

**TESIS - TE142599** 

# SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE BINARY SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

TOTOK DEWANTORO 2212 201 004

DOSEN PEMBIMBING Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



**TESIS - TE142599** 

# SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT USING BINARY SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM METHODE

TOTOK DEWANTORO 2212 201 004

ADVISOR Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

# SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN METODE SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

Nama Mahasiswa : Totok Dewantoro NRP : 2212 201004

Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

2. Dr. Rony Seto WIbowo, ST, MT

#### **ABSTRAK**

Hasil unit commitment (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 minimun On/Off, batasan kemanan tegangan masing masing bus, dan batasan aliran tiap tiap cabang ikut diperhitungkan pada makalah ini. Untuk menyelesaikan permasalahan SCUC, sebuah binary self adaptive modified firefly algorithm (BSAMFA) 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 menunjukan bahwa total biaya dari SCUC lebih tinggi sebesar \$134,196 dibandingkan dengan UC. Akan tetapi hasil penjadwalan dengan SCUC ini memastikan bahwa sistem dapat melayani permintaan beban secara layak dan aman.

**Kata kunci:** Security Constraint Unit Commitment (SCUC), Self Adaptive Modified Firefly Algorithm (SAMFA)



#### SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT USING SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM METHODE

By : Totok Dewantoro Student Identity Number : 2212 201 004

Supervisor : 1. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

2. Dr. Rony Seto WIbowo, ST, MT

#### **ABSTRACT**

Results of unit commitment (UC) provides daily generation scheduling for power system operators. However, the schedule of UC does not guarantee that power will flow to the success of the generator to the load via the transmission network system. Therefore, the term security constrained unit commitment (SCUC) was introduced to define UC. The main objective of this paper is to determine the scheduling of generating units with a total minimum cost. Restriction limits the generation, such as the limitation load demand, spinning reserves, restrictions ramp up / down, limit the minimum On / Off, security limits the voltage of each bus, and limits the flow of each branch are taken into account in this paper. To solve the problems SCUC, a self-adaptive binary algorithm modified firefly (BSAMFA) is used for unit commitment problem and real coded firefly algorithm (RCFA) used to solve economic dispatch and optimal power flow. Proposed algorithm is tested on the IEEE 30 bus system with 6 thermal generators. Results showed that the total cost of SCUC higher at \$ 134.196 compared to UC. But the results of this SCUC ensure that the system could serve the load, feasible and safe.

Keywords: Security Constraint Unit Commitment (SCUC), Self Adaptive

Modified Firefly Algorithm (SAMFA)



#### **DAFTAR ISI**

HALAN	MAN JUDUL	
LEMBA	AR PENGESAHAN	i
ABSTR	AK	iii
ABSTR	ACT	V
KATA I	PENGANTAR	vii
DAFTA	R ISI	ix
DAFTA	R GAMBAR	xi
DAFTA	R TABEL	xiii
BAB 1	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Perumusan Masalah	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Tujuan dan Manfaat	3
1.5	Kontribusi Penelitian	3
	SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT DAN SELF IVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM	'
2.1	Security Constrained Unit Commitment (SCUC)	5
2.1.1	Batasan keseimbangan daya	6
2.1.2	Batasan cadangan berputar	6
2.1.3	Batasan kapasitas pembangkitan	6
2.1.4	Minimum ON/OFF	7
2.1.5	Batasan Ramp Rate	7
2.1.6	Batasan Keamanan	7
2.1.7	Inisial status unit	8
2.2	Self Adaptive Modified Firefly Algorithm (SAMFA)	8
2.2.1	Original Firefly Algorithm (FA)	8
2.2.2	Strategi Mutasi	10
2.2.3	Tuning $\alpha$ dan $\gamma$ Secara <i>Adaptive</i> dan Self- <i>Adaptive</i>	12
	IMPLEMENTASI SECURITY CONSTRAINED UNIT ITMENT MENGGUNAKAN SELF ADAPTIVE MODIFIED	
FIREF	LY FIREFLY	
3.1	Penyelesaian SCUC Menggunakan Metode SAMFA	18
3.2	Strategi perbaikan pada Binary SAMFA	19
3.2.1	Pemenuhan batasan cadangan berputar, batasan minimum On / minimum Off	19
3.2.2	Pembatasan Pergerakan Partikel SAMFA	20
3.3	Real Coded Firefly Algorithm	21
	Rous Coded I norty Mgorianni	41

#### BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA DATA

4.1	Data IEEE 30 Bus	23
4.2	Hasil Simulasi	23
4.2.1	Simulasi UC menggunakan PSO dan SAMFA	28
4.2.2	Simulasi UC menggunakan metode SAMFA	29
4.2.3	Simulasi SCUC kondisi normal	31
4.2.4	Simulasi SCUC kondisi kontingensi	33
4.3	Analisa hasil simulasi	35
BAB 5 PE	NUTUP	
5.1	Kesimpulan	37
5.2	Saran	37
DAFTAR	PUSTAKA	39
LAMPIRAN		41
BIOGRAFI PENULIS		

#### DAFTAR GAMBAR

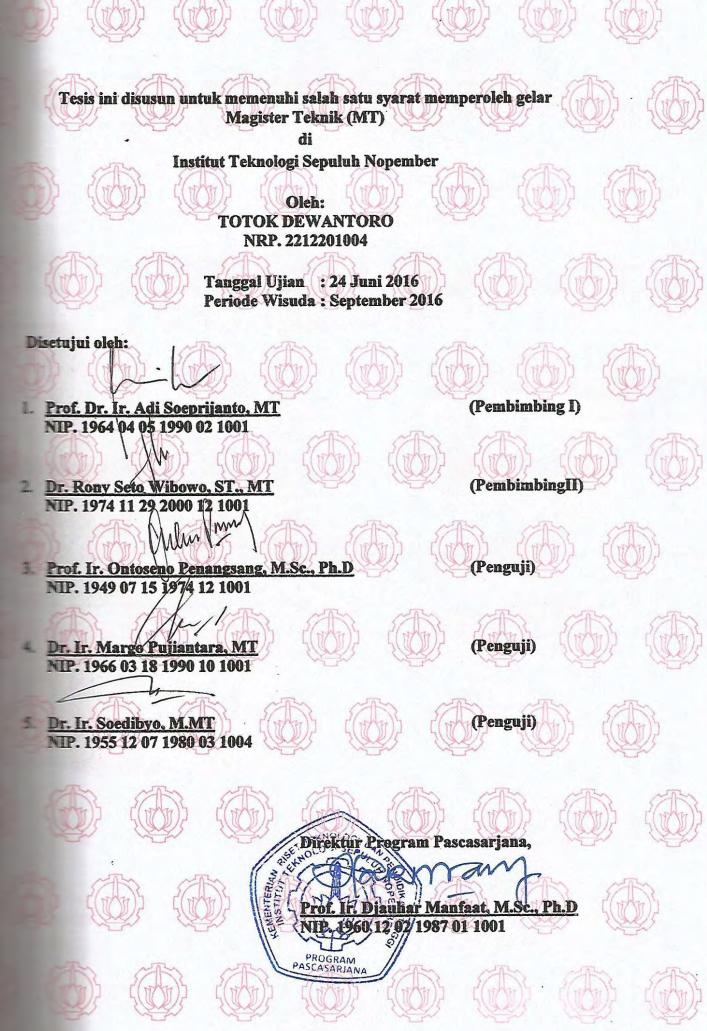
Gambar 2.1	Diagram alir (a) FA, (b) SAMFA	15
Gambar 3.1	Diagram alir metode SAMFA untuk SCUC	17
Gambar 4.1	Sistem Standar IEEE 30 bus	24
Gambar 4.2	Grafik permintaan beban daya aktif	27
Gambar 4.3	Grafik konvergensi Algoritma. Kiri (PSO) Kanan	29
	(SAMFA)	



#### **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1	Data Bus pada sistem IEEE 30 bus	24
Tabel 4.2	Data Saluran IEEE 30 Bus	25
Tabel 4.3	Data Generator	27
Tabel 4.4	Data Spesifikasi CPU	28
Tabel 4.5	Parameter SAMFA	28
Tabel 4.6	Parameter PSO	28
Tabel 4.7	Unit Commitment dengan SAMFA	29
Tabel 4.8	Pembangkitan daya aktif	30
Tabel 4.9	Total biaya pembangkitan	30
Tabel 4.10	Security Constrained Unit Commitment dengan SAMFA	31
Tabel 4.11	Pembangkitan daya aktif	31
Tabel 4.12	Total biaya pembangkitan	32
Tabel 4.13	Security Constrained Unit Commitment dengan SAMFA	33
Tabel 4.14	Pembangkitan daya aktif	33
Tabel 4.15	Total biaya pembangkitan	34
Tabel 4.16	Hasil Perbandingan	35





#### **BABI**

#### **PENDAHULUAN**

#### 1.1 Latar Belakang

Teknologi yang semakin berkembang saat ini mengakibatkan kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Kondisi ini harus mampu dilayani oleh pembangkit dengan biaya pembangkitan yang minimal. Oleh karena itu, pembangkit harus melakukan penjadwalan unit yang bekerja dengan tanpa mengurangi syarat pelayanan beban, tetapi dengan biaya yang minimal. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode unit commitment untuk melakukan penjadwalan pembangkit.

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. Telah 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 (Yosimura,1983). 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 metode *Dynamic Programming* (Allen, 1996). 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 (Nalan, 2010).

SCUC merupakan masalah optimisasi pada sistem tenaga yang besar. Dalam penyelesaiannya diperlukan suatu metode metaheuristik. *Firefly Algorithm* (FA). 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 (Yang, 2010). Pada penelitian ini FA digunakan sebagai metode utama untuk menyelesaikan masalah SCUC.

#### 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan-permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah:

- 1. Bagaimana meminimalkan fungsi biaya dari pembangkitan pada saat kondisi normal maupun ketika terjadi kontingensi.
- 2. Bagaimana menentukan pembangkit mana yang commit (ON) dan unit mana yang decommit (OFF).

#### 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ditetapkan beberapa batasan masalah, antara lain:

- 1. Simulasi *Security Constrained Unit Commitment* (SCUC) dilakukan menggunakan program MATLAB dengan sistem IEEE 30 Bus.
- 2. Metode yang digunakan adalah Self Adaptive Modified Firefly Algorithm (SAMFA).
- 3. Sebagai bahan perbandingan, untuk program utama metode SAMFA akan dibandingkan dengan metode lain yaitu *Particle Swam Optimization* (PSO)

#### 1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan-tujuan dalam penelitian ini adalah:

- 1. Melakukan simulasi SCUC menggunakan metode SAMFA
- 2. Mempelajari, menganalisa sistem kerja dan mengevaluasi efektifitas metode algoritma yang digunakan.
- 3. Mendapatkan biaya operasional seminimal mungkin dalam pembangkitan tanpa melanggar batasan batasan yang ada.

#### 1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa kontribusi, antara lain:

- 1. Memberikan metode yang lebih ringan, cepat, dan akurat dalam hal penjadwalan unit pembangkit yang ekonomis dan aman serta mendekati sistem real.
- 2. Menjadi referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.
- 3. Memberikan kontribusi kepada PLN sebagai metode alternatif untuk menghasilkan penjadwalan yang ekonomis.



#### BAB 2

### SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT DAN SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

#### 2.1. Security Constrained Unit Commitment (SCUC)

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

$$TCP = Min \sum_{t=1}^{NT} \sum_{i=1}^{NG} \left\{ F_i(P_{i,t}).I_{i,t} + SU_i^t.I_{i,t}.[1 - I_{i,t-1}] + SD_i^t.I_{i,t-1}.[1 - I_{i,t}] \right\}$$
(2.1)

Sedangkan  $F_i(P_{i,t})$  dirumuskan sebagai berikut:

$$F_i(P_{i,t}) = a_i + b_i \cdot P_{i,t} + c_i P_{i,t}^2$$
(2.2)

Keterangan parameter persamaan (2.1) dan persamaan (2.2):

TCP: total biaya produksi

NT : menunjukkan interval waktu dalam jam

NG : menunjukkan banyaknya generator yang akan dioptimisasi

 $F_i(P_{i,t})$ : fungsi biaya pembangkitan unit i, dengan  $P_{i,t}$  pada jam ke t

 $P_{i,t}$ : output generator i pada saat 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 : koefisien biaya start up unit

SD : koefisien biaya start down unit

a,b,c : koefisien biaya pembangkitan

TCP pada persamaan 2.1 menyatakan biaya total operasional untuk NG unit pembangkit selama NT dari jam beroperasi. Adanya persyaratan operasional, minimalisasi fungsi objektif diatas harus memenuhi batasan batasan berikut:

#### 2.1.1. Batasan keseimbangan daya

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

$$\sum_{i=1}^{NG} P_{i,t} = P_{D,t} + P_{Loss,t} t = 1,2, \dots NT$$
(2.3)

Keterangan parameter persamaan (2.3):

 $\sum P_i$ : merupakan jumlah daya pembangkitan

P<sub>D</sub>: merupakan daya beban total.

P<sub>Loss</sub> : merupakan rugi-rugi daya total

#### 2.1.2. Batasan cadangan berputar

Untuk operasi yang handal, sistem listrik harus mempertahankan kapasitas Megawatt tertentu sebagai cadangan berputar.

$$\sum_{i=1}^{NG} (P_{i,t} * I_{i,t}) \ge Load_t + SR_t \ t = 1,2,..NT$$
 (2.4)

Keterangan parameter persamaan (2.4):

 $\sum P_i$ : merupakan jumlah daya pembangkitanI

I<sub>i</sub> status On/Off unit i

Load : merupakan daya beban total.

SR : merupakan cadangan berputar

#### 2.1.3. Batasan kapasitas pembangkitan

Secara praktis output pembangkit dari generator tidak dapat ditentukan seketika tanpa batasan. Hal ini dikarenakan kemampuan teknik dari peralatan itu sendiri.

$$P_{i,min} \le P_{i,t} \le P_{i,max} \ i = 1,2,..NG$$
 (2.5)

Keterangan parameter persamaan (2.5):

P<sub>i.min.</sub> P<sub>i.max</sub> : menunjukkan minimum dan maksimum daya aktif pada generator.

#### 2.1.4. Minimum ON/OFF

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

$$X_i^{On}(t) \ge MU_i \tag{2.6}$$

$$X_i^{Off}(t) \ge MD_i \tag{2.7}$$

Keterangan parameter persamaan (2.6) dan persamaan (2.7):

 $MU_i$ : minimum nyala unit-i

MD<sub>i</sub> : minimum padam unit-i

 $X_i^{On}$ : lama durasi unit i menyala

X<sub>i</sub><sup>Off</sup> : lama durasi unit i padam

#### 2.1.5. Batasan Ramp Rate

Karena batasan fisik pada unit pembangkit termal, laju perubahan pembangkitan harus dibatasi dalam kisaran tertentu. Batas ini membatasi perubahan output dari unit pembangkit antara jam berdekatan. Untuk setiap unit, output dibatasi oleh *Ramp Up / Ramp Down* di setiap jam seperti persamaan yang diberikan di bawah ini.

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \le RU_i$$
 saat pembangkitan meningkat (2.8)

$$P_{i,t-1} - P_{i,t} \le RD_i$$
 saat pembangkitan menurun (2.9)

Keterangan parameter persamaan (2.8) dan persamaan (2.9):

RU<sub>i</sub> : ramp up unit i

RD<sub>i</sub>: ramp down unit i

#### 2.1.6. Batasan Keamanan

Batasan keamanan dapat dirumuskan seperti pertidaksamaan berikut :

$$V_{i,min} \le V_{i,t} \le V_{i,max} \ i = 1,2,...N_{bus}$$
 (2.10)

$$S_{i,min} \le S_{i,t} \le S_{i,max} \ i = 1,2,..nl$$
 (2.11)

Keterangan parameter persamaan (2.10) dan persamaan (2.11):

V<sub>i,min</sub>, V<sub>i,max</sub> : menunjukkan minimum dan maksimum tegangan pada tiap-tiap

bus.

S<sub>i.min</sub>, S<sub>i.max</sub> : menunjukkan maksimum dan minimum MVA yang mengalir

pada saluran.

#### 2.1.7. Inisial status unit

Inisial status unit pada awal periode penjadwalan harus diperhitungkan

#### 2.2. Self Adaptive Modified Firefly Algorithm (SAMFA)

#### **2.2.1.** Original Firefly Algorithm (FA)

Firefly Algorithm (FA) dibentuk dan dikembangkan oleh Dr.Xin-She Yang di Cambridge University pada tahun 2007. Firefly Algorithm merupakan Algoritma yang didasarkan pada kebiasaan dari kunang-kunang. Kunang-kunang pada umumnya menghasilkan sinar dalam durasi yang pendek dan memiliki ritme tertentu. Sinar dari kunang-kunang dihasilkan dari proses bioluminescence. Terdapat dua fungsi penting pada sinar kunang-kunang yaitu untuk menarik perhatian kunang-kunang yang lain (komunikasi), dan untuk bertahan dari serangan pemangsa. Fungsi tambahan lain pada sinar kunang-kunang sebagai mekanisme tanda peringatan bahaya. Ritme dari sinar dan durasi waktu penyinaran dari kunang-kunang merupakan bagian sinyal dari sistem kunang-kunang yang dibawa oleh kunang-kunang baik yang pejantan maupun betina.

Firefly Algorithm dibentuk dari beberapa karakteristik dari kebiasaan dan pola hidup kunang-kunang. Beberapa aturan yang diadopsi dan disintetis untuk membentuk Firefly Algorithm:

- Semua kunang-kunang bersifat *unisex* dimana kunang-kunang akan tertarik satu dengan yang lain tanpa menghiaraukan jenis kelamin.
- Daya pikat dari kunang-kunang bersifat proporsional, bergantung pada tingkat terang dari sinar yang dipancarkan. Daya pikat kunang-kunang akan semakin berkurang pada saat jarak semakin bertambah. Jika diantara kunang-kunang tidak ada yang bersinar lebih terang, kunang-kunang akan bergerak dengan random.
- Terang yang ditimbulkan kunang-kunang dipengaruhi/ditentukan oleh susunan dari *objective function*. Untuk memaksimalkan permasalahan, tingkat

terang bisa disederhanakan dengan harga proporsional dari nilai *fitness* dari fungsiobyektif.

Firefly Algorithm merupakan suatu meta-heuristic algoritma optimisasi berbasis pada populasi yang terinpirasi 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. Pada penyelesaian masalah minimalisasi, kunang-kunang dengan fungsi objektif paling rendah memiliki intensitas cahaya yang paling 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 (2.12)

$$P_{G,m}^k = [P_1^k, P_2^k, \cdots, P_m^k] m = 1, \cdots, N_{\text{firefly}}$$
 (2.12)

Setiap elemen dari kunang-kunang ke-m memodifikasi posisinya ke posisi saat ini, jarak *Cartesian* atau *Euclidean* dari  $P_m^k$  untuk masing-masing elemen dari kunang-kunang ke-n yang paling cerah dan digerakkan secara acak. Modifikasi posisi dihitung berdasarkan persamaan (2.13).

$$P_{m}^{k} = \begin{cases} if G(P_{n}^{k}) < G(P_{m}^{k}) \\ P_{m}^{k} + \beta^{k} (P_{n}^{k} - P_{m}^{k}) + \alpha^{k} | P_{max} - P_{min}| \left(rand - \frac{1}{2}\right) \\ else \\ P_{m}^{k} \end{cases}$$

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

$$(2.13)$$

Fungsi atraktif  $\beta^k$  dirumuskan melalui persamaan (2.14).

$$\beta^k = (\beta_{max})e^{-\gamma(r_{mn}^k)^2} \tag{2.14}$$

Untuk menghasilkan perbaikan nilai  $\beta^k$  dengan konvergensi algoritma yang paling cepat dan keluar dari *local* optima  $\beta^k$  dapat ditulis dalam persamaan (2.15).

$$\beta^{k} = (\beta_{max} - \beta_{min})e^{-\gamma(r_{mn}^{k})^{2}} + \beta_{min}$$
(2.15)

$$r_{mn}^{k} = \|P_{n}^{k} - P_{m}^{k}\|$$

$$r_{mn}^{k} = \sqrt{\sum_{i=1}^{NG} (P_{n,i}^{k} - P_{m,i}^{k})^{2}}$$
(2.16)

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

Perbandingan dengan algoritma evolusioner yang lain, FA memiliki banyak keuntungan untuk digunakan dalam penyelesaian masalah optimisasi nonlinier yang kompleks, seperti masalah *dynamic economic dispatch*. Beberapa keuntungan dari algoritma ini adalah konsep yang sederhana, mudah diimplementasikan, mekanisme stabilitas yang lebih tinggi, dan tidak membutuhkan usaha yang besar untuk eksekusinya. Berdasarkan hubungan tersebut, terkadang konevergensinya tidak cocok karena kunang-kunang terjebak di *local* optimum, atau proses yang lambat dalam pencarian konvergensi algoritma tersebut. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, pada sub bab ini dijelaskan 2 modifikasi utama yang menjelaskan *Self Adaptive Modified Firefly Algorithm* (SAMFA).

#### 2.2.2. Strategi Mutasi

Untuk meningkatkan performa dari FA yang asli dan agar keluar dari *local* optima, terciptalah strategi mutasi yang baru. Di setiap tahap dari masing-masing penyelesaian yang ada, 4 faktor  $q_1,q_2,q_3$ , dan  $q_4$  terpilih secara acak dari populasi yang ada untuk mencakup algoritma pada area tersebut dengan seksama. Akan tetapi untuk ke-empat vektor yang telah disebutkan tadi memiliki ketentuan  $q_1 \neq q_2 \neq q_3 \neq q_4 \neq m$  membentuk suatu mutasi individu  $P_{G,m,\text{mut}}^k$  yang dihasilkan dari persamaan (2.17)

$$P_{G,m,\text{mut}}^{k} = P_{G,q_{1},\text{firefly}}^{k} + \begin{pmatrix} rand1(.)(1-rand2(.)) \begin{pmatrix} P_{G,q_{2},\text{firefly}}^{k} \\ -P_{G,q_{3},\text{firefly}}^{k} \end{pmatrix} \\ + rand3(.)(1-rand4(.)) \begin{pmatrix} best^{k} - P_{G,q_{3},\text{firefly}}^{k} \end{pmatrix} \end{pmatrix}$$

$$(2.17)$$

Kemudian vektor mutasi digabungkan dengan  $P_{G,m,\text{firefly}}^k$  yang menghasilkan  $P_{G,m,\text{new}}^k$  yang dirumuskan melalui persamaan (2.18) sampai (2.21).

$$P_{G,m,mut}^{k} = \left[ P_{1,mut}^{k}, P_{2,mut}^{k}, \cdots, P_{N_{firefly},mut}^{k} \right]$$
 (2.18)

$$P_{G,m,new}^k = \left[ P_{1,new}^k, P_{2,new}^k, \cdots, P_{N_{firefly},new}^k \right]$$
(2.19)

$$P_{m,new}^{k} = \left[ P_{1,new}^{k}, P_{2,new}^{k}, \cdots, P_{NG,new}^{k} \right]$$

$$m = 1, \cdots, N_{firefly}$$
(2.20)

$$P_{m,i,new}^{k} = \begin{cases} P_{m,i,new}^{k}, & if(rand5(.) \leq rand6(.)) \\ P_{m,i,firefly}^{k} & else \end{cases}$$

$$m = 1, \dots, N_{firefly} \quad i = 1, \dots, NG$$
(2.21)

Penyelesaian baru akan menggantikan solusi yang asli berdasarkan fungsi fitnessnya melalui (2.22)

$$P_{m,firefly}^{k} = \begin{cases} P_{m,new}^{k}, & if\left(G\left(P_{m,new}^{k}\right) \leq G\left(P_{m,firefly}^{k}\right)\right) \\ P_{m,firefly}^{k} & else \end{cases}$$

$$m = 1, \dots, N_{firefly}$$
(2.22)

Hasil akhir dari keluaran iterasi ke-*k* akan dijadikan masukan pada iterasi selanjutnya.

Dapat dikatakan bahwa kriteria pemilihan strategi mutasi ini memiliki perbedaan karakteristik yang mencakup kondisi yang berbeda. Hal ini akan memperbaiki penyelesaian dalam skala besar dan kenaikan perbedaan populasi, selain itu juga akan meningkatkan kemampuan pencarian secara global dan local. best<sup>k</sup> digunakan sebagai pemicu untuk memandu perpindahan informasi di antara kunang-kunang yang ada dengan cara yang lebih baik. Akan tetapi, penggabungan

yang terlalu cepat mungkin dapat terjadi dalam penyelesaian *local* optima yang sangat besar. Dengan begitu, penggunaan tipe ini pada penghasil fungsi acak dan pemilihan empat kunang-kunang untuk operasi mutasi pada metode SAMFA akan menghasilkan kecepatan tinggi dan tehindar dari terjebak pada *local* optima pada permasalahan yang lebih kompleks (Taher, 2012).

#### 2.2.3. Tuning $\alpha$ dan $\gamma$ Secara Adaptive dan Self-Adaptive

Terdapat tiga parameter yang digunakan untuk menghasilkan performa FA yang lebih baik. Faktor perpindahan acak ( $\alpha$ ) mengatur dampak gerakan acak dari penyelesaian yang ada dan biasanya dipilih range [0, 1]. Koefisien ini sangat efektif untuk meningkatkan performa FA. Nilai α yang besar akan membuat perpindahan untuk mengeksplorasi solusi yang ada melalui jarak dari tempat yang dicari. Sedangkan nilai  $\alpha$  yang lebih kecil akan memudahkan pencarian local. Koefisien absorpsi (γ) mengatur pengurangan intensitas cahaya dan biasanya dimulai dari 1. D engan begitu, perubahan parameter FA ini akan mengubah efektifitas dari algoritma dan pemilihan parameter-parameter ini akan berdampak besar pada performansi dari FA. Pemilihan parameter adaptive dan self-adaptive direpresentasikan untuk memodifikasi nilai parameter yang ada untuk performa algoritma yang lebih baik. Pada prosedur pengaturan adaptive, percobaan dalam sekian kali running algoritma menyebabkan sebuah fungsi heuristic yang dinamik berubah setiap iterasinya. Misal, inertia weight factor PSO yang berkurang sejalannya waktu. Sedangkan dalam pengaturan self-adaptive, parameterparameter algoritma dikombinasikan dengan demonstrasi dari masing-masing individu dan dipasang sesuai dengan penyelesaian proses optimisasi. Dalam penelitian ini, penambahan pemilihan adaptive  $\alpha^k$ , koefisien absorpsi  $\gamma$  diatur secara self-adaptive untuk meningkatkan efektifitas dari pendekatan metode.  $\alpha^k$ dipasang secara dinamis pada setiap iterasi menggunakan persamaan (2.23)

$$\alpha^{k+1} = \left(\frac{1}{2k_{max}}\right)^{1/k_{max}} \alpha^k \tag{2.23}$$

Dalam penelitian ini,  $\gamma$  tidak diset dengan nilai konstan seperti original FA. sebagai gantinya,  $\gamma$  digabungkan dalam masalah minimalisasi seperti penjelasan di bawah ini.

Setiap posisi kunang-kunang akan diterima untuk dipasangkan dengan parameternya sendiri melalui prosedur *self-adaptive* dengan menerapkan proses yang sama dengan yang digunakan dalam FA, seperti yang ditunjukkan oleh persaaan (2.12). Variabel baru ini dihubungkan dengan vektor unit pembangkit dengan posisi  $P_m^k$ . Vektor posisi yang baru untuk elemen ini akan dirumuskan pada persamaan (2.24)

$$P_m^{k, self-adaptive} = \begin{bmatrix} P_{m,1}^k & P_{m,2}^k & \cdots & P_{m,NG}^k & \gamma_{m,NG+1}^k \end{bmatrix}$$

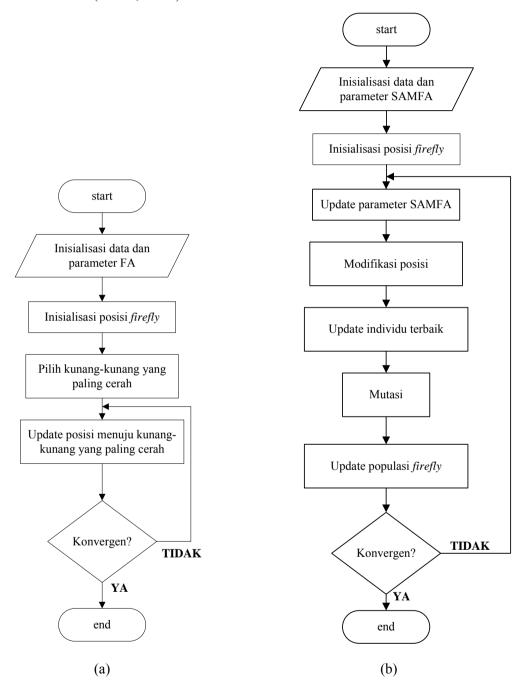
$$m = 1, \cdots, N_{firefly}$$
(2.24)

Hal ini seharusnya ditunjukkan bahwa variabel yang baru tidak dimasukkan ke dalam penjumlahan tingkat kecerahan pada masing-masing kunang-kunang, tetapi dipasang secara *self-adaptive* untuk meningkatkan perubahan karakteristik dari kunang-kunang dalam masalah pencarian posisi dan mengurangi resiko terjebak dalam *local minima*. Selain itu, dalam persamaan (2.24) dirumuskan berdasarkan peningkatan dimensi masing-masing elemen seperti ditunjukkan dalam persamaan (2.25).

$$P_{m,firefly}^{k,self-adaptive} = \begin{cases} if G(P_{n,firefly}^{k}) < G(P_{m,firefly}^{k}) \\ P_{m,firefly}^{k,self-adaptive} \\ + \beta^{k} \left( P_{n,firefly}^{k,self-adaptive} - P_{m,firefly}^{k,self-adaptive} \right) + \\ \alpha^{k} \left| P_{max,self-adaptive} - P_{min,self-adaptive} \right| \\ \left( rand_{1 \times NG+1}(.) - \frac{1}{2} \right) \\ else \\ P_{m,firefly}^{k,self-adaptive} \\ m = 1, \dots, N_{firefly} \quad n = 1, \dots, N_{firefly} \end{cases}$$

$$(2.25)$$

Dari penjelasan pada sub bab 2.2.2 dan 2.2.3 di atas, FA akan dimodifikasi sedemikian rupa hingga membentuk algoritma baru dengan nama SAMFA. Diagram alir dari *original* FA dan SAMFA ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 2.1 (Taher, 2012).

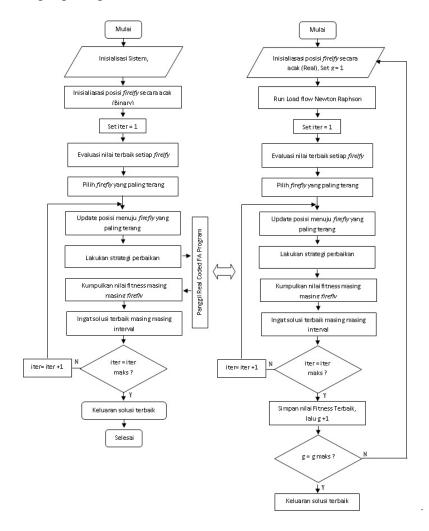


Gambar 2.1. Diagram alir (a) FA, (b) SAMFA



## IMPLEMENTASI SECURITY CONSTRAINED UNIT COMMITMENT MENGGUNAKAN SELF ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY FIREFLY

Pada bab ini akan dijelaskan Algoritma *Binary Self Adaptive Modified Firefly Algorithm* (BSAMFA) sebagai metode yang akan digunakan pada program utama dalam menyelesaikan penjadwalan UC. Binary SAMFA akan menentukan kombinasi nyala-mati unit pembangkit dalam beberapa rentang waktu tertentu untuk memenuhi permintaan beban dan untuk menentukan biaya pembangkitan *optimal power flow* menggunakan *Firefly Algorithm* yang merupakan subprogram *unit commitment*. Langkah-langkah yang disajikan dalam tesis ini terdapat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir metode SAMFA untuk SCUC

#### 3.1. Penyelesaian SCUC Menggunakan Metode SAMFA

Metode SAMFA merupakan modifikasi dari FA seperti yang telah dijelaskan pada bab 2. Secara umum proses penyelesaian menggunakan metode ini pun hampir sama dengan metode FA. Pembeda metode ini dengan metode FA adalah adanya strategi mutasi yang bertujuan agar nilai kovergensi dari algoritma ini tidak terjebak dalam lokal optimum.

Proses awal penyelesaian *SCUC* menggunakan metode SAMFA dilakukan dengan inisialisasi parameter SAMFA dan data-data sistem yang digunakan, meliputi : profil pembebanan, busdata, linedata, data karakteristik generator, fungsi biaya, dan *constraints*. Proses selanjutnya dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Inisialisasi posisi firefly

Inisialisasi posisi firefly dibuat secara acak  $n_s=[x_1;x_2;...x_n]$  sebanyak n solusi. Masing – masing solusi x merepresentasikan jumlah pembangkit. Posisi firefly harus dibatasi sesuai pergerakan yang diterangkan pada sub bab 3.2.2. Data yang diperoleh dari proses random ini, dijadikan inisialisasi pada proses *optimal power flow* (OPF).

#### 2. Evaluasi nilai fitness

Hasil yang diperoleh dari proses langkah 1 selanjutnya digunakan untuk menentukan posisi terbaik atau kombinasi unit pembangkitan terbaik berdasarkan nilai *fitness* yang paling rendah setelah ditambakan biaya start up atau start down.

#### 3. Modifikasi posisi firefly

Sebuah firefly akan mengasilkan sebuah modifikasi posisi berdasarkan tingkat kecerahan terhadap firefly yang lain. Nilai ini perlu dievaluasi kembali terhadap pergerakan posisi firefly. Apabila pergerakan posisi firefly telah disesuaikan, lanjutkan tuning factor perpindahan  $\alpha$  dan koefisien absorbs  $\gamma$ .

#### 4. Strategi mutasi

Proses strategi mutasi dilakukan dengan langkah-langkah yang dijelaskan pada bab 2. P opulasi baru yang diperoleh merupakan kombinasi Unit komitment baru.

#### 5. Strategi perbaikan *constrains*

Setiap kali posisi firefly dimodifikasi, cek batasan cadangan berputar dan batasan minimum On/Off. Apabila ada pelanggaran terhadap batasan ini, maka dilakukan proses strategi perbaikan seperti yang dijelaskan pada sub bab 3.2. Jika tidak, lanjutkan ke langkah berikutnya.

6. Panggil program real coded firefly algorithm (RCFA).

Algoritma real coded firefly algorithm dijelaskan pada bagian sub bab 3.3.

#### 7. Evaluasi fungsi fitness

Evaluasi nilai fitness dari masing masing posisi firefly berdasarkan tingkat kecerahan firefly. Fungsi fitness dilihat dari sisi biaya yang dihasilkan proses OPF ditambah biaya start up atau start down. Firefly dengan hasil biaya termurah adalah yang memiliki tingkat kecerahan paling tinggi.

- 8. Simpan solusi terbaik yang dicapai hingga saat ini.
- 9. Hentikan proses dan tampilkan hasil jika semua kriteria terpenuhi. Kriteria untuk berhenti pada algoritma ini adalah ketika maksimum iterasi dicapai. Jika tidak, kembali ke langkah 3.

#### 3.2. Strategi perbaikan pada Binary SAMFA

## 3.2.1. Pemenuhan batasan cadangan berputar, batasan minimum On / minimum Off

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.

- 1. Jika cadangan berputar terpenuhi. Lanjutkan ke langkah 3. Jika tidak, lanjutkan ke langkah berikutnya.
- 2. Lakukan Pinalti Faktor, dengan memberikan nilai biaya yang tinggi.

- 3. Cek batasan minimum on/off pada masing masing unit. Jika ada pelanggaran pada batasan minimum On atau minimum Off, maka skema perbaikan dilakukan untuk mengatasi pelanggaran ini. Cara yang digunakan pada tesis ini cukup sederhana, hanya dengan memaksa nilai logika setiap kali batasan MU atau MD dilanggar. (Ting & Rao, 2006).
- 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.

#### 3.2.2. Pembatasan Pergerakan Partikel SAMFA

Pada permasalahan UC, angka 0 dan 1 digunakan untuk mengidikasi bahwa status unit ON/OFF. Sedangkan algoritma FA yang digunakan pada dasarnya adalah sebuah algoritma bilangan real. Oleh karena itu, beberapa m odifikasi diperlukan untuk menangani masalah optimasi kode-biner. Dalam *Binary Firefly Algorithm* (BSAMFA) yang diusulkan, nilai  $P_{G,m}^k$  pada persamaan (2.12) 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 meningkatkan performansi dari FA, sebuah fungsi sigmoid akan digunakan pada tesis ini.

$$f(P_m^k) = \frac{1}{1 + \exp[P_m^k]} \tag{3.1}$$

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 pergerakan partikel seperti yang dijelaskan diatas.

#### 3.3. Real Coded Firefly Algorithm

Metode *Real Coded Firefly Algorithm* merupakan subproblem dari *unit commitment*, Proses awal penyelesaiannya dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Inisialisasi posisi firefly

Inisialisasi posisi firefly dibuat secara acak  $R=[g_1;g_2;...g_n]$  sebanyak n solusi. Masing — masing solusi g merepresentasikan jumlah pembangkit yang akan dioptimasi. Perlu dicatat bahwa nilai riil akan diinisialisasi hanya untuk unit pembangkit yang memiliki status ON diperoleh dari Binary SAMFA. Nilai acak dari daya pembangkitan harus tetap memperhatikan *constraints* yang ada. Jika  $P_i > P_i$ ,maks maka  $P_i = P_{i,min}$  Jika  $P_i < P_{i,min}$  maka  $P_i = P_{i,min}$ 

#### 2. Jalankan load flow Newton Raphson

Daya yang diperoleh dari proses random ini, kemudian dijadikan inisialisasi daya pembangkitan pada proses *power flow*. Setelah *running power flow* dinyatakan konvergen, daya pembangkitan pada *slack bus* perlu dikoreksi kembali, apakah masih tetap dalam *constrains* yang diijinkan ataukah tidak. Bila melanggar *constraints*, maka daya pembangkitan yang lain akan dikurangi atau ditambah sampai daya pada *slack bus* tidak lagi melanggar *constraints*. Dilanjutkan dengan pengecekan batasan keamanan tegangan masing – masing bus dan batasan *lineflow* masing masing cabang. Setelah semua batasan terpenuhi, lanjut ke langkah berikutnya. Jika tidak, maka dilakukan pinalti faktor dengan memberikan nilai yang tinggi pada fungsi biaya.

#### 3. Evaluasi nilai fitness

Hasil yang diperoleh dari proses langka 2 selanjutnya digunakan untuk menentukan posisi terbaik atau kombinasi daya pembangkitan terbaik berdasarkan nilai *fitness* yang paling rendah dengan semua batasan terpenuhi.

#### 4. Modifikasi posisi firefly

Dalam hal ini, kombinasi daya pembangkitan akan di-*update* menuju nilai kombinasi yang memiliki nilai *fitness* yang paling rendah. Setiap *update* 

posisi dilakukan *running power flow* dan pengecekan *constraint*. Lanjutkan *tuning* factor perpindahan  $\alpha$  dan koefisien absorbs  $\gamma$ .

#### 5. Evaluasi fungsi fitness

Fungsi fitness dilihat dari sisi biaya yang dihasilkan. Firefly dengan hasil biaya termurah dan memenuhi syaratlah yang memiliki tingkat kecerahan paling tinggi.

- 6. Ingat solusi terbaik yang dicapai hingga saat ini.
- 7. Ulangi langkah 4-6 hingga maksimum iterasi tercapai.
- 8. Simpan solusi terbaik yang dicapai. Kemudian lakukan untuk calon solusi berikutnya g + 1
- 9. Hentikan proses dan kembali ke program utama jika semua langkah telah dilakukan. Kriteria untuk berhenti pada algoritma ini adalah ketika maksimum iterasi dicapai dan semua calon solusi sudah dikerjakan.

#### **BAB 4**

#### HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

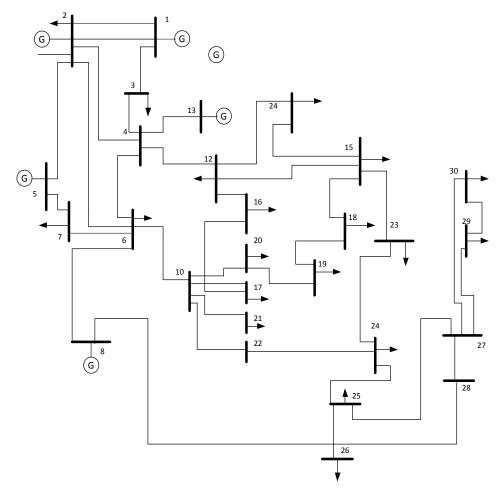
Pada bab ini akan dibahas tentang simulasi security constrained unit commitment (SCUC). Metode utama yang digunakan adalah algoritma kunang kunang (Self Adaptive Modified Firefly Algorithm). Metode lain yang digunakan sebagai pembanding pada tesis ini adalah Particle Swarm Optimization (PSO). Perbandingan ini digunakan untuk mengetahui efektifitas dari algoritma usulan dan hanya dilakukan pada program utama unit commitment (UC). Hasil perhitungan total biaya pembangkitan merupakan biaya paling ekonomis dengan semua batasan terpenuhi.

Simulasi yang dikerjakan pada penelitian ini:

- 1. Simulasi UC menggunakan metode SAMFA dan PSO yang bertujuan untuk mengetahui efektifitas dari algoritma yang diusulkan.
- 2. Simulasi UC menggunakan metode SAMFA
- 3. Simulasi SCUC menggunakan metode SAMFA pada kondisi normal
- 4. Simulasi SCUC menggunakan metode SAMFA pada kondisi kontigensi

#### 4.1. Data IEEE 30 Bus

Dalam tesis ini digunakan sistem standar IEEE 30 bus. Sistem ini terdiri dari 6 unit pembangkit yang berada pada bus 1, bus 2, bus 5, bus 8, bus 11 dan bus 13 seperti yang ditunjukkan pada 4.1. Tabel 4.1 menyajikan data sistem standar IEEE 30 bus. Data ini biasa dikenal dengan bus data. Bus data terdiri dari slack atau swing bus, bus beban atau load bus yang sudah diatur daya aktif dan reaktifnya sesuai dengan permintaan beban dan bus generator dimana daya aktif yang dioptimisasi untuk mencari biaya pembangkitan termurah. Sedangkan data saluran IEEE 30 bus beserta MVA rating ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.1 Sistem Standar IEEE 30 bus

Tabel 4.1 Data Bus pada sistem IEEE 30 bus

Bus No	Bus Code	Voltage Magnitude	Angle Degree	Load		Generator				Static Mvar
				MW	MVar	MW	MVar	Qmin	Qmax	+ Qc /-Q1
1	1	1,06	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1,043	0	21,7	12,7	40	0	-40	50	0
3	0	1	0	2,4	1,2	0	0	0	0	0
4	0	1,06	0	7,6	1,6	0	0	0	0	0
5	2	1,01	0	94,2	19	0	0	-40	40	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	22,8	10,9	0	0	0	0	0
8	2	1,01	0	30	30	0	0	-30	40	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0	5,8	2	0	0	-6	24	0
11	2	1,082	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	0	11,2	7,5	0	0	0	0	0

Lanjutan Tabel 4.1 Data Bus pada sistem IEEE 30 bus

Bus No	Bus Code	Voltage Mag	Angle Degree	Load			Generator			Static Mvar
110	Couc	111119	Degree	MW	MVar	MW	MVar	Qmin	Qmax	+ Qc /-Q1
13	2	1,071	0	0	0	0	0	-6	24	0
14	0	1	0	6,2	1,6	0	0	0	0	0
15	0	1	0	8,2	2,5	0	0	0	0	0
16	0	1	0	3,5	1,8	0	0	0	0	0
17	0	1	0	9	5,8	0	0	0	0	0
18	0	1	0	3,2	0,9	0	0	0	0	0
19	0	1	0	9,5	3,4	0	0	0	0	0
20	0	1	0	2,2	0,7	0	0	0	0	0
21	0	1	0	17,5	11,2	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	3,2	1,6	0	0	0	0	0
24	0	1	0	8,7	6,7	0	0	0	0	0
25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	3,5	2,3	0	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	0	2,4	0,9	0	0	0	0	0
30	0	1	0	10,6	1,9	0	0	0	0	0

Tabel 4.2 : Data Saluran IEEE 30 Bus

Line	Bı	us	Line In	npedance	Half Line Charging		
No	From	То	Resistance (p.u)	Reactance (p.u)	Susceptance (p.u)	MVA Rating	
1	1	2	0,0192	0,0575	0,0264	130	
2	1	3	0,0452	0,1852	0,0204	130	
3	2	4	0,057	0,1737	0,0184	65	
4	3	4	0,0132	0,0379	0,0042	130	
5	2	5	0,0472	0,1983	0,0209	130	
6	2	6	0,0581	0,1763	0,0187	65	
7	4	6	0,0119	0,0414	0,0045	90	
8	5	7	0,046	0,116	0,0102	70	
9	6	7	0,0267	0,082	0,0085	130	
10	6	8	0,012	0,042	0,0045	32	
11	6	9	0	0,208	0,97	65	
12	6	10	0	0,556	0,96	32	

Lanjutan Tabel 4.2 : Data Saluran IEEE 30 Bus

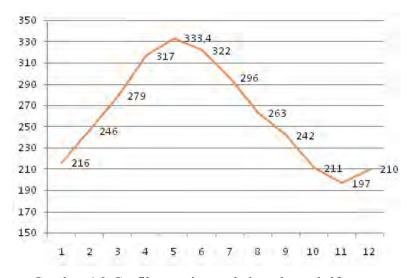
Line	Bı	ıs	Line I	mpedance	Half Line Charging	
No	From	To	Resistance (p.u)	Reactance (p.u)	Susceptance (p.u)	MVA Rating
13	9	11	0	0,208	0	65
14	9	10	0	0,11	0	65
15	4	12	0	0,256	0,93	65
16	12	13	0	0,14	0	65
17	12	14	0,1231	0,2559	0	32
18	12	15	0,0662	0,1304	0	32
19	12	16	0,0945	0,1987	0	16
20	14	15	0,221	0,1997	0	16
21	16	17	0,0824	0,1923	0	16
22	15	18	0,1073	0,2185	0	16
23	18	19	0,0639	0,1292	0	16
24	19	20	0,034	0,068	0	16
25	10	20	0,0936	0,209	0	32
26	10	17	0,0324	0,0845	0	32
27	10	21	0,0348	0,0749	0	32
28	10	22	0,0727	0,1499	0	32
29	21	22	0,0116	0,0236	0	32
30	15	23	0,1	0,202	0	16
31	22	24	0,115	0,179	0	16
32	23	24	0,132	0,27	0	16
33	24	25	0,1885	0,3292	0	16
34	25	26	0,2544	0,38	0	16
35	25	27	0,1093	0,2087	0	16
36	28	27	0	0,396	0,96	65
37	27	29	0,2198	0,4153	0	16
38	27	30	0,3202	0,6027	0	16
39	29	30	0,2399	0,4533	0	26
40	8	28	0,0636	0,2	0,0214	32
41	6	28	0,0169	0,0599	0,065	32

Batasan kemampuan pembangkitan daya aktif, fungsi biaya dan batasan yang lain dari masing-masing pembangkit ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Generator

			Uı	nit		
	1	2	3	4	5	6
a (\$/h)	0,00375	0,01750	0,06250	0,00834	0,02500	0,02500
b (\$/MWh)	2,0	1,75	1,0	3,25	3	3
c (\$/MWh <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
Pmin (MW)	50	20	15	10	10	12
Pmax (MW)	200	80	50	35	30	40
Qmin (MVAR)	-	-20	-15	-15	-10	-15
Qmax (MVAR)	-	100	80	60	50	60
MU (h)	4	2	2	2	2	2
MD (h)	4	3	2	2	2	2
RU (MW/ h)	15	10	6	4	4	5
RD (MW/h)	20	15	10	8	8	10
Shut Down Cost (\$)	50	60	30	85	52	30
Hot start Cost (\$)	70	74	110	50	72	40
Cold start Cost (\$)	176	187	113	267	180	113
Initial state (h)	-4	-3	-3	-3	-2	-2

Simulasi dilakukan selama 12 jam periode perubahan beban sesuai data IEEE 30 Bus, untuk data permintaan beban daya aktif sendiri ditunjukan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik permintaan beban daya aktif

Dalam melakukan simulasi, komputer yang digunakan memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 4.4 sebagai berikut

Tabel 4.4 Data Spesifikasi CPU

No	Parameter	Specifikasi CPU
1	Processor	Intel ® Core i5
2	Speed Processing	2,4 GHz
3	Installed Memory (RAM)	4,00 GB
4	System type	Windows 7 64-bit

### 4.2. Hasil Simulasi

# **4.2.1** Simulasi UC menggunakan PSO dan SAMFA

Parameter yang digunakan untuk mengimplementasikan SAMFA dan PSO dalam menyelesaikan masalah UC ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Parameter SAMFA

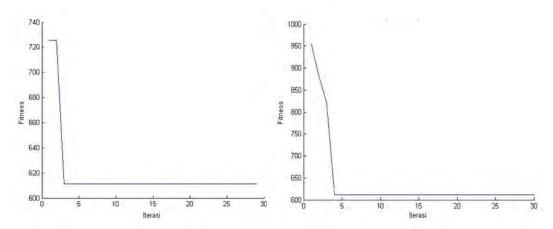
Jumlah Partikel	Max. Iterasi	Alpha	Gamma	Betamin
30	30	0,9	1	0,2

Tabel 4.6 Parameter PSO

No	Parameter	Nilai
1	Partikel	30
2	Max iterasi	30
3	Accel 1, Accel 2	1,2
4	W_min	0,4
5	W_max	0,9

Parameter-parameter pada tabel 4.5 digunakan secara konsisten dalam keseluruhan simulasi SCUC. Jumlah partikel menyatakan jumlah penyimpan solusi. Jumlah iterasi merupakan jumlah total evaluasi fungsi secara keseluruhan. Alpha merupakan konstanta yang menyatakan kemampuan intensitas cahaya masing-masing firefly. Pada simulasi SCUC, alpha diatur pada nilai 0,9. Nilai alpha ini didapatkan berdasarkan test statistik.

Simulasi dilakukan untuk beban sebesar 166 MW. Hasil penjadwalan *unit commitment* (UC) dari kedua algoritma menunjukan sama, namun dalam konvergensi PSO lebih unggul dibandingkan metode SAMFA. Grafik konvergensi antara kedua metode dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik konvergensi Algoritma. Kiri (PSO) Kanan (SAMFA)

## 4.2.2. Simulasi UC menggunakan metode SAMFA

## 4.2.2.1 Hasil UC menggunakan SAMFA

Hasil penjadwalan UC pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Unit Commitment dengan SAMFA

Jam Ke			Uı	nit		
Jaili Ke	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1

# 4.2.2.2 Hasil Pembangkitan Daya Aktif

Pada tabel 4.8 menunjukan daya aktif yang dibangkitkan oleh setiap unit.

Tabel 4.8 Pembangkitan daya aktif

1 4001 1.0	Tomoune	Siritair at	ija antin			
Jam Ke			Unit (1	MW)		
Jaili Ke	1	2	3	4	5	6
1	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00
2	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00
3	120,00	57,95	34,59	22,43	22,00	28,90
4	135,00	65,31	40,25	26,40	26,00	33,88
5	134,55	67,90	41,61	30,40	30,00	38,09
6	132,71	67,35	39,94	34,40	30,00	35,83
7	120,00	61,00	37,50	26,17	23,55	34,17
8	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,17
9	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00
10	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00
11	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00
12	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00

## 4.2.2.3 Total Biaya Pembangkitan

Pada tabel 4.9 menunjukan biaya pembangkitan unit pembangkit selama 12 jam tanpa ada biaya penyalaan karena semua unit dalam kondisi awal menyala.

Tabel 4.9 Total biaya pembangkitan

Jam		В	Biaya (\$)	
Ke	Operasi	Penyalaan	Pemadaman	Pembangkitan
1	593,0614	0	0	593,0614
2	593,0438	0	0	593,0438
3	649,6494	0	0	649,6494
4	753,5584	0	0	753,5584
5	789,0575	0	0	789,0575
6	782,1244	0	0	782,1244
7	687,0204	0	0	687,0204
8	593,4145	0	0	593,4145
9	593,0614	0	0	593,0614
10	593,0614	0	0	593,0614
11	593,0614	0	0	593,0614

Lanjutan Tabel 4.9 Total biaya pembangkitan

Ī	Jam						
	Ke	Operasi	Pembangkitan				
Ī	12	593,0614	593,0614 0 0				
Ī	1	7813,1750					

### 4.2.3. Simulasi SCUC kondisi normal

## 4.2.3.1 Hasil SCUC menggunakan SAMFA

Hasil penjadwalan SCUC pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Security Constrained Unit Commitment dengan SAMFA

Jam Ke			Uı	nit		
Jaili Ke	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1

## 4.2.3.2 Hasil Pembangkitan Daya Aktif

Pada tabel 4.11 menunjukan daya aktif yang dibangkitkan oleh setiap unit.

Tabel 4.11 Pembangkitan daya aktif

	Unit (MW)								
Jam Ke	1	2	3	4	5	6			
1	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
2	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
3	129,79	58,00	33,86	24,92	20,86	26,28			
4	132,95	68,00	39,86	28,92	24,86	31,28			

Lanjutan Tabel 4.11 Pembangkitan daya aktif

	Unit (MW)									
Jam Ke	1	2	3	4	5	6				
5	139,95	75,35	43,35	32,07	28,86	33,64				
6	143,10	74,27	40,82	34,99	29,64	35,04				
7	120,00	69,18	38,44	27,00	22,42	32,57				
8	120,00	54,20	30,00	21,00	18,00	24,00				
9	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00				
10	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00				
11	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00				
12	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00				

# 4.2.2.3 Total Biaya Pembangkitan

Pada tabel 4.12 menunjukan biaya pembangkitan unit pembangkit selama 12 jam. Pada simulasi ini juga tidak terdapat biaya penyalaan karena semua unit dalam kondisi awal menyala.

Tabel 4.12 Total biaya pembangkitan

	Biaya (\$)								
Jam Ke	Operasi	Penyalaan	Pemadaman	Pembangkitan					
1	593,0614	0	0	593,0614					
2	593,0438	0	0	593,0438					
3	674,0547	0	0	674,0547					
4	750,4443	0	0	750,4443					
5	819,4391	0	0	819,4391					
6	831,9514	0	0	831,9514					
7	705,3109	0	0	705,3109					
8	607,8199	0	0	607,8199					
9	593,0614	0	0	593,0614					
10	593,0614	0	0	593,0614					
11	593,0614	0	0	593,0614					
12	593,0614	0	0	593,0614					
	Total Biaya	Pembangkita	an (\$)	7947,3710					

### 4.2.4. Simulasi SCUC kondisi kontingensi

Pada simulasi ini, sistem diasumsikan mengalami kontingensi. Kontingensi dipilih seolah olah salah satu saluran lepas. Saluran yang dianggap lepas pada simulasi ini adalah saluran bus 2 ke bus 5. Namun, dalam kondisi riil kontingensi dapat terjadi dimana saja dan kapan saja.

## 4.2.4.1 Hasil SCUC menggunakan SAMFA

Hasil penjadwalan SCUC pada simulasi ini ditunjukkan pada tabel 4.13

Tabel 4.13 Security Constrained Unit Commitment dengan SAMFA

	Unit							
Jam Ke	1	2	3	4	5	6		
1	1	1	1	1	1	1		
2	1	1	1	1	1	1		
3	1	1	1	1	1	1		
4	1	1	1	1	1	1		
5	1	1	1	1	1	1		
6	1	1	1	1	1	1		
7	1	1	1	1	1	1		
8	1	1	1	1	1	1		
9	1	1	1	1	1	1		
10	1	1	1	1	1	1		
11	1	1	1	1	1	1		
12	1	1	1	1	1	1		

### 4.2.4.2 Hasil Pembangkitan Daya Aktif

Pada tabel 4.14 menunjukan daya aktif yang dibangkitkan oleh setiap unit.

Tabel 4.14 Pembangkitan daya aktif

	<u> </u>								
		Unit (MW)							
Jam Ke	1	2	3	4	5	6			
1	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
2	120,00	48,00	33,48	21,00	18,00	26,53			
3	135,00	54,50	43,06	24,50	21,38	29,07			

Lanjutan Tabel 4.14 Pembangkitan daya aktif

	Unit (MW)								
Jam Ke	1	2	3	4	5	6			
4	150,00	64,50	49,10	28,47	24,86	34,07			
5	154,43	65,19	49,69	32,50	28,81	37,44			
6	162,59	69,87	49,15	32,78	28,44	35,60			
7	142,60	54,87	48,82	24,78	20,44	30,64			
8	128,86	48,00	38,82	21,00	18,00	24,00			
9	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
10	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
11	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			
12	120,00	48,00	30,00	21,00	18,00	24,00			

# 4.2.4.3 Total Biaya Pembangkitan

Pada tabel 4.15 menunjukan biaya pembangkitan unit pembangkit selama 12 jam untuk kondisi sistem dalam keadaan kontingensi. Pada simulasi ini, biaya penyalaan maupun pemadaman tidak ada dikarenakan semua unit dalam keadaan menyala.

Tabel 4.15 Total biaya pembangkitan

		Biaya (\$)							
Jam Ke	Operasi	Penyalaan	Pemadaman	Pembangkitan					
1	593,0614	0	0	593,0614					
2	606,3836	0	0	606,3836					
3	708,5908	0	0	708,5908					
4	820,7299	0	0	820,7299					
5	863,0451	0	0	863,0451					
6	895,1595	0	0	895,1595					
7	748,1751	0	0	748,1751					
8	638,9575	0	0	638,9575					
9	593,0438	0	0	593,0438					
10	593,0438	0	0	593,0438					
11	593,0438	0	0	593,0438					
12	593,0438	0	0	593,0438					
	Гotal Biaya	Pembangkita	an (\$)	8246,278					

#### 4.3. Analisa hasil simulasi

Dari semua simulasi yang dilakukan pada sistem IEEE 30 bus dengan 6 unit pembangkit, terlihat bahwa terdapat selisih biaya pembangkitan antara UC, SCUC Normal, dan SCUC Kontigensi. Perbedaan tersebut dapat diliat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil Perbandingan

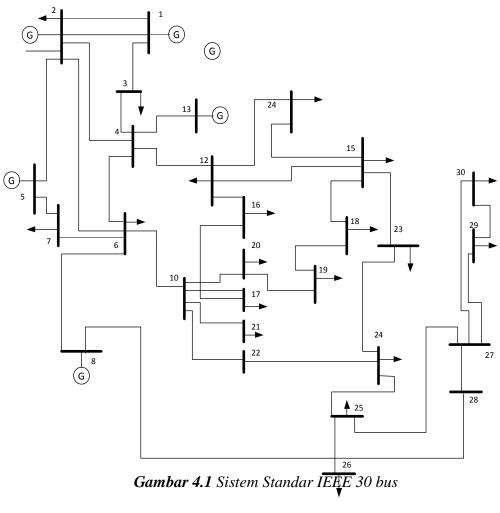
Problem	TCP (\$)
UC	7813,1750
SCUC Normal	7947.3710
SCUC Kontingensi	8246,2780

Hasil menunjukan bahwa metode SAMFA mampu digunakan untuk menyelesaikan permasalahan SCUC. Total biaya produksi SCUC lebih tinggi sebesar \$134,196 bila dibandingkan dengan UC. Harga yang lebih mahal adalah sebagai konsekuesi dari permasalahan ini, namun n ilai tersebut memastikan bahwa sistem dapat melayani permintaan beban secara layak dan aman. Nilai Total biaya produksi ketika terjadi kontingensi akan lebih besar lagi bila dibandingkan dengan kondisi normal.

Kondisi awal unit pembangkit mempengaruhi total biaya pembangkitan. Kondisi awal pembangkit nyala menghasilkan total biaya yang lebih murah dibandingkan dengan kondisi awal pembangkit padam, karena kondisi awal pembangkit nyala tidak memerlukan biaya penyalaan dan cenderung mempertahankan operasi untuk menghindari biaya penyalaan dan biaya pemadaman. Kondisi awal pembangkit padam memerlukan biaya penyalaan sehingga mengakibatkan total biaya pembangkitan yang lebih mahal.



# LAMPIRAN 1 Sistem Standar IEEE 30 bus



# LAMPIRAN 2

# Data Bus pada sistem IEEE 30 bus

Tabel 4.1 Data Bus pada sistem IEEE 30 bus

Bus No	Bus Code	Voltage Magnitude	Angle Degree	Lo	ad		Gen	erator		Static Mvar
110	Couc	Magintude	Degree	MW	MVar	MW	MVar	Qmin	Qmax	+ Qc /-Q1
1	1	1,06	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	1,043	0	21,7	12,7	40	0	-40	50	0
3	0	1	0	2,4	1,2	0	0	0	0	0
4	0	1,06	0	7,6	1,6	0	0	0	0	0
5	2	1,01	0	94,2	19	0	0	-40	40	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	22,8	10,9	0	0	0	0	0
8	2	1,01	0	30	30	0	0	-30	40	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0	5,8	2	0	0	-6	24	0
11	2	1,082	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	1	0	11,2	7,5	0	0	0	0	0
13	2	1,071	0	0	0	0	0	-6	24	0
14	0	1	0	6,2	1,6	0	0	0	0	0
15	0	1	0	8,2	2,5	0	0	0	0	0
16	0	1	0	3,5	1,8	0	0	0	0	0
17	0	1	0	9	5,8	0	0	0	0	0
18	0	1	0	3,2	0,9	0	0	0	0	0
19	0	1	0	9,5	3,4	0	0	0	0	0
20	0	1	0	2,2	0,7	0	0	0	0	0
21	0	1	0	17,5	11,2	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	3,2	1,6	0	0	0	0	0
24	0	1	0	8,7	6,7	0	0	0	0	0
25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	0	3,5	2,3	0	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	1	0	2,4	0,9	0	0	0	0	0
30	0	1	0	10,6	1,9	0	0	0	0	0

# LAMPIRAN 3

# **Data Saluran IEEE 30 Bus**

Tabel 4.2 : Data Saluran IEEE 30 Bus

	Bu		an IEEE 30 E Line In	npedance	TT IST: CI	
Line No	From	То	Resistance (p.u)	Reactance (p.u)	Half Line Charging Susceptance (p.u)	MVA Rating
1	1	2	0,0192	0,0575	0,0264	130
2	1	3	0,0452	0,1852	0,0204	130
3	2	4	0,057	0,1737	0,0184	65
4	3	4	0,0132	0,0379	0,0042	130
5	2	5	0,0472	0,1983	0,0209	130
6	2	6	0,0581	0,1763	0,0187	65
7	4	6	0,0119	0,0414	0,0045	90
8	5	7	0,046	0,116	0,0102	70
9	6	7	0,0267	0,082	0,0085	130
10	6	8	0,012	0,042	0,0045	32
11	6	9	0	0,208	0,97	65
12	6	10	0	0,556	0,96	32
13	9	11	0	0,208	0	65
14	9	10	0	0,11	0	65
15	4	12	0	0,256	0,93	65
16	12	13	0	0,14	0	65
17	12	14	0,1231	0,2559	0	32
18	12	15	0,0662	0,1304	0	32
19	12	16	0,0945	0,1987	0	16
20	14	15	0,221	0,1997	0	16
21	16	17	0,0824	0,1923	0	16
22	15	18	0,1073	0,2185	0	16
23	18	19	0,0639	0,1292	0	16
24	19	20	0,034	0,068	0	16
25	10	20	0,0936	0,209	0	32
26	10	17	0,0324	0,0845	0	32
27	10	21	0,0348	0,0749	0	32
28	10	22	0,0727	0,1499	0	32
29	21	22	0,0116	0,0236	0	32
30	15	23	0,1	0,202	0	16
31	22	24	0,115	0,179	0	16
32	23	24	0,132	0,27	0	16
33	24	25	0,1885	0,3292	0	16
34	25	26	0,2544	0,38	0	16

Lanjutan Tabel 4.2 : Data Saluran IEEE 30 Bus

Line	Bı	us	Line I	mpedance	Half Line Charging	
No	From	То	Resistance (p.u)	Reactance (p.u)	Susceptance (p.u)	MVA Rating
35	25	27	0,1093	0,2087	0	16
36	28	27	0	0,396	0,96	65
37	27	29	0,2198	0,4153	0	16
38	27	30	0,3202	0,6027	0	16
39	29	30	0,2399	0,4533	0	26
40	8	28	0,0636	0,2	0,0214	32
41	6	28	0,0169	0,0599	0,065	32

# LAMPIRAN 4

# **Karakteristik Data Generator**

Tabel 4.3 Data Generator

	Unit					
	1	2	3	4	5	6
a (\$/h)	0,00375	0,01750	0,06250	0,00834	0,02500	0,02500
b (\$/MWh)	2,0	1,75	1,0	3,25	3	3
c (\$/MWh <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0
Pmin (MW)	50	20	15	10	10	12
Pmax (MW)	200	80	50	35	30	40
Qmin (MVAR)	-	-20	-15	-15	-10	-15
Qmax (MVAR)	-	100	80	60	50	60
MU (h)	4	2	2	2	2	2
MD (h)	4	3	2	2	2	2
RU (MW/h)	15	10	6	4	4	5
RD (MW/h)	20	15	10	8	8	10
Shut Down Cost (\$)	50	60	30	85	52	30
Hot start Cost (\$)	70	74	110	50	72	40
Cold start Cost (\$)	176	187	113	267	180	113
Initial state (h)	-4	-3	-3	-3	-2	-2

### **BAB 5**

#### **PENUTUP**

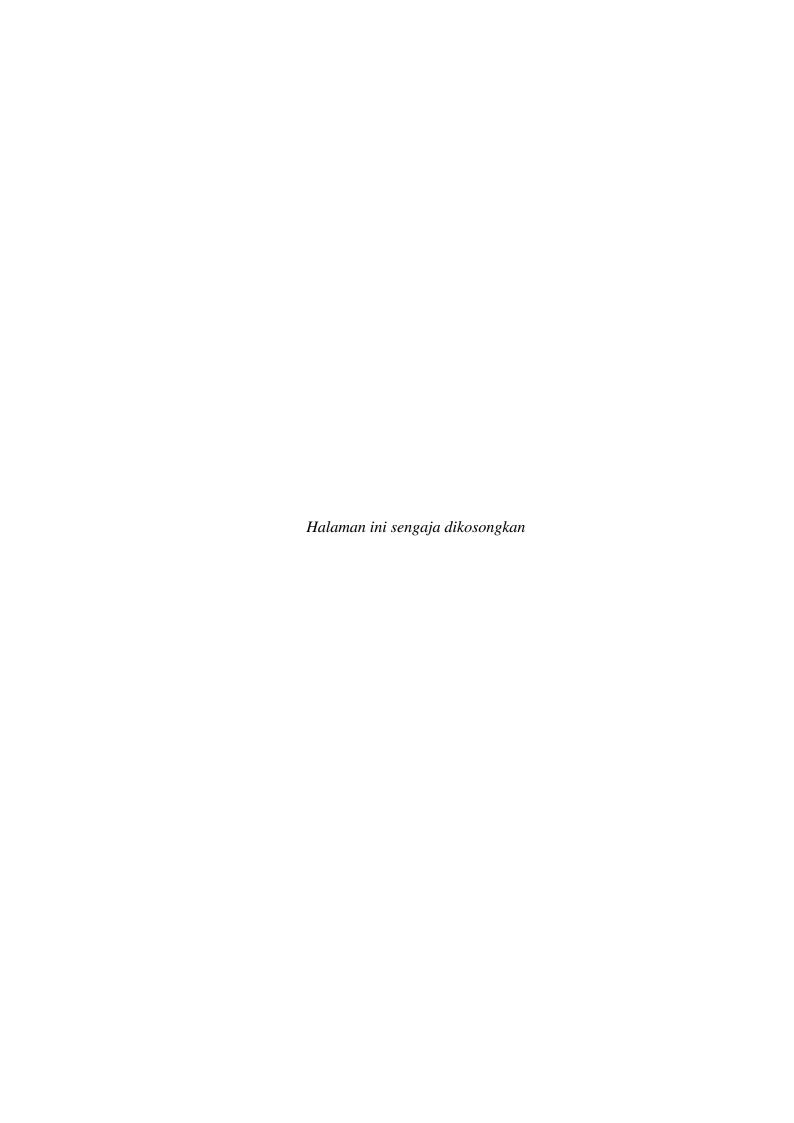
### 5.1. Kesimpulan

- 1. Metode *Self Adaptive Modified Firefly Algorithm* (SAMFA) mampu menyelesaikan permasalahan *security constrained unit commitment* (SCUC).
- Total biaya produksi yang lebih tinggi sebesar \$134,196 untuk SCUC adalah sebagai konsekuesi dari permasalahan ini, namun nilai ini memastikan bahwa sistem dapat melayani permintaan beban secara layak dan aman
- 3. Pada saat terjadi kontingensi, biaya total produksi yang dihasilkan akan meningkat, hal ini disebabkan adanya perubahan sistem yang menyebabkan kombinasi UC juga berubah menyesuaikan kondisi sistem.
- 4. Penjadwalan dengan SCUC memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan penjadwalan UC.

### 5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Untuk mempercepat dalam proses komputasi, dapat dilakukan modifikasi pada bagian binary program yaitu dengan membuat partikel SAMFA menjadi unik.
- 2. Perlu dikembangkan dengan penambahan batasan lain yang lebih komplek sehingga dapat diimplementasikan pada real system.
- 3. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan didalam real system yang berhubungan dengan *Security Constrained Unit Commitment* (SCUC).



### **DAFTAR PUSTAKA**

- Allen J. Wood, "Power Generation Operation and Control", second edisi tahun 1996
- C, Cristopher Colombus dan Sishaj P. Simon, "Hybrid Particle Swarm Approach for Security Constrained Unit Commitment", International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technology [ICCEET]. 2012
- K. Chandrasekaran dan Sishaj P. Simon, "Binary Real Coded Firefly Algorithm for Solving Unit Commitment Problem", Elsevier inc, pp 67-84. 2012
- M.A Yoshimura, A.I Cohen, "Branch and Bound Algorithm For Unit Commitment", IEEE Trans. On Power App. Syst 102 pp 444-451, 1983
- Nalan Laotumyingyong and Parnjit Damrongkulkamjorn, "Security Constrained Unit Commitment using Mixed-Integer Programming with Bender Decomposition", IEEE Conference Publication. pp 626-630 2010
- Priyanto, Yun Tonce Kusuma. "Combine Active Reactive Dispatch Multiobjective Optimal Power Flow Using Firefly Algorithm", Master Theses of Electrical Engineering, RTE 621.319 Pri p, 2013
- T.O Ting, M. V. C. Rao and C.K. Loo, "A Novel Approach for Unit Commitment Problem via an Effective hybrid Particle Swarm Optimization", IEEE Trans. On Power App. Syst Vol 21, No 1, 2006
- Taher Niknam, Rasoul Azizipanah-Abarghooee, and Alireza Roosta, "Reserve Constrained Dynamic Economic Dispatch: A New Fast Self-adaptive modified firefly algorithm", IEEE Systems Journal, Vol. 6, No. 4, December 2012
- V. S Pappala and I. Erlich, "A New Approach for Solving Unit Commitment Problem by Adaptive Particle Swarm Optimization", IEEE Conference Publications, pp 1-6, 2008
- Xin-She Yang, Firefly algorithm, L'evy flights and global optimization, in:Research and Development in Intelligent Systems XXVI (Eds M. Bramer,R. Ellis, M. Petridis), Springer London, pp. 209-218, 2010
- Xin-She Yang, "Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation", Int. J. Bio-Inspired Computation, Vol. 2, No. 2, 2010

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

### **BIOGRAFI PENULIS**



Totok Dewantoro, lahir di Lamongan pada tanggal 02 April 1985. Merupakan anak ke tiga dari pasangan Ayah bernama Warman, dan Ibu bernama Patonah. Penulis memulai jenjang pendidikan sejak usia 4,5 Tahun. Berawal dari TK Dharmawanita, SDN 1 Slaharwotan, SLPTN 1 Ngimbang, hingga lulus dari SMU Negeri 1 Ngimbang pada tahun 2003. Sebelum melanjutkan ke pendidikan Program Strata 1

di UNTAG Surabaya pada tahun 2004, Selama setahun penulis mengenyam pendidikan non formal di Cottage Institute Surabaya yang berfokus pada pelatihan komputer dan bahasa. Setelah lulus program Strata 1 pada tahun 2008, penulis sempat vakum selama 4 tahun dikarenakan bekerja disalah satu perusahaan telekomunikasi di Indonesia, Pada tahun 2012, penulis memutuskan untuk melanjutkan program Magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga yang berfokus pada simulasi dan optimasi sistem.

Penulis dapat dihubungi di alamat email totok.dewantoro12@mhs.ee.its.ac.id