

# *Security Constrained Unit Commitment* Mempertimbangkan Cadangan Berputar dan Kapasitas Saluran Transmisi Menggunakan Algoritma *Binary Particle Swarm Optimization*

Anton Frian Yohanes Reynaldo, Rony S. Wibowo, dan Adi Soeprijanto

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail:* [anton.frian@gmail.com](mailto:anton.frian@gmail.com)

**Abstrak**— Manusia modern saat ini tidak akan bisa hidup dan bekerja secara efektif dan efisien tanpa energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat mempengaruhi perkembangan teknologi dan membutuhkan suatu operasi sistem untuk pembangkitan dan penyalurannya. Operasi sistem tenaga pada sistem kelistrikan diharapkan dapat menghasilkan sistem yang handal dan optimal secara ekonomi untuk mengatasi kondisi beban yang fluktuatif dalam 24 jam. *Unit Commitment (UC)* dapat digunakan untuk melakukan penjadwalan nyala-padam unit pembangkit dalam sistem kelistrikan yang terinterkoneksi secara optimal. Namun *UC* belum mampu melakukan penjadwalan pembangkit dengan mempertimbangkan kapasitas saluran transmisi. *Security Constrained Unit Commitment (SCUC)* merupakan pengembangan dari *UC* dengan mempertimbangkan saluran transmisi sebagai batasan perhitungan. Algoritma *particle swarm optimization* digunakan untuk menyelesaikan *SCUC*. Penggunaan *SCUC* dengan *particle swarm optimization* diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan penjadwalan nyala-padam unit pembangkit jika sistem tidak memenuhi standar keamanan, dalam hal ini mempertimbangkan kapasitas saluran transmisi. Hasil penelitian ini berupa software perhitungan penjadwalan pembangkit yang lebih sesuai dan memenuhi standar sistem.

**Kata Kunci**—*SCUC, Cadangan Berputar, Transmisi, Particle Swarm Optimization, Quadratic Programming.*

## I. PENDAHULUAN

MANUSIA modern saat ini tidak akan bisa hidup dan bekerja secara efektif dan efisien tanpa energi listrik. Energi listrik merupakan energi yang sangat mempengaruhi perkembangan teknologi dan membutuhkan suatu operasi sistem untuk pembangkitan dan penyalurannya. Pada bidang sistem tenaga listrik, umumnya total kebutuhan energi listrik yang diperlukan konsumen lebih tinggi saat siang-sore hari, dimana beban industri tinggi, lampu dan mesin-mesin listrik banyak yang menyala [1]. Sebaliknya, kebutuhan energi listrik menurun saat malam-pagi hari, disaat kebanyakan masyarakat sedang tidur dan beristirahat. Untuk mengimbangi permintaan ketersediaan energi listrik dibutuhkan kapasitas pembangkit listrik yang mengalami

peningkatan terus menerus sehingga dibutuhkan kombinasi nyala-mati unit pembangkit [2]. Jumlah beban yang harus disuplai unit-unit pembangkit selalu berubah setiap waktu. Oleh karena itu, pada penyaluran daya listrik, jumlah energi listrik terbangkitkan harus bernilai sama dengan jumlah beban yang harus disuplai untuk memperoleh biaya pembangkitan paling ekonomis. Selain itu penjadwalan unit pembangkit harus memperhatikan cadangan berputar. Jenis operasi sistem tenaga listrik area pembangkitan dapat berupa peningkatan dan penurunan daya output, serta penyalaaan dan pemadaman unit-unit pembangkit untuk mengimbangi jumlah beban yang ditanggung unit-unit pembangkit [3].

*Security Constrained Unit Commitment (SCUC)* adalah penjadwalan nyala-mati unit-unit pembangkit yang beroperasi pada suatu sistem tenaga listrik, dengan mempertimbangkan keamanan dan kapasitas saluran. Penyalaaan dan pemadaman unit pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik memiliki banyak pertimbangan, seperti cadangan berputar (*spinning reserve*), waktu nyala minimal (*minimum up time*), waktu padam minimal (*minimum down time*), dan rentang daya keluaran unit [3].

Setiap unit pembangkit memiliki karakteristik input-output yang khas yang sangat mempengaruhi fungsi biaya pembangkitan unit pembangkit. Pada tugas akhir ini akan diusulkan algoritma BPSO (*Binary Particle Swarm Optimization*) untuk menyelesaikan permasalahan unit commitment secara optimal.

## II. OPERASI OPTIMUM SISTEM TENAGA LISTRIK

### A. Penjadwalan Pembangkit

Pada sistem tenaga listrik penjadwalan pembangkit tenaga listrik disebut juga dengan *unit commitment*, yaitu proses untuk menentukan jadwal pembangkit nyala dan mati dalam suatu sistem di setiap jam. Penjadwalan pembangkit dilakukan untuk mengurangi biaya pembangkit dan menjaga umur dari pembangkit. Parameter – parameter penjadwalan pembangkit adalah sebagai berikut:

1. *Minimum Up Time Down Time:*

Minimum up time down time merupakan parameter perhitungan penjadwalan pembangkit terhadap waktu pembangkit beroperasi atau tidak beroperasi. Minimum up time merupakan waktu minimal pembangkit beroperasi. Minimum down time merupakan waktu minimal pembangkit tidak beroperasi. Parameter tersebut harus dipenuhi dalam penjadwalan pembangkit sehingga pembangkit tidak dapat operasi atau tidak beroperasi pada setiap jam.

2. *Start Up Cost:*

Biaya tambahan pada saat penyalaan pembangkit baru yang terdiri menjadi dua tipe yaitu *cold start up* dan *hot/cold start up*. *Cold start up* adalah kondisi saat pembangkit dilepas dari sistem dan temperatur *boiler* dibiarkan turun dari temperatur kerjanya, sehingga pada saat akan beroperasi kembali harus dilakukan pemanasan kembali. Sedangkan *hot/cold start up* adalah kondisi saat pembangkit dilepas dari sistem dan temperatur *boiler* dijaga pada temperatur kerjanya.

3. *Ramp Rate:*

Batas kerja aman suatu pembangkit berdasarkan thermal gradient dan pressure gradient untuk menjaga umur pembangkit tenaga listrik. Ramp rate juga berarti maksimum penambahan atau pengurangan daya yang dikeluarkan pembangkit di tiap jam.

B. *Dynamic Optimal Power Flow (DOPF) Arus Searah*

*Optimal Power Flow (OPF)* adalah pembagian pembebanan unit pembangkit pada suatu sistem tenaga listrik terinterkoneksi, dengan memperhitungkan aliran daya di saluran. *DOPF* arus searah menghitung *OPF* dengan level beban yang dinamis. Optimasi dilakukan dengan meminimalkan biaya pembangkitan dan biaya pelepasan beban pada load bus, dengan batasan sistem. Fungsi objektif dapat dinyatakan dalam persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^T (\sum_{i=1}^N F_i^t) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N k \Delta P_{Li}^t \quad (1)$$

$$F_i(P_i) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \quad (2)$$

Keterangan

- $T$  : Jumlah rentang waktu beban
- $N$  : Jumlah bus
- $P_L$  : Daya pada *load bus*
- $k$  : Konstanta yang menyatakan biaya pelepasan beban
- $P_G$  : Daya pembangkitan generator
- $F_i(P_i)$  : Fungsi biaya generator pada bus  $i$

Fungsi objektif diminimalkan dengan memperhatikan batasan:

1. *Active power balance constraint*

$$P_{Li}^t - P_{Gi}^t + P_{INi}^t = 0 \quad (3)$$

$$P_{IN}^t = \sum_{xij} \frac{1}{x_{ij}} [\delta_i - \delta_j] \quad (4)$$

Dengan  $P_{Li}^t$  adalah daya pada load bus  $i$  saat jam ke- $t$ ,  $P_{Gi}^t$  adalah daya unit pembangkit pada load bus  $i$  saat jam ke- $t$ , dan  $P_{INi}^t$  adalah jumlah daya yang mengalir pada saluran bus  $i$  saat jam ke- $t$ .

2. Kapasitas saluran transmisi

$$|P_{ij}^t| \leq P_{ij} \quad (5)$$

$P_{ij}$  adalah *rating* kapasitas saluran bus  $i$  ke bus  $j$ , dan  $P_{ij}^t$  adalah daya saluran dari bus  $i$  ke bus  $j$  saat waktu ke- $t$ .

3. *Ramp rate* unit pembangkit

$$-\delta_i \leq P_{Gi}^{t+1} - P_{Gi}^t \leq \delta_i \quad (6)$$

$\delta_i$  dan  $-\delta_i$  yaitu *ramp rate* pembangkit pada bus  $i$ .

4. Daya pembangkitan

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (7)$$

$P_{Gi \min}$  dan  $P_{Gi \max}$  merupakan batas minimal dan maksimal daya yang mampu dibangkitkan oleh pembangkit.

5. Cadangan berputar

$$\sum_{i=1}^N P_{Gi \max} - \sum_{i=1}^N P_{Gi} \geq P_{reserve} \quad (8)$$

Untuk setiap jamnya,  $P_{reserve}$  bernilai sebesar nilai maksimal terbesar unit pembangkit.

III. *SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

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	50	15	2	3
4	35	10	2	2
5	30	10	2	2
6	40	12	2	2

Tabel 2.  
Data biaya operasi sistem IEEE 30 bus

Unit	Koefisien biaya operasi			Biaya penyalaan (\$)		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	0,06250	1,00	0	110	113	30
4	0,00834	3,25	0	50	267	85
5	0,02500	3,00	0	72	180	52
6	0,02500	3,00	0	40	113	30

Tabel 3.  
Data pembebanan sistem IEEE 30 bus 12 jam

Jam ke	Beban (MW)	Jam ke	Beban (MW)
1	163,00	13	210,00
2	152,50	14	208,00
3	150,00	15	205,00
4	158,80	16	198,00
5	170,00	17	220,00
6	167,00	18	230,00
7	178,00	19	232,00
8	190,00	20	226,00
9	195,00	21	214,00
10	194,00	22	200,00
11	180,00	23	190,00
12	183,20	24	180,00

Parameter-parameter yang digunakan pada BPSO tugas akhir ini merupakan inisialisasi awal operasi algoritma. Parameter-parameter tersebut antara lain.

- Jumlah swarm = Jumlah unit pembangkit
- Jumlah variabel = 30
- Iterasi maksimal = 30
- Social constant = 2
- Cognitive constant = 2
- Inertia (w) = 0.4 – 0.9

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  $x_1, x_2, \dots, x_N$  pertikel  $i$  dan kecepatan pada iterasi  $t$  dinotasikan sebagai  $x_i(t)$  dan  $v_i(t)$ , sehingga partikel awal dinotasikan.

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

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

**C. Inisialisasi Fungsi Objektif dan Constraints dari Unit Commitment**

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. Sedangkan batasan terdiri dari batasan generator. Secara detail dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Fungsi objektif : Fungsi biaya unit pembangkit

Fungsi biaya unit pembangkit biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan kuadrat 12 berikut.

$$F_{nh}(P_{nh}) = a_n(P_{nh})^2 + b_n(P_{nh}) + C_n \tag{12}$$

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 generator

Batasan maksimum-minimum pembangkitan generator. Semua batasan diatas dapat dikelompokkan sebagai *equality constraint* dan *inequality constraint*.  
*equality constraint : active power balance*

$$\sum_{n=1}^N P_{nh} = D_n \tag{14}$$

*inequality constraint*

$$U_{nh}P_n(max) \geq P_{nh} \geq U_{nh}P_n(min) \tag{15}$$

**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.

$$v_i(t) = wv_i(t-1) + c_1r_1(P_{best_i} - x_i(t-1)) + c_2r_2(G_{best} - x_i(t-1)) \tag{16}$$

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 (kawanan).  $r_1$  dan  $r_2$  bilangan random dalam interval 0 dan 1.  $c_1$  dan  $c_2$  menunjukkan bobot dari memory (posisi) 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.

$$S(v_i(t)) = (1 + e^{-v_i(t)})^{-1} \tag{17}$$

$$x_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{jika } rand(1.0) < S(v_i(t)) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{18}$$

G. Hasil Penjadwalan

Pada bagian akhir ini, akan ditampilkan hasil penjadwalan setiap jam yang berupa kondisi nyala-mati unit, biaya operasi, serta total biaya pembangkitan.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

A. Sistem IEEE 30 Bus

Tabel 13. Kondisi awal unit pembangkit sistem IEEE 30 bus

Unit					
1	2	3	4	5	6
-4	-3	-3	-3	-2	-2

Tabel 14. Penjadwalan pembangkit sistem IEEE 30 bus

Jam Ke	Unit					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0	0
6	1	1	1	0	0	0
7	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	0	0	1
10	1	1	1	0	0	1

11	1	1	1	0	0	1
12	1	1	1	0	0	1
13	1	1	1	0	0	1
14	1	1	1	0	0	1
15	1	1	1	0	0	1
16	1	1	1	0	0	1
17	1	1	1	1	0	1
18	1	1	1	1	0	1
19	1	1	1	1	0	1
20	1	1	1	1	0	1
21	1	1	1	1	0	1
22	1	1	1	1	0	1
23	1	1	1	1	0	1
24	1	1	1	1	0	1

Tabel 15. Total biaya pembangkitan sistem IEEE 30 bus

Biaya Operasi	13632,4904
Biaya Penyalaan	856
Biaya Pemadaman	0
<b>Total Biaya Pembangkitan</b>	<b>14488,4904</b>

V. PENUTUP

Algoritma BPSO dapat digunakan untuk mengoptimisasi *security constrained unit commitment* dengan mempertimbangkan 2 jenis biaya penyalaan yaitu penyalaan panas dan penyalaan dingin. Algoritma BPSO dapat digunakan untuk mengoptimisasi *security constrained unit commitment* dengan mempertimbangkan cadangan berputar. Kondisi awal unit pembangkit mempengaruhi total biaya pembangkitan. Kondisi awal pembangkit nyala menghasilkan total biaya yang lebih murah dibandingkan dengan kondisi awal pembangkit padam. Jenis penyalaan yaitu penyalaan panas dan penyalaan dingin berpengaruh pada total biaya pembangkitan dan penjadwalan unit pembangkit. Cadangan berputar berpengaruh pada total biaya pembangkitan dan penjadwalan unit pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. G, Muljo Adji, “Gambaran Umum Pengelolaan Sistem Jawa Bali”, Ekspose Sekuriti Sistem Jawa Bali, Jakarta, 2005.  
 [2] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, “Power, Generation, Operation, and Control”, John Willey & Sons Inc, America, 1996.  
 [3] R.Reddy Gaddam, “Optimal Unit Commitment Using Swarm Intelligence for Secure Operation of Solar Energy Integrated Smart Grid”.Thesis of internasional Institute Of Information Technologi,India,2013