

## **SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE FIREFLY ALGORITHM**

**Totok Dewantoro<sup>1</sup>, Rony Seto Wibowo<sup>2</sup>, Adi Suprijanto<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, <sup>2</sup>Fakultas Teknik Industri, <sup>3</sup>Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
<sup>1</sup>totok.dewantoro12@mhs.ee.its.ac.id, <sup>2</sup>ronyseto@ee.its.ac.id, <sup>3</sup>adisup@ee.its.ac.id

---

### **Abstrak**

Hasil unit comitment (UC) memberikan penjadwalan pembangkit harian untuk operator sistem tenaga, Namun, jadwal dari UC tidak menjamin bahwa daya akan mengalir dengan sukses dari generator ke beban melalui sistem jaringan transmisi. Oleh karena itu, istilah security constrained unit commitment (SCUC) diperkenalkan untuk mendefinisikan UC. Tujuan utama dari makalah ini adalah untuk menentukan penjadwalan unit pembangkit dengan total biaya minimal. Batasan batasan pembangkitan, seperti batasan permintaan beban, cadangan berputar, batasan ramp up/down, batasan minimum On/Off, batasan keamanan tegangan masing masing bus, dan batasan aliran tiap tiap cabang ikut diperhitungkan pada makalah ini. Untuk menyelesaikan permasalahan SCUC, sebuah binary firefly algorithm (BFA) digunakan untuk menyelesaikan masalah utama unit commitment dan real coded firefly algorithm (RCFA) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan economic dispatch dan optimal power flow. Usulan Algoritma dites pada sistem IEEE 30 bus dengan 6 generator thermal. Hasil menunjukkan bahwa total biaya dari SCUC lebih tinggi sebesar \$195,65 dibandingkan dengan UC. Akan tetapi hasil penjadwalan dengan SCUC ini memastikan bahwa sistem dapat melayani permintaan beban secara layak dan aman.

**Kata kunci : security constrained unit commitment, firefly algorithm**

---

### **1. Pendahuluan**

*Unit commitment* (UC) didefinisikan sebagai penjadwalan produksi daya listrik yang dihasilkan unit pembangkit pada periode harian atau mingguan yang akan datang (pada periode tertentu di masa datang) dengan tujuan mendapatkan biaya ekonomis pembangkitan. Banyak penelitian yang dilakukan mengenai masalah UC. Hal ini disebabkan UC merupakan masalah yang penting dalam perencanaan operasi jangka-pendek dari sistem tenaga listrik.

Di tahun 1940-an sampai dengan 1970-an, suatu metode digunakan untuk menyelesaikan masalah UC. Metode ini disebut sebagai metode pemrograman integer campuran, dan berdasar atas daftar skala prioritas. Metode ini memiliki kelebihan pada kesederhanaan dalam penyelesaiannya

Pada tahun 1980-an metode *Branch dan Bound Algorithm* dan metode *Dynamic Programming* diaplikasikan untuk menyelesaikan masalah UC. Kedua metode ini dapat menemukan solusi yang optimal, untuk jumlah unit pembangkit yang kecil. Untuk jumlah unit pembangkit yang besar bisa dilakukan dengan metode pendekatan *Lagrangian Relaxation*. Metode ini membutuhkan waktu penyelesaian yang lebih pendek bila dibandingkan dengan *Dynamic Programming*, akan tetapi metode ini sangat sensitif terhadap pengali

Lagrange, sehingga dengan bertambahnya pengali lagrange sulit dicari solusinya.

Sebuah pendekatan baru yang disebut *Sequential Unit Commitment* dikembangkan untuk menyempurnakan metode *Lagrangian Relaxation* dan 2 metode *Dynamic Programming*. Metode ini membutuhkan daftar prioritas heuristic untuk mendapatkan harga awal. Selain prioritas tradisional, metode ini menyeleksi unit yang paling menguntungkan untuk komit pada basis operasi ekonomis dan permintaan sistem selama proses iterasi.

Sebuah algoritma optimisasi unit-tunggal baru diajukan untuk menggantikan metode *Dynamic programming*. Metode ini menggunakan batasan *minimum up and down time* unit dan batasan cadangan dari sistem yang diteliti untuk menangani jadwal secara efisien, sehingga ruang penelitian bisa direduksi secara signifikan, dan perhitungan menjadi lebih cepat. Batasan keseimbangan daya, batasan cadangan sistem, batasan minimum up and down time, batasan level minimum dan maksimum pembangkitan dan batasan ramp rate dipertimbangkan.

Dari berbagai penelitian tersebut, hasil penjadwalan UC tidak menjamin bahwa daya yang dibangkitkan akan berhasil mengalir dari generator ke beban melalui jaringan. Oleh karena itu istilah

*Security Constrained Unit Commitment* (SCUC) diperkenalkan untuk mentukan UC.

SCUC merupakan masalah optimisasi pada sistem tenaga yang besar. Dalam penyelesaiannya diperlukan suatu metode metaheuristik. *Firefly Algorithm* (FA) merupakan salah satu metode optimisasi metaheuristik yang terinspirasi oleh kecerahan dari sinar yang dipancarkan oleh kunang-kunang. Dr. Xin She Yang dari Cambridge University berhasil mengembangkan metode ini. FA memiliki tingkat kehandalan dan efisiensi yang tinggi dalam menyelesaikan masalah nonlinear. Pada makalah ini FA digunakan sebagai metode utama untuk menyelesaikan masalah SCUC

## 2. Security Constrained Unit Commitment & Firefly Algorithm

### 2.1 Security Constrained Unit Commitment

Secara umum, fungsi objektif dari *security constrained unit commitment* (SCUC) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$TCP = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{array}{l} F_i(P_{i,t}) \cdot I_{i,t} \\ + SU_i^t \cdot I_{i,t} [1 - I_{i,t-1}] \\ + SD_i^t \cdot I_{i,t-1} [1 - I_{i,t}] \end{array} \right. \quad (1)$$

TCP pada persamaan (1) menyatakan biaya total operasional untuk N unit pembangkit selama T dari jam beroperasi, Adanya persyaratan operasional, minimalisasi fungsi objektif diatas harus memenuhi batasan batasan berikut:

- Keseimbangan Daya

Total daya yang dihasilkan pada setiap jam harus sama dengan jumlah permintaan beban tiap jam.

$$\sum_{i=1}^N P_{i,t} I_{i,t} = Load_t \quad (2)$$

- Minimum On/Off

Minimum on/off menunjukkan bahwa unit harus on/off untuk sejumlah jam tertentu, sebelum dapat dimatikan atau dinyalakan kembali.

$$X_i^{on}(t) \geq MU_i \text{ dan } X_i^{off}(t) \geq MD_i \quad (3)$$

- Batasan Pembangkitan dan Ramp/up/down

Secara praktis output pembangkit dari generator tidak dapat ditentukan seketika tanpa batasan. Jarak pengoperasian untuk semua unit

secara online dibatasi batasan ramp rate selama tiap jam.

$$P_{i,t(r \min)} = \{P_{i(\min)}, P_{i,t-1} - RD_i\} \quad (4)$$

$$P_{i,t(r \max)} = \{P_{i(\max)}, P_{i,t-1} - RU_i\} \quad (5)$$

$$P_{i,t(r \min)} \leq P_{i,t} \leq P_{i,t(r \max)} \quad (6)$$

- Cadangan Berputar

Untuk operasi yang handal, sistem listrik harus mempertahankan kapasitas Megawatt tertentu sebagai cadangan berputar. Pada makalah ini cadangan berputar dipilih 10% dari beban maksimum (Sekaran & Simon).

$$\sum_{i=1}^N P_{i(\max)} I_{i,t} \geq Load_t + SR_t \quad (7)$$

- Batasan keamanan

$$V_{i(\min)} \leq V_{i,t} \leq V_{i(\max)} \text{ dan } |S_{i,t}| \leq S_{i(\max)} \quad (8)$$

- Inisial status unit pada awal periode penjadwalan harus diperhitungkan

Keterangan :

TCP Total Biaya Produksi  
 $F_i(P_{i,t})$  Fungsi biaya pembangkitan unit i, dengan  $P_{i,t}$  pada jam ke T yang dirumuskan sebagai berikut :

$$F_i(P_{i,t}) = a + b * P_{i,t} + c * P_{i,t}^2 \quad (9)$$

N Jumlah generator  
 T Interval waktu dalam Jam  
 $P_{i,t}$  Output generator i pada jam t  
 $I_{i,t}$  Status On/Off unit i saat jam ke t,  $I_{i,t} = 0$  ketika Off,  $I_{i,t} = 1$  ketika On  
 $SU_{i,t}$  Biaya start up unit ke i saat t  
 $SD_{i,t}$  Biaya start down unit ke i saat t  
 $Load_t$  Permintaan beban saat jam ke t  
 $X_i^{on}$  Lama durasi unit i menyala  
 $X_i^{off}$  Lama durasi unit i padam  
 $MU_i$  Minimum nyala unit i  
 $MD_i$  Minimum padam unit i  
 $P_{i(\min)}$  Minimum pembangkitan unit i  
 $P_{i(\max)}$  Maksimum pembangkitan unit i  
 $RD_i$  Ramp up unit i  
 $RU_i$  Ramp Down unit i  
 $P_{i,t(r \min)}$  Min. pembangkitan unit i - RD  
 $P_{i,t(r \max)}$  Maks. pembangkitan unit i + RU  
 $SR_t$  Cadangan berputar saat t  
 $V_{i,t}$  Tegangan bus i saat t  
 $S_{i,t}$  Lineflow i saat t

## 2.2 Firefly Algorithm

*Firefly Algorithm* (FA), pertama kali dibentuk dan dikembangkan oleh dr. Xin-She Yang pada tahun 2007 di cambridge university. FA adalah suatu *meta-heuristic* algoritma optimisasi berbasis pada populasi yang terinspirasi oleh pergerakan kunang-kunang. Sama halnya dengan algoritma PSO yang memperbarui posisi dengan cara memperbarui kecepatan, pada FA kunang-kunang akan bergerak dari kunang-kunang yang satu menuju ke kunang-kunang lain yang memiliki intensitas cahaya lebih terang.

FA terdiri dari sejumlah kunang-kunang dan berbagai macam tingkat kecerahan cahaya. Pada penyelesaian unit commitment jumlah kunang-kunang ini akan merepresentasikan jumlah pembangkit yang ada pada suatu sistem, sedangkan tingkat kecerahannya merepresentasikan fungsi biaya pembangkitan. Pada setiap iterasi akan dipilih fungsi fitness terbaik sebagai  $best^k$ . Struktur dari masing-masing kunang-kunang dari suatu populasi dapat didefinisikan pada persamaan (10)

$$P_{G,m}^k = [P_1^k, P_2^k, \dots, P_m^k] \quad m=1, \dots, N_{firefly} \quad (10)$$

Setiap elemen dari kunang-kunang ke- $m$  memodifikasi posisinya ke posisi saat ini, jarak *Cartesian* atau *Euclidean* dari  $P_m^k$  untuk masing Modifikasi posisi dihitung berdasarkan persamaan (11).

$$P_m^k = \begin{cases} \text{if } G(P_n^k) < G(P_m^k) \\ (P_m^k + \beta^k (P_n^k - P_m^k) \\ + \alpha^k |P_{max} - P_{min}| (rand - \frac{1}{2})) \\ \text{else} \\ P_m^k \end{cases} \quad (11)$$

$$m = 1, \dots, N_{firefly} \quad n = 1, \dots, N_{firefly}$$

Fungsi atraktif  $\beta^k$  dirumuskan melalui persamaan

$$\beta^k = (\beta_{max}) e^{-\gamma(r_{mn}^k)^2} \quad (12)$$

Untuk menghasilkan perbaikan nilai  $\beta^k$  dengan konvergensi algoritma yang paling cepat dan keluar dari *local optima*  $\beta^k$  dapat ditulis dalam persamaan (13).

$$\beta^k = (\beta_{mak} - \beta_{min}) e^{-\gamma(r_{mn}^k)^2} + \beta_{min} \quad (13)$$

$$r_{mn}^k = \|p_n^k - p_m^k\|$$

$$r_{mn}^k = \sqrt{\sum_{i=1}^{NG} (p_{n,i}^k - p_{m,i}^k)^2}$$

Besarnya  $\beta_{mak}$  dan  $\gamma$  diset dengan nilai 1. Sedangkan  $\beta_{min}$  mempunyai nilai konstan sebesar 0,2 (Xin-She, 2009).

## 3. Implementasi Metode FA untuk SCUC

Pada permasalahan UC, angka 0 dan 1 digunakan untuk mengindikasikan bahwa status unit ON/OFF. Sedangkan algoritma FA yang digunakan pada dasarnya adalah sebuah algoritma bilangan real. Oleh karena itu, beberapa modifikasi diperlukan untuk menangani masalah optimasi kode-biner. Dalam *Binary Firefly Algorithm* (BFA) yang diusulkan, nilai  $P_{G,m}^k$  pada persamaan (10) hanya diperbolehkan dengan nilai 0 atau 1. Untuk menentukan status unit bernilai 0 atau 1, sebuah ambang batas harus ditentukan dengan nilai tetap. Apabila  $P_{G,m}^k >$  ambang maka status unit adalah “1”, jika  $P_{G,m}^k <$  ambang maka status unit adalah “0”. Ambang batas dapat dibuat dengan range antara 0 hingga 1. Untuk mencapai ini, umumnya menggunakan sebuah fungsi sigmoid

$$f(P_{G,m}^k) = \frac{1}{1 + \exp(-P_{G,m}^k)} \quad (14)$$

Algoritma BFA merupakan metode yang akan digunakan pada program utama dalam menyelesaikan penjadwalan UC. BFA akan menentukan kombinasi nyala-mati unit pembangkit dalam beberapa rentang waktu tertentu untuk memenuhi permintaan beban. Sedangkan *real coded firefly algorithm* (RCFA) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan security constrained optimal power flow (SCOPF). Langkah-langkah yang disajikan dalam makalah ini terdapat pada gambar 3.1 (Terlampir).

### 3.1 Strategi perbaikan pada Binary FA

Setiap kali status komitmen untuk setiap interval waktu dibuat secara acak atau jika posisi partikel dimodifikasi, pelanggaran batasan minimum up/down, dan batasan cadangan berputar harus diperiksa sebagai berikut.

**Langkah 1:** Jika cadangan berputar terpenuhi. Lanjutkan ke langkah 3. Jika tidak, Lanjutkan ke langkah berikutnya.

**Langkah 2:** Lakukan Pinalti Faktor, dengan memberikan nilai biaya yang tinggi.

**Langkah 3:** Cek batasan minimum up/down pada masing masing unit. Jika ada pelanggaran

pada batasan minimum up atau minimum down, maka skema perbaikan dilakukan untuk mengatasi pelanggaran ini. Cara yang digunakan cukup sederhana, hanya dengan memaksa nilai logika setiap kali batasan MU atau MD dilanggar. Ting & Rao, (2006).

**Langkah 4:** Strategi perbaikan pada langkah 3 akan mempengaruhi batasan cadangan berputar pada sistem. Jika batasan terpenuhi, maka solusi dianggap layak. Jika tidak ke langkah 2

**3.2 Strategi perbaikan pada Real Coded FA**

Setiap kali posisi partikel dimodifikasi oleh algoritma FA, pelanggaran batasan kapasitas unit pembangkit dan batasan line harus diperiksa sebagai berikut:

**Langkah 1:** Jika daya yang dibangkitkan dan batasan line terpenuhi, lanjutkan ke langkah 3. Jika tidak, lanjutkan ke langkah berikutnya.

**Langkah 2:** Lakukan pinalti faktor, dengan memberikan nilai biaya yang tinggi.

**Langkah 3:** Selesai.

**4. Hasil dan Analisa**

Simulasi dilakukan dengan program MATHLAB R2010a menggunakan komputer dengan spesifikasi Windows 7 64-bit, Intel Core i5 2,4 GHz, 4GB RAM. Sistem yang digunakan adalah sistem IEEE 30 bus dengan 6 generator thermal. Fungsi biaya generator, biaya start up, karakteristik generator dapat dilihat pada Tabel 4.1, data pembebanan tiap jam terdapat pada Tabel 4.2. Sedangkan setting dari firefly adalah sebagai berikut:

- Populasi Firefly : 30
- Maksimum Iterasi : 50
- Dimensi = N ( Maks. Unit) : 6
- Alpha : 0,1
- Gamma : 0,02
- Betamin : 0,2

Untuk mengetahui efektifitas dari penjadwalan menggunakan SCUC, maka program dijalankan dengan dua cara, pertama simulasi dilakukan tanpa batasan keamanan (UC Biasa) dan kedua dengan batasan keamanan (SCUC). Dari simulasi yang dilakukan, hasil yang didapatkan untuk penjadwalan UC dan SCUC dapat dilihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4.

**Tabel 4.3 Penjadwalan UC**

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

**Tabel 4.4 Penjadwalan SCUC**

Jam Ke	Unit					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	0	1
4	1	1	1	0	0	1
5	1	1	1	0	0	1
6	1	1	1	0	<b>1</b>	1
7	1	1	1	0	<b>1</b>	1
8	1	1	1	0	<b>1</b>	1
9	1	1	1	0	<b>1</b>	1
10	1	1	1	0	<b>1</b>	1
11	1	1	1	0	<b>1</b>	1
12	1	1	1	0	<b>1</b>	1

Perbedaan antara tabel 4.3 dan tabel 4.4 adalah terletak pada kombinasi UC yang dihasilkan, yang ditandai dengan huruf dicetak tebal. Untuk daya pembangkitan masing masing generator tiap jam beserta total biaya produksi yang dihasilkan, dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6.

**Tabel 4.5 Daya Pembangkitan dan Biaya dari UC**

Jam Ke	Unit (MW)						Total Biaya (\$)
	1	2	3	4	5	6	
1	172,8	0	0	0	0	0	633,54
2	152,8	0	50,0	0	0	0	704,46
3	145,4	0	49,1	0	0	40,0	769,84
4	125,4	71,0	47,0	0	0	39,4	836,64
5	129,3	73,5	48,1	0	0	40,0	897,16
6	120,3	72,2	47,1	0	0	39,2	853,87
7	101,1	67,4	44,0	0	0	38,7	756,45
8	83,5	58,4	40,8	0	0	33,9	630,41
9	72,6	53,4	38,5	0	0	30,4	554,08
10	54,2	49,4	34,8	0	0	24,6	447,53
11	45,9	40,6	33,9	0	0	28,0	409,13
12	54,0	46,1	35,2	0	0	26,5	446,62
Total							7939,74

**Tabel 4.6 Daya Pembangkitan dan Biaya SCUC**

Jam Ke	Unit (MW)						Total Biaya (\$)
	1	2	3	4	5	6	
1	172,7	0	0	0	0	0	633,39
2	152,7	0	49,6	0	0	0	709,40
3	147,7	0	47,6	0	0	39,3	836,20
4	127,9	69,6	44,8	0	0	37,4	1027,90
5	135,2	72,7	46,7	0	0	36,9	886,58
6	125,7	68,7	44,7	0	0	40,0	843,43
7	105,8	57,4	38,3	0	29,8	32,4	956,70
8	85,9	50,0	34,4	0	29,7	24,8	640,26
9	72,6	42,1	31,0	0	25,6	23,3	537,09
10	58,8	36,7	27,9	0	22,9	16,4	432,70
11	51,8	37,2	25,2	0	17,4	16,8	385,35
12	58,5	39,6	28,2	0	18,1	17,3	426,40
Total							8135,39

Berdasarkan hasil simulasi diatas, dapat kita peroleh perbandingan antara penjadwalan UC dan SCUC sebagai berikut:

**Tabel 4.7 Hasil Perbandingan**

Problem	TCP (\$)
UC	7939,74
SCUC	8135,39
Selisih	195,65

**5. Kesimpulan dan Saran**

Makalah ini memperkenalkan sebuah metode firefly algorithm dalam menyelesaikan permasalahan security constrained unit commitment. Algoritma sudah dites pada sistem IEEE 30 Bus dengan 6 generator termal selama periode beban 12 jam. Hasil menunjukkan bahwa metode ini mampu digunakan untuk menyelesaikan permasalahan SCUC. Total biaya produksi yang lebih tinggi sebesar \$195,65 adalah sebagai konsekuensi dari permasalahan ini, namun nilai ini memastikan bahwa sistem dapat melayani permintaan beban secara layak dan aman. Untuk dapat mengetahui performa dari usulan algoritma ini sebaiknya dilakukan pembandingan dengan metode algoritma metaheuristik yang lain serta dapat menambahkan case lain semisal ketika terjadi kontigensi sistem. Penambahan metode optimasi dibagian sub problem (losses) mungkin diperlukan agar program lebih mendekati nilai yang sesungguhnya.

**Daftar Pustaka:**

A, J Wood dan B. F. Wollenberg (1996): *Power generation, operation and control*, New York, Wiley.

C, Cristopher Columbus dan Sishaj P. Simon (2012): *Hybrid Particle Swarm Approach for Security Constrained Unit Commitment*, India, International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technology [ICCEET].

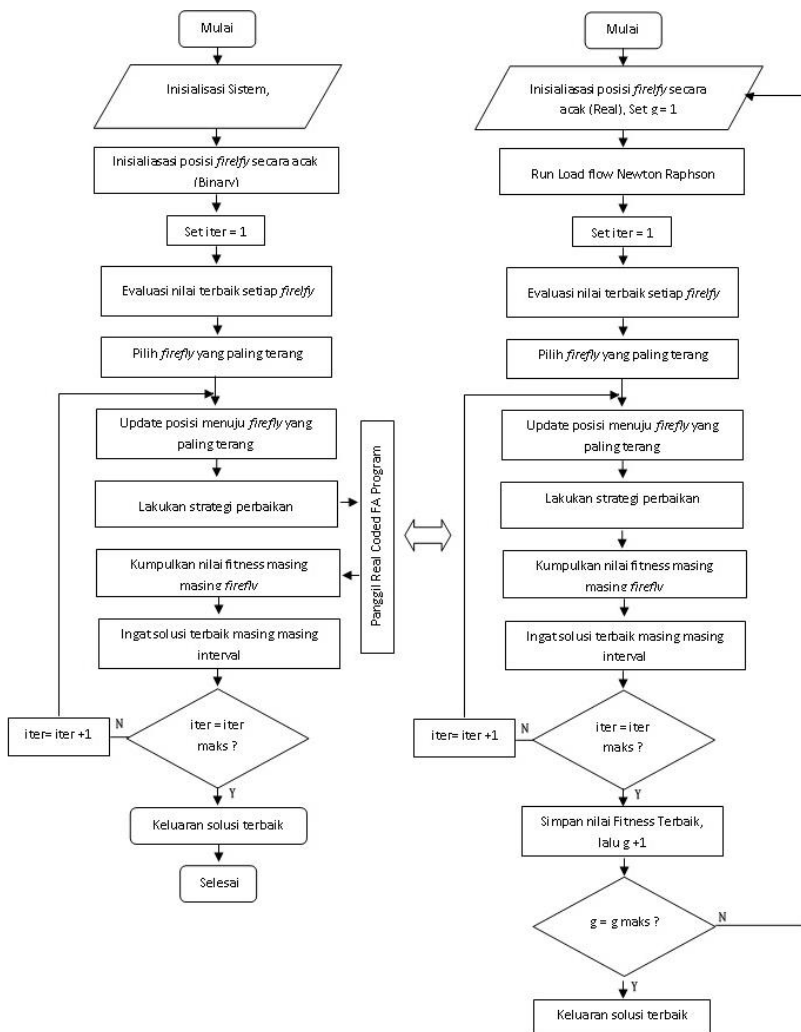
K. Chandrasekaran dan Sishaj P. Simon (2013): *Binary Real Coded Firefly Algorithm for Solving Unit Commitment Problem*, India, Elsevier inc, pp 67-84.

Nalan, Lhaotumyingyong dan Parnjit Damrongkulkamjorn, (2008): *A New Approach for Solving Unit Commitment Problem by Adaptive Particle Swarm Optimization*, German, IEEE Trans. Power App. Syst

Pappala, Venkata Swaroop dan Erlich, Istvan (2008): *A New Approach for Solving Unit Commitment Problem by Adaptive Particle Swarm Optimization*, German, IEEE Trans. Power App. Syst

T. O. Ting dan M. V. C Rao (2006): *A Novel Approach for Unit Commitment Problem via an Effective Hybrid Particle Swarm Optimization*, Hong Kong, IEEE Trans. On Power App. Syst Vol.21, No.1

Xin-She Yang (2009): *Firefly Algorithm for Multimodal Optimization*, in: *stochastic Algorithms: foundations and Applications*, London, SAGA Lecture Notes in Computer sciences, Vol. 5792, pp. 169-178.



Gambar 3.1 Flowcart Firefly Algoritma untuk SCUC

Tabel 4.1 Data Karakteristik Generator

Data	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
Pmax (MW)	200	80	50	35	30	40
Pmin (MW)	50	20	15	10	10	12
$\alpha$	0,00375	0,0175	0,0625	0,00834	0,025	0,025
$\beta$	2	1,75	1	3,25	3	3
$\gamma$	0	0	0	0	0	0
Min Up (hrs)	4	2	2	2	2	2
Min Down (hrs)	4	3	2	2	2	2
Ramp Up	15	10	6	4	4	5
Ramp Down	20	15	10	8	8	10
Hot Start Cost	70	74	110	50	72	40
Cold Start Cost	176	187	113	267	180	113
Initial Status	-4	-3	-3	-3	-2	-2

Tabel 4.2 Daya Pembebanan selama 12 jam

Jam ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Beban (MW)	166,0	196,0	229,0	267,0	283,4	272,0	246,0	213,0	192,0	161,0	147,0	160,0