

Unit Commitment Mempertimbangkan Stabilitas Tegangan dengan Metode Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)

Danar Adiwena N, Rony Seto Wibowo, Dimas Fajar Uman Putra.
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: danar.adwn@gmail.com, ronyseto@ee.its.ac.id, dimasfup@gmail.com

Abstrak — *Unit commitment (UC)* adalah penjadwalan nyala-padam operasi unit pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan daya listrik pada rentang waktu tertentu dengan tujuan memperoleh total biaya pembangkitan yang ekonomis. Perbedaan karakteristik dari setiap unit pembangkit dan batasan tertentu mengakibatkan kombinasi penjadwalan pembangkit yang berbeda-beda. Selain batasan-batasan yang telah ditentukan, pada UC ini mempertimbangkan stabilitas tegangan. Tugas akhir ini mengajukan *Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)* untuk menyelesaikan masalah *unit commitment (UC)* dan menggunakan *sequential quadratic programming (SQP)* untuk menentukan biaya pembangkitan dari *optimal power flow (OPF)*. BPSO merupakan algoritma yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi. Dengan metode tersebut, diharapkan permasalahan penjadwalan unit pembangkit dapat terselesaikan dengan baik dan optimal sehingga memperoleh total biaya pembangkitan yang ekonomis, dan mampu mencegah sistem dari *voltage collapse*.

Kata Kunci— *Unit Commitment, Optimal power flow, Voltage Stability, Binary Particle Swarm Optimization, Sequential Quadratic Programming.*

I. PENDAHULUAN

SEIRING dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dan ekonomi maka kebutuhan energi listrik dalam negeri terus meningkat dari tahun ke tahun. Untuk menjamin terjaganya pasokan listrik dan meningkatkan keadilan sistem. Sistem tenaga listrik tidak hanya disuplai dari satu pembangkit listrik saja namun banyak pembangkit yang saling terhubung. Dalam aplikasi sesungguhnya dilapangan seluruh pembangkit tidak serta merta dinyalakan untuk melayani seluruh beban listrik yang ada. Dikarenakan oleh beberapa aspek dari pembangkit yaitu seperti pemeliharaan, karakteristik, kemampuan pembangkit, biaya pembangkitan dan lain-lain. Maka diperlukan adanya penjadwalan untuk seluruh pembangkit. Perubahan jumlah beban yang selalu berubah-ubah setiap waktu. Hal ini mengakibatkan seluruh pembangkit harus menyesuaikan perubahan beban karena untuk memperoleh biaya pembangkitan paling ekonomis, jumlah energi listrik terbangkitkan harus bernilai mendekati sama dengan jumlah beban yang harus disuplai. Jenis operasi sistem tenaga listrik area pembangkitan dapat berupa peningkatan dan penurunan daya output, serta penyalaan dan pemadaman unit-unit pembangkit untuk mengimbangi jumlah beban yang ditanggung unit-unit pembangkit [1]. Selain itu, peningkatan

kebutuhan tenaga listrik harus diimbangi dengan pengelolaan sumber pembangkit yang baik. Sehingga mampu menyediakan tenaga listrik ekonomis dan tetap menjaga kualitas prima meliputi kontinuitas, seimbang, stabil dan kadar harmonik yang rendah[2].

Melakukan penjadwalan pembangkit membutuhkan waktu dan biaya. Oleh karena itu, penjadwalan harus dipersiapkan secara lengkap dan lanjut untuk membangkitkan daya yang cukup dan memiliki cadangan yang tersedia untuk menyediakan permintaan sistem secara terus menerus dan menjaga kontingensi. Maka dibuatlah sebuah program yang menyediakan jadwal ini untuk meminimalkan biaya operasi yang tunduk pada batasan sistem yaitu *unit commitment (UC)*.

Sebelum melakukan penjadwalan pembangkit, hal pertama yang dilakukan adalah analisis *optimal power flow*. Aliran Daya Optimal atau *Optimal Power Flow (OPF)* merupakan perhitungan untuk meminimalkan suatu fungsi yaitu biaya pembangkitan suatu pembangkit tenaga listrik dan rugi-rugi pada saluran transmisi dengan mengatur pembangkitan daya aktif dan reaktif setiap pembangkit yang terinterkoneksi dengan memperhatikan batas-batas tertentu.[3] tujuan dari analisis ini adalah untuk meminimal biaya pembangkitan pada sistem tenaga. Sehingga setelah memperoleh biaya pembangkitan yang optimal maka penjadwalan dapat dilakukan

Sementara biaya dan pembangkitan optimal. Di lain sisi sistem juga harus mampu mempertahankan keamanan sistem, pasokan beban, dan meminimalkan efek sampingnya. Maka, stabilitas tegangan dan sistem keamanan harus dipertahankan. Ketidakstabilan tegangan dapat menyebabkan jatuhnya tegangan. Fenomena ini telah menjadi dasar dari beberapa peristiwa penting dalam beberapa sistem listrik di dunia. Oleh karena itu, mempelajari stabilitas tegangan setelah adanya UC sangat penting untuk mengetahui biaya pembangkitan dan juga *load margin* sistem. *Load margin* adalah suatu ukuran fundamental untuk mengetahui jarak atau kedekatan terhadap *voltage collapse*[3].

Pada tugas akhir ini akan diusulkan *Binary Particle Swarm Optimization (BPSO)* untuk menyelesaikan permasalahan UC dengan mempertimbangkan kestabilan tegangan. Sehingga diperoleh pembangkitan optimal, ekonomis, dan mampu mempertahankan keamanan system dari *voltage collapse*.

II. UNIT COMMITMENT

Unit commitment (UC) merupakan penjadwalan waktu penyalaan dan penghubungan unit pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik yang direncanakan dalam waktu yang bervariasi dari beberapa jam hingga beberapa hari, dengan tujuan utama untuk memenuhi permintaan beban. Secara umum, penjadwalan UC ditentukan untuk beberapa hari ke depan. Permintaan beban per jam untuk permasalahan UC merupakan hasil peramalan beban yang tepat. Kriteria optimisasi untuk menentukan penjadwalan UC adalah biaya pembangkitan yang perlu diminimalkan selama periode perencanaan namun tetap memenuhi semua kendala sistem yang timbul dari batas kemampuan fisik pembangkit unit. Sebuah unit pembangkit memiliki berbagai batasan seperti minimum up-down time, batas generasi maksimum dan minimum, dan batasan menyala bersama [1].

Pada penjadwalan unit commitment terdapat banyak faktor yang perlu diperhitungkan, yaitu :

1. Batasan dan biaya operasi tiap unit pembangkit
2. Batasan cadangan berputar
3. Batasan dan biaya penyalaan dan pemadaman

Secara teoritis, fungsi objektif dari unit commitment adalah jumlah seluruh biaya bahan bakar, termasuk biaya penyalaan dan pemadaman dari unit-unit pembangkit yang menyuplai beban pada rentang waktu tertentu [4].

$$F_H = \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^N [F_{nh}(P_{nh}) + STC_{nh}(1 - U_{n(h-1)})]U_{nh} + DC_{nh}(U_{n(h-1)} - 0) \tag{1}$$

Untuk $F_{nh}(P_{nh})$ dirumuskan

$$F_{nh}(P_{nh}) = a_n(P_{nh})^2 + b_n(P_{nh}) + C_n \tag{2}$$

Untuk STC_{nh} dirumuskan

$$HSC_n \text{ jika } MDT_n \leq T_n^{off} \leq MDT_n + CSH_n \tag{3}$$

$$CSC_n \text{ jika } T_n^{off} > MDT_n + CSH_n \tag{4}$$

Untuk batasan-batasan lain adalah :

Kesetimbangan daya

$$\sum_{n=1}^N P_{nh} = D_h \tag{5}$$

Cadangan berputar

$$\sum_{n=1}^N P_{nh(max)} \geq D_h + R_h \tag{6}$$

Rentang daya pembangkitan

$$U_{nh}P_{n(max)} \geq P_{nh} \geq U_{nh}P_{n(min)} \tag{7}$$

Waktu nyala minimal

$$T_n^{on} \geq MUT_n \tag{8}$$

Waktu padam minimal

$$T_n^{off} \geq MDT_n \tag{9}$$

Keterangan :

- F_H = biaya total pembangkitan pada H jam
- N = jumlah unit pembangkit yang tersedia
- H = jumlah periode jam penjadwalan
- n = indeks unit ($n=1, 2, \dots, N$)
- h = indeks unit ($h=1, 2, \dots, H$)
- $F_{nh}(P_{nh})$ = fungsi biaya bahan bakar unit n pada jam h
- STC_{nh} = biaya penyalaan unit n pada jam h

- HSC_n = biaya penyalaan panas unit n pada jam h
- CSC_n = biaya penyalaan dingin unit n pada jam h
- U_{nh} = variabel kontrol status nyala/mati unit pembangkit n pada jam h
- DC_{nh} = biaya pemadaman unit n pada jam h
- a_n, b_n, C_n = koefisien fungsi biaya unit n
- P_{nh} = variabel kontrol untuk unit pembangkit n pada jam h
- $P_{nh(max)}$ = daya output maksimal untuk unit pembangkit n pada jam h
- D_h = permintaan beban puncak pada jam h
- R_h = cadangan berputar pada jam h
- T_{on} / T_{off} = rentang waktu selama unit n menyala atau padam
- MUT_n = waktu nyala minimal unit n
- MDT_n = waktu padam minimal unit n
- CSH_n = waktu penyalaan temperatur dingin unit n
- $P_{n(max)} / P_{n(min)}$ = daya output maksimal / minimal unit n

III. KESTABILAN TEGANGAN

Kestabilan tegangan kini memperoleh perhatian lebih karena pesatnya perkembangan beban membuat sistem semakin terbebani [5]. Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga tegangan sistem pada seluruh bus tetap berada dalam batas kestabilan saat kondisi normal atau setelah terjadi gangguan[6]. Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi karena adanya gangguan, baik gangguan kecil berupa peningkatan pembebanan ataupun gangguan besar seperti lepasnya unit pembangkit besar atau perubahan permintaan daya dalam jumlah yang besar. Ketidakstabilan tegangan dapat mengakibatkan keruntuhan tegangan, profil tegangan yang sangat rendah disebagian besar sistem yang berpotensi menimbulkan blackout pada sistem.

IV. OPTIMAL POWER FLOW (OPF)

Dengan OPF dapat menyelesaikan permasalahan optimisasi sistem tenaga listrik yang sangat kompleks dengan waktu yang relatif singkat. OPF yang paling umum, biasanya digunakan untuk meminimalkan suatu objective function $F(x,u)$ yang memenuhi batasan-batasan $g(x,u)=0$ dan $h(x,u) \leq 0$, di mana $g(x,u)$ merepresentasikan nonlinear equality constraints dan $h(x,u)$ adalah nonlinear inequality constraints. Vektor x sendiri biasanya berisi variabel-variabel seperti voltage magnitude dan sudut fasanya dan juga keluaran MVar dari generator yang didisain untuk pengaturan tegangan bus. Vektor x juga bisa berisi parameter-parameter yang bernilai tetap seperti sudut fasa pada reference bus, line parameter, dan parameter lainnya. Pada Tugas Akhir ini digunakan OPF untuk menghasilkan fungsi biaya agar dapat dipertimbangan oleh UC

V. PENERAPAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (BPSO) PADA UNIT COMMITMENT

A. Inisialisasi Awal BPSO

Pada tugas akhir ini mengusulkan sistem IEEE 30 bus dengan 6 unit pembangkit.

Tabel 1.

Data batasan unit pembangkit sistem IEEE 30 bus

Unit	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Nyala min (jam)	Padam min (jam)
1	200	50	4	4
2	80	20	3	3
3	40	12	2	2
4	50	15	2	2
5	30	10	2	2
6	55	10	2	2

Tabel 2. Data biaya operasi sistem IEEE 30 bus

Unit	Koefisien biaya operasi		Biaya penyalaaan (\$)		Biaya padam (\$)	
	a	b	c	Panas		Dingin
1	0,00375	2,00	0	70	176	50
2	0,01750	1,75	0	74	187	60
3	0,02500	3,00	0	40	113	30
4	0,06250	1,00	0	110	113	30
5	0,02500	2,50	0	72	180	52
6	0,00834	3,00	0	50	267	85

Tabel 3. Data pembebanan sistem IEEE 30 bus 24 jam

Jam ke	Beban (MW)	Jam ke	Beban (MW)
1	162.54	13	209.79
2	153.09	14	207.9
3	149.31	15	204.12
4	158.76	16	198.45
5	170.1	17	219.24
6	166.32	18	230.58
7	177.66	19	232.47
8	190.89	20	226.8
9	194.67	21	213.57
10	194.67	22	200.34
11	179.55	23	190.89
12	183.33	24	179.55

Partikel adalah sebuah himpunan yang terdiri dari variabel. Variabel adalah parameter yang akan dioptimalkan dalam tugas akhir ini. Fungsi objektif dari tugas akhir ini adalah dengan mencari biaya pembangkitan termurah dengan memperhatikan batasan-batasan yang telah ditentukan dalam *unit commitment*.

B. Inisialisasi Posisi dan Kecepatan Awal Partikel

Parameter kedua yang diinisialisasi adalah posisi dan kecepatan awal partikel. Bankitkan populasi awal x dengan rentang $x^{(B)}$ dan $x^{(A)}$ secara random sehingga didapat x_1, x_2, \dots, x_N partikel i dan kecepatan pada iterasi t dinotasikan sebagai $x_i(t)$ dan $v_i(t)$, sehingga partikel awal dinotasikan [7].

$$x_1(0), x_2(0), \dots, x_N(0) \tag{10}$$

$$v_1(0), v_2(0), \dots, v_N(0) \tag{11}$$

C. Perhitungan Fungsi Objektif dan Constraints dari Unit Commitment Menggunakan OPF

Dalam kasus *unit commitment* pada tugas akhir ini, yang menjadi fungsi objektif adalah total biaya pembangkitan dari semua unit pembangkit yang ada selama rentang waktu tertentu. Fungsi objektif ini dihitung menggunakan OPF. Pengolahan data dan perhitungan OPF dikerjakan dengan menggunakan program Matpower [8] yang di modifikasi pada software Matlab. Sedangkan batasan terdiri dari batasan generator dan kondisi transmisi. Secara detail dapat dijelaskan sebagai berikut.

A. Fungsi objektif : Fungsi biaya unit pembangkit

Fungsi biaya unit pembangkit biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan kuadrat 11 berikut.

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \tag{11}$$

P_i adalah daya keluaran dari unit ke- i dan a_i, b_i dan c_i adalah *cost coefficient* unit generator ke- i maka,

$$\text{minimize } F = \sum_{i=1}^N F_i(P_{ik}) \tag{12}$$

B. Variabel permasalahan : variabel yang akan dioptimasi dalam *unit commitment* ini adalah pembangkitan daya aktif (P). Jika n adalah jumlah generator, Sehingga ukuran matrik x adalah $[n : 1]$ maka variabel yang akan dioptimasi dapat ditulis dengan persamaan 13 berikut.

$$x = \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} \tag{13}$$

C. Constraints : batasan-batasan

Batasan maksimum-minimum pembangkitan generator, tegangan, daya aktif, dan reaktif. Semua batasan tersebut dapat dikelompokkan sebagai *equality constraint* dan *inequality constraint*.

- *Equality constraint*

Equality constraint dari permasalahan *optimal power flow* ditunjukkan pada persamaan:

$$P_i^t = P_{gi}^t - P_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \cos \theta_{ij}^t + B_{ij} \sin \theta_{ij}^t) \tag{14}$$

$$Q_i^t = Q_{gi}^t - Q_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \sin \theta_{ij}^t - B_{ij} \cos \theta_{ij}^t) \tag{15}$$

- *Inequality constraint*

Inequality constraint dari permasalahan *optimal power flow* ditunjukkan pada persamaan

$$P_{gi \min} \leq P_{gi}^t \leq P_{gi \max} \tag{16}$$

$$Q_{gi \min} \leq Q_{gi}^t \leq Q_{gi \max} \tag{17}$$

$$V_{i \min} \leq V_i^t \leq V_{i \max}, i = 1, 2, \dots, N_{bus} \tag{18}$$

$$|P_{ij}^t| \leq P_{ij \max} \tag{19}$$

D. Evaluasi Fitness Populasi

Evaluasi nilai *fitness* populasi adalah proses menentukan nilai *fitness* terbaik dengan memperhatikan batasan-batasan

pada *unit commitment*. Partikel yang melanggar batasan yang telah ditentukan akan diberi pinalti sehingga partikel tersebut tidak termasuk dalam pemilihan calon solusi.

E. Penentuan Posisi Terbaik Lokal dan Global

Parameter pemilihan *fitness* pada metode PSO ini didasarkan pada dua hal yaitu posisi terbaik lokal dan posisi terbaik global. Posisi terbaik lokal adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh masing-masing partikel sedangkan posisi terbaik global adalah posisi terbaik yang dimiliki oleh kumpulan partikel tersebut. Posisi terbaik global didapat dengan cara mencari nilai paling rendah dari kumpulan partikel yang memiliki posisi terbaik lokal sendiri. Setiap partikel akan mengevaluasi dirinya sendiri dan partikel lain dalam pencarian posisi terbaik global.

F. Pembaruan Kecepatan dan Posisi Partikel

Proses pembaruan kecepatan ini bertujuan agar metode ini dapat mencapai nilai konvergensi dalam waktu yang cepat. Setiap partikel memiliki kecenderungan tersendiri dalam menentukan pembaruan kecepatannya. Partikel yang mengalami perubahan kecepatan akan mengalami perubahan posisi baru. Pembaruan kecepatan partikel dirumuskan pada persamaan 3.28 sebagai berikut.

$$v_i(t) = wv_i(t - 1) + c_1r_1(P_{best_i} - x_i(t - 1)) + c_2r_2(G_{best} - x_i(t - 1)) \tag{20}$$

Dimana x adalah posisi partikel, v adalah kecepatan partikel, i adalah indeks partikel, t adalah iterasi ke- t , P_{best} adalah posisi terbaik lokal, G_{best} adalah posisi terbaik global, w adalah bobot inersia. c_1 dan c_2 masing masing adalah learning rate untuk kemampuan individu (cognitive) dan pengaruh sosial (kawanannya). r_1 dan r_2 bilangan random dalam interval 0 dan 1. c_1 dan c_2 menunjukkan bobot dari memory (position) sebuah partikel terhadap memory (posisi) dari kelompok. Nilai c_1 dan c_2 biasanya 2 sehingga perkalian c_1r_1 dan c_2r_2 memastikan bahwa partikel akan mendekati target setengah selisihnya.

Untuk menentukan posisi partikel dalam bentuk bilangan biner dengan menggunakan fungsi sigmoid dirumuskan pada persamaan 3.29 seperti berikut.

$$S(v_i(t)) = (1 + e^{-v_i(t)})^{-1} \tag{21}$$

$$x_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{jika } rand(1,0) < S(v_i(t)) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{22}$$

G. Pembatasan Pergerakan Partikel

Pada setiap transisi antara akhir iterasi dan kembali ke tahap awal iterasi partikel akan bergerak acak sehingga ada kemungkinan partikel tersebut melaju ke luar dari daerah pencarian nilai objektif terbaik. Cara yang dilakukan untuk menghindari hal tersebut adalah dengan membatasi

VI. SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas tentang simulasi yang dihasilkan oleh program *Binary Particle Swarm Optimization* (BPSO) untuk menyelesaikan operasi *unit commitment* (UC) dan hasil perhitungan total biaya pembangkitan merupakan biaya paling ekonomis. Setelah mendapatkan biaya ekonomis, UC diuji dalam beberapa kondisi. Kondisi awal dimana beban awal

sudah ditentukan kemudian untuk kondisi berikutnya beban akan diperbesar $(1 + \lambda)$ dari beban awal.

Program aliran daya optimal, yang selanjutnya disebut *optimal power flow* (OPF) menggunakan *sequential quadratic programming* yang telah dibuat berdasarkan penjelasan serta alur sesuai dengan bab sebelumnya. Dikarenakan perhitungan *optimal power flow* pada tugas akhir ini mempertimbangkan kestabilan tegangan dan penggunaan *static var compensator*, maka perhitungan OPF dilakukan dalam dua kondisi sekaligus yaitu saat kondisi awal dimana beban awal sudah ditentukan kemudian dan kondisi kedua dimana beban dinaikkan sesuai dengan *load margin*.

$$P_{Dc} = (1 + \lambda) \times P_{Do} \tag{23}$$

Dimana:

P_{Do} = beban saat kondisi awal

P_{Dc} = beban saat kondisi kedua

λ = Load Margin

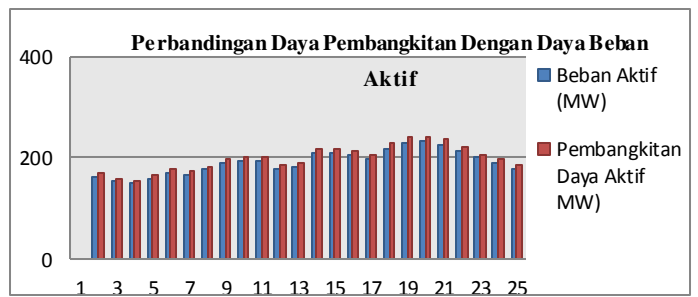
Load margin adalah suatu ukuran atau jarak kedekatan fundamental suatu sistem terhadap *voltage collapse*[9]. $\lambda_{max} = 0,2$ berarti sistem dapat menanggung maksimal peningkatan beban sebesar 20% dari beban awal[10]. Sehingga bisa dikatakan apabila sistem memiliki *load margin* yang lebih besar berarti sistem tersebut memiliki kestabilan tegangan yang lebih baik. Pada tugas akhir ini menggunakan 2 kondisi yaitu $\lambda=0$ dan $\lambda=0.1$.

A. Pengujian Kondisi 1 Sistem IEEE 30 Bus

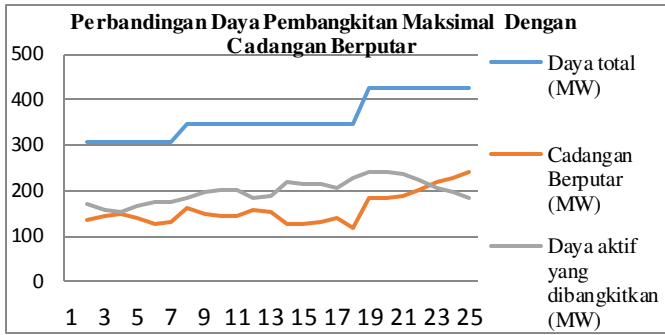
Pada pengujian ini dilakukan menggunakan kondisi beban tanpa diperbesar atau *load margin* (λ) = 0 pada sistem IEEE 30 bus. Pada pengujian ini didapatkan hasil penjadwalan setiap jam yang berupa kondisi nyala-mati unit, daya yang dibangkitkan, cadangan berputar, biaya operasi, serta total biaya pembangkitan.

Tabel 4.
Penjadwalan pembangkit sistem pada *load margin* = 0.

Unit	Jam ke 1-24			
1	1111111	1111111	1111111	1111111
2	0000000	0000000	0000001	1111111
3	0000000	1111111	1111111	1111111
4	1111111	1111111	1111111	1111111
5	0000000	0000000	0000000	0000000
6	1111111	1111111	1111111	1111111



Gambar 1. Perbandingan daya pembangkitan dengan daya beban sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0.



Gambar 2. Perbandingan daya pembangkitan maksimal dengan cadangan berputar sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0.

Tabel 5.

Total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0

Biaya Operasi	12418.2
Biaya Penyalaan	856
Biaya Pemadaman	0
Total Biaya Pembangkitan	13274.2

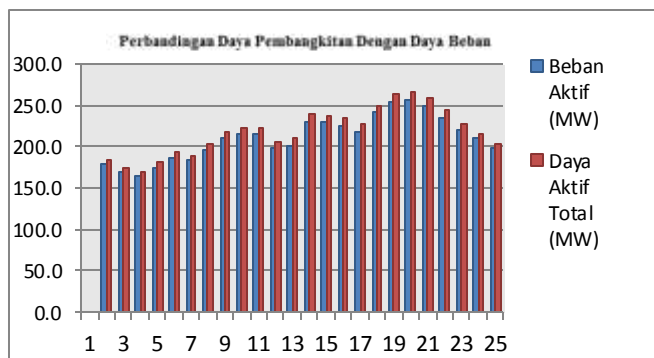
B. Pengujian Kondisi 2 Sistem IEEE 30 Bus

Pada pengujian ini dilakukan menggunakan kondisi beban tanpa diperbesar atau *load margin* (λ) = 0.1 pada sistem IEEE 30. Pada pengujian ini didapatkan hasil penjadwalan setiap jam yang berupa kondisi nyala-mati unit, daya yang dibangkitkan, cadangan berputar, biaya operasi, serta total biaya pembangkitan.

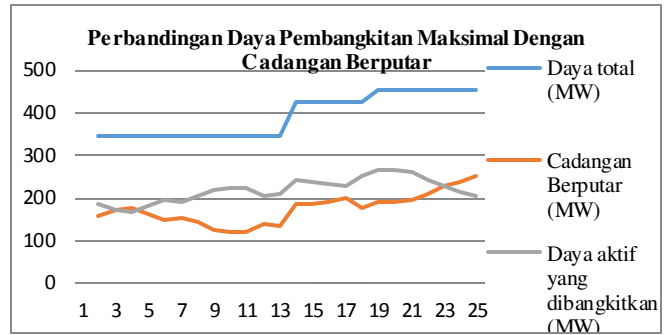
Tabel 6.

Penjadwalan pembangkit sistem pada *load margin* = 0.1.

Unit	Jam ke 1-24			
1	11111111	11111111	11111111	11111111
2	000000	000000	111111	111111
3	1111111	1111111	1111111	1111111
4	1111111	1111111	1111111	1111111
5	000000	000000	000001	111111
6	1111111	1111111	1111111	1111111



Gambar 3. Perbandingan daya pembangkitan dengan daya beban sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0.1.



Gambar 4. Perbandingan daya pembangkitan maksimal dengan cadangan berputar sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0.1.

Tabel 7.

Total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 bus dengan *load margin* = 0.1

Biaya Operasi	13765.4
Biaya Penyalaan	1036
Biaya Pemadaman	0
Total Biaya Pembangkitan	14801.4

Pada pengujian 2 kondisi tersebut didapatkan kombinasi unit pembangkit yang beragam telah memenuhi biaya operasi paling ekonomis tanpa melanggar batasan waktu nyala minimal, waktu padam minimal, daya pembangkitan minimal, daya pembangkitan maksimal, permintaan beban, permintaan cadangan berputar dan kestabilan tegangan tidak terganggu dengan total biaya sebesar \$ 13274.2 pada *load margin* = 0 dan \$ 14801.4 pada *load margin* = 0.1.

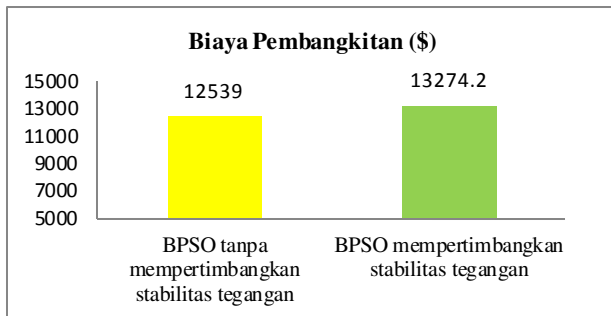
C. Perbandingan Metode

Tabel 8.

Perbandingan penjadwalan pembangkit mempertimbangkan dan tak mempertimbangkan stabilitas tegangan dengan BPSO

Unit	Jam ke 1-24			
1	1111111	1111111	1111111	1111111
2	000000	000000	000001	1111111
3	000000	1111111	1111111	1111111
4	1111111	1111111	1111111	1111111
5	000000	000000	000000	000000
6	1111111	1111111	1111111	1111111

Pada tabel diatas merupakan perbedaan nyala unit pembangkit dengan unit commitment yang mempertimbangkan stabilitas tegangan dengan yang tidak. Penambahan Logika 1 yang bercetak tebal merupakan kondisi unit commitment yang mempertimbangkan stabilitas tegangan. Sedangkan bila logika 1 yang bercetak tebal diganti 0 maka UC pada kondisi tanpa mempertimbangkan stabilitas tegangan. Pada UC yang memperhatikan stabilitas tegangan, pembangkit yang menyala lebih banyak dari pada UC yang tidak mempertimbangkan. Maka penjadwalan pembangkit yang mempertimbangkan stabilitas tegangan harus menyalakan lebih banyak unit pembangkit untuk mencapai kestabilan tegangan pada sistem.



Gambar 5. Perbandingan biaya pembangkitan mempertimbangkan dan tak mempertimbangkan stabilitas tegangan dengan BPSO

BPSO yang mempertimbangkan stabilitas tegangan menghasilkan total biaya pembangkitan yang lebih mahal yaitu sebesar \$ 13274.2 dari pada yang BPSO yang tidak mempertimbangkan biaya pembangkitan yaitu sebesar \$ 12539. Hal ini disebabkan pada konstrain ini mempertimbangkan kestabilan tegangan sistem sehingga pembangkit yang menyala lebih banyak. Hal ini mengakibatkan biaya penyalan pembangkit lebih besar. Faktor lainnya adalah rugi pada saluran juga diperhitungkan pada konstrain ini.

VII. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis diperoleh dengan algoritma BPSO dapat digunakan untuk mengoptimisasi *unit commitment* dengan mempertimbangkan stabilitas tegangan. Algoritma BPSO juga dapat digunakan untuk mengoptimisasi *unit commitment* mempertimbangkan cadangan berputar. Unit commitment pada sistem IEEE 30 bus masih dapat dioptimasi dengan kondisi *load margin* meningkat sebesar 0.1. Dengan begitu kestabilan tegangan sistem masih akan stabil walaupun beban naik secara tiba-tiba sebesar 0.1 dari beban normalnya. penjadwalan pembangkit yang mempertimbangkan stabilitas tegangan harus menyalakan lebih banyak unit pembangkit untuk mencapai kestabilan tegangan pada sistem. Penjadwalan pembangkit yang mempertimbangkan stabilitas tegangan harus menyalakan lebih banyak unit pembangkit untuk mencapai kestabilan tegangan pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.Reddy Gaddam, "Optimal Unit Commitment Using Swarm Intelligence for Secure Operation of Solar Energy Integrated Smart Grid". Thesis of intenasional Institute Of Information Technologi, India, 2013.
- [2] Robandi, Imam. "Modern Power System Control", Penerbit ANDI. Yogyakarta, Bab 1, 2009.
- [3] M. Sulaiman, "Aliran Daya Optimal Mempertimbangkan Kestabilan Tegangan dan Penggunaan Static Var Compensator(SVC) Menggunakan Metode Sequential Quadratic Programming", Skripsi Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2015.
- [4] Han Yu, Kit Po Wong, "An Advanced Quantun-Inspired Evolutionary Algorithm for Unit Commitment", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 26, no. 2, May. 2011.
- [5] C. Sharma dan M. G. Ganes, "Determination of the Applicability of using Modal Analysis for the Prediction of Voltage Stability," in Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008.
- [6] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control". New York, USA: McGraw-Hill, 1994.
- [7] Budi Santosa dan Paul Willy, Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi, Graha Ilmu, Surabaya, 2011

- [8] Ray D, Zimmerman Carlos E. Murillo-Sanchez, "Matpower3.2 User's Manual", February 7, 2011.
- [9] Greene, S., Dobson, I., Alfarado, L. F., "Sensitivity of The Loading Margin To Voltage Collapse With Respect To Arbitrary Parameters", IEEE Transaction on Power Systems Vol.12, No.1, February 1997.
- [10] A. J. Conejo, F. Milano, and R. Garcia-Bertrand, "Congestion Management Ensuring Voltage Stability," IEEE Trans. Power Syst., vol. 21, no. 1, pp. 357-364, Feb. 2006.