



**TESIS - TE142599**

**SECURITY CONSTRAINTS DYNAMIC OPTIMAL  
POWER FLOW MENGGUNAKAN FIREFLY  
ALGORITHM**

**ROSYIDATUL MAKMURIA  
2212201002**

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

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**TESIS - TE142599**

# **SECURITY CONSTRAINTS DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW WITH FIREFLY ALGORITHM**

**ROSYIDATUL MAKMURIA  
2212201002**

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

**MAGISTER PROGRAM  
POWER SYSTEM ENGINEERING  
ELEKTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**


Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)

Di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh :  
Rosyidatul Makmuria  
NRP. 2212201002

Tanggal Ujian : 8 Januari 2015  
Periode Wisuda : Maret 2015

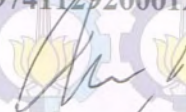
Disetujui Oleh :

  
1. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
NIP. 196404051990021001

(Pembimbing 1)

  
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT  
NIP. 197411292000121001

(Pembimbing 2)

  
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT  
NIP. 196603181990101001


(Penguji)

  
4. Dr. I Made Yulistva Negara, ST, M.Sc  
NIP. 197007121998021001

(Penguji)


  
5. Dr. Ardyono Privadi, ST, M.Eng  
NIP. 197309271998031004

(Penguji)

  
6. Dr. Dimas Anton Asfani, ST, MT  
NIP. 198109052005011002

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana

  
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
NIP. 196404051990021001



# SECURITY CONSTRAINT DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW MENGUNAKAN FIREFLY ALGORITHM

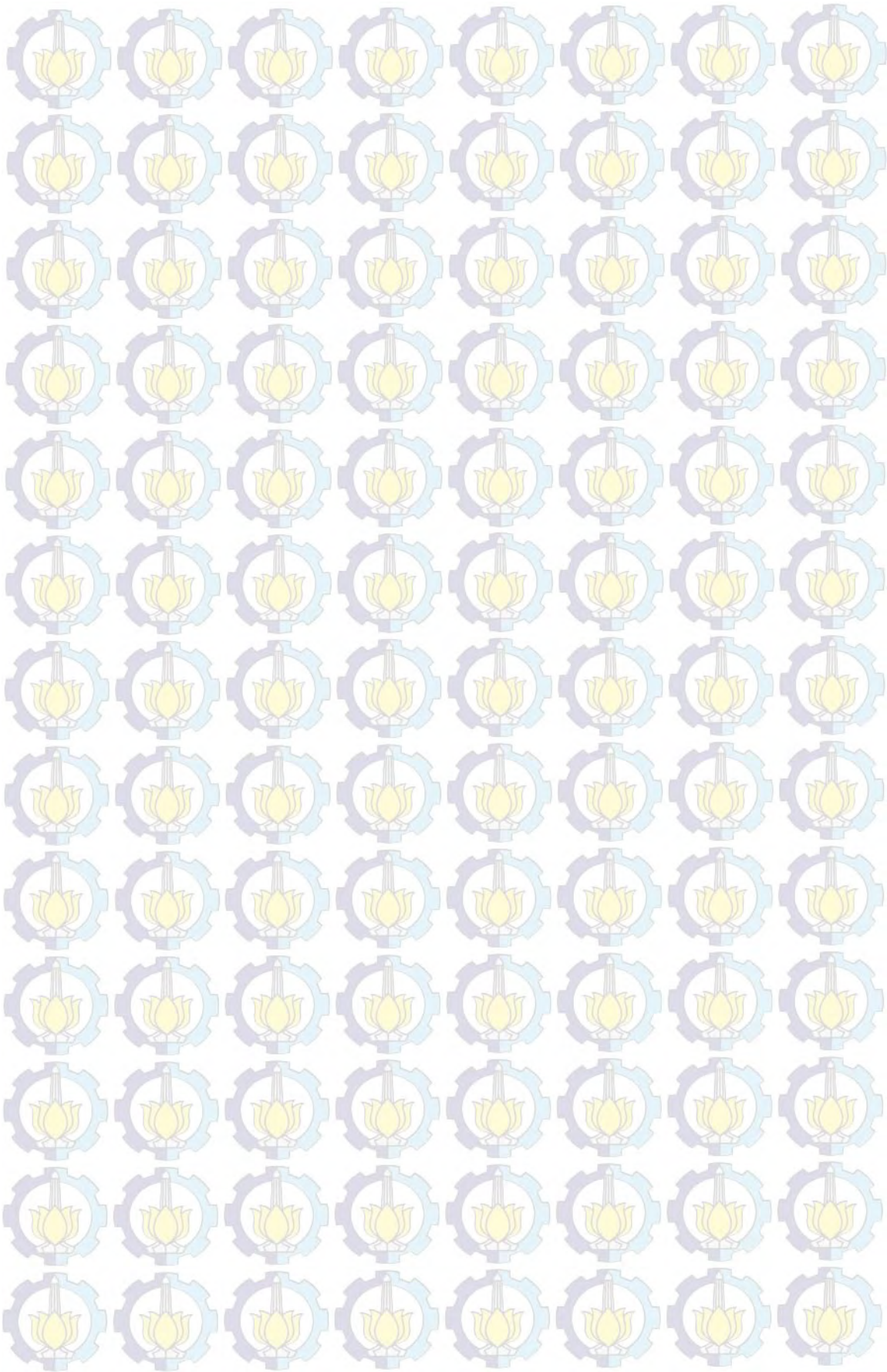
Nama Mahasiswa : Rosyidatul Makmuria  
NRP : 2212 201002  
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Adi soeprijanto, MT  
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

## ABSTRAK

*Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow* (SCDOPF) merupakan suatu optimisasi pembebanan pembangkitan dengan beban yang bersifat dinamis yang bertujuan mencari biaya pembangkitan termurah serta menambahkan kontingensi pada saluran transmisi supaya sistem tetap dalam keadaan aman dan handal. Dalam tesis ini OPF dilakukan secara berkelanjutan dengan tiga keadaan yaitu OPF sebelum keadaan normal, OPF dengan kontingensi 1 dan OPF dengan kontingensi 2. Fungsi *fitness* dari ketiga keadaan OPF dijumlahkan untuk dicari nilai *fitness* termurah. Algoritma *firefly* memiliki keunggulan untuk memecahkan persoalan nonlinier, multidimensi dan tidak mudah terjebak dalam lokal optimal.

Penelitian ini akan disimulasikan pada sistem tenaga IEEE 30 bus. Untuk mengetahui keunggulan dari metoda Firefly Algorithm (FA) hasil simulasi dibandingkan dengan Particle Swarm Optimization (PSO). Dari hasil simulasi SCDOPF diperoleh hasil total biaya pembangkitan pada jam pertama 510.155 (\$/jam), pada jam ke dua 508.623 (\$/jam), pada jam ke tiga 495.858 (\$/jam) dan jam ke empat 474.134 (\$/jam) dengan total biaya 1988.7698 (\$/jam). Hasil simulasi menggunakan PSO menunjukkan bahwa rugi-rugi daya yang dihasilkan lebih besar serta waktu komputasinya lebih lama bila dibandingkan menggunakan metode FA.

**Kata kunci:** Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow (SCDOPF), Firefly Algorithm (FA)



# SECURITY CONSTRAINT DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW WITH FIREFLY ALGORITHM

Student Name : Rosyidatul Makmuria  
NRP : 2212 201002  
Advisors : 1. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

## ABSTRACT

*Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow* (SCDOPF) is an optimization of loading generation with dynamic load for finding the cheapest generation costs as well as adding a contingency on the transmission line so that system remains safe and reliable. In thi thesis, OPF is execute continuously whit the three cases namely OPF before normal condition, OPF with continngency 1 and OPF with continngency 2. Fitness functions of those three cases are summed to find the cheapest fitness function. Firefly Algorithm (FA) has advantage of solving nonlinearity, multidimensional problem and it is not easily trapped in a local optimum. This study is simulated in IEEE 30-bus power system. For knowing the excellence of the FA method, simulation's result is compared with Particle Swarm Optimization (PSO). The SCDOPF's simulation obtained total generation cost are 510.155 (\$/hour), 508.623 (\$/hour), 495.858 (\$/hour) dan 474.134 (\$/hour) respectively for the first hour until the fourth hour with a total cost of 1988.7698 (\$/hour). The simulation result that losses from PSO is bigger and time computation longer than FA.

**Kata kunci:** Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow (SCDOPF), Firefly Algorithm (FA)

## KATA PENGANTAR


Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya dan tak lupa kita panjatkan sholawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul :

### **Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow Menggunakan firefly Algorithm (FA)**

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan ridho dan berkah-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT. dan Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingan.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng., Prof. Dr. Ir. Mochammad Ashari M.Eng, Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc., Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D., Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng., Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D., Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT., dan Dr. Ir. Soedibjo, M.MT., para dosen Teknik Sistem Tenaga yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan.
4. Suamiku tercinta Agung Prabowo, S.Pd yang telah menyemangati saya selama ini.
5. Anak-anak ku tercinta M. Said Ariful Khakim dan Rabihahtul Auliasari Prabowo yang telah menjadi sumber inspirasi saya selama ini.
6. Ibu ku tercinta H. Nuriyatul Ulwiyah dan mertua saya ibu Lasemi yang telah menjaga anak-anak saya selama ini dan selalu memberikan doa kepada saya sampai akhirnya bisa menyelesaikan tesis ini

- 
7. Saudara-saudaraku tercinta dan semua teman guru SMK N Cerme Gresik
  8. Teman seangkatan tahun 2012 Indri, Totok, Koko H, Anisa, Fifi, Happy, Septi, Ony, Wahyu, Bayu dan Aswin yang telah membantu saya pada saat kuliah
  9. Semua teman LAB. Simulasi Pak Yanto, Pak Umen, Bu Fitri, Bu Hesti, Aji, Leli, Rina, dan masih banyak yang lainnya yang tak bisa saya sebutkan satu per satu.

Semoga Tesis ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, Januari 2015

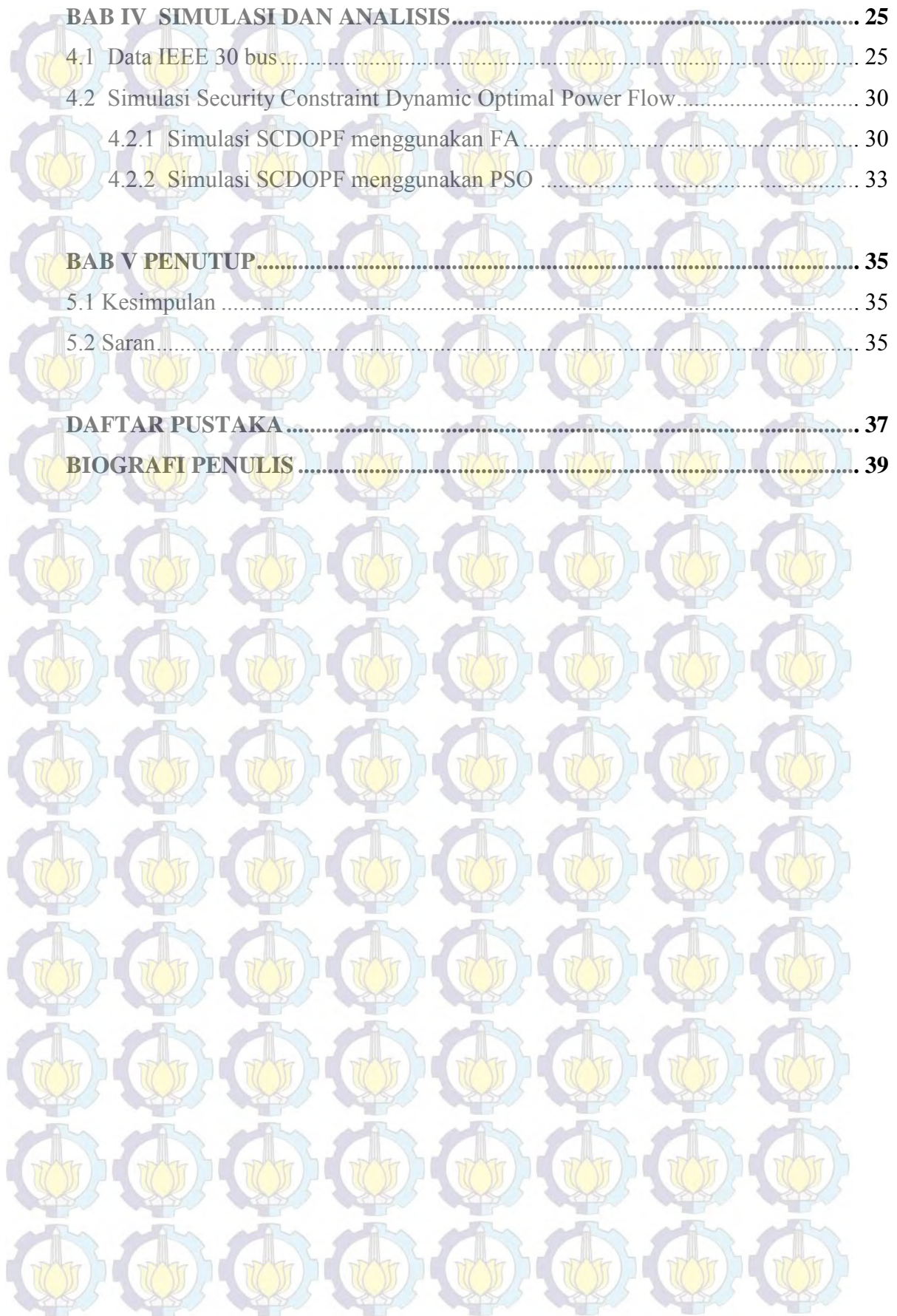
Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Aliran daya ( <i>Load Flow</i> ) .....	6
2.2.2 <i>Optimal Power Flow</i> (OPF) .....	14
2.2.3 <i>Dynamic Optimal Power Flow</i> (DOPF) .....	15
2.2.4 <i>Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow</i> (SCDOPF) .....	16
2.2.5 Algoritma <i>Firefly</i> .....	16
<b>BAB III PENGGUNAAN FIREFLY UNTUK SCDOPF</b> .....	<b>19</b>
3.1 Flowchart .....	19
3.2 Algoritma .....	21










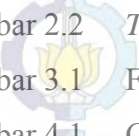

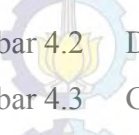
















































<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS</b> .....	<b>25</b>
4.1 Data IEEE 30 bus.....	25
4.2 Simulasi Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow.....	30
4.2.1 Simulasi SCDOPF menggunakan FA.....	30
4.2.2 Simulasi SCDOPF menggunakan PSO.....	33
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>37</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	<b>39</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Bus pada sisten tenaga IEEE 30 bus.....	26
Tabel 3.2	Data saluran ( line data ) sistem tenaga IEEE 30 bus .....	27
Tabel 3.3	Data <i>constraint</i> daya aktif dan reaktif Generator.....	28
Tabel 3.4	Data karakteristik fungsi biaya pembangkitan.....	28
Tabel 4.5	Data Constraint maximum dan minimum daya yangnng dibangkitkan beserta ramp rate generator .....	29
Tabel 4.6	Data Spesifikasi CPU.....	29
Tabel 4.7	Parameter FA .....	30
Tabel 4.8	Hasil simulasi SCDOF menggunakan FA .....	31
Tabel 4.9	Probabilitas statistic total biaya pembangkitan.....	31
Tabel 4.10	Daya aktif yangnng dibangkitkan oleh generator pada jam 1.....	32
Tabel 4.11	Daya aktif yangnng dibangkitkan oleh generator pada jam 2.....	32
Tabel 4.12	Daya aktif yangnng dibangkitkan oleh generator pada jam 3.....	32
Tabel 4.13	Daya aktif yangnng dibangkitkan oleh generator pada jam 4.....	32
Tabel 4.14	Losses yangnng dihasilkan mulai dari jam 1 sampai jam 4 menggunakan FA .....	37
Tabel 4.15	Parameter PSO.....	33
Tabel 4.16	Hasil simulasi SCDOF selama 4 jam menggunakan PSO.....	34
Tabel 4.17	Losses yangnng dihasilkan mulai dari jam 1 sampai jam 4 menggunakan PSO .....	34

## DAFTAR GAMBAR

							
Gambar 2.1	Klasifikasi Bus dalam <i>load flow</i> .....	6					
		Gambar 2.2	<i>Typical bus</i> pada sistem tenaga .....	8			
		Gambar 3.1	Flowchart SCDOFP menggunakan <i>firefy</i> .....	23			
		Gambar 4.1	Grafik permintaan beban daya aktif dan reaktif selama 24 jam .....	28			
		Gambar 4.2	Diagram sistem tenaga IEEE 30 bus .....	29			
		Gambar 4.3	Grafik konvergensi SCDOFP menggunakan metode FA .....	30			
		Gambar 4.4	Grafik konvergensi SCDOFP menggunakan metode PSO .....	33			
							
							
							
							
							

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu Negara berrkembang dengan jumlah penduduk yang begitu banyak dan terdiri dari kepulauan serta sumber daya alam yang melimpah sehingga memerlukan sistem tenaga listrik yang terintegrasi untuk memenuhi kebutuhan beban tenaga listrik yang dibutuhkan oleh konsumen baik rumah tangga, kantor maupun industri. Sumber daya alam yang melimpah bisa dimanfaatkan untuk membuat pembangkit tenaga listrik diantaranya pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) dan masih banyak lagi jenis pembangkit yang lainnya terintegrasi satu sama lain untuk melayani kebutuhan energi listrik konsumen dengan beban yang berubah secara fluktuatif. Sistem tenaga listrik yang terintegrasi dihubungkan melalui saluran transmisi menuju ke konsumen.

Penyaluran sistem tenaga listrik memerlukan sistem operasional yang handal dan aman. Sistem operasional yang handal dan aman dengan biaya yang ekonomis memerlukan suatu perencanaan dan analisa aliran daya atau biasa dikenal dengan *load flow*. Dengan adanya *load flow* kita bisa mengetahui besarnya tegangan, arus yang mengalir dari generator melalui saluran transmisi menuju pusat beban untuk disalurkan ke konsumen. Saluran transmisi sering kali mengalami gangguan pada peralatan secara tiba-tiba tanpa bisa diprediksi, dan sistem harus bisa dioperasikan secara terus menerus sehingga tidak bisa ditinggalkan dalam kondisi berbahaya. Oleh karena, itu peralatan sistem tenaga harus dirancang dalam kondisi aman [2].

Pada tahun 1962 *Optimal Power Flow* (OPF) pertama kali dikenalkan oleh *Carpentier*. OPF merupakan suatu metode penjadwalan pembangkitan daya aktif oleh generator dengan tidak melanggar *constraint* yang telah ditetapkan dengan tujuan untuk mendapatkan biaya termurah [2]. Permintaan beban dari konsumen bersifat fluktuatif sehingga kita harus melakukan OPF setiap kali ada perubahan beban. Adanya perubahan beban yang bersifat fluktuatif berpengaruh pada saluran

transmisi sehingga kita harus menambahkan *constraint* saluran transmisi untuk optimasi daya aktif dari pembangkit dengan beban yang berubah-ubah atau dikenal dengan sebutan *Dynamic Optimal Power Flow* (DOPF). dengan menambahkan gangguan pada saluran transmisi diharapkan sistem tenaga masih dalam keadaan aman atau dikenal dengan *security system*.

OPF merupakan masalah optimisasi dengan sistem tenaga yang besar maka dalam penyelesaiannya diperlukan suatu metode metaheuristik seperti algoritma kunang-kunang / *firefly Algorithm* (FA). merupakan salah satu metode optimisasi metaheuristik yang terinspirasi oleh kecerahan dari sinar yang dipancarkan oleh *firefly*. Dr. Xin She Yang dari Cambridge University berhasil mengembangkan metode ini. FA memiliki tingkat kehandalan dan efisiensi yang tinggi dalam menyelesaikan masalah nonlinear [3-4]. Pada tesis ini FA digunakan sebagai metode utama untuk menyelesaikan masalah SCDOPF.

## 1.2 Perumusan Masalah

Selanjutnya berdasarkan latar belakang diatas maka pada penelitian ini ada beberapa hal yang akan dibahas yaitu :

1. Bagaimana membuat program SCDOPF untuk menentukan biaya pembangkitan termurah dengan menambahkan kontingensi pada saluran transmisi dengan beban yang berubah secara dinamis menggunakan *firefly algorithm*.
2. Bagaimana menentukan biaya pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan parameter *ramp rate* dan parameter saluran.
3. Bagaimana pengaruh dari kinerja dari parameter *ramp rate* dan parameter saluran terhadap total biaya pembangkitan.

## 1.3 Tujuan penelitian

Tesis ini bertujuan sebagai berikut:

1. Untuk membuat program SCDOPF untuk menentukan biaya pembangkitan termurah dengan menambahkan kontingensi pada saluran transmisi dengan beban yang berubah secara dinamis menggunakan *firefly algorithm* (FA).

2. Menentukan biaya pembangkit yang dinamis dengan memperhitungkan parameter *ramp rate* dan parameter saluran.
3. Mengetahui pengaruh dari kinerja dari parameter *ramp rate* dan parameter saluran terhadap total pembebanan dari masing-masing generator setiap jam..

#### 1.4 Batasan Masalah

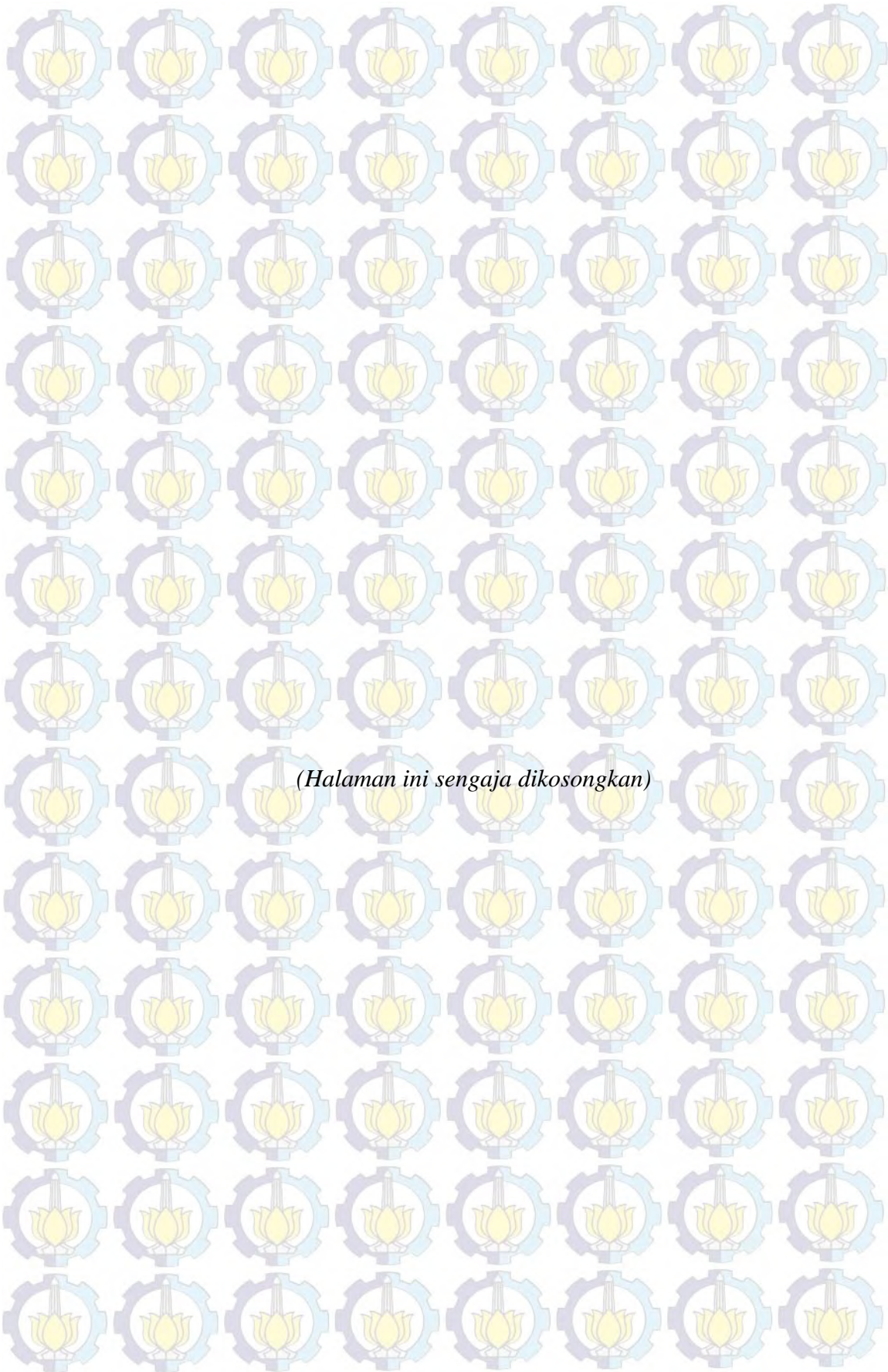
Pada penelitian ini penyelesaian masalah menggunakan beberapa batasan dan asumsi yaitu :

1. Data sistem tenaga IEEE 30 bus digunakan dan disimulasikan untuk menyelesaikan masalah SCDOFP.
2. *Objectif function* SCDOFP adalah menentukan total biaya pembangkitan minimum.
3. SCDOFP dibatasi hanya 4 jam
4. SCDOFP diselesaikan menggunakan metode *firefly algorithm* (FA).

#### 1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi sebagai berikut:

1. Meningkatkan performa dari sistem tenaga listrik khususnya dalam permasalahan (SCDOFP).
2. Menambah literatur baru tentang aplikasi konsep FA dalam permasalahan (SCDOFP).
3. Memberikan literatur baru tentang perbandingan konsep *Firefly Algorithm* dengan berbagai macam konsep kecerdasan buatan yang lain, khususnya dalam aplikasi pada sistem tenaga.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem tenaga listrik yang terhubung secara interkoneksi untuk memenuhi permintaan beban yang berubah secara fluktuatif harus didukung oleh operator sistem tenaga dan cadangan berputar yang baik supaya sistem tenaga berada dalam keadaan aman. Beban yang bersifat fluktuatif tersebut harus dibagi kesemua pembangkit yang terhubung secara interkoneksi selanjutnya pembangkit menyalurkan sistem tenaga listrik ke pusat beban sesuai dengan permintaan.

*Optimal Power Flow* (OPF) merupakan optimisasi penjadwalan daya aktif maupun daya reaktif dari sistem tenaga berskala besar dengan tujuan untuk meminimalkan biaya pembangkitan, biaya emisi, dan memperkecil *losses* dengan tidak melanggar *constraint* yang telah ditentukan serta meningkatkan profil tegangan maka untuk menyelesaikan masalah OPF selalu memerlukan algoritma metaheuristik seperti GA, DE, EA, PSO, FA, [4-6]. Sebagian besar tujuan OPF adalah meminimalkan biaya pembangkitan untuk memenuhi permintaan beban. Untuk menyalurkan beban ke konsumen kita memerlukan saluran transmisi dalam skala besar. Adanya perubahan beban seringkali menyebabkan kontingensi pada saluran transmisi. Oleh karena itu saluran transmisi dan daya aktif generator digunakan sebagai batasan OPF supaya sistem tenaga dalam keadaan handal dan aman. Adapun beberapa algoritma yang telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan OPF dengan *security constraints* diantaranya menggunakan *Spontaneous Evolutionary genetic Algorithm* (SEGA), *Genetik Algorithm* (GA), *Particle Swarm Optimizer with reconstruction operators* (PSO-RO), *Improved Bacterial Foraging* (IBF) [7,8,9]. *Dynamic Optimal Power Flow* (DOPF) merupakan optimisasi penjadwalan pembebanan daya aktif yang dibangkitkan oleh generator untuk memenuhi permintaan beban yang bersifat fluktuatif dengan tidak melanggar *constraint* yang telah ditentukan serta memperhatikan *effect valve point* dan *ramp rate* generator supaya dihasilkan biaya pembangkitan minimum [10].

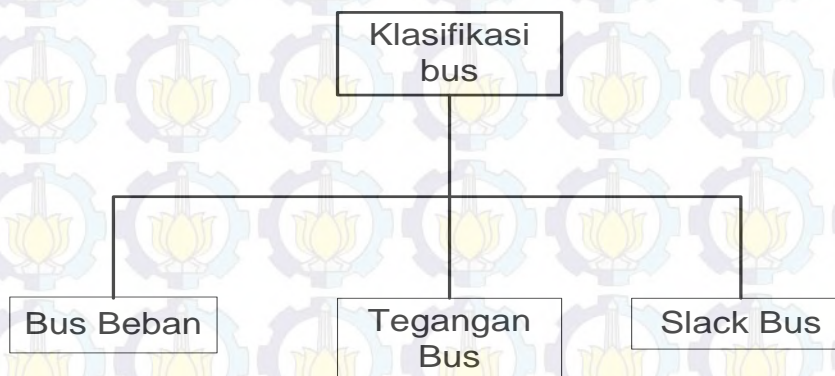
Pada tesis ini penulis menyelesaikan masalah DOPF dengan beban yang bersifat fluktuatif setiap jamnya sesuai dengan permintaan *demand* serta menambahkan kontingensi-kontingensi pada saluran transmisi sehingga sistem tenaga tetap bisa beroperasi dengan aman dan handal dengan biaya pembangkitan yang ekonomis. Untuk mengetahui apakah sistem tenaga bisa beroperasi dengan aman dan handal maka pada sistem tenaga IEEE 30 bus disimulasikan menggunakan algoritma *firefly*.

Dalam tesis ini penulis menggunakan literatur yang berasal dari tesis dan jurnal dan prosiding yang berkaitan dengan referensi [3,4,11] berhubungan dengan *Firefly Algorithm*.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Aliran daya (*load flow*)

Aliran daya atau biasa dikenal dengan sebutan *load flow* digunakan untuk merencanakan, pengoperasian dan perluasan sistem tenaga yang terhubung secara interkoneksi antara satu pembangkit dengan pembangkit yang lain yang disalurkan melalui jaringan transmisi, distribusi dan akhirnya diterima oleh konsumen serta mengetahui besarnya magnitudo tegangan, pergeseran sudut pada masing-masing bus serta daya aktif dan reaktif yang mengalir pada masing-masing saluran.



Gambar 2.1 Klasifikasi Bus dalam *load flow*

Setiap pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan tenaga listrik yang disalurkan menuju pusat beban. Proses penyaluran tenaga listrik menuju pusat beban ini dipengaruhi oleh besar tegangan bus, besar reaktansi dan kapasitansi saluran transmisi, tap trafo, serta rugi-rugi jaringan transmisi. Dalam penyalurannya, diharapkan daya yang disuplai oleh pembangkit dapat optimum diterima oleh beban serta dapat mengurangi biaya pembangkitan dan biaya rugi-rugi transmisi. Teknik yang digunakan untuk menyelesaikan *load flow* adalah *metode Newton-Raphson* dan *Gauss Seidel* [1,2,13,14].

Adapun bus-bus yang terdapat dalam *load flow* dibagi menjadi 3 yaitu :

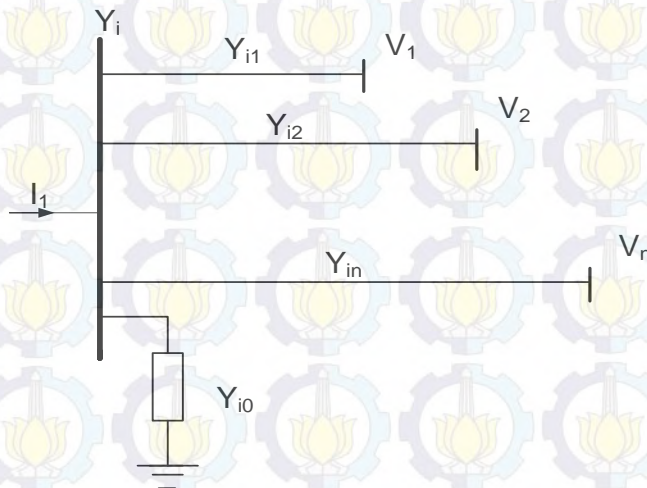
1. *Slack bus/swing bus* merupakan bus referensi digunakan untuk memenuhi kekurangan daya antar pembangkit. Pada *slack bus magnitude* tegangan dan sudut fasa diketahui sedangkan daya aktif dan reaktif nya didapat dari hasil running *load flow*.
2. Bus Generator / *Voltage controlled bus* atau biasa dikenal dengan P-V bus. Pada bus ini besarnya daya aktif dan magnitude tegangan sudah ditentukan, sedangkan sudut fasa dan daya reaktif didapat dari hasil running *load flow*.
3. Load bus / bus beban atau biasa dikenal dengan P-Q bus. Pada bus ini besarnya daya aktif dan reaktif sudah diketahui sedangkan besarnya magnitude tegangan dan sudut fasa didapat dari hasil running *load flow*.

Untuk *load flow*, terdapat data-data dari bus dan saluran transmisi. Adapun data-data yang terdapat pada tiap bus meliputi :

1. Magnitude tegangan (dalam bentuk pu)
2. Sudut tegangan  $\theta$
3. Besar pembebanan yang terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).
4. Besar pembangkitan yang terdiri dari daya aktif (P), daya reaktif (Q),  $Q_{\min}$  dan  $Q_{\max}$ .

Persamaan *load flow*

Persamaan *load flow* digunakan untuk menyelesaikan *load flow* pada sistem tenaga listrik. Gambar (2.2) merupakan gambaran sederhana dari tipikal bus pada sistem tenaga.



Gambar 2.2 *Typical bus* pada sistem tenaga

Admitansi pada sistem tenaga listrik diubah satuannya dalam bentuk per unit (pu) pada base MVA. Sistem dibuat dalam satu fasa persamaan (2.1) untuk mencari nilai dari arus :

$$I_B = \frac{KVA_{base} - 1\theta}{KV_{base} LN} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.2) untuk mencari nilai impedansi dasar:

$$Z_B = \frac{(KV_{base} LN)^2 \times 1000}{KVA_{base} 1\theta} \text{ atau } Z_B = \frac{(KV_{base} LN)^2}{MVA_{base} 1\theta} \quad (2.2)$$

Bentuk matriks admitansi pada jaringan sistem tenaga dapat dituliskan pada persamaan (2.3) :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_i \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{1i} & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{2i} & Y_{2n} \\ Y_{i1} & Y_{i2} & Y_{ii} & Y_{in} \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{ni} & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_i \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) dapat diwakili oleh :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.4)$$

Keterangan konstanta yang digunakan pada persamaan 2.1 - 2.4 yakni :

$I_B$  : Arus base

$Z_B$  : Impedansi base

$n$  : Jumlah bus

$Y_{11}$  : Self admittance  $i$

$Y_{21}$  : Mutual admitansi dari node  $i$  dan  $j$

$V_1$  : Tegangan fasor pada node  $i$

$I_1$  : Arus fasor yang mengalir ke node  $i$

Persamaan 2.3 bila diuraikan dengan menggunakan hukum *kirchoff* sehingga didapat persamaan 2.5 dan 2.6 sebagai berikut:

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (2.5)$$

$$I_i = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) dapat ditulis kembali menjadi :

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j, \quad j \neq 1 \quad (2.7)$$

Persamaan daya aktif dan daya reaktif pada bus  $i$  adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.8)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} \quad (2.9)$$

Substitusi antara persamaan 2.9 dengan 2.7 menghasilkan persamaan :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.10)$$

Persamaan arus dan tegangan dalam bentuk polar ditulis pada persamaan (2.11) dan (2.12) sebagai berikut:

$$V = |V| \angle \alpha \quad (2.11)$$

$$I = |I| \angle \beta \quad (2.12)$$

Persamaan daya kompleks dituliskan pada persamaan (2.13) sebagai berikut:

$$S = V I^* \quad (2.13)$$

Keterangan konstanta yang digunakan pada persamaan (2.11) – (2.13) sebagai berikut :

$V$  : Besar tegangan

$I$  : Arus yang mengalir

$\alpha$  : Besar sudut dari tegangan

$\beta$  : Besar sudut dari arus

$S$  : Daya kompleks

Persamaan (2.11) dan (2.12) disubstitusikan kedalam persamaan (2.13) maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$S = |V| \angle \alpha (|I| \angle \beta)^* \quad (2.14)$$

$$S = |V| \angle \alpha |I| \angle -\beta \quad (2.15)$$

$$S = |V||I| \angle (\alpha - \beta) \quad (2.16)$$

$$S = |V||I| \angle \theta \quad (2.17)$$

Persamaan (2.16) dan (2.17) dijadikan dalam bentuk persamaan *rectangular* pada persamaan (2.18) dan (2.19) sebagai berikut :

$$(2.18)$$

$$S = |V||I| \cos(\alpha - \beta) + j |V||I| \sin(\alpha - \beta)$$

$$S = |V||I| \cos(\theta) + j |V||I| \sin(\theta) \quad (2.19)$$

Dengan memisahkan bagian real dan imajineranya pada persamaan (2.19) menjadi persamaan daya aktif dan reaktif sebagai berikut:

$$P = |V||I| \cos(\theta) \quad (2.20)$$

$$Q = |V||I| \sin(\theta) \quad (2.21)$$

Penyelesaian load flow menggunakan metode Newton Rhapson

Bentuk matematis arus pada bus admintansi dituliskan pada persamaan (2.22) :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.22)$$

Persamaan (2.22) bila diubah dalam bentuk polar sebagai berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j < \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.23)$$

Perhitungan daya kompleks pada bus i sebagai berikut :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.24)$$

Dengan mensibtitusi persamaan (2.23) ke (2.24) akan didapat :

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j < \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.25)$$

$$P_i - jQ_i = |V| < -\delta_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j < \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.26)$$

$$P_i - jQ_i = |V| \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j < \theta_{ij} + \delta_j - \delta_i \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) dalam bentuk rectangular sebagai berikut :

$$P_i - jQ_i = |V| \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) - j \dots\dots\dots$$

$$|V| \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.28)$$

Dengan memisahkan bagian real dan imajineranya maka persamaan (2.28) menjadi:

$$P_i = |V| \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.29)$$

$$Q_i = |V| \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.30)$$

Persamaan (2.29) dan (2.30) merupakan persamaan nonlinear, yang memiliki magnitude tegangan dalam satuan per unit (pu) dan sudut fasa dalam radian. Dengan menggunakan deret Taylor, maka akan didapatkan :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \Delta P_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Persamaan (2.31), bus 1 diasumsikan sebagai slack bus. Matrix jacobian mempunyai hubungan linear dengan sedikit perubahan anantara sudut tegangan  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dengan magnitude tegangan  $\Delta |V_i^{(k)}|$  dan sedikit perubahan juga untuk daya aktif dan reaktif  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$ .

Elemen matrix jacobian dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Untuk mengontrol tegangan bus, magnitude tegangannya diketahui.

Untuk menghitung elemen matrix jacobian ( $J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$ , dan  $J_4$ ) menggunakan persamaan (2.33 sampai 2.40) sebagai berikut:

Persamaan (2.33) dan (2.34) merupakan elemen diagonal dan diagonal off

$J_1$  sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.34)$$

Persamaan (2.35) dan (2.36) merupakan elemen diagonal dan diagonal off  $J_2$  sebagai berikut:



$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2 |V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.36)$$

Persamaan (2.37) dan (2.38) merupakan elemen diagonal dan diagonal off  $J_3$  sebagai berikut:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.38)$$

Persamaan (2.39) dan (2.40) merupakan elemen diagonal dan diagonal off  $J_4$  sebagai berikut:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2 |V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.40)$$

$\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  adalah beda antara nilai yang dimasukkan dengan nilai yang dihitung yang disebut sebagai *power residual*.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.41)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.42)$$

Estimasi tegangan bus yang baru adalah

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.43)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.44)$$

Proses iterasi akan berhenti jika sudah terpenuhi

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.45)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon \quad (2.46)$$

Arus pada saluran dinyatakan sebagai berikut:

$$I_{ij} = y_{ij} (V_i - V_j) + y_{10} V_i \quad (2.47)$$

Daya kompleks  $S_{ij}$  dari bus I ke bus j dan  $S_{ji}$  dari bus j ke bus I dinyatakan sebagai berikut :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.48)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2.49)$$

Untuk menghitung rugi-rugi daya transmisi pada setiap kombinasi pembangkit dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.50)$$

Keterangan

$S_{Lij}$  : Rugi-rugi daya transmisi (MW)

$S_{ij}$  : Rugi-rugi pada saluran i-j

$S_{ji}$  : Rugi-rugi pada saluran j-i

### 2.2.2 Optimal Power Flow (OPF)

Sejak tahun 1962 OPF mulai dikembangkan dan dikenalkan pertama kalinya oleh *Carpentier*. OPF merupakan pengembangan dari *economic dispatch* (ED). Optimisasi penjadwalan pembebanan pembangkit dengan tujuan untuk mencari biaya pembangkitan termurah serta tidak melanggar *constraint* yang telah ditetapkan biasanya dikenal dengan definisi OPF. OPF juga merupakan salah satu masalah pemrograman matematik yang sulit dan mencakup sistem tenaga yang sangat besar maka dalam menyelesaikannya selalu menggunakan algoritma metaheuristik.

Program OPF dikatakan berjalan dengan baik dan benar apabila permintaan beban ditambah dengan *losses* dikurangi dengan daya yang dibangkitkan oleh generator sama dengan nol. Seperti pada persamaan (2.51)

$$P_{load} + P_{losses} - \sum P_i = 0 \quad (2.51)$$

Fungsi biaya pembangkitan

Fungsi biaya pembangkitan ini bergantung dari karakteristik dari masing-masing pembangkit/jenis dari generator yang digunakan serta bahan bakarnya. Karakteristik unit pembangkit meliputi karakteristik input–output pembangkit, *karakteristik heat rate*, dan karakteristik *incremental heat*. Karakteristik ini dapat diperoleh dari data desain generator dari pabrik pembuat generator, data histori pengoperasian generator maupun data percobaan. Karakteristik ini bertujuan untuk mencari biaya pembangkitan termurah dari daya aktif yang akan dioptimisasi sesuai dengan persamaan (2.54) dan (2.55).

$$F = \sum_{i=1}^{NG} F_i (P_i) \quad (2.52)$$

$$F_c (P_g) = \sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (2.53)$$

Keterangan parameter persamaan (2.54) dan (2.55) sebagai berikut:

$F$  : Total biaya pembangkitan.

$F_i (P_i)$  : Biaya pembangkitan dari pembangkit ke  $i$  yang merupakan fungsi dari output daya pembangkitan.

$NG$  : Banyaknya pembangkit.

$a_i, b_i, c_i$  : Koefisien biaya pembangkitan.

### 2.2.3 Dynamic Optimal Power Flow (DOPF)

*Dynamic optimal power flow* (DOPF) merupakan metode optimisasi penjadwalan pembebanan secara *online output* dari generator untuk memenuhi permintaan beban yang bersifat dinamis dengan tujuan untuk mencari biaya pembangkitan minimum serta tidak melanggar *constraint* yang telah ditentukan. Untuk memenuhi permintaan beban yang bersifat dinamis maka *output* dari generator harus dijaga dengan batasan tertentu hal ini sering disebut dengan *ramp rate*. *Ramp rate* berfungsi untuk menjaga *life time* dari generator/pembangkit dan peralatan pendukung lainnya.

*Constraints* yang digunakan pada DOPF menjadi bertambah dengan adanya *ramp rate* dan saluran transmisi. Adapun masalah DOPF dengan tujuan meminimalkan biaya pembangkitan ditunjukkan pada persamaan (2.56).

$$F = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{t=1}^T F_i (P_i) \quad (2.54)$$

$$F_c(P_g) = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{t=1}^T a_{1_i} + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (2.55)$$

Keterangan parameter persamaan (2.57)

F : Fungsi minimal biaya pembangkitan.

$\sum_{i=1}^{NG}$  : Menunjukkan banyaknya generator yang akan dioptimisasi.

$\sum_{t=1}^T$  : Menunjukkan perubahan beban pada tiap jam yang akan dilakukan OPF.

( $P_i$ ) : Menunjukkan persamaan koefisien biaya.

#### 2.2.4 *Security Constraint Optimal Power Flow (SCOPF)*

*Security constraint optimal power flow* (SCOPF) merupakan OPF dengan menambahkan batasan operasi keamanan sistem. Dengan menambahkan kontingensi pada saluran transmisi dan setelah disimulasikan diperoleh rugi daya pada saluran menjadi stabil, daya yang dibangkitkan tidak melanggar constraint serta biaya pembangkitan menjadi murah, sehingga sistem menjadi aman. Pengerjaan SCOPF dimulai dengan menyelesaikan OPF sebelum adanya kontingensi (n-1), adanya kontingensi dengan tujuan untuk meminimalkan biaya pembangkitan termurah. Analisa kontingensi bertujuan untuk mencari kemungkinan kontingensi terburuk padahal tidak semua kontingensi mengakibatkan kontingensi terburuk sehingga penting untuk membatasi saluran transmisi.

Adapun SCOPF dengan *objective function* meminimalkan biaya dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$F = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{i=1}^C F_i (P_i) \quad (2.56)$$

$$F_c(P_g) = \sum_{i=1}^{NG} \sum_{i=1}^C a_{1_i} + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2 \quad (2.57)$$

Keterangan parameter persamaan (2.54)

$F$  : Fungsi minimal biaya pembangkitan.

$\sum_{i=1}^{NG}$  : Menunjukkan banyaknya generator yang akan dioptimisasi.

$\sum_{i=1}^C$  : Menunjukkan banyaknya kontingensi yang akan dilakukan OPF.

$(P_i)$  : Menunjukkan persamaan koefisien biaya.

### 2.2.5 Algoritma Firefly

Pada tahun 2007 di *Cambridge University* *Firefly Algorithm* (FA) dibentuk dan dikembangkan oleh dr. Xin-She Yang. FA merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh perilaku binatang *insect firefly* dalam memancarkan cahaya. Cahaya yang dipancarkan *firefly* pada umumnya menghasilkan sinar dalam durasi pendek dan memiliki ritme tertentu. Sinar dari *firefly* dihasilkan dari proses *bioluminescence*. Terdapat dua fungsi penting pada sinar *firefly* yaitu untuk menarik perhatian *firefly* yang lain (komunikasi), dan untuk bertahan dari serangan pemangsa. Fungsi tambahan lain pada sinar *firefly* sebagai mekanisme tanda peringatan bahaya. Ritme dari sinar dan durasi waktu penyinaran dari *firefly* merupakan bagian sistem sinyal *firefly* baik yang pejalan maupun betina.

Intensitas cahaya pada pergerakan *firefly* tergantung pada jarak  $r$  dari sumber cahaya sesuai dengan hukum kuadrat terbalik. Intensitas cahaya  $I$  menurun sesuai dengan persamaan (2.68). Ketertarikan *firefly* proporsional dengan tingkat kecerahannya dan juga dipengaruhi oleh jarak antar *firefly* tersebut dan kondisi lingkungan. *Firefly* dengan cahaya yang lebih redup akan tertarik dengan *firefly* dengan cahaya yang lebih terang. Bila tidak ada *firefly* yang lebih terang, maka *firefly* akan bergerak secara *random* (acak)

Intensitas cahaya *firefly* dituliskan dalam persamaan (2.68) :

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2} \quad (2.58)$$

Relasi antara intensitas cahaya dengan pergerakan *firefly* diberikan dalam persamaan berikut :

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (2.59)$$

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \quad (2.60)$$

$$\gamma = \frac{1}{\tau^m} \quad (2.61)$$

Jarak antara kunang-kunang  $i$  dan  $j$  pada  $x_i$  dan  $x_j$  dibidang *cartesius* :

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2.62)$$

Pergerakan antara kunang-kunang  $i$  ke kunang-kunang  $j$  yang memiliki intensitas cahaya lebih terang :

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i \quad (2.63)$$

Keterangan parameter pada persamaan (2.63), sampai dengan persamaan

(2.73) :

$I(r)$  : Intensitas cahaya *Firefly*.

$i_s$  : Intensitas cahaya pada sumber.

$I_0$  : Intensitas cahaya pada sumber.

$r$  : Jarak *Firefly*.

$r_{ij}$  : Jarak antar *Firefly*  $i$  dan  $j$ .

$\alpha$  : Koefisien nilai random dan vektornya.

$\beta(r)$  : Koefisien pergerakan *Firefly*.

$\beta_0$  : Koefisien pergerakan *Firefly* pada  $r = 0$ .

$\gamma$  : Koefisien penyerapan intensitas cahaya (karena kabut, dll).

$x_i$  : Koordinasi spasial *Firefly* ke  $i$ .

$x_j$  : Koordinasi spasial *Firefly* ke  $j$ .

$\tau$  : Panjang skala dari permasalahan yang akan dioptimasi.

## BAB III PENGUNAAN *FIREFLY* UNTUK SCDOPF

### 3.1 Flowchart

Dalam menyelesaikan penelitian ini, maka metode yang digunakan dalam menjawab permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut :

- a. Pengambilan dan pengolahan data seperti (sistem IEEE 30 bus, beban dinamis tiap jam selama 24 jam, *ramp rate*, dan Pmax, Pmin).
- b. Membuat model program penjadwalan pembangkit dengan biaya termurah menggunakan *security constraint dynamic optimal power flow* dengan metode *Algoritma Firefly*.
- c. Simulasi dan evaluasi program.
- d. Membuat laporan penelitian.

#### Pengolahan Data

Data yang diperlukan untuk melakukan simulasi adalah data sistem IEEE 30 bus, yang terdiri atas :

- a. Data daya pembangkitan.
- b. Data beban.
- c. Data standar kapasitas saluran.
- d. Data karakteristik biaya pembangkitan.
- e. Data *ramp rate*.

#### Penentuan fungsi *Objective*

Fungsi *objective* dalam menyelesaikan masalah *Security Constraint Optimal Power Flow* (SCDOPF) menentukan biaya pembangkitan termurah seperti pada persamaan berikut:

*Objective function* :

$$\text{Minimize } F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_{gen}} \sum_{i=1}^C f_i(P_i) \quad (3.1)$$

$$f_i(P_i) = a_1 P_{gi}^2 + b_i P_{gi}^t + c_i \quad (3.2)$$

Keterangan parameter persamaan (3.1) dan (3.2)

$F$  : Fungsi minimal biaya pembangkitan

$\sum_{i=1}^{NG}$  : Menunjukkan banyaknya generator yang akan dioptimisasi

$\sum_{i=1}^C$  : Menunjukkan banyaknya kontingensi yang akan dilakukan OPF

$\sum_{t=1}^T$  : Menunjukkan perubahan beban terhadap interval waktu

$(P_i)$  : Menunjukkan persamaan koefisien biaya dari masing-masing generator yang diwujudkan dengan persamaan  $a_1, b_i, c_i$

### Penentuan Constraint

Untuk menyelesaikan masalah SCDOF program yang dijalankan tidak boleh melanggar *Constraint* yang telah ditetapkan. *Constraint* yang telah ditetapkan terdiri atas persamaan constraint dan pertidaksamaan constraint.

*Constraint* persamaan pada SCDOF selalu berhubungan dengan fisik pada sistem tenaga. Persamaan *constraint* ditunjukkan pada persamaan :

$$P_i^t = P_{gi}^t - P_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (3.3)$$

$$Q_i^t = Q_{gi}^t - Q_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (3.4)$$

Keterangan pada persamaan (3.3) dan (3.4) sebagai berikut

$P_{gi}^t$  dan  $Q_{gi}^t$  : Merupakan daya aktif dan reaktif yang dibangkitkan oleh generator  $i$  pada jam  $t$ .

$P_{di}^t$  dan  $Q_{di}^t$  : Merupakan daya aktif dan reaktif permintaan beban bus  $i$  pada jam  $t$ .

$\theta_i$  dan  $\theta_j$  : Merupakan tegangan sudut dari dua ujung bus yang membentuk cabang pada jam  $t$ .  $N$  menunjukkan banyaknya bus yang ada pada sistem.

*Constraint* pertidaksamaan pada SCDOF terletak pada sistem dan batasan teknik peralatan. *Constraint* pertidaksamaan dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{gi \min} \leq P_{gi}^t \leq P_{gi \max}, i = 1, 2, \dots, N_{gen} \quad (3.5)$$

$$Q_{gi \min} \leq Q_{gi}^t \leq Q_{gi \max}, \quad (3.6)$$

$$V_{i \min} \leq V_i^t \leq V_{i \max}, i = 1, 2, \dots, N_{bus} \quad (3.7)$$



$$S_l \leq S_l^{max} \quad l = 1, 2, \dots, nl \quad (3.8)$$

Keterangan pada persamaan (3.5) sampai dengan (3.10) sebagai berikut :

$P_{gi\ max}$  ,  $P_{gi\ min}$  : Menunjukkan maksimum dan minimum daya aktif pada generator.

$Q_{gi\ max}$  ,  $Q_{gi\ min}$  : Menunjukkan maksimum dan minimum daya reaktif pada bus i.

$V_{i\ max}$  ,  $V_{i\ min}$  : Menunjukkan maksimum dan minimum tegangan pada tiap-tiap bus.

$S_l$  ,  $S_l^{max}$  : Merupakan MVA yang mengalir pada saluran.

Secara praktis *output* pembangkit dari generator tidak dapat ditentukan seketika tanpa batasan. Jarak pengoperasian untuk semua unit secara *online* dengan batasan *ramp rate* selama tiap jam. Setiap pembangkit mempunyai batasan *ramp rate* yang berbeda-beda seperti persamaan (3.11) dan (3.12).

$$P_{gi}^t - P_{gi}^{(t-1)} \leq UR_i \quad (3.11)$$

$$P_{gi}^{(t-1)} - P_{gi}^t \leq DR_i \quad (3.12)$$

Keterangan persamaan (3.11) dan (3.12) :

$P_{gi}^t$  dan  $P_{gi}^{(t-1)}$  : Daya output unit ith pada waktu t dan ( t - 1 ) dalam MW.

$UR_i$  dan  $DR_i$  : Batasan *ramp rate up* dan *down* unit ith dalam MW/h.

### 3.2 Algoritma

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah *Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow* (SCDOPF) adalah *Firefly Algorithm*. Pada tesis ini sistem tenaga IEEE 30 bus disimulasikan menggunakan Algoritma *firefly* (FA). FA digunakan untuk menyelesaikan permasalahan SCDOPF. Di dalam penyelesaian FA, *firefly* bergerak menuju *firefly* yang memiliki sinar lebih terang, pergerakan menuju lebih terang ini yang mendasari FA sangat mudah dan relatif lebih mudah dibandingkan teknik optimasi lainnya. FA terdiri dari beberapa *firefly* ( $P_{G,m}$ ) dengan tingkat kecerahan yang berbeda  $F(P_{G,m})$ . *Firefly* dengan fungsi *fitness* terbaik dari semua *firefly* dipilih sebagai

$$\text{Best}^k = [\text{best}_1^k, \text{best}_2^k, \dots, \text{best}_{NT}^k] \quad (3.13)$$

Susunan dari masing-masing *firefly* dalam kelompok dapat didefinisikan seperti dibawah ini:

$$\mathbf{P}_{G,m}^k = [\mathbf{P}_{,m,1}^k, \mathbf{P}_{,m,2}^k, \dots, \mathbf{P}_{,m,NT}^k] \quad m = 1, \dots, N_{\text{firefly}} \quad (3.14)$$

Pada persamaan (3.13) menjelaskan output yang dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit termal pada tiap jam. Pergerakan posisi *firefly* untuk menuju ke *firefly* yang lebih terang bergerak secara random. Posisi *firefly* dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.15) :

$$\mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k = \begin{cases} \text{if } G(\mathbf{P}_{n,t,\text{firefly}}^k) < G(\mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k) \\ \mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k + \beta^k (\mathbf{P}_{n,t,\text{firefly}}^k - \mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k) \\ + \alpha^k |\mathbf{P}^{\text{max}} - \mathbf{P}^{\text{min}}| \left( \text{rand}_1 \times \text{NG}(\cdot) - \frac{1}{2} \right) \\ \text{else} \\ \mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k \end{cases} \quad (3.15)$$

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

Dengan

$$\mathbf{P}^{\text{max}} = [P_1^{\text{max}}, P_1^{\text{max}}, \dots, P_{NG}^{\text{max}}]$$

Dan

$$\mathbf{P}^{\text{min}} = [P_1^{\text{min}}, P_1^{\text{min}}, \dots, P_{NG}^{\text{min}}]$$

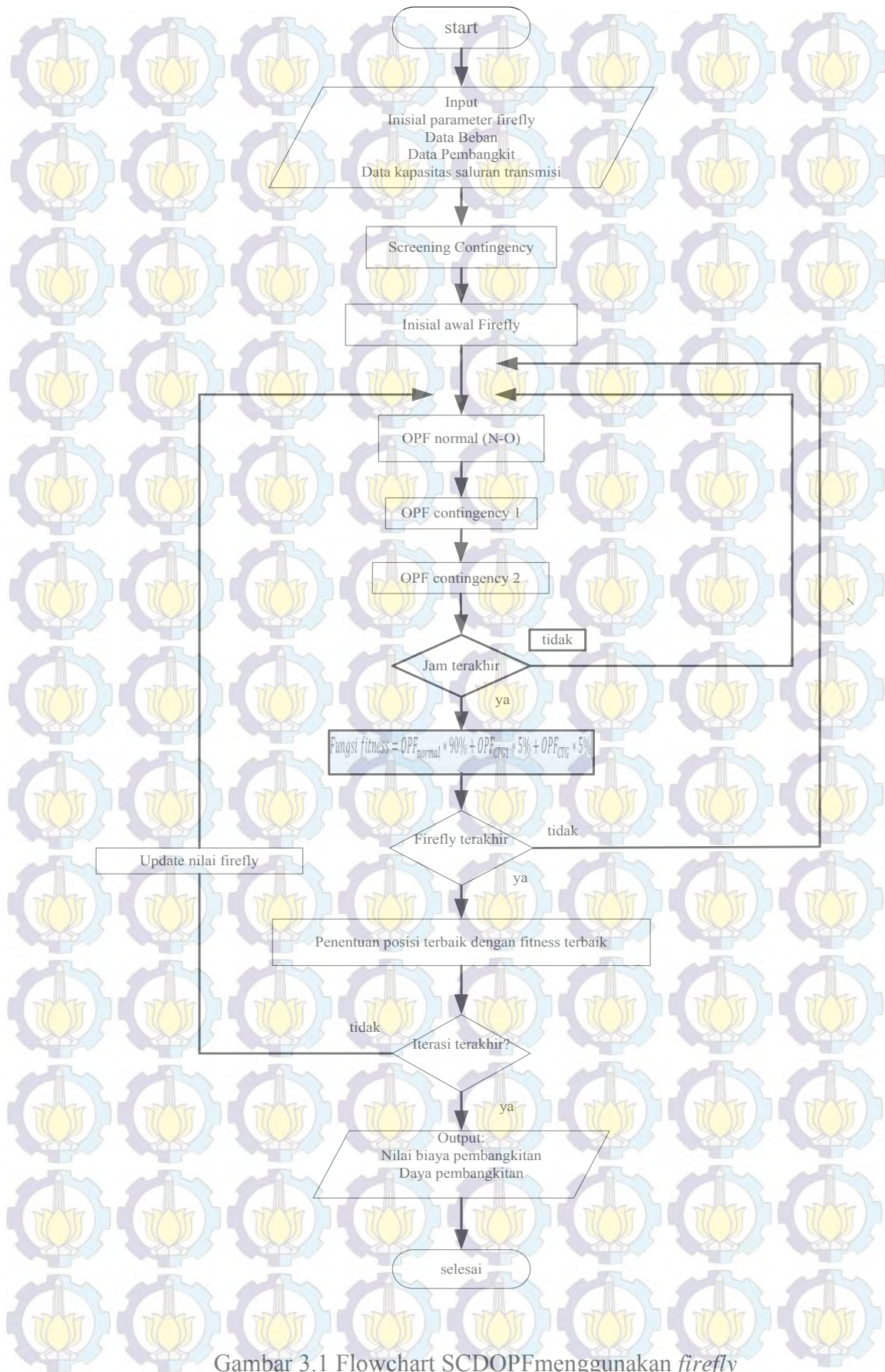
$$\beta^k = \beta_{\text{max}} e^{-\gamma (r_{m,n,t}^k)^2} \quad (3.16)$$

Fungsi ketertarikan ditunjukkan persamaan (3.17) *firefly*<sub>m</sub> selalu bergerak menuju ke yang *firefly*<sub>n</sub> lebih terang pada bidang cartesius :

$$\beta^k = (\beta_{\text{max}} - \beta_{\text{min}}) e^{-\gamma (r_{m,n,t}^k)^2} + \beta_{\text{min}} \quad (3.17)$$

Dengan

$$r_{m,n,t}^k = \|\mathbf{P}_{n,t,\text{firefly}}^k - \mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k\| = \sqrt{\sum_{i=1}^{NG} (\mathbf{P}_{n,t,\text{firefly}}^k - \mathbf{P}_{m,t,\text{firefly}}^k)^2} \quad (3.18)$$



Gambar 3.1 Flowchart SCDOPF menggunakan *firefly*

Prosedur penggunaan flowchart SCDOPT menggunakan FA sebagai berikut:

1. Inisialisasi parameter FA terdiri atas banyaknya generator, banyaknya kombinasi *firefly*, *Load flow*.
2. *Screening contingency* dilakukan untuk mencari adanya kontingensi terburuk pada sistem tenaga.
3. Inisialisasi awal *firefly* dengan cara merandom nilai  $P_{min}$  dan  $P_{max}$  dari masing-masing generator dengan cara membuat matrik dengan kombinasi sebanyak *firefly*.

$$P_{max} - P_{min} * rand + P_{min} \quad (3.19)$$

4. FA awal yang diperoleh dimasukkan kedalam *load flow* untuk dilakukan OPF pada keadaan normal, kemudian dilanjutkan dengan melakukan OPF pada keadaan kontingensi 1 kemudian dilanjutkan dengan melakukan OPF pada keadaan kontingensi 2.

5. Fungsi *fitness* (FF) dari OPF dengan 3 kondisi sebagai berikut :

$$FF = 90 \% OPF \text{ normal} + 5 \% OPF \text{ ctg 1} + 5 \% OPF \text{ ctg 2} \quad (3.20)$$

6. Dilakukan penjumlahan nilai fungsi *fitness* dari jam 1 sampai jam yang terakhir.
7. Setelah di dapatkan  $P_{best}$  dari masing-masing kelompok *firefly* seperti pada persamaan (3.13) maka dipilah  $P_{best}$  terbaik yang disebut dengan  $G_{best}$  (*global best*) seperti pada persamaa (3.14) jika tidak ditemukan maka kembali lagi dilakukan OPF, jika sudah diperoleh maka *firefly* berada pada posisi terbaik dengan nilai *fitness* terbaik seperti pada persamaan (3.18 dan 3.19)
8. Apabila nilai  $G_{best}$  sudah diperoleh maka dilakukan iterasi lagi untuk mencari nilai *fitness* yang optimum jika sudah diperoleh maka didapatkan hasil yang diinginkan jika belum kembali lagi ke fase / langkah 4

## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

Pada tesis ini dilakukan simulasi *Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow* (SCDOPF) pada sistem tenaga IEEE 30 bus dengan tujuan untuk mencari biaya pembangkitan termurah. Metode *firefly algorithm* (FA) digunakan sebagai metode utama untuk menyelesaikan masalah SCDOPF.

Simulasi yang dikerjakan pada penelitian ini:

1. Simulasi SCDOPF dilakukan menggunakan metode FA dengan fungsi obyektif meminimalkan biaya.
2. Simulasi SCDOPF dilakukan berurutan dimulai dengan OPF Normal, OPF dengan *contingency 1* dan OPF dengan *contingency 2* menggunakan metode *firefly*.

### 4.1 Data IEEE 30 bus

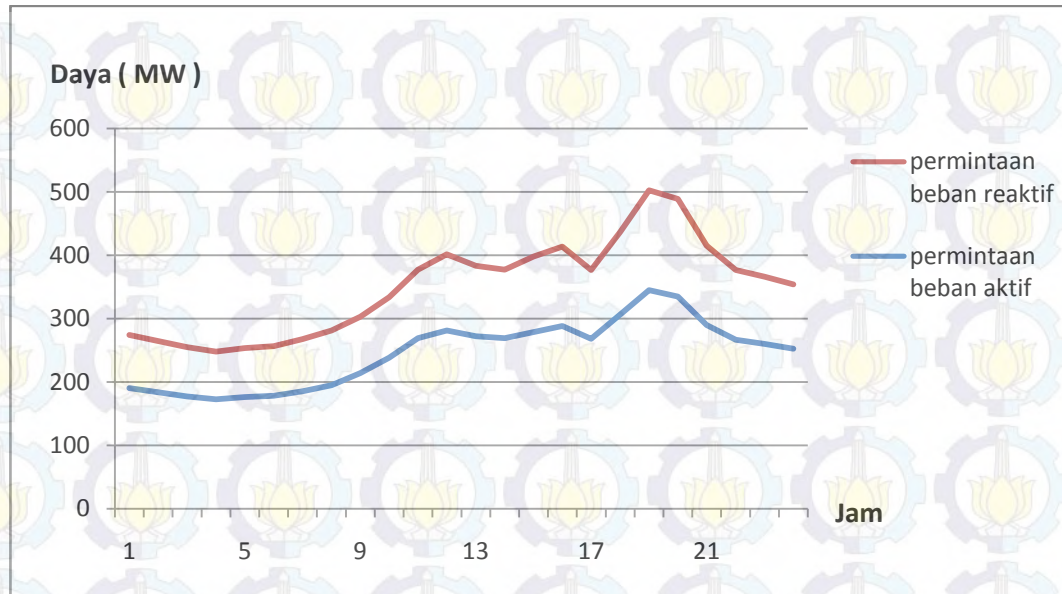
Data IEEE 30 bus pada tesis ini digunakan sebagai *input* program dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* untuk menyelesaikan masalah *security constraint dynamic optimal power flow* dengan tujuan untuk mencari biaya pembangkitan termurah. Sistem tenaga IEEE 30 bus terdiri dari data 6 unit pembangkit yang berada pada bus 1, bus 2, bus5, bus 8, bus 11 dan bus 13. Tabel 3.1 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.

Tabel 4.1 Data Bus pada sisten tenaga IEEE 30 bus

Bus		Voltage	Angle	Load		Generator				Static Mvar
No	Code	Mag	Degree	MW	MVar	MW	MVar	Qmin	Qmax	+Qc/- Q1
1	1	1.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-20	200	0
2	2	1.043	0.0	21.70	12.7	40.0	0.0	-20	100	0
3	0	1.0	0.0	2.4	1.2	0.0	0.0	0	0	0
4	0	1.06	0.0	7.6	1.6	0.0	0.0	0	0	0
5	2	1.01	0.0	94.2	19.0	0.0	0.0	-15	60	0
6	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
7	0	1.0	0.0	22.8	10.9	0.0	0.0	0	0	0
8	2	1.01	0.0	30.0	30.0	0.0	0.0	30	50	0
9	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
10	0	1.0	0.0	5.8	2.0	0.0	0.0	-6	24	0
11	2	1.082	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
12	0	1.0	0.0	11.2	7.5	0.0	0.0	0	0	0
13	2	1.071	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10	24	0
14	0	1.0	0.0	6.2	1.6	0.0	0.0	0	0	0
15	0	1.0	0.0	8.2	2.5	0.0	0.0	0	0	0
16	0	1.0	0.0	3.5	1.8	0.0	0.0	0	0	0
17	0	1.0	0.0	9.0	5.8	0.0	0.0	0	0	0
18	0	1.0	0.0	3.2	0.9	0.0	0.0	0	0	0
19	0	1.0	0.0	9.5	3.4	0.0	0.0	0	0	0
20	0	1.0	0.0	2.2	0.7	0.0	0.0	0	0	0
21	0	1.0	0.0	17.5	11.2	0.0	0.0	0	0	0
22	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
23	0	1.0	0.0	3.2	1.6	0.0	0.0	0	0	0
24	0	1.0	0.0	8.7	6.7	0.0	0.0	0	0	0
25	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
26	0	1.0	0.0	3.5	2.3	0.0	0.0	0	0	0
27	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
28	0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
29	0	1.0	0.0	2.4	0.9	0.0	0.0	0	0	0
30	0	1.0	0.0	10.6	1.9	0.0	0.0	0	0	0

Tabel 4.2 Data saluran ( line data ) sistem tenaga IEEE 30 bus

Bus		R	X	1/2	B1 untuk kode line atau nilai tap transformator
Dari	Ke	Pu	Pu	Pu	
1	2	0.0192	0.0575	0.02640	1
1	3	0.00452	0.1852	0.02040	1
2	4	0.0570	0.1737	0.01840	1
3	4	0.0132	0.0379	0.00420	1
2	5	0.0472	0.1983	0.02090	1
2	6	0.0581	0.1763	0.01870	1
4	6	0.0119	0.0414	0.00450	1
5	7	0.0460	0.1160	0.01020	1
6	7	0.0267	0.0820	0.00850	1
6	8	0.0120	0.0420	0.00459	1
6	9	0.0	0.2080	0.0	0.978
6	10	0.0	0.5560	0.0	0.969
9	11	0.0	0.2080	0.0	1
9	10	0.0	0.1100	0.0	1
4	12	0.0	0.2560	0.0	0.932
12	13	0.0	0.1400	0.0	1
12	14	0.1231	0.2559	0.0	1
12	15	0.0662	0.1304	0.0	1
12	16	0.0945	0.1987	0.0	1
14	15	0.2210	0.1997	0.0	1
16	17	0.0824	0.1923	0.0	1
15	18	0.1073	0.2185	0.0	1
18	19	0.0639	0.1292	0.0	1
19	20	0.0340	0.0680	0.0	1
10	20	0.0936	0.2090	0.0	1
10	17	0.0324	0.0845	0.0	1
10	21	0.0348	0.0749	0.0	1
10	22	0.0727	0.1499	0.0	1
21	22	0.0116	0.0236	0.0	1
15	23	0.1000	0.2020	0.0	1
22	24	0.1150	0.1790	0.0	1
23	24	0.1320	0.2700	0.0	1
24	25	0.1885	0.3292	0.0	1
25	26	0.2544	0.3800	0.0	1
25	27	0.1093	0.2087	0.0	1
28	27	0.0000	0.3960	0.0	0.968
27	29	0.2198	0.4153	0.0	1
27	30	0.3202	0.6027	0.0	1
29	30	0.2399	0.4533	0.0	1
8	28	0.0636	0.2000	0.0214	1
6	28	0.0169	0.0599	0.065	1



Gambar 4.1 Grafik permintaan beban daya aktif dan daya reaktif berdasarkan IEEE 30 bus

Tabel 4.3 Data *constraint* daya aktif dan reaktif generator

NO	Generator	Daya Aktif (MW)		Daya Reaktif (MVAR)	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
1	Generator 1	50	200	-	-
2	Generator 2	20	80	-20	100
3	Generator 3	15	50	-15	80
4	Generator 4	10	35	-15	60
5	Generator 5	10	30	-10	50
6	Generator 6	12	40	-15	60

Tabel. 4.4 Data karakteristik fungsi biaya pembangkitan

NO	Generator	Fungsi Biaya (\$/Jam)
1	Generator 1 (bus1)	$C_1 = 0.00375P_1^2 + 2P_1 + 0$
2	Generator 2 (bus 2)	$C_1 = 0.0175P_1^2 + 1.75P_1 + 0$
3	Generator 3 (bus 5)	$C_1 = 0.0625 P_1^2 + 1P_1 + 0$
4	Generator 4 (bus 8)	$C_1 = 0.0083 P_1^2 + 3.25P_1 + 0$
5	Generator 5 (bus 11)	$C_1 = 0.025P_1^2 + 3P_1 + 0$
6	Generator 6 (bus 13)	$C_1 = 0.025P_1^2 + 3P_1 + 0$



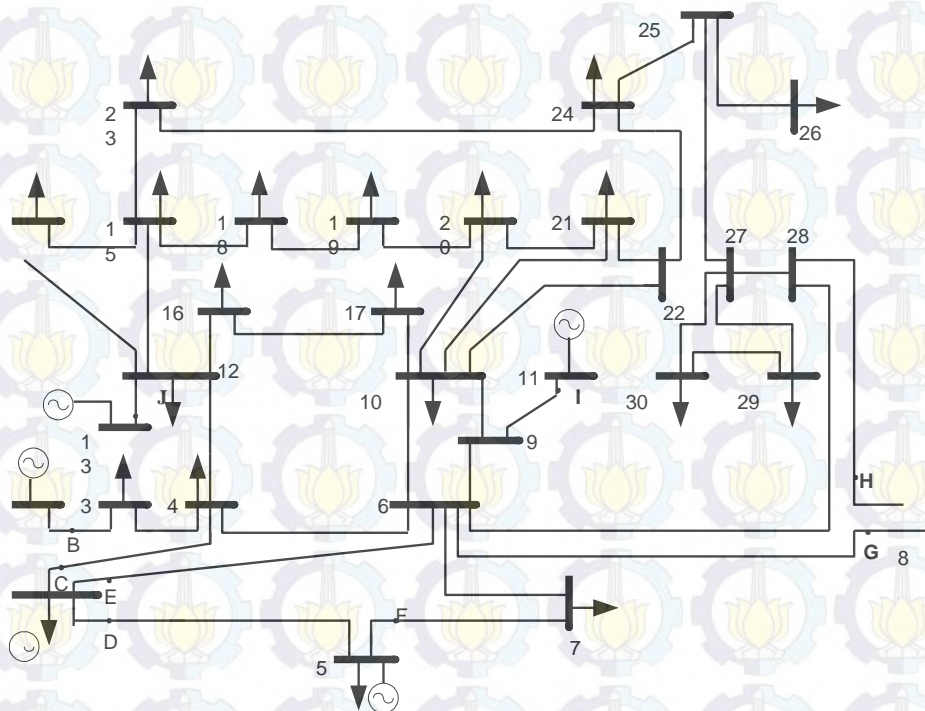
Tabel 4.5 Data *constraint maximum* dan *minimum* daya yang dibangkitkan beserta *ramp rate* dari masing-masing generator.

NO	Generator	$P_{min}$	$P_{min}$	Ram rate (UP)	Ram rate (Down)
1	Generator 1 (bus1)	0	250	15	20
2	Generator 2 (bus 2)	0	80	10	15
3	Generator 3 (bus 5)	0	50	6	10
4	Generator 4 (bus 8)	0	55	4	8
5	Generator 5 (bus 11)	0	30	4	8
6	Generator 6 (bus 13)	0	40	5	10

Dalam melakukan simulasi, komputer yang digunakan memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data spesifikasi CPU

No	Parameter	Spesifikasi CPU
1	Processor	Intel ® core™ i3
2	Speed Processing	2,Hz
3	Installed Memory (RAM)	4,00 GB
4	System type	64-bit Operating System



Gambar 4.2 Skema gambar sistem tenaga IEEE 30 bus

## 4.2 Simulasi Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow

*Security Constraint Dynamic Optimal Power Flow* akan disimulasikan menggunakan program *firefly algorithm* (FA) / Algoritma kunang-kunang.

### 4.2.1 Simulasi SCDOPF menggunakan FA

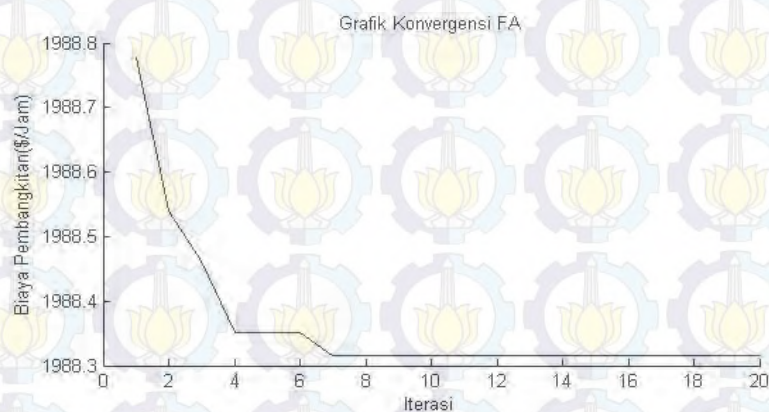
Parameter yang digunakan untuk mengimplementasikan FA dalam menyelesaikan masalah SCDOPF pada sistem tenaga IEEE 30 bus ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.7 Parameter FA

Jumlah partikel	Max Iterasi	Alpha	Gamma	Betamin
20	20	0.1	0.02	0.2

Parameter-parameter pada tabel 4.7 digunakan secara keseluruhan dan konsisten digunakan untuk mensimulasikan SCDOPF menggunakan FA. Jumlah partikel menunjukkan banyaknya kombinasi solusi dalam SCDOPF. Jumlah iterasi merupakan jumlah total evaluasi fungsi secara keseluruhan. *Alpha* merupakan konstanta yang menyatakan kemampuan intensitas cahaya dari masing-masing *firefly*. Pada simulasi SCDOPF, alpha diatur pada nilai 0.1. *Betamin* dan *Gamma* merupakan konstanta yang diperlukan FA untuk mengupdate pergerakan dan intensitas cahaya dari masing-masing *firefly*.

Grafik konvergensi FA untuk menyelesaikan masalah SCDOPF ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.3 Grafik konvergensi SCDOPF menggunakan metode FA

Simulasi SCDOFP dilakukan secara langsung dengan tiga keadaan yaitu melakukan simulasi OPF dalam keadaan normal, OPF dalam keadaan kontingensi 1 dan OPF dalam keadaan kontingensi 2. Hal itu dilakukan secara kontinyu selama 4 jam untuk menentukan biaya pembangkitan termurah. Biaya pembangkitan dari masing-masing kondisi dikalikan dengan *expected cost* sebagai berikut:

$$P_1 \% * biaya_{normal} + P_2 \% * biaya_{CTG\ 1} + P_3 \% * biaya_{CTG\ 2}$$

*Expected cost* bila dijumlahkan semuanya bernilai 100%. Biaya pembangkitan hasil simulasi SCDOFP bisa dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil simulasi SCDOFP selama 4 jam menggunakan FA

No	Biaya pembangkitan	Biaya (\$/jam)
1	Pada jam 1	510.155
2	Pada jam 2	508.623
3	Pada jam 3	495.858
4	Pada jam 4	474.134
5	<b>Total biaya</b>	1988.7698

FA merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang bersifat stokastik yang nilainya selalu berubah ubah sehingga simulasi dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk mengetahui probabilitas statistiknya. Hasil *probabilitic statistic* diketahui bahwa minimum total biaya pembangkitan 1942.325 (\$/jam), maksimum total biaya pembangkitan 2060.733 (\$/jam), median total biaya pembangkitan 2026.162 (\$/jam), dan standart deviasi total biaya pembangkitan 42.369 (\$/jam), seperti terlihat pada tabel 4.9. Waktu yang dibutuhkan unntuk melakukan iterasi 60.479212 seconds.

Tabel 4.9 *Probabilitic statistic* total biaya pembangkitan menggunakan FA

No	Probabilitic statistic	Total biaya pembangkitan (\$/jam)
1	MIN	1.898.592
2	MAX	2.177.314
3	MEDIAN	1.957.293
4	STANDART DEVIASI	82.837

Daya yang dibangkitkan oleh generator pada jam 1 sampai dengan jam 4 seperti terlihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.10 Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada jam 1

No	Nama Generator	Daya aktif pembangkit MW	Biaya (\$/jam)
1	Generator 1	90.889	212.756
2	Generator 2	16.216	32.980
3	Generator 3	29.532	84.041
4	Generator 4	16.177	54.758
5	Generator 5	26.966	99.077
6	Generator 6	15.560	52.733

Tabel 4.11 Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada jam 2

No	Nama Generator	Daya aktif pembangkit MW	Biaya (\$/jam)
1	Generator 1	87.527	203.783
2	Generator 2	13.033	25.780
3	Generator 3	28.802	80.648
4	Generator 4	18.715	63.746
5	Generator 5	24.749	89.560
6	Generator 6	13.766	46.034

Tabel 4.12 Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada jam 3

No	Nama Generator	Daya aktif pembangkit MW	Biaya (\$/jam)
1	Generator 1	86.633	201.411
2	Generator 2	10.410	20.144
3	Generator 3	25.674	66.871
4	Generator 4	15.254	51.516
5	Generator 5	26.612	97.541
6	Generator 6	16.841	57.613

Tabel 4.13 Daya aktif yang dibangkitkan oleh generator pada jam 4

No	Nama Generator	Daya aktif pembangkit MW	Biaya (\$/jam)
1	Generator 1	84.399	195.510
2	Generator 2	11.118	21.620
3	Generator 3	25.039	64.223
4	Generator 4	18.717	63.752
5	Generator 5	23.397	83.876
6	Generator 6	13.764	46.028

Losses yang dihasilkan oleh mulai dari jam 1 sampai jam ke 4 seperti terlihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Losses yang dihasilkan mulai dari jam 1 sampai jam 4 menggunakan FA

No	Jam	Daya Aktif	Daya Reaktif
1	1	2.815	-36.228
2	2	2.691	-36.830
3	3	4.024	-32.173
4	4	3.435	-34.244

#### 4.2.1 Simulasi SCDOF menggunakan PSO

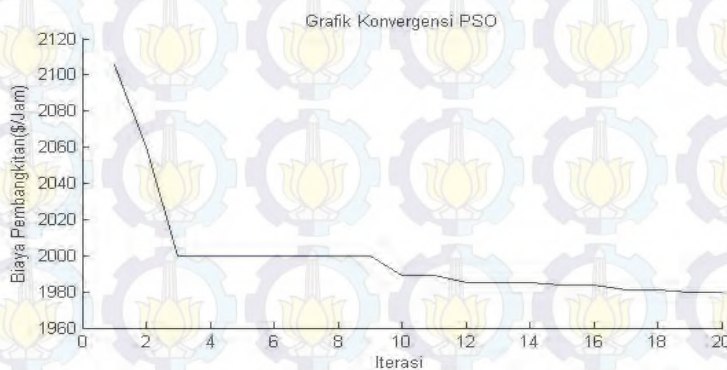
Parameter yang digunakan untuk mengimplementasikan PSO dalam menyelesaikan masalah SCDOF pada sistem tenaga IEEE 30 bus ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.15. Parameter PSO

No	Parameter PSO	Nilai
1	Partikel	20
2	Max iterasi	20
3	Accel 1	1.2
4	Accel 2	1.2
3	W_min	0.9
4	W_max	0.4

Parameter partikel menunjukkan banyaknya *swarm* yang akan dijadikan kombinasi untuk membangkitkan daya aktif dari generator. Max iterasi menunjukkan banyaknya iterasi yang akan dilakukan, Accel 1 dan 2 merupakan kecepatan dari PSO, sedangkan W\_min dan W\_max digunakan untuk memperbarui nilai weigh pada PSO.

Grafik konvergensi menggunakan PSO



Gambar 4.4 Grafik konvergensi SCDOFP menggunakan metode PSO

Tabel 4.16 Hasil simulasi SCDOFP selama 4 jam menggunakan PSO

No	Biaya pembangkitan	Biaya (\$/jam)
1	Pada jam 1	487.926
2	Pada jam 2	582.867
3	Pada jam 3	444.469
4	Pada jam 4	455.605
5	<b>Total biaya</b>	1970.867

Dari tabel 4.16 menunjukkan biaya pembangkitan pada SCDOFP selama 4 jam. Total biaya pembangkitan pada jam satu 487.926 (\$/jam), Total biaya pembangkitan pada jam dua 582.867 (\$/jam), Total biaya pembangkitan pada jam ketiga 444.469 (\$/jam), Total biaya pembangkitan pada jam empat 455.605 (\$/jam), Total biaya pembangkitan sebesar 1970.867 (\$/jam). Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan iterasi 73.105068 seconds.

Losses yang dihasilkan oleh mulai dari jam 1 sampai jam ke 4 seperti terlihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17 Losses yang dihasilkan mulai dari jam 1 sampai jam 4 menggunakan PSO

No	Jam	Daya Aktif	Daya Reaktif
1	1	6.782	-30.487
2	2	5.899	-35.029
3	3	4.313	-40.854
4	4	4.023	-42.141

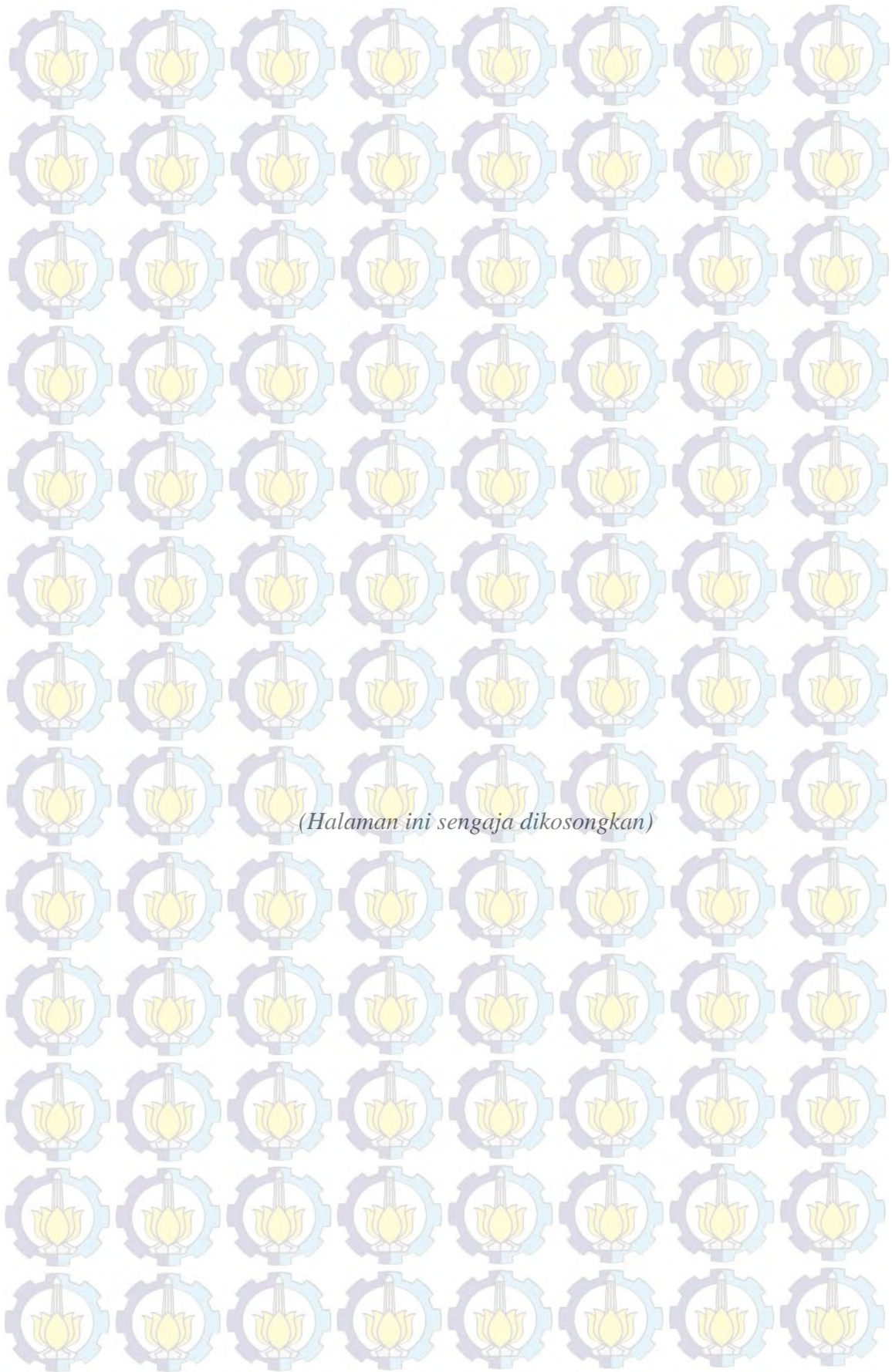
## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Saluran transmisi diberi kontingensi untuk mengetahui kehandalan dan keamanan sistem tenaga menggunakan program SCDOFP sehingga diperoleh rugi-rugi daya pada saluran menjadi stabil, daya yang dibangkitkan tidak melanggar constraint.
2. SCDOFP dilakukan dengan mensimulasikan tiga keadaan secara berurutan yang dimulai dengan OPF kondisi normal dilanjutkan dengan OPF kontingensi 1 dan OPF kontingensi 2.
3. Dengan menambahkan kontingensi pada saluran transmisi dan menggunakan perbandingan expected cost sistem dapat bekerja dengan aman dan diperoleh total pembangkitan dengan harga yang murah.
4. Simulasi SCDOFP menggunakan metode FA menghasilkan biaya pembangkitan pada jam pertama 520.252 (\$/jam), pada jam ke dua 471.056 (\$/jam), pada jam ke tiga 475.671 (\$/jam) dan jam ke empat 475.671 (\$/jam) dengan total biaya 1942.325 (\$/jam).
5. Simulasi SCDOFP menggunakan PSO menghasilkan biaya pembangkitan pada jam pertama 507.508 (\$/jam), pada jam ke dua 496.988 (\$/jam), pada jam ke tiga 491.615 (\$/jam) dan jam ke empat 543.604 (\$/jam) dengan total biaya 2030.715 (\$/jam).
6. Rugi-rugi daya yang dihasilkan SCDOFP menggunakan PSO lebih besar dan waktu iterasinya lebih lama bila dibandingkan dengan SCDOFP menggunakan FA.

### 5.2 Saran

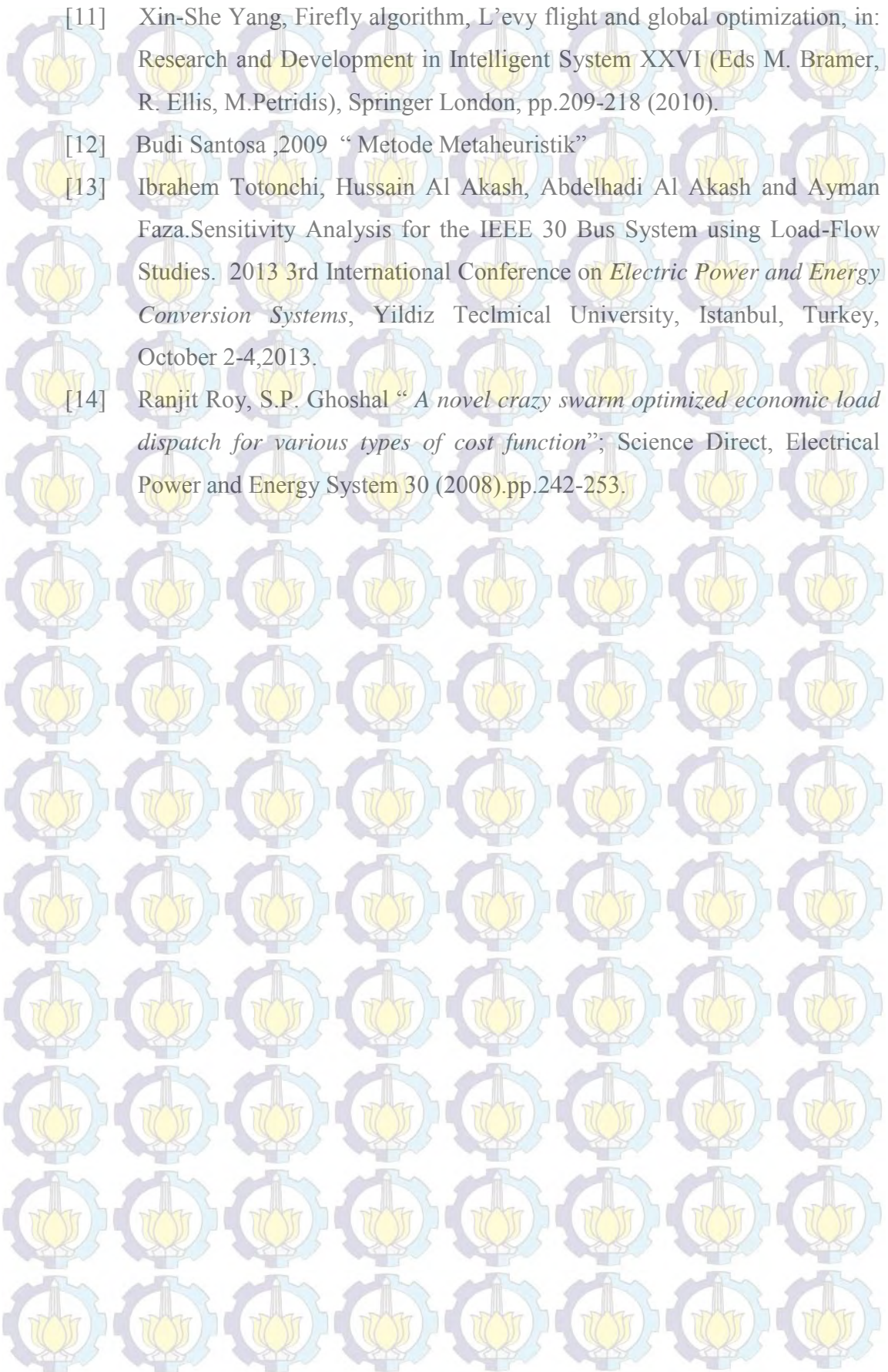
1. Penelitian SCDOFP ini diharapkan dapat digunakan di dalam *real system*.
2. Perlu dilakukan beberapa modifikasi untuk meningkatkan performa dari FA.
3. Untuk penelitian SCDOFP perlu dikembangkan dengan menambahkan *spinning reserve* sehingga bisa diimplementasikan pada *real system*.





## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allen J. Wood, Power Generation Operation and Control, second edisi tahun 1996.
- [2] Hadi Saadat, "Power System Analysis", second edition. McGraw-Hill, 2004.
- [3] Xin-She Yang, Firefly Algorithm for Multimodal Optimization, in: stochastic Algorithms: foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer sciences, Vol. 5792, pp. 169-178 (2009).
- [4] Tonce Yun KP, Fakultas teknologi industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012, Penjadwalan pembangkit untuk daya aktif dan reaktif menggunakan Algoritma *Firefly*.
- [5] Abido M.A. Department Of Ellectrical Engineering, 5 July 2001 *Optimal Power Flow Using Particle Swarm Optimization*
- [6] Vaisakh, K, Srinivas, L.R Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2005-2008 JATIT. *Differential Evolution Approach For Optimal Power Flow Solution*
- [7] Widarsono Kukuh, Fakultas teknologi industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012, *Optimal Power Flow* dengan *security constraints* untuk mendapatkan pembangkitan minimum menggunakan *Spontaneous Evolutionary genetik Algorithm (SEGA)*
- [8] E Pablo, YumblaOñate, RamirezJuan M. *Member, IEEE* February 2008 "Optimal Power Flow Subject to Security Constraints Solved With a Particle Swarm Optimizer"
- [9] Amjady Nima, Fatemi Hamzeh, Zareipour Hamidreza *Senior Member, IEEE*, 3, AUGUST 2012 Solution Of Optimal Power Flow Subject To Security Constraints By A New Improved Bacterial Foraging Method
- [10] Nikman T., M.R. Narimani, J. Aghaei, s. Tabatabaei, M. Nayeripour. "Modified Honey Bee Mating Optimization To Solve Dynamic Optimal Power Flow Considering Generator Constraint", IET Generation Transmission and Distribution, Vol.10, pp.989-1002, june 2011.



[11] Xin-She Yang, Firefly algorithm, L'evy flight and global optimization, in: Research and Development in Intelligent System XXVI (Eds M. Bramer, R. Ellis, M.Petridis), Springer London, pp.209-218 (2010).

[12] Budi Santosa ,2009 “ Metode Metaheuristik”

[13] Ibrahim Totonchi, Hussain Al Akash, Abdelhadi Al Akash and Ayman Faza.Sensitivity Analysis for the IEEE 30 Bus System using Load-Flow Studies. 2013 3rd International Conference on *Electric Power and Energy Conversion Systems*, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, October 2-4,2013.

[14] Ranjit Roy, S.P. Ghoshal “ *A novel crazy swarm optimized economic load dispatch for various types of cost function*”; Science Direct, Electrical Power and Energy System 30 (2008).pp.242-253.

## BIOGRAFI PENULIS



**Rosyidatul Makmuria** dilahirkan di Gresik, 26 Oktober 1977. Penulis adalah putri kedelapan dari sebelas bersaudara. Penulis memulai jenjang pendidikannya di SD MI Banat NU Gresik, SMP Muallimat Gresik, serta SMA Negeri Sidayu Gresik hingga lulus tahun 1996. Penulis diterima sebagai mahasiswa di UNESA pada jurusan pendidikan teknik tenaga listrik dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2002. Penulis mengajar di SMK Negeri 1 Cerme Gresik dari tahun 2002 sampai sekarang. Penulis diberi kesempatan oleh pihak sekolah untuk melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Teknik Elektro, bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan berkonsentrasi pada bidang simulasi sistem tenaga pada Tugas Akhir dan Tesis. Penulis dapat dihubungi di alamat email *rosy\_gresik@yahoo.co.id*.