,010	1,010	1,010
Bus 6	1,016	1,015	1,016	1,017
Bus 7	1,006	1,006	1,006	1,007
Bus 8	1,010	1,010	1,010	1,010
Bus 9	1,030	1,030	1,031	1,032
Bus 10	1,024	1,025	1,026	1,027
Bus 11	1,072	1,072	1,072	1,072
Bus 12	1,025	1,024	1,024	1,025
Bus 13	1,051	1,051	1,051	1,051
Bus 14	1,012	1,011	1,012	1,014
Bus 15	1,008	1,008	1,009	1,012
Bus 16	1,017	1,017	1,018	1,019
Bus 17	1,016	1,017	1,018	1,020
Bus 18	1,001	1,002	1,004	1,006
Bus 19	1,001	1,002	1,003	1,006
Bus 20	1,006	1,007	1,008	1,010
Bus 21	1,012	1,013	1,014	1,016
Bus 22	1,013	1,014	1,015	1,017
Bus 23	1,002	1,003	1,004	1,007
Bus 24	1,003	1,004	1,005	1,008
Bus 25	1,011	1,012	1,013	1,016
Bus 26	0,993	0,995	0,997	1,000
Bus 27	1,024	1,026	1,027	1,028
Bus 28	1,009	1,009	1,010	1,011
Bus 29	1,005	1,007	1,008	1,012
Bus 30	0,993	0,996	0,998	1,002

- [3] K. Xie, Y. H. Song, "Dynamic Optimal power Flow by Interior Point Method", IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, Vol. 148, No. 1, January 2001.
- [4] Djillani, Ben, Yaccine Labbi, "Particle Swarm Optimization based Optimal Power Flow for Units with Non-Smooth Fuel Cost Functions" El-Oued University Center, 2008.
- [5] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization", In IEEE Int. Conf on Neural Networks, Perth, Australia, 1942-1948, 1995.
- [6] Saadat, Hadi, "Power System Analysis 2nd Edition", McGrawHill. Ch.1, 1999

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dapat diperoleh kesimpulan bahwa fungsi biaya yang tidak mulus akibat efek *valve point* dapat mempengaruhi total biaya pembangkitan dalam DOPF. Hal ini dibuktikan dengan adanya selisih biaya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10 hingga 12. Pada Tabel 10, unit pembangkit 11 antara simulasi DOPF *non-smooth* dan DOPF *smooth* memiliki besar pembangkitan yang sama, tetapi biaya pembangkitannya berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa generator membangkitkan daya tidak lebih atau kurang dari batas maksimum dan minimum pembangkitan. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa tegangan bus, selisih pembangkitan tiap jam dan daya yang mengalir pada tiap saluran tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Sehingga algoritma PSO dapat diterapkan untuk menyelesaikan DOPF dengan kurva biaya tidak mulus. Pada tabel 14 menunjukkan bahwa standar deviasi sebesar 3,06% untuk sistem IEEE 30 Bus terhadap rata - rata total biaya pembangkitan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Imam Robandi, "Modern Power System Control", Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009.
- [2] T. Niknam, M.R. Narimani, J. Aghaei, S. Tabatabaei, M. Nayeripour, "Modified Honey Bee Mating Optimization to solve dynamic optimal power flow considering generator constraints", IET Gener. Transm. Distrib., 2011, Vol. 5, Iss. 10, pp. 989-1002.