



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN DYNAMIC LINE  
RATING MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM  
OPTIMIZATION.**

Taufik Hidayatullah  
NRP 07111540000042

Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN DYNAMIC LINE  
RATING MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM  
OPTIMIZATION.**

**Taufik Hidayatullah  
NRP 0711154000042**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**OPTIMAL POWER FLOW WITH DYNAMIC LINE RATING  
USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION .**

**Taufik Hidayatullah  
NRP 0711154000042**

**Supervisors  
Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, M.T.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019**

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

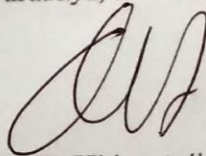
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan "**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *DYNAMIC LINE RATING* MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Mei 2019



Taufik Hidayatullah  
NRP 0711154000042

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



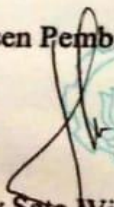
**ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN *DYNAMIC LINE RATING* MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

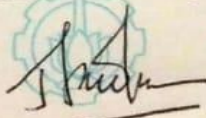
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T  
NIP. 1974 11 29 2000 12 1001

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
NIP. 1982 08 29 2006 04 2001



*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

# ALIRAN DAYA OPTIMAL DENGAN MEMPERTIMBANGKAN DYNAMIC LINE RATING MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION.

Nama Mahasiswa : Taufik Hidayatullah  
NRP : 07111540000042  
Pembimbing I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
NIP : 197411292000121001  
Pembimbing II : Dr. Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
NIP : 196509011991032002

## **Abstrak:**

Operasi sistem tenaga yang baik merupakan hal yang penting guna dapat memenuhi permintaan kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik. Optimal power flow adalah solusi penyelesaian aliran daya dengan solusi yang optimum tanpa melanggar batasan pembangkitan generator dan *ramprate* generator. Pada penelitian tugas ini akan digunakan standar IEEE 30 bus sebagai plan penelitian. Perhitungan. Opf konvensional tidak dapat diterapkan dalam sistem operasi secara nyata karena pada kondisi sebenarnya beban selalu dinamis, maka dari itu pada tugas akhir ini akan digunakan perhitungan AC-OPF dengan beban yang berubah tiap jam dengan batasan pembangkitan tiap generator dan ramprate generator. Metode yang digunakan adalah *particle swarm optimization* (PSO). Alhasil, dari hasil simulais terbukti bahwa metode PSO dapat mencari solusi pembangkitan daya sistem tanpa melanggar batasan pembangkitan dan *ramprate* setiap generator. Biaya pada *dynamic* OPF mempertimbangkan *ramprate* sedikit lebih mahal hingga 5% tetapi lebih aman karena dalam simulasi hasil daya yang dibangkitkan oleh generator setiap jam nya tidak pernah melanggar batasan *ramprate* tiap unit generator.dengan menggunakan rating saluran yang dinamis dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah biaya pembangkitan yang dihasilkan terbukti lebih murah

**Kata kunci:** *AC-OPF, Optimal Power Flow, Dynamic Line Rating..*

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

# **OPTIMAL POWER FLOW WITH DYNAMIC LINE RATING USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)**

Name : Taufik Hidayatullah  
NRP : 0711154000042  
Supervisor I : Dr. Eng. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T.  
NIP : 197411292000121001  
Supervisor II : Ir. Ni Ketut Aryani, MT.  
NIP : 196509011991032002

## **Abstract:**

A good power system operation is an important thing in order to be able to meet the demand of the community for electricity. Optimal power flow is the solution for solving the flow of power with the optimum solution without breaking the generator generation limit and ramprate generator. In this assignment research the IEEE 30 bus standard will be used as the research plan. Calculation. Conventional opf cannot be applied in an operating system significantly because the actual condition of the load is always dynamic, therefore in this final project the AC-OPF calculation will be used with the load changing every hour with the limit of generation of each generator and ramprate generator. The method used is particle swarm optimization (PSO). As a result, from the simulation results it is evident that the PSO method can search for system power generation solutions without violating the generation limits and rapm rates of each generator. The cost of dynamic OPF considers the ramprate to be slightly more expensive by 5% but is safer because in the simulation the power generated by the generator every hour never violates the ramprate limit of each generator unit. By using a dynamic channel rating with changing weather conditions. changing the resulting generation costs proved cheaper

**Keywords:** *AC-OPF, Optimal Power Flow, Dynamic Line Rating.*

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan jenjang studi S1 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Elektro.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini saya mengucapkan terimakasih atas segala bantuan, bimbingan, cinta dan dukungan yang telah diberikan, kepada:

1. Bapak, Ibu, bak Fat, Dikcy, Juita, Rina, Rama atas segala doa, dukungan, nasehat, dan segalanya.
2. Dr. Rony Seto Wibowo ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Ir. Ni Ketut Aryani, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
3. Prof. Ontoseno Penangsang, Bapak Dimas Fajar Uman, Bapak Suyanto, serta dosen-dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak masukan dan pengetahuan kepada penulis.
4. Arief cahyadi yang selalu memberi saran dan menjadi teman diskusi selama pengerjaan tugas akhir
5. Teman kos gebang lor 32 yang selalu memberi semangat

Surabaya, Mei 2019

Penulis

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*



## DAFTAR ISI

HALAMN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Studi Power Flow .....	7
2.2 Particle Swarm Optimization .....	10
2.3 Proses Algoritma PSO.....	11
2.4 Optimal Power Flow .....	12
2.5 Persamaan Matematis Permasalahan Optimal Power Flow Arus Bolak-balik .....	13
2.6 Dynamic Optimal Power Flow (DOPF).....	14
2.7 Dynamic Line Rating dengan Heat Balance Equation .....	16
2.8 OPF Mempertimbangkan DLR .....	18
BAB 3 OPTIMAL POWER FLOW MEMPERTIMBANGKAN DYNAMIC LINE RATING MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION .....	19
3.1 SISTEM IEEE 30 BUS.....	19
3.2 Algoritma.....	21
3.3 Fungsi Biaya Pembangkitan.....	22
3.4 Optimasi Biaya Pembangkitan Menggunakan Particle Swarm Optimization .....	23
3.5 Proses Algoritma PSO.....	24
3.6 Dynamic Line Rating .....	26
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS .....	29
4.1 Data Unit Pembangkit .....	29

4.2	Pembebanan Statis Menggunakan PSO .....	31
4.2.1	Analisa Pembebanan Statis.....	32
4.3	Pengujian Pembebanan Dinamis Sistem IEEE 30 bus ....	32
4.3.1	Pengujian Tahap 1.....	33
4.3.2	Pengujian tahap 2.....	39
4.4	Percobaan Untuk Menganalisa Kurva Konvergensi PSO Pada Penerapan Aliran Daya Optmal.....	45
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....		46
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....		47
<b>5.2 Saran</b> .....		47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		49
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....		51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem tenaga listrik .....	7
Gambar 2.2 Pemodelan bus tipikal sistem tenaga.....	9
Gambar 3.1 Sistem Standar IEEE 30 Bus .....	19
Gambar 3.2 Grafik beban dinamik.....	20
Gambar 3.3 Flowchart OPF dengan metode PSO.....	22
Gambar 3.4 Flowchart PSO.....	25
Gambar 4.2 Grafik beban selama 24 jam .....	34
Gambar 4.3 Grafik pembangkitan dengan ramprate vs no ramprate ....	37
Gambar 4.4 Grafik perbandingan Harga pembangkitan tiap jam menggunakan rating saluran statis dan rating saluran dinamis tanpa <i>ramprate</i> .....	43
Gambar 4.5 Diagram perbandingan harga pembebanan menggunakan rating saluran statis dan rating saluran dinamis.....	44
Gambar 4.6 Kurva konvergensi PSO .....	45

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Pembangkit Sistem IEEE 30 Bus .....	20
Tabel 3.2	Data Pembangkitan Sistem IEEE 30 Bus.....	20
Tabel 4.1	Rating unit pembangkit.....	29
Tabel 4.2	Data Pembangkitan Sistem IEEE 30 Bus.....	30
Tabel 4.3	Data kapasitas transfer daya saluran .....	30
Tabel 4.4	Simulasi Pembebanan Statis Menggunakan PSO .....	31
Tabel 4.5	Biaya pembangkitan dengan beban statis.....	32
Tabel 4.6	Profil Pembebanan 24 jam .....	34
Tabel 4.7	Nilai keluaran daya setiap unit pembangkit berserta biaya pembangkitan tiap jam (tanpa ramprate) .....	35
Tabel 4.8	Nilai keluaran setiap generator beserta biaya pembangkitan tiap jam (dengan ramprate) .....	36
Tabel 4.9	Total Harga Pembangkitan biaya DOPF dengan dan tanpa ramprate .....	37
Tabel 4.10	Perubahan output pembangkit yang melanggar batasan ramprate pada pembebanan dinamis tanpa batasan ramprate .....	38
Tabel 4.11	Perubahan Output pembangkit setelah menggunakan batasan ramprate .....	38
Tabel 4.12	Perhitungan rating saluran dinamis bus 1 ke bus 2 dari sistem standar IEEE 30 bus.....	40
Tabel 4.13	Kapasitas transfer daya pada saluran .....	40
Tabel 4.14	Output daya beserta biaya pembangkit dari setiap pembangkit (rating saluran dinamis tanpa ramprate) .....	41
Tabel 4.15	Output daya beserta biaya pembangkit dari setiap pembangkit (rating saluran dinamis dengan ramprate).....	42
Tabel 4.16	Perbandingan harga Pembangkitan rating dinamis dan rating statis tanpa batasan ramprate .....	43
Tabel 4.17	Perbandingan harga Pembangkitan rating dinamis dan rating statis dengan batasan ramprate .....	43

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan penting bagi kehidupan sehari-hari. Daya listrik diperoleh dari pembangkit-pembangkit tenaga listrik yang saling terhubung satu sama lain. Kebutuhan akan listrik harus diimbangi dengan pasokan daya yang lebih besar dari kebutuhan beban. Daya listrik tersebut akan di salurkan melalui jaringan transmisi dan kemudian akan didistribusikan terhadap masing-masing permintaan beban. Pengoperasian secara ekonomis pada masing-masing pembangkit sangat diperlukan agar menghasilkan sistem pembangkit yang se-ekonomis. Solusi untuk menghasilkan biaya pembangkitan yang ekonomis disebut *economic dispatch*. *Optimal power flow* adalah gabungan dari dua study yaitu *power flow* dan *economic dispatch*. *Economic dispatch* menggambarkan berbagai formulasi untuk menentukan biaya pembangkitan termurah untuk melayani beban tertentu [1]. Selain mencapai biaya yang murah ada beberapa syarat yang harus dipenuhi yaitu total daya pembangkit ditambah rugi-rugi saluran transmisi. Kemudian nilai tegangan pada setiap bus harus berada diantara tegangan minimal dan tegangan maksimal. Lalu arus yang mengalir pada setiap saluran harus dibawah batas maksimal yang bisa ditanggung oleh masing-masing saluran.

Permasalahan *economic dispatch* dengan mempertimbangkan rugi-rugi saluran transmisi, besar arus yang mengalir pada saluran, dan besar tegangan pada setiap genertor dapat diatasi dengan *Optimal Power Flow* (OPF). Pada tugas akhir ini metode yang saya gunakan adalah metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk penyelesaian *optimal power flow*. Karena pada prakteknya di lapangan rating saluran selalu berubah-ubah (dinamis) maka diperlukan perhitungan yang mempertimbangkan rating saluran yang dinamis, sehingga penyelesaian yang dihasilkan sesuai dengan keadaan secara *real time*.

Dengan memantau keadaan *thermal* saluran transmisi dan mempertimbangkan kondisi metereologi, maka rating saluran yang disesuaikan secara dinamis memungkinkan kapasitas transmisi yang lebih tinggi. Tidak seperti rating saluran statis, rating dinamis dihitung secara *real time* berdasarkan kondisi operasi aktual saluran transmisi pada saat-saat tertentu bukan pada kondisi tetap. Penerapan *dynamic line*

*rating* pada saluran transmisi berpotensi meningkatkan keamanan sistem dengan tingkat ekonomi yang lebih baik dibandingkan dengan *ststic line rating* [2].

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat suatu program pembebanan yang ekonomis ,dengan tetap memperhatikan batas pembangkitan generator dan *ramprate* pembangkitan generator.
2. Bagaimana pembebanan ekonomis pembangkit dengan beban yang dinamis dan tetap memperhatikan batas pembangkitan generator dan *ramprate* pembangkitan generator.
3. Bagaimana pembebanan ekonomis dengan *rating* saluran yang dinamis.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Semua pembangkit diasumsikan selalu beroperasi dan dalam keadaan menyala.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab R2013a.
3. *Ramp-up* pembangkitan sama dengan *ramp-down* pembangkitan.
4. Sistem yang di pakai adalah sistem IEEE 30 bus.
5. Efisiensi masing-masing pembangkit dianggap 100% .
6. Data kondisi metereologi berdasarkan sumber [7].
7. *Rating* saluran proporsional terhadap *dynamic line rating*.
8. Metode yang dipakai dalam penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini menggunakan metode *particle swarm optimization*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



1. Membuat suatu program pembebanan yang ekonomis ,dengan tetap memperhatikan batas pembangkitan generator dan ramprate pembangkitan generator.
2. Menentukan pembebanan ekonomis pembangkit dengan beban yang dinamis dan tetap memperhatikan batas pembangkitan generator dan ramprate pembangkitan generator.
3. Menentukan pembebanan ekonomis dengan rating saluran yang dinamis.

## 1.5 Metode Penelitian

Pada tugas ini akan dilakukan penelitian mengenai *optimal power flow* dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* dengan memperimbangan rating saluran dinamis, *plant* yang menjadi objek penelitiannya adalah IEEE 30 bus. Perhitungan tugas akhir ini akan disimulasikan menggunakan software Matlab R2013a. Tahapan dalam pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut :

### 1. Studi literatur

Studi literatur yang dilakukan yaitu berdasarkan jurnal dan buku refrensi. Dalam studi literatur akan dipelajari teori-teori pendukung yaitu mengenai *optimal power flow*, *dynamic line rating*, dan penggunaan metode *particle swarm optimization* dalam menyelesaikan optimasi sistem. Perhitungan dalam tugas akhir ini akan di simulasikan menggunakan software Matlab R2013a.

### 2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan yaitu data generator, data beban, data saluran, dan data metereologi untuk perhitungan *dynamic line rating*. Data generator terdiri dari data *cost function*, batas maksimum dan minimum pembangkitan daya generator dan *ramprate* untuk masing-masing generator. Data saluran terdiri dari impedansi saluran dan kapasitas` saluran. Data untuk perhitungan *dynamic line rating* terdiri dari data suhu lingkungan dan kecepatan angin.

### 3. Simulasi dan Analisis

Dalam tugas akhir ini dilakukan penilitian di sistem IEEE 30 bus dengan dua percobaan yang berbeda, yang pertama kondisi dimana beban diasumsikan statis, kemudian pengujian kedua dilakukan pada saat beban berubah-ubah setiap jamnya. untuk percobaan yang kedua dilakukan dalam empat kondisi yang berbeda, yang pertama dengan tidak menyertakan batasan apapun, kondisi kedua yaitu dengan

menyertakan batasan *ramprate* pada setiap pembangkit, kondisi ketiga dilakukan pada rating saluran yang berubah-ubah setiap jamnya tanpa batasan *ramprate*, dan kondisi yang terakhir dimana terdapat batasan ramp rete dan rating saluran yang berubah-ubah. Tujuan dari empat kondisi tersebut untuk mengetahui apa pengaruh *ramprate* dan rating saluran terhadap pembangkitan daya dan biaya total pada pembangkitan.

#### 4. Penyusunan Laporan

Hasil penelitian ini akan dilaporkan dalam bentuk buku tugas akhir. Laporan ditulis berdasarkan hasil analisis permasalahan beserta tahapan yang ada di dalamnya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, dan relevansi.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai teori-teori penunjang untuk tugas akhir yang penulis buat tentang aliran daya optimal mempertimbangkan dynamic line rating menggunakan particle swarm optimization.

### BAB III PENERAPAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION DALAM ALIRAN DAYA OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN DYNAMIC LINE RATING

Pada bab ini akan dijelaskan tentang penerapan metode PSO dalam aliran daya optimal mempertimbangkan rating saluran yang dinamis dengan kondisi yang telah dijelaskan di atas.

### BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi hasil simulasi aliran daya optimal mempertimbangkan dynamic line rating menggunakan metode PSO beserta analisis dari data hasil simulasi dengan empat kondisi yang berbeda.

### BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan menjawab permasalahan yang ada. Saran adalah rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

## **1.7 Relevansi**

Penulisan laporan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, yaitu :

1. Memberikan manfaat terhadap pengembangan sistem tenaga listrik khususnya pada permasalahan aliran daya optimal yang mempertimbangkan rating saluran dinamis menggunakan metode *particle swarm optimization*.
2. Dapat menambah ilmu pengetahuan penulis mengenai ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dibidang optimasi aliran daya dan metode yang berhubungan dengan artificial intelligence.
3. Sebagai referensi untuk pengembangan penelitian terkait

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

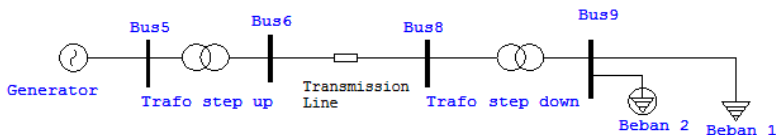
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori pendukung dari tugas akhir ini. Pada bagian 2.1 dijelaskan mengenai studi power flow dimana di dalamnya dijelaskan mengenai sistem tenaga listrik yang baik dan aman, 2.2 menjelaskan tentang teori optimasi menggunakan PSO, 2.3 menjelaskan tentang Optimal power flow dimana dijelaskan mengenai batasan output pembangkit agar terjaga keamanan dan kualitas daya yang dihasilkan. 2.4 mengenai persamaan matematis penyelesaian AC-OPF. Dan 2.5 – 2.7 yaitu teori penunjang mengenai permasalahan yang akan di selesaikan pada tugas akhir ini.

#### 2.1 Studi Power Flow[2]

Sistem tenaga listrik dibagi menjadi 4 bagian, yaitu pembangkit, transmisi, distribusi dan beban. Pembangkit listrik adalah komponen sistem yang berfungsi untuk membangkitkan daya listrik. Pada pembangkit listrik, biasanya digunakan generator sinkron atau alternator yang kapasitasnya bervariasi. Karena letak pembangkit umumnya jauh dari pusat beban, daya listrik yang terbangkit perlu *transfer* ke pusat beban melalui saluran transmisi. Pada pusat beban, daya yang telah ditransmisikan selanjutnya didistribusikan ke konsumen sesuai dengan kebutuhan beban konsumen. Beban adalah istilah untuk komponen yang membutuhkan daya listrik.



**Gambar 2. 1** Sistem tenaga listrik

Sistem tenaga listrik direpresentasikan oleh *single line diagram* dan diasumsikan selalu beroperasi pada keadaan seimbang. Sistem tenaga listrik umumnya tersusun oleh bus (titik) dan cabang dengan impedansi bernilai (p.u) pada base MVA. Persamaan jaringan dapat diformulasikan dalam berbagai macam bentuk, namun bentuk tegangan bus adalah metode yang paling sering digunakan pada analisa sistem tenaga. Analisa sistem tenaga yang paling mendasar adalah analisa

aliran daya (*load flow / power flow*). Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui nilai yang belum diketahui di bus, misalkan tegangan dan sudutnya, serta daya aktif dan reaktif pada setiap bus. Ada tiga jenis bus pada sistem tenaga yaitu slack bus, load bus, dan generator bus. Dari masing-masing bus terdapat nilai yang diketahui dan nilai yang akan dicari, berikut adalah macam-macam bus dan penjelasannya :

a. *Slack Bus* atau bus referensi

Pada *slack* atau *swing bus*, besar tegangan dan sudut fasa tegangan bernilai tetap. Bus ini mengkompensasi kekurangan daya pada sistem akibat dari *losses* di jaringan maupun kekurangan daya terbangkit dalam memenuhi kebutuhan beban.

b. *Load Bus* (PQ Bus)

Pada bus ini, daya aktif dan reaktif bernilai tetap. Besar tegangan dan sudut fasa merupakan besaran yang dihitung.

c. *Generator Bus* (PV Bus)

Pada generator bus, daya aktif dan besar tegangan bernilai tetap. Sudut fasa dan daya reaktif adalah besaran yang dihitung namun batas dari daya reaktif yang dibolehkan telah ditentukan sebelumnya.

Menurut hukum Kirchoff, hubungan arus dan tegangan pada suatu bus dapat dirumuskan sebagai :

$$I_{bus} = Y_{bus}V_{bus} \quad (2.1)$$

Apabila terdapat sebanyak n bus pada sistem, maka persamaan tegangan bus di atas dapat ditulis dalam bentuk matriks admitansi menjadi :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{ni} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

dimana :

$i$  vektor arus yang mengalir pada titik bus- $i$

$V_i$  vektor tegangan pada bus- $i$   
 $Y_{ii}$  admintansi sendiri bus- $i$   
 $Y_{ij}$  admitansi mutual dari bus- $i$  dan  $j$   
 $N$  jumlah bus sistem

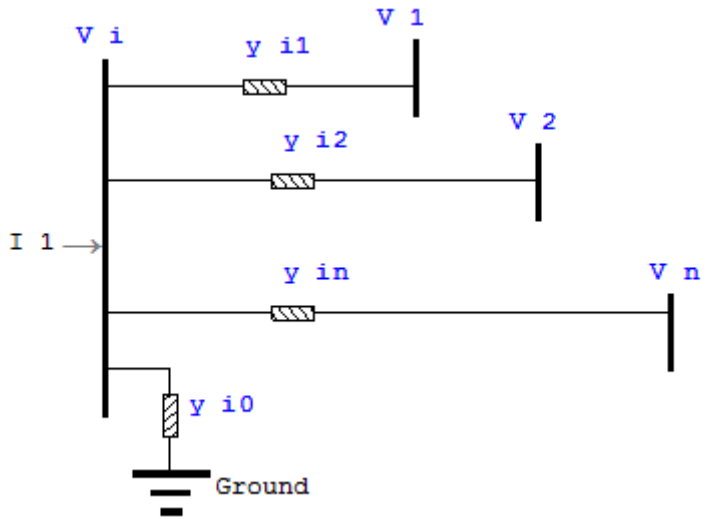
Admitansi sendiri dirumuskan sebagai :

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad \text{dan} \quad j \neq i \quad (2.3)$$

Sedangkan admitansi mutual dirumuskan sebagai,

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.4)$$

dimana  $y_{ij}$  adalah admitansi antara bus- $i$  dan bus- $j$ .



**Gambar 2. 2** Pemodelan bus tipikal sistem tenaga

Pada Gambar 2.2, penerapan hukum KCL (*Kirchoff Current Law*) menghasilkan persamaan di bawah ini,

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

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

Persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut,

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

Daya aktif dan reaktif pada bus-i adalah :

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

atau

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

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke persamaan (2.9) didapatkan,

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

Metode yang umum digunakan untuk memecahkan persamaan aliran daya adalah *Gauss Seidel*, *Newton Raphson*, *Fast Decoupled*. Untuk mempercepat dan menyederhanakan perhitungan aliran daya, digunakan metode *Newton Raphson*. Pada tugas akhir ini digunakan perhitungan menggunakan metode *Newton Raphson*.

## 2.2 Particle Swarm Optimization [3]

Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995, merupakan algoritma optimasi yang meniru proses yang terjadi dalam kehidupan populasi burung (flock of bird) dan ikan (school of fish) dalam bertahan hidup. Sejak diperkenalkan pertama kali, algoritma PSO berkembang cukup pesat, baik dari sisi aplikasi maupun dari sisi pengembangan metode yang digunakan pada algoritma tersebut (Haupt, R.L. & Haupt, S.E. 2004). Oleh sebab hal tersebut, mereka mengategorikan algoritma sebagai bagian dari kehidupan rekayasa/buatan Artificial Life. Algoritma ini juga terhubung dengan komputasi evolusioner, algoritma genetik dan pemrograman evolusioneri . beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam Particle Swarm Optimization dapat didefinisikan sebagai berikut :



1. **Swarm** : populasi dari suatu algoritma
2. **Particle** : anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
3. **Pbest** : posisi Pbest suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
3. **Gbest** : posisi terbaik *particle* pada *swarm* atau posisi diantara Pbest yang ada.
4. **Velocity** : vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah di mana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula atau kecepatan yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana *particle* diperlukan untuk berpindah dan memperbaiki posisinya semula.
5.  $(\theta)$  : *inertia weight* di simbolkan  $w$ , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.
6.  $(c1,c2)$  : *Learning Rates* ( suatu konstanta untuk menilai kemampuan *particle* ( $c1$ ) dan kemampuan *sosial swarm* ( $c2$ ) yang menunjukkan bobot dari *particle* terhadap memorinya.

### 2.3 Proses Algoritma PSO

Menurut Chen & Shih (2013) untuk memulai algoritma PSO, kecepatan awal (*velocity*) dan posisi awal (*position*) ditentukan secara random. Kemudian proses pengembangannya sebagai berikut:

1. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawan (jumlah partikel) adalah  $N$ . Kecepatan dan posisi awal pada tiap partikel dalam  $N$  dimensi ditentukan
2. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan.

- Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol, set iterasi  $i = 1$  secara random (acak).
3. Nilai fitness setiap partikel ditaksir menurut fungsi sasaran (objective function) yang ditetapkan. Jika nilai fitness setiap partikel pada lokasi saat ini lebih baik dari Pbest, maka Pbest diatur untuk posisi saat ini.
  4. Nilai fitness partikel dibandingkan dengan Gbest. Jika Gbest yang terbaik maka Gbest yang diupdate.
  5. Berikut persamaan untuk memperbarui (*update*) kecepatan (*velocity*) dan posisi (*position*) :

$$V_{id}^{k+1} = w \times v_{id}^k + c1 \times rand1 \times (P_{id} - X_{id}) + c2 \times rand2 \times (G_{id} - X_{id}) \quad (2.11)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2.12)$$

Dimana :

Vid = komponen kecepatan individu ke  $i$  pada  $d$  dimensi

Xid = posisi individu  $i$  pada  $d$  dimensi

$\omega$  = parameter inertia weight

$c1$  dan  $c2$  = konstanta akselerasi (learning rate)

rand1, rand2 = parameter random antara 0 sampai 1

Pid = Pbest (local best) individu  $i$  pada  $d$  dimensi

Gid = Gbest (global best) pada  $d$  dimensi.

## 2.4 Optimal Power Flow [1,2,3]

Optimal Power Flow (OPF) merupakan gabungan dari dua study yaitu *power flow* dan economic dispatch. *Power flow* mengacu pada persamaan jaringan, generator dan transmisi. Metode *power flow* menemukan solusi matematis namun tidak harus secara fisik layak atau optimal. Persamaan power flow sendiri tidak memperhitungkan batasan daya reaktif generator atau batasan saluran transmisi. *Economic dispatch* menggambarkan berbagai formulasi untuk menentukan biaya pembangkitan termurah untuk melayani beban tertentu. Namun formulasi ini menyederhanakan atau terkadang mengabaikan batasan

aliran daya. *Optimal power flow* mencari solusi optimal dari fungsi obyektif dengan batasan aliran daya dan batasan operasional lainnya seperti batasan minimum output generator, batasan tegangan dan batasan saluran transmisi.

## 2.5 Persamaan Matematis Permasalahan Optimal Power Flow Arus Bolak-balik.

ACOPF memiliki dua kali lebih banyak variable dibandingkan DCOPF. Selain itu persamaan jaringan tidak linier sehingga dalam mencari solusinya ACOPF jauh lebih sulit daripada DCOPF

Fungsi biaya pembangkit merupakan fungsi obyektif yang umumnya merupakan persamaan orde dua. Dipresentasikan sebagai berikut:

$$F_i (P_{gi}) = a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i \quad (2.13)$$

Dimana :

$F_i$  : Besar biaya pembangkit pada pembangkit ke-i (Rp)

$P_{gi}$  : Daya output pada pembangkit ke-i (MW)

$a_i, b_i, c_i$  : Koefisien biaya pembangkit ke-i.

Untuk menemukan solusi permasalahan optimasi seperti OPF ada dua batasan secara umum yaitu *equality* dan *inequality constraint*. Equality constraint dalam permasalahan OPF adalah persamaan keseimbangan daya aktif dan reaktif pada tiap bus sistem yang harus dicukupi. *Inequality constraint* merupakan batasan pertidaksamaan yang biasanya digunakan untuk batas keamanan sistem. *Inequality constraint* dalam permasalahan OPF adalah batasan pembangkitan daya generator, aliran daya di kapasitas saluran dan *ramprate generator*.

*inequality constraint* dalam OPF mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$P_i - jQ_i = (P_{gi} - P_{di}) + j(Q_{gi} - Q_{di}) = V_i^* (\sum_{j=1}^n V_j V_{ij}) \quad (2.14)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (2.15)$$

sehingga

$$P_i = P_{gi} - P_{di} = \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (2.16)$$

$$Q_i = Q_{gi} - Q_{di} = \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (2.17)$$

Dimana  $i = 1,2,3,\dots,n$  menyatakan jumlah bus.  $P_i$  dan  $Q_i$  menyatakan injeksi daya aktif dan reaktif di bus  $i$ .  $P_{gi}$  dan  $Q_{gi}$  menyatakan daya aktif dan generator di bus  $i$ .  $P_{di}$  dan  $Q_{di}$  menyatakan daya aktif dan reaktif beban di bus  $i$ .

Sedangkan persamaan untuk *inequality constraint* dalam permasalahan adalah sebagai berikut :

Batasan pembangkit :

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad i=1,2,\dots,ng \quad (2.18)$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max} \quad i=1,2,\dots,ng \quad (2.19)$$

dimana  $P_{gen_i}^{min}$  dan  $Q_{gen_i}^{min}$  menyatakan batas minimum generator,  $ng$  adalah jumlah generator sedangkan  $P_{gen_i}^{max}$  dan  $Q_{gen_i}^{max}$  menyatakan batasan maksimum generator.

Batasan tegangan :

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad i = 1,2,\dots,nb \quad (2.20)$$

$$\theta_i^{min} \leq \theta_i \leq \theta_i^{max} \quad i = 1,2,\dots,nb \quad (2.21)$$

dimana  $V_i$  dan  $\delta_i$  adalah magnitude dan sudut fasa tegangan pada bus  $i$  sedangkan  $nb$  adalah jumlah bus. Magnitude dan sudut fasa tidak boleh melebihi batas minimum dan maksimumnya.

Batasan saluran transmisi :

$$S_l \leq S_l^{max} \quad l=1,2,\dots,nbr \quad (2.22)$$

$nbr$  adalah jumlah saluran. Besarnya aliran daya atau arus pada saluran transmisi tidak boleh melebihi batasan kapasitasnya.

## 2.6 Dynamic Optimal Power Flow (DOPF)

OPF konvensional merupakan bagian penting dalam pengoperasian sistem tenaga dengan biaya yang minimum. Namun dalam beban yang dinamis, opf konvensional tidak mungkin diterapkan dalam operasi nyata karena melanggar batasan *ramprate* [9]. *Dynamic optimal power flow* adalah pengembangan dari OPF konvensional karena memperhitungkan parameter *ramprate* pembangkit. DOPF

digunakan untuk menentukan pembagian pembebanan pembangkit dengan beban yang dinamis. Beban yang dinamis pada penelitian ini adalah beban yang berubah-ubah dalam selang waktu 1 jam.

Fungsi tujuan dari DOPF adalah untuk meminimalkan biaya generator sepanjang jangka waktu tertentu dari beberapa interval waktu dengan tetap memenuhi batasan kapasitas saluran transmisi dan *ramprate* dari masing-masing unit generator [9]. *Ramprate* merupakan *constraint* tambahan yang membedakan OPF konvensional dengan DOPF. *Ramprate* merupakan batasan kenaikan atau penurunan generator pada kondisi sesudah dan sebelumnya dalam waktu tertentu.

Fungsi biaya pembangkitan merupakan fungsi objektif yang dimodelkan dengan persamaan berikut :

$$F_i^t(P_{gi}^t) = a_i(P_{gi}^t)^2 + b_i P_{gi}^t + c_i \quad (2.23)$$

Dengan  $P_{gi}^t$  adalah daya keluaran dari generator ke-i pada saat t dan  $a_i, b_i, c_i$  merupakan koefisien biaya generator ke-i.

Fungsi obyektif pada permasalahan DOPF adalah :

$$\text{minimize } \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^N F_i^t(P_{gi}^t) \right) \quad (2.24)$$

Persamaan ini meminimalkan biaya pembangkitan dari semua unit pembangkit selama T interval waktu, dengan T adalah zona waktu diskrit.

Biaya diminimalkan melalui batasan :

1. Batasan keseimbangan daya aktif dan reaktif pada setiap bus,

$$P_i^t = P_{gi}^t - P_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \cos \theta_{ij}^t + B_{ij} \sin \theta_{ij}^t) \quad (2.25)$$

$$Q_i^t = Q_{gi}^t - Q_{di}^t = \sum_{j=1}^n V_i^t V_j^t (G_{ij} \sin \theta_{ij}^t - B_{ij} \cos \theta_{ij}^t) \quad (2.26)$$

2. Batasan pembangkitan daya untuk generator

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi}^t \leq P_{gi}^{max} \quad (2.27)$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi}^t \leq Q_{gi}^{max} \quad (2.28)$$

3. Batasan tegangan

$$V_i^{min} \leq V_i^t \leq V_i^{max} \quad (2.29)$$

$$\theta_i^{\min} \leq \theta_i^t \leq \theta_i^{\max} \quad (2.30)$$

4. Batasan aliran daya saluran

$$S_i^t \leq S_i^{\max} \quad (2.31)$$

5. Batasan *ramprate*

$$-\delta_i \leq P_{gi}^{t+1} - P_{gi}^t \leq \delta_i \quad (2.32)$$

$\delta_i$  merupakan *ramprate* limit dari generator ke-i. Pada penelitian ini ramp up dan ramp down diasumsikan sama dan mempunyai nilai yang konstan.

## 2.7 Dynamic Line Rating dengan Heat Balance Equation [2,7]

Metode *dynamic line rating* dapat diklasifikasikan dalam tiga hal yaitu : perkiraan *dynamic line rating* dari beban sistem tenaga listrik dan prediksi cuaca, estimasi *dynamic line rating* dari pengukuran tidak langsung dan evaluasi *dynamic line rating* secara *real time* dari data meteorologi terpadu. *Dynamic line rating* dapat digabungkan dalam permasalahan *optimal power flow* dalam skala waktu yang berbeda mulai dari perencanaan sampai dengan pengoperasian sistem tenaga secara *real time*.

Konsep *dynamic line rating* telah banyak diusulkan untuk meningkatkan kemampuan jalur transmisi dan dengan cepat mendapatkan aplikasi praktik. *Dynamic line rating* digunakan untuk meningkatkan kemampuan saluran transmisi secara dinamis. Penerapan *dynamic line rating* pada saluran transmisi berpotensi meningkatkan keamanan sistem dengan tingkat ekonomi yang lebih baik jika dibandingkan dengan *static line rating*. Namun karena faktor perhitungan parameter yang sulit untuk diukur secara pasti dan perhitungan secara tepat pada DLR susah untuk didapatkan, metode DLR sulit untuk diterapkan pada aplikasi nyata.

Menurut IEEE Std. 738 [7] suhu konduktor jaringan tergantung pada 1) arus yang mengalir melalui konduktor, 2) ukuran konduktor dan resistansi dan 3) kondisi cuaca sekitar (misalnya suhu, kecepatan dan arah angin, serta radiasi matahari). Berikut ini adalah persamaan *steady-state heat balance* :

$$q_c + q_r = q_s + I^2 R(T_c) \quad (2.33)$$

$$I = \sqrt{\frac{q_c + q_r - q_s}{R(T_c)}} \quad (2.34)$$

$R(T_c)$  adalah resitansi konduktor saat temperatur  $T_c$  (temperatur maksimal konduktor.  $q_c$  adalah kehilangan panas konveksi konduktor. Nilai  $q_c$  dipengaruhi oleh kecepatan angin dan temperatur lingkungan sekitar. Persamaan untuk  $q_c$  ada tiga yaitu untuk kecepatan angin nol, angin rendah dan angin tinggi. Berikut persamaan  $q_c$  untuk kecepatan angin nol dan tinggi.

$$q_{cn} = 3,645 \times \rho_f^{0,5} \times D^{0,75} \times ((T_c - T_a)^{1,25} \text{ W/m} \quad (2.35)$$

$$q_c = 0.754 \left( \frac{D \times \rho_f \times V_w}{\mu_f} \right)^{0.6} \times k_f \times K_{angle} (T_c - T_a) \text{ W/m} \quad (2.36)$$

Keterangan:

$D$  = Diameter konduktor

$T_c$  = temperatur konduktor (100 °C)

$T_a$  = temperatur lingkungan

$\rho_f$  = kepadatan udara

$V_w$  = Kecepatan angin

$\mu_f$  = kekentalan udara

$k_f$  = konduktivitas termal udara

$K_{angle}$  = faktor arah angin

$q_r$  merupakan kehilangan panas radiasi. Nilai  $q_r$  dipengaruhi oleh temperatur lingkungan sekitar. Sedangkan  $q_s$  adalah keuntungan panas matahari. Berikut persamaan kerugian  $q_r$  dan  $q_s$  :

$$q_r = 17,8 \times D \times \varepsilon \left[ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (2.37)$$

$$q_s = K_s \times D \times Q_s \quad (2.38)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = emisivity (0.23 – 0.91)

$K_{solar}$  = solar radiation heat gain coefficients

$Q_s$  = Solar radiation (MW/m<sup>2</sup>)

## 2.8 OPF Mempertimbangkan DLR

Penelitian mengenai *security constraint optimal power flow* mempertimbangkan kontingensi dilakukan pada 2015 [8]. Pada penelitian ini, menggunakan metode *quadratic programming* dengan *software* matlab. *Ramprate* antara kondisi normal dan kontingensi menggunakan asumsi *ramprate* 1 jam. Pada [6] digunakan metode kontrol preventif dan korektif untuk pengamanan perencanaan sistem. Penyelesaian *dynamic optimal power flow* dengan pembebanan pembangkit selama 24 jam dengan menggunakan sistem IEEE 14 bus dilakukan pada [8]. Sedangkan pada [10] metode *sequential quadratic programming* digabungkan dengan algoritma *differential evolution* untuk menyelesaikan permasalahan *optimal power flow*.

Penelitian [3] menganalisis potensi penggunaan *dynamic line rating* untuk memperoleh rating kapasitas saluran yang lebih besar. Penelitian mengenai integrasi *dynamic line rating* dalam permasalahan AC-OPF dilakukan pada [2]. Selanjutnya, penelitian [4] membahas mengenai *security constraint unit commitment* dengan *dynamic line rating* menggunakan metode dekomposisi Bender untuk penyederhanaan permasalahan yang kompleks.. Penelitian [9] mengintegrasikan *dynamic line rating* dalam permasalahan yang lebih sederhana yaitu *security constraint economic dispatch*. Pada penelitian ini, perhitungan *dynamic line rating* menggunakan metode prakiraan dari jam sebelumnya untuk menentukan rating kapasitas saluran dari jam selanjutnya.

Tugas akhir yang akan dikerjakan adalah mengenai *security constraint optimal power flow* dengan *dynamic line rating*. Batasan *ramprate*, kapasitas saluran dan pertimbangan kontingensi akan diperhitungkan untuk memperoleh perencanaan sistem yang aman. Integrasi *dynamic line rating* dalam permasalahan SCOPF akan dilakukan, sehingga akan didapatkan rating saluran yang lebih besar dan biaya pembangkitan yang lebih murah.

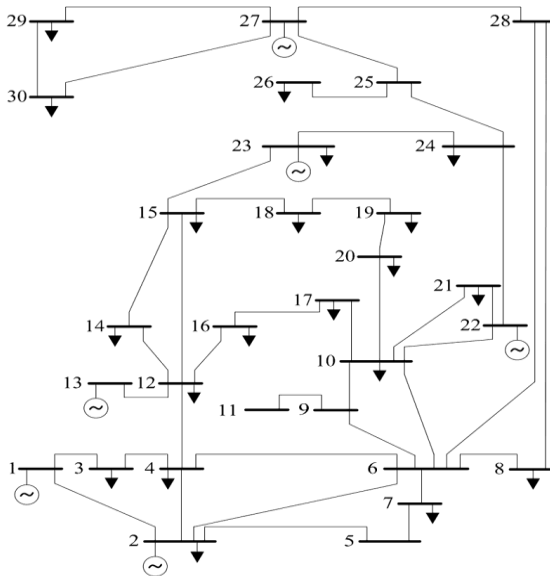


# BAB 3

## OPTIMAL POWER FLOW MEMPERTIMBANGKAN DYNAMIC LINE RATING MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

### 3.1 SISTEM IEEE 30 BUS

Pada tugas akhir ini akan digunakan sistem kelistrikan IEEE 30 bus sebagai plan penelitian. Data-data pembangkit yang digunakan seperti batas maksimum dan minimum pembangkitan daya setiap generator dan fungsi biaya pembangkitan. Berikut adalah single line diagram dari IEEE 30 bus :



**Gambar 3. 1** Sistem Standar IEEE 30 Bus

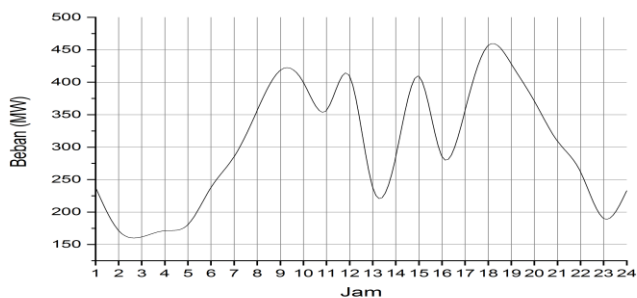
Data-data pembangkit seperti batasan pembangkit dan biaya pembangkitan akan ditunjukkan pada tabel 3.1 – 3.2

**Tabel 3. 1** Data Pembangkit Sistem IEEE 30 Bus

Pembangkit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Ramprate (MW)
1	50	200	50
2	20	80	20
3	15	50	14
4	10	35	9
5	10	30	8
6	12	40	10

**Tabel 3. 2** Data Pembangkitan Sistem IEEE 30 Bus

Pembangkit	Fungsi Biaya Pembangkitan (\$/jam)		
	A	B	C
1	0.00375	2	0
2	0.0175	1.75	0
3	0.0625	1	0
4	0.0083	3.25	0
5	0.025	3	0
6	0.025	3	0



**Gambar 3. 2** Grafik beban dinamik

### 3.2 Algoritma

Penelitian ini menggunakan metode *particle swarm optimization* untuk menyelesaikan permasalahan *optimal power flow* dengan rating saluran dinamis. Pengolahan data dan simulasi dilakukan menggunakan *software* matlab. Dengan alur penyelesaian penelitian sesuai dengan gambar 3.3. Pengerjaan tugas akhir dimulai ini dengan studi literatur mengenai sistem kelistrikan, aliran daya optimal, dan optimasi menggunakan *particle swarm optimization* untuk permasalahan ACOPF. Pemodelan menggunakan standar sistem kelistrikan 30 bus yang dimodifikasi. Setelah itu menentukan fungsi objektif, *constraint* yang meliputi *equality constraint* dan *inequaiy constraint* serta variabel kontrol dari permasalahan OPF. Pembuatan program AC-OPF dengan rating saluran dinamis dilakukan dengan empat tahap pengujian.

Tahap pertama yaitu tahap pengujian pembebanan statis menggunakan *particle swarm optimization* dimana beban selama 24 jam diasumsikan statis. Pengujian menggunakan satu profil beban dan mengecek variabel kontrol sistem yang meliputi magnitude dan sudut tegangan tegangan serta daya pembangkitan tanpa adanya batasan *ramprate*.

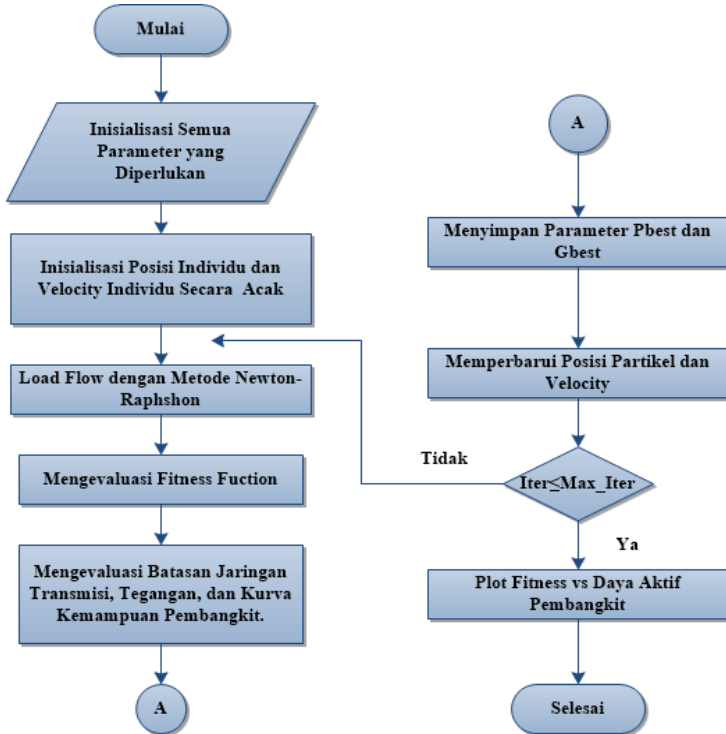
Tahap kedua, yaitu percobaan pembebanan dinamis tanpa mempertimbangkan rating saluran dinamis dan batasan *ramprate*, dimana beban di setiap jam nya akan berubah, batasan generator yang digunakan hanya batasan maksimum dan minimum pembangkitan daya pembangkit tanpa batasan *ramprate*.

Tahapan ketiga yaitu pembebanan dinamis dengan menggunakan batasan *ramprate* pembangkit pada sistem kelistrikan standar IEEE 30 bus, dimana pada tahapan ini pengujian dilakukan tanpa mempertimbangkan rating saluran dinamis, pada percobaan ini digunakan rating saluran statis sesuai standar IEEE 30 bus yang telah dimodifikasi.

Tahapan keempat adalah percobaan pembebanan dinamis mempertimbangkan rating saluran dinamis, tetapi pada percobaan ini akan dilakukan percobaan tanpa adanya batasan *ramprate* dari pembangkit. Percobaan tetap dilakukan pada *plant* standar IEEE 30 bus yang telah dimodifikasi.

Tahapan kelima, pada tahapan ini akan dilakukan percobaan pada sistem kelistrikan standar IEEE 30 bus yang telah di modifikasi, . Percobaan dilakukan dengan pembebanan dinamis dengan rating saluran dinamis, percobaan ini dilakukan dengan memberikan batasan *ramprate*

pada setiap pembangkit., gambar 3.3 adalah *flowchart* dari penerapan PSO terhadap OPF



**Gambar 3. 3** Flowchart OPF dengan metode PSO

### 3.3 Fungsi Biaya Pembangkitan

Setiap pembangkit memiliki karakteristik fungsi biaya yang berbeda-beda fungsi biaya pembangkitan diperoleh dari perkalian antara heat rate (H) dimana satuannya adalah Mbtu/h dan *cost* yang dengan satuan Rp/Mbtu sehingga persamaan biaya pembangkitan dengan satuan Rp/h adalah sebagai berikut :

$$F(P_i) = H(P_i) \times cost(P_i) \quad (3.1)$$

$$H(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (3.2)$$

Dengan a,b,c adalah nilai konstanta pengali.

Pada tugas akhir ini akan digunakan 6 generator pada sistem standar IEEE 30 bus, dimana data fungsi biaya yang telah ditampilkan pada tabel 3.2.

### **3.4 Optimasi Biaya Pembangkitan Menggunakan Particle Swarm Optimization**

Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995, merupakan algoritma optimasi yang meniru proses yang terjadi dalam kehidupan populasi burung (flock of bird) dan ikan (school of fish) dalam bertahan hidup. Sejak diperkenalkan pertama kali, algoritma PSO berkembang cukup pesat, baik dari sisi aplikasi maupun dari sisi pengembangan metode yang digunakan pada algoritma tersebut (Haupt, R.L. & Haupt, S.E. 2004). Oleh sebab hal tersebut, mereka mengategorikan algoritma sebagai bagian dari kehidupan rekayasa/buatan Artificial Life. Algoritma ini juga terhubung dengan komputasi evolusioner, algoritma genetik dan pemrograman evolusioner. beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam Particle Swarm Optimization dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. Swarm = populasi dari suatu algoritma
2. Particle = anggota (individu) pada suatu swarm. Setiap
3. particle merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu particle adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
4. Pbest = posisi Pbest suatu particle yang menunjukkan posisi particle yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
5. Gbest = posisi terbaik particle pada swarm atau posisi terbaik diantara Pbest yang ada.
6. Velocity = vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah di mana suatu particle diperlukan untuk berpindah (move) untuk memperbaiki posisinya semula atau kecepatan yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana

- particle diperlukan untuk berpindah dan memperbaiki posisinya semula.
7.  $(\theta)$  = inertia weight di simbolkan  $w$ , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya velocity yang diberikan oleh suatu particle.
  8.  $(c1, c2)$  = suatu konstanta untuk menilai kemampuan particle ( $c1$ ) dan kemampuan sosial swarm ( $c2$ ) yang menunjukkan bobot dari particle terhadap memorinya.

### 3.5 Proses Algoritma PSO

Menurut Chen & Shih (2013) untuk memulai algoritma PSO, kecepatan awal (velocity) dan posisi awal (position) ditentukan secara random. Kemudian proses pengembangannya sebagai berikut:

1. Asumsikan bahwa ukuran kelompok atau kawan (jumlah partikel) adalah  $N$ . Kecepatan dan posisi awal pada tiap partikel dalam  $N$  dimensi ditentukan
2. Hitung kecepatan dari semua partikel. Semua partikel bergerak menuju titik optimal dengan suatu kecepatan. Awalnya semua kecepatan dari partikel diasumsikan sama dengan nol, set iterasi  $i = 1$  secara random (acak).
3. Nilai fitness setiap partikel ditaksir menurut fungsi sasaran (objective function) yang ditetapkan. Jika nilai fitness setiap partikel pada lokasi saat ini lebih baik dari  $P_{best}$ , maka  $P_{best}$  diatur untuk posisi saat ini.
4. Nilai fitness partikel dibandingkan dengan  $G_{best}$ . Jika  $G_{best}$  yang terbaik maka  $G_{best}$  yang diupdate.
5. Berikut persamaan untuk memperbarui (*update*) kecepatan (*velocity*) dan posisi (*position*):

$$V_{id}^{k+1} = w \times v_{id}^k + c1 \times rand1 \times (P_{id} - X_{id}) + c2 \times rand2 \times (G_{id} - X_{id}) \quad (3.3)$$

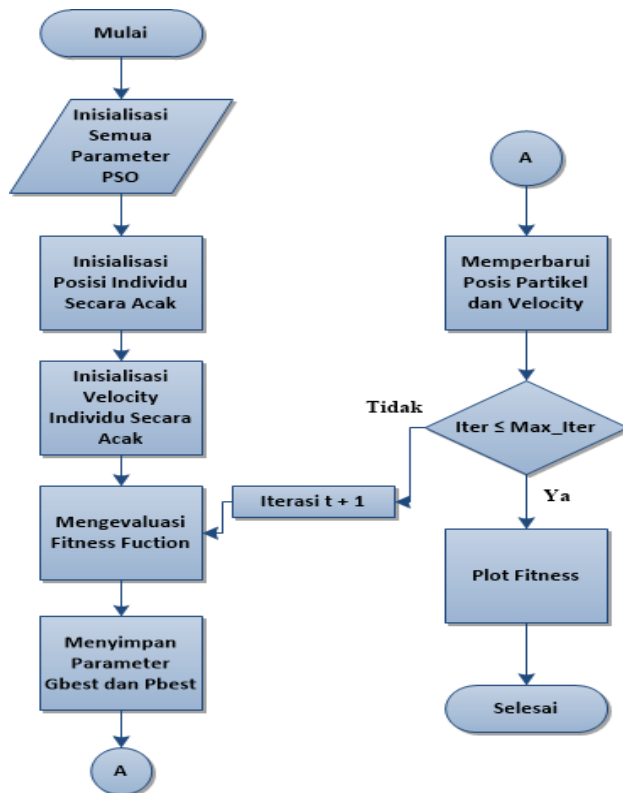
$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (3.4)$$

Dimana :

$V_{id}$  = kecepatan individu ke  $i$  pada  $d$  dimensi

- Xid = posisi individu i pada d dimensi
- $\omega$  = parameter inertia weight
- c1 dan c2 = konstanta akselerasi (learning rate),  
nilainya antara 0 sampai 1
- rand1, rand2 = parameter random antara 0 sampai 1
- Pid = Pbest (local best) individu i pada d dimensi
- Gid = Gbest (global best) pada d dimensi.

Flowchart dari PSO ditunjukkan oleh gambar 3.4



**Gambar 3. 4** Flowchart optimasi menggunakan PSO

### 3.6 Dynamic Line Rating

Karena rumus untuk *dynamic line rating* terlalu kompleks, maka perlu untuk disederhanakan sehingga bisa diaplikasikan dalam perhitungan DOPF. Terdapat dua variabel yang mempengaruhi nilai dari *dynamic line rating* yaitu suhu lingkungan ( $T_a$ ) dan kecepatan angin ( $V_w$ ). Dimana tingkat kehilangan panas konveksi konduktor dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan kecepatan angin sedangkan tingkat kehilangan panas radiasi dipengaruhi oleh kecepatan angin saja. Untuk nilai  $q_c$  (tingkat penambahan panas matahari) diasumsikan dengan nilai tetap sesuai dengan data meteorologi pada referensi [5].

- Penyederhanaan rumus untuk  $q_c$

$$q_c = \left[ 0.754 \left( \frac{D \times \rho_f \times V_w}{\mu_f} \right)^{0.6} \times k_f \times K_{angle} (T_c - T_a) \right] \quad (3.5)$$

$$q_c = \left[ 0.754 \left( \frac{D \times \rho_f}{\mu_f} \right)^{0.6} \times k_f \times K_{angle} \times (T_c - T_a) \times V_w^{0.6} \right] \quad (3.6)$$

Dengan  $A_c$  = koefisien konveksi dan  $T_c = 100$  °C

$$A_c = 0.754 \left( \frac{D \times \rho_f}{\mu_f} \right)^{0.6} \times k_f \times K_{angle} \quad (3.7)$$

Sehingga,

$$q_c = A_c (100 - T_a) \times V_w^{0.6} \quad (3.8)$$

- Penyederhanaan rumus untuk  $q_r$

$$q_r = 17,8 \times D \times \varepsilon \left[ \left( \frac{T_c + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (3.9)$$

$$q_r = 17,8 \times D \times \varepsilon \times \left( \frac{1}{100} \right)^4 [(T_c + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (3.10)$$

$$\text{Dengan, } A_r = 17,8 \times D \times \varepsilon \times \left( \frac{1}{100} \right)^4 \quad (3.11)$$

$$\text{Maka, } q_r = A_r \times [(373)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (3.12)$$

- Penyederhanaan rumus  $I$  secara keseluruhan

$$I_{max}(\bar{T}) = \sqrt{\frac{q_c(\bar{T}) + q_r(\bar{T}) - q_s}{R(\bar{T})}} \quad (3.13)$$



$$I = \sqrt{\frac{A_c (100 - T_a) \cdot V_w^{0.6} + A_r \cdot [(373)^4 - (T_a + 273)^4] - q_s}{R(T_c)}} \quad (3.14)$$

Untuk kondisi statis,  $V_w = 0$  m/s dan  $T_a = 40^\circ\text{C}$

$$I = \sqrt{\frac{q_{cn} + A_r \cdot [(373)^4 - (T_a + 273)^4] - q_s}{R(T_c)}} \quad (3.15)$$

- Menentukan nilai  $A_c$  dan  $A_r$   
Berdasarkan perhitungan referensi [5] didapatkan data sebagai berikut :

$$q_c = 77,06 \text{ W/m untuk } V_w = 0,61 \text{ m/s dan } T_a = 40^\circ\text{C}$$

$$q_{cn} = 42,4 \text{ W/m untuk } V_w = 0 \text{ m/s dan } T_a = 40^\circ\text{C}$$

$$q_r = 39,1 \text{ W/m untuk } T_a = 40^\circ\text{C}$$

$$q_s = 22,44 \text{ W/m (konstan)}$$

Dari data tersebut maka bisa ditentukan nilai

$$\begin{aligned} q_c &= A_c (100 - T_a) \cdot V_w^{0.6} \\ 77,06 &= A_c \times 60 \times 0,61^{0.6} \\ A_c &= 1,728 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} q_r &= A_r \cdot [(373)^4 - (T_a + 273)^4] \\ 39,1 &= A_r \cdot [(373)^4 - (313)^4] \\ A_r &= 4,007 \times 10^{-9} \end{aligned} \quad (3.16)$$

- Menentukan faktor pengali antara I dinamis dan I statis

I statis untuk  $V_w = 0$  m/s dan  $T_a = 40^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} I_s &= \sqrt{\frac{q_{cn} + A_r \cdot [(373)^4 - (T_a + 273)^4] - q_s}{R(T_c)}} \\ I_s &= \sqrt{\frac{42,4 + 4,007 \times 10^{-9} \times [(373)^4 - (313)^4] - 22,44}{R(T_c)}} \end{aligned}$$

$$I_s = \sqrt{\frac{103,944}{R(T_c)}} \quad (3.17)$$

Sedangkan untuk I dinamis adalah sebagai berikut,

$$I_d = \sqrt{\frac{A_c (100-T_a). Vw^{0.6} + A_r.[(373)^4 - (T_a+273)^4] - q_s}{R(T_c)}}$$

$$I_d = \sqrt{\frac{1,728 (100-T_a). Vw^{0.6} + 4,007x 10^{-9} [(373)^4 - (T_a+273)^4] - 22,44}{R(T_c)}}$$

Sehingga didapatkan rumus untuk faktor pengali

$$Fkalirate = \frac{I_d}{I_s} \quad (3.18)$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{1,728 (100-T_a). Vw^{0.6} + 4,007x 10^{-9} [(373)^4 - (T_a+273)^4] - 22,44}{R(T_c)}}}{\sqrt{\frac{103,944}{R(T_c)}}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,728 (100-T_a). Vw^{0.6} + 4,007x 10^{-9} [(373)^4 - (T_a+273)^4] - 22,44}{103,944}} \quad (3.19)$$

## BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang simulasi dan analisa dari hasil penelitian yang dikerjakan oleh peneliti. 4.1 Berisi data-data unit pembangkit seperti fungsi biaya pembangkitan, rating saluran setiap unit pembangkit dan rating pembangkitan setiap unit pembangkit, pada bagian 4.2 berisi tentang hasil simulasi dan analisa pembebanan statis aliran daya optimal menggunakan metode PSO pada sistem IEEE 30 bus, selanjutnya pada bagian 4.3 berisi tentang hasil dan analisa pembebanan dinamis baik mempertimbangkan rating saluran statis ataupun pembebanan mempertimbangkan rating saluran dinamis. 4.4 adalah bagian tambahan yaitu validasi kurva konvergensi PSO yang digunakan dalam program aliran daya optimal dengan rating saluran dinamis.

### 4.1 Data Unit Pembangkit

Tabel 4.1 adalah data rating setiap unit pembangkit standar IEEE 30 bus yang terdiri dari 6 unit pembangkit. Table 4.2 adalah tabel fungsi biaya pembangkitan setiap pembangkit, dimana setiap unit pembangkit memiliki fungsi biaya yang berbeda-beda.

**Tabel 4. 1** Rating unit pembangkit

Pembangkit	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Ramprate (MW)
1	50	200	50
2	20	80	20
3	15	50	14
4	10	35	9
5	10	30	8
6	12	40	10

Data biaya pembangkitan ditunjukkan oleh tabel 4.2 yang terdiri dari 6 pembangkit Dengan biaya pembangkitan berbentuk persamaan kuadrat.

**Tabel 4. 2** Data Pembangkitan Sistem IEEE 30 Bus

Pembangkit	Fungsi Biaya Pembangkitan (\$/jam)		
	A	B	C
1	0.00375	2	0
2	0.0175	1.75	0
3	0.0625	1	0
4	0.0083	3.25	0
5	0.025	3	0
6	0.025	3	0

**Tabel 4. 3** Data kapasitas transfer daya saluran

Branch	From bus	To bus	Kapasitas Saluran (MVA)	Branch	From bus	To bus	Kapasitas Saluran (MVA)
1	1	2	130	22	15	18	16
2	1	3	130	23	18	19	16
3	2	4	65	24	19	20	32
4	3	4	130	25	10	20	32
5	2	5	130	26	10	17	32
6	2	6	65	27	10	21	32
7	4	6	90	28	10	22	32
8	5	7	70	29	21	22	32
9	6	7	130	30	15	23	16
10	6	8	32	31	22	24	16
11	6	9	65	32	23	24	16
12	6	10	32	33	24	25	16
13	9	11	65	34	25	26	16
14	9	10	65	35	25	27	16
15	4	12	65	36	28	27	65
16	12	13	65	37	27	29	16
17	12	14	32	38	27	30	16
18	12	15	32	39	29	30	16
19	12	16	32	40	8	28	32
20	14	15	16	41	6	28	32
21	16	17	16	42	-	-	-

## 4.2 Pembebanan Statis Menggunakan PSO

Sub bab ini berisi tentang hasil dan analisa dari OPF dengan beban statis dimana beban diasumsikan selalu pada kondisi statis dengan nilai yang tetap yaitu 283.4 MW/jam. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui apakah program aliran daya optimal menggunakan metode *particle swarm optimization* mampu menghitung tegangan beserta sudutnya pada setiap bus, percobaan ini dilakukan pada sistem kelistrikan standar IEEE 30 bus. Dengan data beban bus, rating pembangkit, kapasitas saluran mengikuti standar sistem kelistrikan IEEE 30 bus.

**Tabel 4. 4** Simulasi Pembebanan Statis Menggunakan PSO

No Bus	Tegangan Magnitude (p.u)	Angle Degree ( $\theta$ )	No Bus	Tegangan Magnitude (p.u)	Angle Degree ( $\theta$ )
1	1.060	0.000	16	1.047	-11.408
2	1.043	-3.575	17	1.042	-11.737
3	1.025	-5.530	18	1.030	-12.422
4	1.017	-6.642	19	1.028	-12.595
5	1.010	-10.291	20	1.0	-12.399
6	1.015	-7.787	21	1.034	-12.043
7	1.005	-9.342	22	1.035	-12.035
8	1.010	-7.978	23	1.030	-12.244
9	1.053	-9.824	24	1.024	-12.481
10	1.047	-11.584	25	1.020	-12.297
11	1.082	-8.557	26	1.003	-12.714
12	1.060	-10.809	27	1.027	-11.924
13	1.071	-9.961	28	1.013	-8.297
14	1.045	-11.709	29	1.007	-13.145
15	1.040	-11.810	30	0.996	-14.022

Tabel 4.3 menunjukkan nilai tegangan beserta sudut dari setiap bus, . Untuk nilai daya yang dibangkitkan, nilai rugi-rugi saluran, dan biaya pembangkitan akan ditampilkan pada tabel 4.4

**Tabel 4. 5** Biaya pembangkitan dengan beban statis

Pembangkit (unit ke - )	Daya yang dibangkitkan (MW)
1	176.8
2	48.8
3	21.4
4	21.6
5	12.1
6	12.0
<b>Total daya dibangkitkan</b>	<b>293.0</b>
Losses Saluran (MW)	9.5
Beban	283.4
<b>Losess + beban</b>	<b>292.9</b>
<b>Biaya total (\$) = 801.8</b>	

Tabel 4.4 menunjukkan nilai keluaran tegangan dan sudut dari setiap bus, sedangkan tabel 4.4 menunjukkan nilai keluaran daya setiap unit pembangkit, *losses* saluran, dan biaya pembangkitan sistem.

#### **4.2.1 Analisa Pembebanan Statis**

Dari hasil simulasi dengan beban statis yang ditunjukkan oleh tabel 4.3 dan tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa *optimal power flow* menggunakan metode PSO mampu memberikan hasil keluaran daya, tegangan dan sudut setiap bus.

Dari data hasil simulasi yang ditunjukkan oleh table 4.4 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa program *optimal power flow* menggunakan metode PSO mampu menyuplai beban ditambah losses saluran, Dimana nilai pembangkitan dari 6 unit pembangkit tidak ada yang melanggar batasan rating pembangkitannya. Selain itu PSO juga mampu menghitung biaya pembangkitan seperti ditunjukkan oleh tabel 4.3 dimana dengan nilai daya yang dibangkitkan adalah 292,98 MW menghasilkan biaya \$801.8

#### **4.3 Pengujian Pembebanan Dinamis Sistem IEEE 30 bus**

Pengujian dilakukan terhadap program aliran daya optimal dinamis dengan rating saluran statis dan program aliran daya optimal

dinamis dengan rating saluran dinamis menggunakan metode PSO, pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut

1. Tahap 1 adalah pengujian pembebanan dinamis dengan rating saluran statis
2. Tahap 2 adalah pengujian pembebanan dinamis dengan rating saluran dinamis

. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rating saluran terhadap biaya pembangkitan. Pembangkitan dilakukan pada pembebanan dinamis dengan perubahan beban per jam selama rentang waktu 24 jam. Data beban dalam 24 jam ditunjukkan oleh tabel 4.6.

#### **4.3.1 Pengujian Tahap 1**

Pengujian tahap 1 adalah pengujian OPF pembebanan dinamis dengan rating saluran statis, pengujian akan dilakukan pada dua kondisi, kondisi pertama yaitu kondisi tanpa menggunakan batasan *ramprate* dan kondisi kedua yaitu dengan batasan *ramprate*. Pengujian pada tahapan ini bertujuan untuk melihat perbandingan harga pembangkitan dari dua kondisi tersebut ( kondisi dengan batasan *ramprate* dan tanpa batasan *ramprate*). Selain itu akan dilihat bagaimana pengaruh *ramprate* terhadap nilai pembangkitan setiap unit pembangkit dari jam ke- t sampai jam selanjutnya.

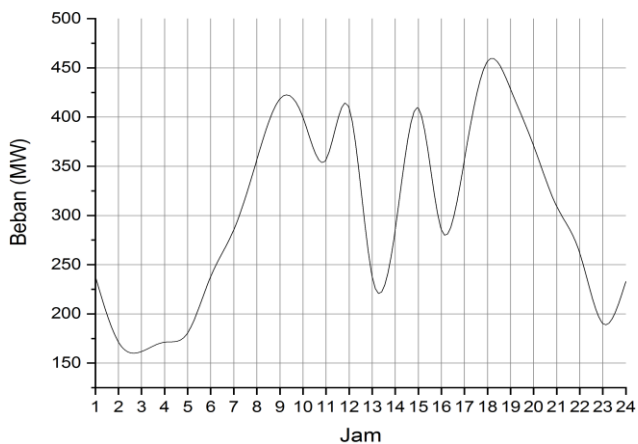
##### **4.3.1.1 Simulasi Pengujian Tahap 1**

Hasil simulasi aliran daya optimal dengan menggunakan IEEE 30 bus sebagai *plant* penelitian, IEEE 30 bus terdiri dari 6 unit pembangkit *thermal* dan semua unit pembangkit diasumsikan selalu beroperasi dengan nilai pembangkitan diatur sedemikian rupa berada diantara nilai maksimum dan minimum pembangkitan. Data beban selama 24 jam ditunjukkan oleh tabel 4.6, dengan grafik beban ditunjukkan oleh gambar 4.2, tabel 4.5 menunjukkan nilai biaya pembangkitan tiap jam dari hasil simulasi pembebanan dinamis dengan *ramprate* dan tanpa batasan *ramprate*. Tabel 4.7 menunjukkan perbandingan harga selama 24 jam dari hasil simulasi pembebanan dengan batasan *ramprate* dan tanpa batasan *ramprate*. tabel 4.7 dan tabel 4.8 menunjukkan output perubahan setiap unit pembangkit dari jam ke-t sampai ke jam t+1. Nilai pembangkitan dari setiap unit pembangkit selama 24 jam ditampilkan oleh tabel 4.7 dimana program tidak menggunakan batasan *ramprate*,

dan tabel 4.8 adalah data keluaran daya setiap pembangkit beserta biaya pembangkitan menggunakan batasan *ramprate*.

**Tabel 4. 6** Profil Pembebanan 24 jam

Jam ke-	Beban (MW)	Jam ke -	Beban (MW)
1	244.2	13	314.6
2	228.4	14	311.6
3	224.7	15	307.1
4	237.9	16	296.6
5	254.6	17	329.5
6	250.2	18	344.5
7	266.6	19	347.5
8	284.6	20	338.5
9	292.1	21	320.6
10	290.6	22	299.6
11	269.6	23	284.6
12	274.4	24	269.6



**Gambar 4. 1** Grafik beban selama 24 jam



**Tabel 4. 7** Nilai keluaran daya setiap unit pembangkit beserta biaya pembangkitan tiap jam (tanpa ramprate)

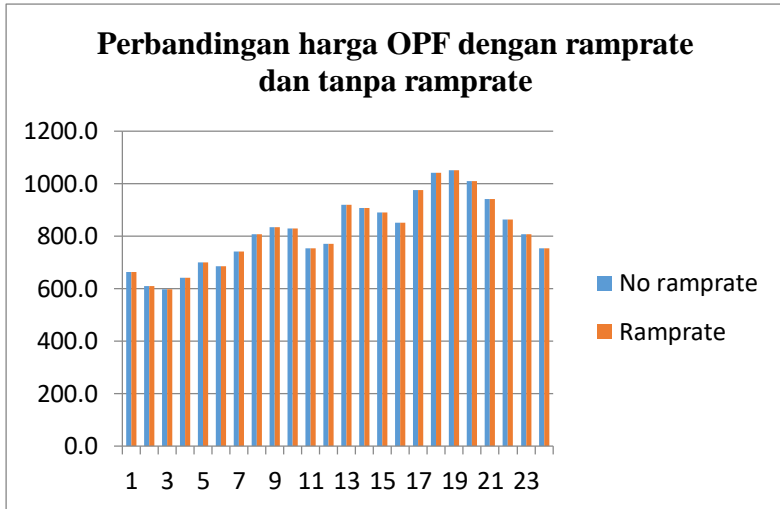
Jam	Daya output setiap unit generator (MW)						Beban	Biaya (\$)
	1	2	3	4	5	6		
1	156.1	43.8	19.7	10.0	10.0	12.0	244.2	663.4
2	143.4	40.7	18.7	10.0	10.0	12.0	228.4	610.0
3	140.4	39.9	18.4	10.0	10.0	12.0	224.7	597.8
4	151.0	42.5	19.3	10.0	10.0	12.0	237.9	641.8
5	161.9	45.2	20.2	13.3	10.0	12.0	254.6	699.3
6	159.3	44.6	20.0	11.9	10.0	12.0	250.2	684.0
7	168.4	46.7	20.7	16.8	10.5	12.0	266.6	741.7
8	177.4	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
9	181.1	49.9	21.9	24.1	12.9	12.0	292.1	833.8
10	180.3	49.7	21.8	23.7	12.8	12.0	290.6	828.2
11	169.9	47.1	20.9	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3
12	172.2	47.7	21.1	19.1	11.2	12.0	274.4	769.7
13	191.5	52.5	22.8	30.0	14.9	13.9	314.6	918.0
14	190.0	52.2	22.7	29.2	14.6	13.7	311.6	906.5
15	188.0	51.6	22.5	28.0	14.3	13.2	307.1	889.8
16	183.2	50.4	22.0	25.3	13.4	12.4	296.6	850.4
17	193.1	56.0	24.0	35.0	17.0	5.9	329.5	975.8
18	193.9	62.2	25.4	35.0	20.7	19.4	344.5	1040.0
19	194.1	63.4	26.1	35.0	21.6	19.4	347.5	1050.0
20	193.6	59.9	24.7	35.0	19.1	18.1	338.5	1010.0
21	192.9	53.5	23.1	32.1	15.8	14.5	320.6	940.8
22	184.4	50.9	22.2	26.1	13.6	12.6	299.6	861.8
23	177.3	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
24	169.9	47.1	20.8	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3

Tabel 4.6 adalah nilai hasil keluaran daya yang didapatkan dari simulasi pembebanan dinamis selama 24 jam, setiap unit pembangkit beroperasi tanpa menggunakan batasan ramprate, sehingga memungkinkan adanya unit pembangkit yang melanggar batasan *ramprate*, pada tabel 4.8 akan ditunjukkan hasil simulasi pembebanan dinamis dengan menggunakan batasan *ramprate*.

**Tabel 4. 8** Nilai keluaran setiap generator beserta biaya pembangkitan tiap jam (dengan ramprate)

Jam	Daya output setiap unit generator (MW)						Beban	Biaya
	1	2	3	4	5	6		
1	156.1	43.8	19.7	10.0	10.0	12.0	244.2	663.4
2	143.4	40.7	18.7	10.0	10.0	12.0	228.4	610.0
3	140.4	39.9	18.4	10.0	10.0	12.0	224.7	597.8
4	151.0	42.5	19.3	10.0	10.0	12.0	237.9	641.8
5	161.9	45.2	20.2	13.3	10.0	12.0	254.6	699.3
6	159.3	44.6	20.0	11.9	10.0	12.0	250.2	684.0
7	168.4	46.7	20.7	16.8	10.5	12.0	266.6	741.7
8	177.4	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
9	181.1	49.9	21.9	24.1	12.9	12.0	292.1	833.8
10	180.3	49.7	21.8	23.7	12.8	12.0	290.6	828.2
11	169.9	47.1	20.9	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3
12	172.2	47.7	21.1	19.1	11.2	12.0	274.4	769.7
13	191.5	52.5	22.8	30.0	14.9	13.9	314.6	918.0
14	190.0	52.2	22.7	29.2	14.6	13.7	311.6	906.5
15	188.0	51.6	22.5	28.0	14.3	13.2	307.1	889.8
16	183.2	50.4	22.0	25.3	13.4	12.4	296.6	850.4
17	193.1	56.0	24.0	35.0	17.0	5.9	329.5	975.8
18	193.9	62.2	25.4	35.0	20.7	19.4	344.5	1040.0
19	194.1	63.4	26.1	35.0	21.6	19.4	347.5	1050.0
20	193.6	59.9	24.7	35.0	19.1	18.1	338.5	1010.0
21	192.9	53.5	23.1	32.1	15.8	14.5	320.6	940.8
22	184.4	50.9	22.2	26.1	13.6	12.6	299.6	861.8
23	177.3	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
24	169.9	47.1	20.8	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3

Tabel 4.8 adalah nilai pembangkitan daya dari masing-masing unit pembangkit yang beroperasi dengan pembebanan berubah-ubah setiap jam, hasil dari simulasi yang ditunjukkan oleh tabel 4.8 menggunakan program OPF dengan PSO tetapi dengan menambahkan batasan *ramprate* pembangkit. Data perbandingan biaya dari tabel 4.7 dan tabel 4.8 akan ditampilkan pada gambar 4.3.



**Gambar 4. 2** Grafik pembangkitan dengan ramprate vs no ramprate

Pada gambar 4.3 ditunjukkan perbedaan biaya pembangkitan pembebanan dinamis dengan *ramprate* dan tanpa *ramprate*. karna perbedaan harga tiap jam kurang spesifik maka diperlukan perbandingan nilai pembangkitan dalam rentang waktu 24 jam yang ditampilkan oleh tabel 4.8 .

**Tabel 4. 9** Total Harga Pembangkitan biaya DOPF dengan dan tanpa ramprate

<i>Ramprate</i>	Biaya total 24 jam (\$)
Tidak	19630.079
Ya	19630.464

Biaya pembangkitan nlrnan daya optimal dinamis tanpa batasan *ramprate* menghasilkan biaya sebesar \$19630.079, sedangkan Biaya pembangkitan aliran daya optimal dinamis dengan batasan ramprate menghasilkan biaya yang lebih mahal yaitu \$19630.464.

**Tabel 4. 10** Perubahan output pembangkit yang melanggar batasan ramprate pada pembebanan dinamis tanpa batasan ramprate

Pembangkit ke -	Ramprate (MW)	Jam		
		12-13 (MW)	16-17 (MW)	17-18 (MW)
1	50	19.2359	9.9619	0.7561
2	20	4.7579	5.5771	6.1723
3	14	1.6809	2.0187	1.4022
4	9	<b>10.9516</b>	<b>9.6905</b>	0
5	8	3.7435	3.6734	3.6339
6	10	1.9195	-6.5122	<b>13.5277</b>

Pada tabel 4.9 angka yang berwarna tebal menunjukkan nilai keluaran daya unit pembangkit yang melanggar batasan *ramprate*.

**Tabel 4. 11** Perubahan Output pembangkit setelah menggunakan batasan ramprate

Pembangkit ke -	Ramprate (MW)	Jam		
		12-13 (MW)	16-17 (MW)	17-18 (MW)
1	50	20.4358	9.9761	0.8052
2	20	5.104	5.7307	6.0129
3	14	1.7936	1.7859	1.8904
4	9	<b>9</b>	<b>9</b>	0.7088
5	8	3.9244	4.0887	3.0791
6	10	2.1471	3.8475	<b>3.013</b>

Pada tabel 4.10 angka yang ditandai warna tebal adalah nilai keluaran generator yang sebelumnya melanggar batasan *ramprate* pembangkit. Analisa dari dua tabel tersebut akan dijelaskan pada sub bab 4.3.1.2.

#### **4.3.1.2 Analisa Pengujian Tahap 1**

Berdasarkan Tabel 4.8 biaya pembangkitan tanpa batasan ramprate menghasilkan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan menggunakan batasan ramprate, akan tetapi terjadi pelanggaran batasan ramprate pada unit 4 antara jam 12-13 dan 13-14 juga terjadi pelanggaran batasan ramprate pada unit 6 antara jam 17-18. Sehingga sistem tidak aman karna ada beberapa pembangkit yang beroperasi dengan melanggar batasan ramprate

Penggunaan batasan ramprate pada program menghasilkan biaya pembangkitan yang lebih mahal tetapi sistem akan lebih aman Karena setiap unit pembangkit tidak ada yang melanggar batasan ramprate, terlihat pada table 4.10 dimana tidak ada perubahan pembangkitan daya dari unit 4 yang melebihi 9 MW dan Pada unit 6 tidak ada perubahan pembangkitan daya yang melebihi 10 MW.

#### **4.3.2 Pengujian tahap 2**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rating saluran dinamis terhadap biaya pembangkitan. pengujian dilakukan dengan 2 kondisi. Kondisi pertama yaitu melakukan simulasi pembebanan dinamis tanpa batasan ramprate dengan rating saluran dinamis, dan kondisi kedua melakukan simulasi pembebanan dinamis dengan batasan ramprate dengan rating saluran dinamis. untuk pengujian ini rating statis menggunakan kondisi cuaca terburuk yaitu kecepatan angin = 0 meter/detik dan suhu lingkungan 40 °C.

##### **4.3.2.1 Simulasi pengujian tahap 2**

simulasi pembebanan dinamis dengan rating saluran dinamis. Pada tabel 4.12 telah ditampilkan nilai pengali rating saluran pada rentang waktu tertentu, dimana besar nilai pengali ditentukan berdasarkan kecepatan angin dan temperatur lingkungan sekitar Berikut adalah data perhitungan rating saluran yang ditunjukkan oleh tabel 4.12. dimana data data meteorologi didapatkan sesuai data referensi [7]

**Tabel 4. 12** Perhitungan rating saluran dinamis bus 1 ke bus 2 dari sistem standar IEEE 30 bus

Jam ke-	Vw (m/s)	Ta (°C)	qc (W/m)	qr (W/m)	fkalirate	Is (A)	Id (A)
1-4	1,0	35	112,3	41,5	1,1	555,9	625,1
5-8	1,5	32	149,9	42,9	1,3	555,9	711,7
9-12	2,0	30	183,3	43,8	1,4	555,9	780,2
13-16	2,5	28	215,6	44,7	1,5	555,9	841,0
17-20	2,1	31	186,1	43,3	1,4	555,9	784,6
21-24	1,3	36	129,5	41,0	1,2	555,9	663,5

**Tabel 4. 13** Kapasitas transfer daya pada saluran

Branch	From bus	To bus	Kapasitas Saluran (MVA)	Branch	From bus	To bus	Kapasitas Saluran (MVA)
1	1	2	130	22	15	18	16
2	1	3	130	23	18	19	16
3	2	4	65	24	19	20	32
4	3	4	130	25	10	20	32
5	2	5	130	26	10	17	32
6	2	6	65	27	10	21	32
7	4	6	90	28	10	22	32
8	5	7	70	29	21	22	32
9	6	7	130	30	15	23	16
10	6	8	32	31	22	24	16
11	6	9	65	32	23	24	16
12	6	10	32	33	24	25	16
13	9	11	65	34	25	26	16
14	9	10	65	35	25	27	16
15	4	12	65	36	28	27	65
16	12	13	65	37	27	29	16
17	12	14	32	38	27	30	16
18	12	15	32	39	29	30	16
19	12	16	32	40	8	28	32
20	14	15	16	41	6	28	32
21	16	17	16	42	-	-	-

Tabel 4.12 adalah tabel perhitungan nilai pengali kapasitas saluran dengan memperhitungkan nilai kecepatan angin dan nilai temperatur lingkungan sekitar, sehingga didapatkan nilai pengali kapasitas transfer saluran secara dinamis (Fkalirate) selama waktu 24 jam dan tabel 4.13 adalah tabel dari nilai kapasitas saluran statis standar IEEE 30 bus.

**Tabel 4. 14** Output daya beserta biaya pembangkit dari setiap pembangkit (rating saluran dinamis tanpa ramprate)

Jam	Daya output setiap unit generator (MW)						Beban (MW)	Biaya (\$)
	1	2	3	4	5	6		
1	156.1	43.8	19.7	10.0	10.0	12.0	244.2	663.4
2	143.4	40.7	18.7	10.0	10.0	12.0	228.4	610.0
3	140.4	39.9	18.4	10.0	10.0	12.0	224.7	597.8
4	151.0	42.5	19.3	10.0	10.0	12.0	237.9	641.8
5	161.9	45.2	20.2	13.3	10.0	12.0	254.6	699.3
6	159.4	44.6	20.0	11.9	10.0	12.0	250.2	684.0
7	168.2	46.8	20.8	16.9	10.5	12.0	266.6	741.7
8	177.3	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
9	181.1	49.9	21.9	24.1	12.9	12.0	292.1	833.8
10	180.4	49.7	21.8	23.7	12.8	12.0	290.6	828.2
11	169.8	47.1	20.8	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3
12	172.3	47.6	21.1	19.1	11.2	12.0	274.4	769.7
13	191.6	52.4	22.8	30.0	15.0	13.9	314.6	918.0
14	190.1	52.2	22.7	29.2	14.6	13.7	311.6	906.5
15	188.0	51.6	22.5	28.1	14.3	13.2	307.1	889.8
16	183.2	50.5	22.0	25.3	13.3	12.4	296.6	850.4
17	200.0	54.1	22.8	33.7	15.8	15.2	329.5	975.2
18	200.0	58.6	25.2	35.0	19.7	18.5	344.5	1030.0
19	200.0	59.5	25.3	35.0	21.2	19.0	347.5	1050.0
20	200.0	56.1	24.9	35.0	17.8	17.0	338.5	1010.0
21	194.3	53.2	23.1	31.6	15.5	14.4	320.6	940.7
22	184.6	50.7	22.2	26.1	13.6	12.7	299.6	861.8
23	177.4	49.0	21.5	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
24	169.8	47.1	20.9	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3

Tabel 4.14 adalah hasil simulasi program OPF dengan rating saluran dinamis, tapi pada program ini tidak digunakan batasan *ramprate*, sehingga terjadi kemungkinan keuaran daya dari setiap unit pembangkit akan menghasilkan nilai keluaran daya yang melanggar batasan *ramprate*.

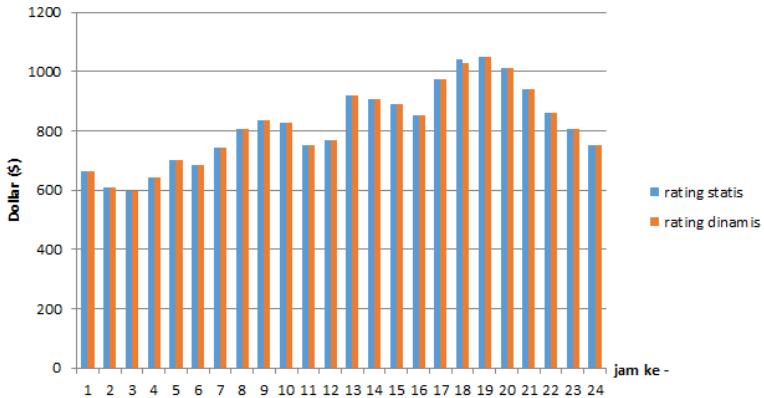
**Tabel 4. 15** Output daya beserta biaya pembangkit dari setiap pembangkit (rating saluran dinamis dengan ramprate)

Jam	Daya output setiap unit generator (MW)						Beban	Biaya
	1	2	3	4	5	6		
1	156.1	43.8	140.4	10.0	10.0	12.0	244.2	663.4
2	143.4	40.6	19.7	10.0	10.0	12.0	228.4	610.0
3	140.4	39.9	18.7	10.0	10.0	12.0	224.7	597.8
4	151.0	42.6	18.4	10.0	10.0	12.0	237.9	641.8
5	161.9	45.2	19.3	13.3	10.0	12.0	254.6	699.3
6	159.4	44.6	20.2	11.9	10.0	12.0	250.2	684.0
7	168.3	46.7	20.0	16.9	10.5	12.0	266.6	741.7
8	177.4	49.0	20.8	21.9	12.2	12.0	284.6	806.3
9	181.1	49.9	21.5	24.1	12.9	12.0	292.1	833.8
10	180.4	49.7	21.9	23.7	12.8	12.0	290.6	828.2
11	169.8	47.1	21.8	17.8	10.8	12.0	269.6	752.3
12	172.2	47.7	20.9	19.1	11.2	12.0	274.4	769.7
13	192.6	52.8	21.1	28.1	15.2	14.2	314.6	918.0
14	190.0	52.1	22.9	29.4	14.7	13.6	311.6	906.5
15	188.0	51.6	22.7	28.0	14.3	13.2	307.1	889.8
16	183.1	50.4	22.5	25.2	13.4	12.4	296.6	850.4
17	200.0	54.4	22.0	34.2	15.0	14.6	329.5	975.8
18	200.0	59.4	23.4	34.7	19.1	19.1	344.5	1040.0
19	200.0	59.9	24.8	35.0	20.7	19.3	347.5	1050.0
20	200.0	56.8	25.1	35.0	18.2	16.9	338.5	1010.0
21	194.2	53.2	23.9	31.6	15.4	14.4	320.6	940.8
22	184.6	50.8	23.0	26.1	13.6	12.6	299.6	861.8
23	177.3	49.0	22.1	22.0	12.2	12.0	284.6	806.3
24	169.8	47.1	21.5	17.7	10.8	12.0	269.6	752.3

Tabel 4.14 adalah hasil simulasi program OPF dengan rating saluran dinamis, pada program ini telah ditambahkan batasan ramprate sehingga unit pembangkit beroperasi tanpa melanggar batasan ramprate..



**Harga Pembangkitan Tiap Jam**



**Gambar 4. 3** Grafik perbandingan Harga pembangkitan tiap jam menggunakan rating saluran statis dan rating saluran dinamis tanpa ramprate.

**Tabel 4. 16** Perbandingan harga Pembangkitan rating dinamis dan rating statis tanpa batasan ramprate

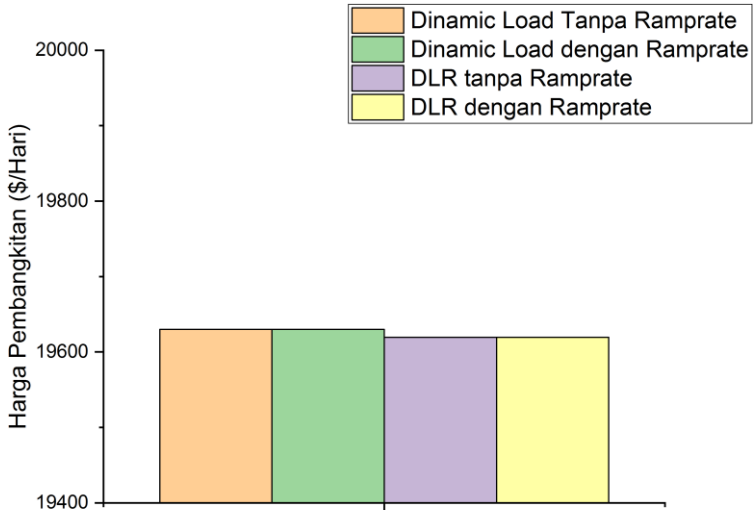
Tipe Pembebanan (24 Jam)	Biaya (\$)
Rating Saluran Statis	<b>19630.079</b>
Rating Saluran Dinamis	<b>19619.4255</b>

**Tabel 4. 17** Perbandingan harga Pembangkitan rating dinamis dan rating statis dengan batasan ramprate

Tipe Pembebanan (24 Jam)	Biaya (\$)
Rating Saluran Statis	<b>19630.4889</b>
Rating Saluran Dinamis	<b>19619.489</b>

Tabel 4.10 adalah tabel yang berisi tentang perbandingan biaya pembangkitan antara pembebanan dinamis menggunakan rating saluran statis dengan pembebanan dinamis dengan rating saluran dinamis dengan sama-sama tanpa batasan ramprate, sedangkan tabel 4.11 adalah tabel perbandingan harga DOPF rating saluran statis dan DOPF rating dinamis dengan sama-sama menanbah batasan ramprate. dari empat

data simulasi tabel 4.15 dan tabel 4.16 akan dibuat tabel pembandingan harga OPF dengan rating saluran statis dan rating saluran dinamis yang ditunjukkan oleh gambar 4.5

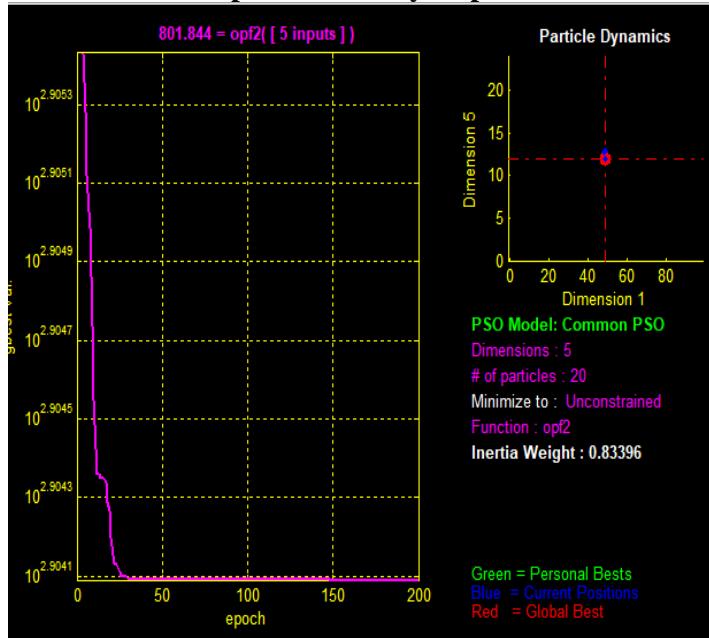


**Gambar 4. 4** Diagram pembandingan harga pembebanan menggunakan rating saluran statis dan rating saluran dinamis

#### 4.3.2.2 Analisa pengujian tahap 2

Berdasarkan tabel 4.15 - 4.16 dan gambar 4.5 dapat dilihat bahwa total biaya pembangunan dengan rating saluran dinamis menghasilkan biaya pembangunan yang lebih murah dibandingkan dengan pembebanan dengan rating saluran statis. Biaya lebih murah pada saat sistem menggunakan batasan *ramprate* ataupun tanpa menggunakan batasan *ramprate*. Hal ini dikarenakan penggunaan rating saluran dinamis membuat nilai kapasitas saluran lebih besar dibandingkan rating saluran statis sehingga biaya total operasi menjadi lebih murah.

#### 4.4 Percobaan Untuk Menganalisa Kurva Konvergensi PSO Pada Penerapan Aliran Daya Optimal



Gambar 4.5 Kurva konvergensi PSO

Gambar 4.6 adalah kurva konvergensi PSO dari hasil simulasi penerapan PSO pada aliran daya optimal.

##### 4.4.1 Analisa Kurva Konvergensi PSO

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa pada program aliran daya optimal menggunakan metode *particle swarm optimization*, kurva PSO konvergen pada iterasi ke-200, pada program ini digunakan 100 partikel dengan inialisasi posisi dan kecepatan awal yang dibangkitkan secara acak, sesuai standar PSO nilai *inertia weight* yang digunakan pada program ini sama dengan 0.83396 dengan nilai  $c_1$  dan  $c_2$  sama-sama memiliki nilai yang sama dengan 1.49445.

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. AC-DOPF menghasilkan menghasilkan biaya lebih mahal hingga 0,6 persen lebih mahal dibandingkan dengan perhitungan OPF konvensional, tetapi AC-OPF lebih aman karena tidak melanggar batasan *ramprate* pembangkit.
2. AC-OPF mempertimbangkan rating saluran dinamis menghasilkan biaya yang lebih murah baik menggunakan *ramprate* atau tanpa batasan *ramprate*.
3. Biaya pembangkitan menggunakan batasan *ramprate* menghasilkan biaya yang lebih mahal baik mempertimbangkan rating saluran dinamis ataupun mempertimbangkan rating saluran statis. Meskipun menghasilkan biaya lebih mahal menggunakan batasan ramp lebih aman karena bisa mencegah kerusakan pada unit pembangkit dikarenakan melanggar batasan *ramprate* pembangkit.

#### **5.2 Saran**

Untuk pengembangan penelitian, berikut adalah saran dari penulis terkait penelitian ini:

1. Bisa dikembangkan menjadi penelitian AC-SCOPF menggunakan metode PSO dengan mempertimbangkan DLR Sehingga lebih sesuai dengan keadaan real dilapangan.  
*ramprate*

*[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wood, Allen J, *“Power Generation, Operation, and Control”*, John Wiley & Sons, New York, 1996 (1)
- [2] M. Nick, O. Alizadeh-Mousavi, R. Cherkaoui, M. Paolone, “Security Constrained Unit Commitment With Dynamic Line Rating”, *IEEE Transaction on Power System* Vol. 31, 2016.
- [3] Djillani, Yacine, *“Particle Swarm Optimization based Optimal Power Flow for Units with Non-Smooth Fuel Cost Functions”*, Algeria, 2009.
- [4] Haicheng Zhang, Mingtian Du, Quangang Zhao, Li Xue, *“Security Constrained Economic Dispatch with Dynamic Thermal Rating Technology Integration”*, International Conference on Power and Renewable Energy, 2016.
- [5] Saadat, Hadi, *“Power System Analysis”*, McGraw-Hill, 1999.
- [6] T. P. Rony Seto, *“Security Constrained Optimal Power Flow Incorporating Preventive and Corrective Control”*. Electrical Power, Electronics, Communications, Control and Informatics Seminar , 2014.
- [7] IEEE Std. 738-2012—IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, 2013
- [8] R. M. Rony Seto Wibowo, *“Quadratic Programming Approach for Security Constrained Optimal Power Flow”*. International Conference on Information Technology and Electrical Engineering , 2015.
- [9] Nursidi, Rony Seto Wibowo *“Dynamic DC Optimal Power Flow Using Quadratic Programming”*. International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, 2013.
- [10] S. Sivasubramani, K.S. Swarup “Sequential quadratic programming based differential evolution algorithm for optimal power flow problem”, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2011.
- [11] Yamile del Valle, “Particle Swarm Optimization Concepts, Variants and Application in Power Systems”. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Vol.12, No 2, 2008.

- [12] Penangsang, Ontoeseno, “power Flow Simulation and Analysis” Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2010.
- [13] Penangsang, Ontoeseno, “*Economic Dispatch Unit-unit Pembangkit Thermal* “ Thermal”, Teknik Elektro-ITS, Surabaya, 2011.



## BIOGRAFI PENULIS



Taufik Hidayatullah lahir di Pamekasan pada tanggal 1 juni 1996. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN Taroan,Tlanakan Pamekasan sampai tahun 2009, SMP Negeri 1 Pamekasan sampai 2012 dan SMA Negeri 1 Pamekasan sampai tahun 2015. Kemudian melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada 2015 jurusan Teknik Elektro. Bidang studi yang diambil penulis adalah Teknik Sistem Tenaga. Dalam bidang organisasi, penulis tergabung dalam BEM FTI ITS tahun 2016-2017. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS pada tahun 2017 – 2018. Selain itu, penulis aktif sebagai anggota dari Forum Komunikasi Mahasiswa Pamekasan ITS,PENS,PPNS. Penulis dapat dihubungi melalui alamar email : [taufik0135@gmail.com](mailto:taufik0135@gmail.com).