



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TE 141599

**STUDI ALIRAN DAYA OPTIMUM
MEMPERTIMBANGKAN KESTABILAN TRANSIEN
SISTEM INTERKONEKSI 150 kV BARITO-PULAU
BARU KALIMANTAN SELATAN PADA
TAHUN 2021**

Imam Tantowi
NRP 2215105082

Dosen pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institute Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – TE 141599

**Transient Stability Constrain of Optimal Power Flow
Studies Interconnecting System 150 kV Barito- Pulau
Baru South Kalimantan in 2021**

Imam Tantowi
NRP 2215105082

Advisors
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMEN OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh nopember institute of Teknologi
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Aliran Daya Optimum Mempertimbangkan Kestabilan Transien Sistem Interkoneksi 150 kV Barito - Pulau Baru Kalimantan Selatan pada Tahun 2021**” 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, 5 Juli 2017

Imam Tantowi
NRP 2210 100 082

**STUDI ALIRAN DAYA OPTIMUM MEMPERTIMBANGKAN
KESTABILAN TRANSIEN SISTEM INTERKONEKSI 150 kV
BARITO - PULAU BARU KALIMANTAN SELATAN
PADA TAHUN 2021**

TUGAS AKHIR

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

Menyetujui:

Dosen pembimbing I

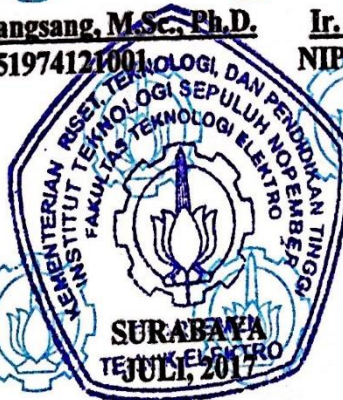
Dosen pembimbing II

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.

NIP. 194907151974121001

Ir. Sjamsiul Anam, MT.

NIP. 196307251990031002



**STUDI ALIRAN DAYA OPTIMUM MEMPERTIMBANGKAN
KESTABILAN TRANSIEN SISTEM INTERKONEKSI 150
BARITO - PULAU BARU KALIMANTAN SELATAN
PADA TAHUN 2021**

Imam Tantowi
2215105082

Pembimbing I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstrak:

Analisa aliran daya merupakan konsep dasar analisa pada sistem tenaga listrik untuk menentukan parameter dasar yang digunakan untuk berbagai permasalahan pada sistem. Salah satu permasalahan pada sistem tenaga listrik tersebut adalah bagaimana membuat sistem mempunyai aliran daya yang optimal dengan biaya yang murah dan aman. Sehingga pada tugas ahir ini dilakukan suatu analisa pemecahan solusi untuk menentukan permasalahan aliran daya optimum yang mempertimbangkan kestabilan transien. Pertimbangan kestabilan transien tersebut dilakukan sebagai tindakan preventif apabila terjadi gangguan besar secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan kontinuitas penyaluran daya menjadi terganggu karena *circuit breaker* yang terpasang dekat gangguan akan bekerja memutus saluran sesuai dengan setingannya sehingga penyaluran daya menjadi tidak optimal lagi dan sistem menjadi tidak stabil. Pengujian sistem dilakukan pada sistem interkoneksi 150 kV kalimantan selatan-tengah pada tahun 2021.

Kata kunci : *optimal power flow*, kestabilan transien

**TRANSIENT STABILITY CONSTRAIN OF OPTIMAL
POWER FLOW STUDIES INTERCONNECTING SYSTEM
150 kV BARITO- PULAU BARU SOUTH
KALIMANTAN IN 2021**

Imam Tantowi
2215105082

Advisor I : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Abstract:

Power flow analysis is a basic concept of analysis on electric power system to determine the basic parameters used for various problems in the system. One of the problems in the power system is how to make the system has an optimal power flow with low cost and safe. So at this final project would have problem solving analysis to determine the problem of optimum power flow considering transient stability. Transient stability consideration is performed as a preventive action in case of a sudden large disturbance that can cause continuity of power distribution to be disrupted because circuit breaker installed near the disturbance will disconnect the line flow according to the setting so that the power distribution becomes not optimal anymore and the system becomes unstable . The system test is performed on the interconnection system of 150 kV south-central kalimantan in 2021

Keyword : *optimal power flow, transient stability*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penyusun ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **Studi Aliran Daya Optimum Mempertimbangkan Kestabilan Transien Sistem Interkoneksi 150 kV Barito - Pulau Baru Kalimantan Selatan pada Tahun 2021**. Pembuatan dan penyusunan Tugas Akhir ini digunakan sebagai salah satu syarat akademis untuk memperoleh gelar S1 di program studi teknik sistem tenaga Institute Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas karunia, berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis Alm Asmaun dan Sumirah serta kakak dan adik Arifin, Muhammad Maksum dan Hafid Ali Masjid atas dukungan, semangat dan doa untuk penulis.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Ir. Sjamşjul Anam, MT. Selaku dosen pembimbing
4. Gilang hari P, ST dan Seluruh Asistan laboratorium PSSSL yang telah menjadi tempat diskusi dalam pengerjaan tugas ahir
5. Member GW 25 C (indra, abi, mbah, doni, galuh, fatur, hanif, putra, ali, ngengek, putu, imam pantek, adi, adib, calvin, umar, kerbul,pentol, panjul, aji, dan cakdun sekeluarga) yang sudah menampung penulis dalam pengerjaan TA
6. Seluruh BJT crew (Agus, Budi, Kintel, jati) yang sudah menampung penulis dan menjadi tempat berbagi ilmu.
7. Syarifah Nuri Kamaliah atas dukungan moral dan semangat untuk keberhasilan penulis
8. Segenap civitas akademika Teknik Elektro ITS atas dukungan selama proses perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir

Besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik dari pembaca demi kesempurnaan Tugas ahir ini

Surabaya, Juli 2017

Imam Tantowi
NRP 2210 100 082

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xix
BAB I <u>PENDAHULUAN</u>	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	1
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Metodologi	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
1.6 Relevansi	3
BAB II DASAR TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Aliran Daya	5
2.1.1 Matrix Admitansi [Ybus].....	5
2.1.4 Persamaan Aliran Daya	6
2.1.2 Metode Newton-Rhapson.....	7
2.2 Aliran Daya Optimum	10
2.2.1 Fungsi Objektif.....	10
2.2.2 Batasan Kesamaan (<i>Equality Constrain</i>).....	10
2.2.3 Batasan Ketidaksamaan (<i>Inequality Constrain</i>)	10
2.2.4 Nilai Fitness dan Faktor Penalty.....	11
2.2.2 Metode <i>Particel Swarm Optimization</i>	11
2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	12
2.3.1 Kestabilan Sudut Rotor.....	12
2.3.2 Kestabilan Tegangan	13
2.3.3 Kestabilan Frekuensi	14
2.4 Permodelan Multimesin untuk Kestabilan Transien.....	14
2.5 Batasan Kestabilan Transien Menggunakan Metode COI.....	19

BAB III DATA PENELITIAN DAN PERMODELAN	21
3.1 Data Penelitian.....	21
3.2 Permodelan OPF Memepertimbangkan Kestabilan Transien	22
3.2.1 Fungsi objektif	22
3.2.2 Batasan kesamaan (<i>Equality constrain</i>).....	23
3.2.3 Batasan Ketidaksamaan (<i>inequality constrain</i>).....	23
3.2.4 Batasan Kestabilan Transien.....	24
3.2.4 Perhitungan nilai fitness.....	24
3.3 Algoritma Aliran Daya Optimum Memepertimbangkan Kestabilan Transien Menggunakan PSO	25
BAB IV SIMULASI DAN ANALISA	29
4.1 Simulasi Sistem	29
4.2 Analisa Sistem	29
4.2.1 Aliran Daya.....	29
4.2.2 OPF-PSO	31
4.2.3 TSC-OPF	33
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik[7]	12
Gambar 2. 2 Ilustrasi pergerakan arah serta momen putar rotor	13
Gambar 3. 1 Sistem Interkoneksi Kalselteng 2021	19
Gambar 3. 2 Flowchart algoritma TSCOPF menggunakan PSO	28
Gambar 4. 1 Perbandingan Kurva (plot) tegangan N-R dengan Etap ...	30
Gambar 4. 2 Grafik konvergensi OPF-PSO	31
Gambar 4. 3 Respon sudut rotor pada sistem di gangguan [46-61]	34
Gambar 4. 4 Respon sudut rotor setelah proses TSCOPF.....	35
Gambar 4. 5 Validasi respon sudut rotor sistem menggunakan PST	35
Gambar 4. 6 Grafik konvergensi TSCOPF meggunakan PSO.....	36
Gambar 4. 7 Perbandigan Tegangan pada generator kasus sebelum.....	39
Gambar 4. 8 Perbandigan Daya Aktif pada generator kasus sebelum...	40
Gambar 4. 9 Perbandigan Aliran daya pada saluran kasus sebelum	41
Gambar 4. 10 Perbandigan Aliran daya pada saluran kasus sebelum ...	42
Gambar 4. 11 Perbandigan Aliran daya pada saluran kasus sebelum ...	43
Gambar 4. 12 Perbandigan Aliran daya pada saluran kasus sebelum ...	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil <i>load flow</i> ETAP dengan Newthon rhapsion (N-R).....	29
Tabel 4. 2 Perbandingan total biaya pembangkitan sistem	32
Tabel 4. 3 Perbandingan total biaya pembangkitan sistem	33
Tabel 4. 4 Perbandingan biaya minimal OPF dengan TSCOPF	37
Tabel 4. 5 Perbandingan biaya minimal OPF dengan TSCOPF	38

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1. 1 Data Bus dan beban sistem kalselteng 2021	49
Tabel 1. 2 Data Saluran sistem kalselteng 2021.....	52
Tabel 1. 3 Data Dinamik pembangkitan sistem kalselteng 2021	56
Tabel 1. 4 Data kemampuan pembangkit sistem kalselteng 2021	57

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi di daerah Kalimantan Selatan kebutuhan listrik menjadi semakin bertambah. Sistem kelistrikan Provinsi Kalimantan Selatan sebagian besar dipasok dari Sistem Barito, Sistem Barito merupakan sistem interkoneksi kelistrikan terbesar di Kalimantan Selatan dengan jaringan transmisi 150 kV dan 70 kV. Hal tersebut menuntut PLN (Perusahaan Listrik Negara) untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya pada sistem kelistrikan secara aman dan murah.

Salah satu upaya yang bisa ditempuh untuk membuat sistem dengan biaya yang murah adalah meminimalkan biaya pembangkitan dengan melakukan OPF (*optimal power flow*) untuk menentukan kapasitas daya optimal yang harus disediakan oleh tiap pembangkit berdasarkan biaya pembangkitan yang paling minimum. Namun operasi optimasi pada sistem kelistrikan ini saja tidak cukup, karena ketika sistem mengalami gangguan besar secara tiba-tiba dapat menyebabkan kontinuitas penyaluran daya menjadi terganggu dan circuit breaker (CB) yang terpasang didekat gangguan akan bekerja memutus saluran sesuai dengan setingannya sehingga penyaluran daya menjadi tidak optimal lagi dan sistem menjadi tidak stabil.

Oleh karena itu, sebagai tindakan preventif sebelum terjadinya gangguan besar secara tiba-tiba. Sehingga dibutuhkan desain sistem untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya optimum dan semurah mungkin dengan generator yang beroperasi pada batasan kestabilan.

1.2 Batasan Masalah

Perumusan masalah dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah:

1. Sistem yang digunakan adalah sistem interkoneksi Kalimantan Selatan-Tengah 150 kV.
2. Perhitungan load flow menggunakan metode Newton-Raphson
3. Perhitungan *optimal power flow* menggunakan metode *particle swarm optimization*.
4. Generator sinkron dimodelkan sebagai *classical generator* multi mesin dengan beban impedansi konstan.
5. Analisa kestabilan transien tidak memodelkan pengaruh dari governor dan excitasi dengan diberikan gangguan short circuit 3

phase pada satu saluran [46-61] setelah CB (*circuit breaker*) yang diasumsikan berada di daerah bus terdekat.

1.3 Tujuan

Hasil akhir dari tugas akhir ini bertujuan memberikan acuan nilai biaya pembangkitan minimum dengan mempertimbangkan batasan kestabilan transien sistem apabila terjadi gangguan, Sehingga sistem interkoneksi 150 kV Barito-pulau Baru menjadi murah dan aman

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini adalah OPF (*optimal power flow*), PSO (*particel swarm optimation*), dan kestabilan transien yang diperoleh melalui jurnal IEEE dan buku
2. Pengumpulan data
Data sistem yang dibutuhkan untuk pengerjaan tugas akhir ini meliputi:
 - a. Bus meliputi tipe bus, tegangan dan nomor bus.
 - b. Generator meliputi tipe, jenis, kapasitas daya maksimum dan minimum dan fungsi biaya pembangkitan.
 - c. Beban meliputi nilai beban aktif dan reaktif
 - d. Saluran meliputi kapasitas saluran dan impedansi
3. Perancangan Program
Perancangan algoritma yang digunakan adalah PSO (*particel swarm optimation*) yang dilakukan pada software MATLAB.
4. Analisa dan Simulasi
Simulasi dilakukan pada MATLAB dengan data yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisa pada hasil yang diperoleh dari simulasi, sehingga dari analisa ini didapatkan suatu **Gambaran** bagaimana suatu sistem bisa dioperasikan pada biaya yang minimum dan memiliki batasan kestabilan yang aman pada saat terjadi gangguan
5. Penulisan Laporan
Hasil pengerjaan tugas akhir dilaporkan dalam bentuk buku dan paper yang berisi uraian penjelasan, hasil dan kesimpulan

1.5 Sistematika Penulisan

Penyusunan buku tugas akhir secara sistematis terdapat 5 BAB dengan uraiannya masing-masing adalah:

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas latar belakang, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, serta relevansi

BAB 2 : Dasar Teori Penunjang

Bab ini membahas penjelasan secara umum dan khusus tentang metode dan teori yang digunakan untuk menyelesaikan optimal power flow dengan batasan kestabilan transien multimesin

BAB 3 : OPF Mempertimbangkan Kestabilan transien menggunakan PSO

Bab ini membahas tentang penerapan metode PSO di OPF dengan mempertimbangkan batasan kestabilan transien pada sistem interkoneksi 150 kV Kalimantan selatan-tengah 2021.

BAB 4 : Simulasi dan Analisa

Bab ini membahas hasil simulasi OPF mempertimbangkan kestabilan transien dari sistem yang kemudian di analisa dengan landasan teori pada BAB II

BAB 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil yang sudah didapatkan dan saran-saran untuk pengembangan penelitian dengan tema yang sejenis

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini dapat dijadikan salah satu referensi untuk pengembangan sistem interkoneksi 150 kV kalimantan selatan-tengah pada tahun 2021 yang mempunyai aliran daya optimum dengan biaya minimum dan terjamin keamanannya pada saat terjadi gangguan pada sistem.

[Halaman ini Sengaja dikonsongkan]

BAB II

DASAR TEORI PENUNJANG

2.1 Aliran Daya

Aliran daya (*Power Flow*) merupakan penyaluran daya listrik dari generator hingga ke beban melalui komponen-komponen sistem kelistrikan dan saluran transmisi yang terhubung dalam satu titik pertemuan dari semua sambungan komponen sistem. Pada sistem terdapat beberapa jenis bus beserta fungsi dan penjelasan [1] :

1. Bus Referensi (Slack Bus)
 - a. Terhubung dengan generator
 - b. Menjadi referensi perhitungan dengan nilai $|V|$ dan $\Theta = 0^\circ$ agar perhitungan lebih mudah
 - c. Mencatu rugi-rugi daya dan beban yang tidak dapat di supply oleh generator lain
 - d. P dan Q dihitung
2. Bus Generator (Generation Bus)
 - a. Terhubung dengan generator
 - b. P dan $|V|$ dari generator diketahui tetap agar tidak merusak peralatan elektronik
 - c. Θ dan Q dihitung
3. Bus Beban (Load Bus)
 - a. Terhubung dengan beban
 - b. P dan Q dari beban diketahui sehingga dapat digunakan untuk analisa aliran daya
 - c. $|V|$ dan Θ dihitung.

2.1.1 Matrix Admitansi [Ybus]

Matrix admitansi [Ybus] merupakan dasar perhitungan aliran daya pada sistem 3 fasa dengan perhitungan berdasarkan sistem satu fasa karena sistem satu fasa dianggap seimbang dan mudah dalam melakukan perhitungan [1]. Elemen-elemen dari matrix admitansi mempunyai ciri-ciri tersendiri yaitu [1]:

1. Elemen Diagonal Y_{ii} merupakan jumlah admitansi yang terhubung pada bus i
2. Elemen off-Diagonal Y_{ij} bernilai negatif dari admitansi antara bus i dan bus j
3. Apabila bus i dan bus j tidak terhubung maka nilai elemen off-Diagonal $Y_{ij} = 0$

Di mana:

P = Daya aktif

Q = Daya Reaktif

Θ = Sudut fasa Derajat

V = Tegangan

Y = Admitansi

Y_{ij} = Matrix admitansi baris i kolom j

Y_{ii} = Matrix admitansi baris i kolom i

2.1.4 Persamaan Aliran Daya

Dalam sistem ketenagalistrikan, Aliran daya yang masuk mempunyai nilai yang sama dengan Aliran daya yang keluar. Persamaan umum Aliran daya adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n V_j Y_{ij} \quad (2.1)$$

Di mana P_i dan Q_i dapat dinyatakan dalam beberapa bentuk yaitu bentuk hybrid, polar dan rectangular adalah [1]:

Bentuk Hybrid:

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| \{G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)\} \quad (2.2)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |V_j| \{G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)\} \quad (2.3)$$

Bentuk Rectangula:

$$P_i = e_i \{ \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) \} + f_i \{ \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \} \quad (2.4)$$

$$Q_i = f_i \{ \sum_{j=1}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) \} - e_i \{ \sum_{j=1}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \} \quad (2.5)$$

Bentuk polar:

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \cos(\Psi_{ij} - \theta_i + \theta_j) \quad (2.6)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \sin(\Psi_{ij} - \theta_i + \theta_j) \quad (2.7)$$

Di mana:

P_i = Daya aktif pada bus i

Q_i = Daya reaktif pada bus i

V_i = Tegangan pada bus i

V_j = Tegangan pada bus j

G_{ij} = Nilai real matriks [Ybus] pada kolomi dan baris j

B_{ij} = Nilai imajiner matriks [Ybus] pada kolomi dan baris j

e_i = Nilai real tegangan ggl pada bus i

f_i = Nilai imajiner tegangan ggl pada bus i

θ_i = Sudut fasa tegangan bus i

Ψ = Sudut fasa admitansi.

2.1.2 Metode Newton-Raphson

Metode newrton-raphson merupakan proses iterasi (perulangan perhitungan) dari persamaan non linear yang diubah menjadi linear dengan satu variabel atau lebih dengan hasil dari nilai iterasi akan dibandingkan dengan nilai toleransi.

2.1.2.1 Metode Newton-Raphson Satu Variabel

Apabila diberikan persamaan $f(x) = c$ dengan nilai x merupakan bilangan kompleks. Dapat diturunkan dengan persamaan deret taylor dengan penurunan sampai derte ke-n faktorial (!) seperti persamaan (2.8).

$$f(x)^{(0)} + \frac{1}{1!} \left(\frac{d^1 f}{dx^1} \right)^{(0)} \Delta x^{(0)} + \dots + \frac{1}{n+1!} \left(\frac{d^{n+1} f}{dx^{n+1}} \right)^{(0)} \Delta x^{(0)} = c \quad (2.8)$$

Nilai selisih x diperoleh dari pembagian total nilai persamaan non linear dari fungsi x dengan penurunan fungsi x.

$$\Delta x^{(n)} = \frac{\Delta c^{(n)}}{\left(\frac{d^2 f}{dx^2} \right)^{(n)}} \quad (2.9)$$

Nilai iterasi diperoleh dari penjumlahan nilai selisih x terhadap nilai x

$$x^{(n+1)} = x^n + \Delta x^n \quad (2.10)$$

Sebagai contoh adalah persamaan $f(x) = x^2 + 8x + 1$. Dengan nilai x adalah 1, Maka :

$$\left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)} = 2x + 8 \qquad \left(\frac{d^2f}{dx^2}\right)^{(2)} = 0$$

$$= 2(1) + 8$$

$$= 10$$

$$\left(\frac{d^2f}{dx^2}\right)^{(1)} = 2$$

$$\Delta c^{(0)} = c - f(x)^{(0)} \qquad \Delta c^{(2)} = c - f(x)^{(2)}$$

$$= 0 - x^2 + 8x + 1 \qquad = 0 - 2x$$

$$= 0 - (1)^2 + 8(1) + 1 \qquad = -2$$

$$= 8$$

$$\Delta c^{(1)} = c - f(x)^{(1)}$$

$$= 0 - 2x + 8$$

$$= 0 - 2(1)^2 + 8(1)$$

$$= 6$$

Setelah nilai $\Delta c^{(0)}$ dan penurunan pertama nilai x diketahui gunakan persamaan 2.9 untuk menentukan selisih nilai x awal :

$$\Delta x^{(0)} = \frac{\Delta c^{(0)}}{\left(\frac{df}{dx}\right)^{(0)}} \qquad \Delta x^{(2)} = \frac{\Delta c^{(2)}}{\left(\frac{d^2f}{dx^2}\right)^{(2)}}$$

$$= 8/10 \qquad = -2/0$$

$$= 0.8 \qquad = \text{infinite}$$

$$\Delta x^{(1)} = \frac{\Delta c^{(1)}}{\left(\frac{d^2f}{dx^2}\right)^{(1)}}$$

$$= 6/2$$

$$= 3$$

Berdasarkan persamaan 3.0 kita dapat mentukan nilai iterasi 1 dan 2

$$x^{(1)} = x^{(0)} + \Delta x^{(0)} \qquad x^{(2)} = x^{(1)} + \Delta x^{(1)}$$

$$= 1 - 0.8 \qquad = 0.2 - 3$$

$$= 0.2 \qquad = -3.8$$

Sehingga diperoleh nilai iterasi dari persamaan non $f(x) = x^2 + 8x + 1$. Dengan niali $x=1$ adalah 0.2 dan -3.8

2.1.2.2. Metode Newton-Rhapon Lebih Dari Satu Variabel

Apabila dalam suatu persamaan non linear terdapat satu variabel lebih (n-variabel) seperti $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c$. Proses pencarian nilai iterasi dapat dicari berdasarkan proses iterasi satu variabel dengan persamaan 2.8 - 3.0 Di mana variabel tersebut dapat diubah menjadi matrix dan rumusan dasar :

$$\Delta c^{(k)} = J^{(k)} \Delta X^{(k)} \quad (2.11)$$

$$\Delta X^{(k)} = [J^{(k)}]^{-1} \Delta c^{(k)} \quad (2.12)$$

$$\Delta X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k)} \quad (2.13)$$

Matrix $J^{(k)}$ merupakan matrix jacobian yang terdiri dari beberapa elemen penurunan nilai evaluasi dari $x^{(k)}$ yang diasumsikan mempunyai nilai invers selama proses iterasi berlangsung.

$$\begin{bmatrix} c_1 - (f_1)^{(0)} \\ c_2 - (f_2)^{(0)} \\ \vdots \\ c_n - (f_n)^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\Delta c^{(k)} = \begin{bmatrix} c_1 - (f_1)^{(0)} \\ c_2 - (f_2)^{(0)} \\ \vdots \\ c_n - (f_n)^{(0)} \end{bmatrix} \quad \Delta X^{(k)} = \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta x_n^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$J^{(k)} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_2}{\partial x_n}\right)^{(0)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1}\right)^{(0)} & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_2}\right)^{(0)} & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n}\right)^{(0)} \end{bmatrix}$$

2.2 Aliran Daya Optimum

OPF (*optimal power flow*) atau aliran daya optimum merupakan pengembangan perhitungan *economic dispatch* yang bertujuan untuk menghitung biaya pembangkitan dengan memperhatikan losses, konfigurasi jaringan dan aliran daya pada saluran. Aliran daya yang terdapat pada saluran dari pembangkitan hingga pembebanan diharapkan mempunyai nilai yang optimum pada pengoperasiannya. Nilai optimum sistem tersebut bergantung pada beberapa parameter dan batasan, yaitu:

2.2.1 Fungsi Objektif

Fungsi objektif merupakan fungsi penentuan biaya pembangkitan minimum yang dinyatakan dalam persamaan 2.17 Di mana variabel x merupakan kumpulan dari variabel $[V, \theta, P, Q]$ yang mempunyai nilai batasan maksimum dan minimum yang harus dipenuhi pada masing-masing variabel. Di mana fungsi biaya total pembangkitan bergantung pada nilai *cost function* dari koefisien a , b dan c yang telah diketahui dari spesifikasi generator.

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{Ng} a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (2.14)$$

2.2.2 Batasan Kesamaan (*Equality Constrain*)

Batasan kesamaan merupakan batasan yang nilai input dan outputnya sama sehingga apabila dikurangkan menjadi nol. Di dalam analisa sistem tenaga persamaan 2.15 variabel x tersebut adalah $[V, \theta, P, Q]$

$$g(x) = 0 \quad (2.15)$$

2.2.3 Batasan Ketidaksamaan (*Inequality Constrain*)

Batasan ketidaksamaan merupakan batasan yang nilai input dan outputnya tidak sama sehingga apabila dikurangkan tidak menjadi nol. Di dalam analisa sistem tenaga pada persamaan 2.16 variabel x tersebut adalah $[V, \theta]$:

$$h(x) \leq 0 \quad (2.16)$$

2.2.4 Nilai Fitness dan Faktor Penalty

Nilai fitness merupakan nilai batasan yang ditambahkan pada proses perhitungan dengan syarat tidak boleh melebihi batas terbaru yang ditentukan ulang selain dari batasan kesamaan dan ketidaksamaan [10]. Sedangkan Faktor pinalti (*Penalty faktor*) merupakan nilai pendekatan untuk permasalahan optimasi yang ditambahkan pada proses perhitungan untuk merubah fungsi tidak terbatas menjadi mempunyai batas namun digantikan dengan fungsi baru untuk menentukan nilai terbaru [13].

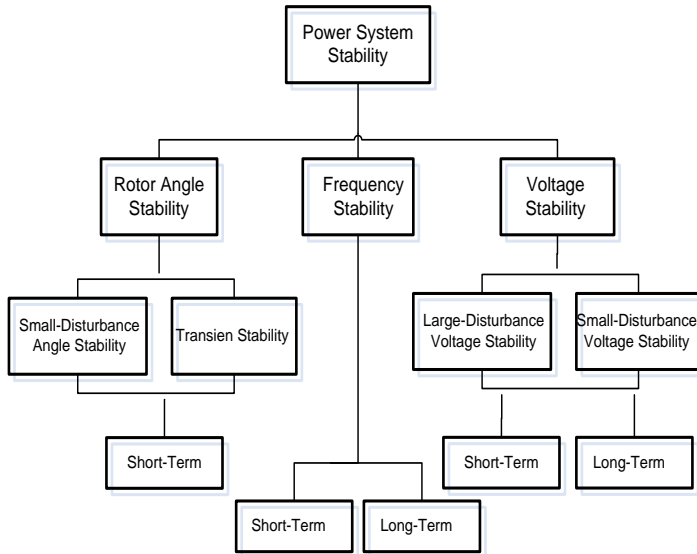
2.2.2 Metode *Particel Swarm Optimization*

PSO (*Particle Swarm Optimization*) merupakan metode optimasi yang digunakan untuk menentukan titik optimal dari suatu objek berdasarkan kawanan kecil dari sekelompok populasi dengan fungsi objektif. Elemen dasar yang digunakan dalam metode PSO diantaranya adalah[13]:

1. Partikel
Partikel merupakan suatu himpunan variabel yang mencakup parameter-parameter yang akan dioptimasi.
2. Populasi
Populasi merupakan himpunan dari partikel-partikel dalam suatu ukuran matrix
3. Kecepatan partikel
Kecepatan partikel merupakan kecepatan perpindahan partikel untuk mendapatkan nilai fitness yang terbaik. Kecepatan partikel akan berubah pada saat proses pencarian nilai terbaik dengan pengaruh faktor memory program dan adaptasi lingkungan sosial terhadap satu partikel dengan yang lainnya.
4. Individu terbaik (Pbest)
Pbest adalah nilai terbaik dari kumpulan partikel yang mempunyai posisi terbaik
5. Populasi terbaik (Gbest)
Gbest merupakan nilai terbaik dari kumpulan Pbest.
6. Kriteria terahir
Kriteeria terahir merupakan kondisi dari fitness yang telah terpenuhi dengan batasan batasan dari aliran daya optimum berupa equality constrain maupun inequality constrain.

2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem merupakan kemampuan sistem untuk kembali ke kondisi normal setelah terjadinya gangguan [7]. Pembahasan kestabilan sistem tenaga listrik sangatlah kompleks dan dipengaruhi oleh banyak faktor. Sehingga kestabilan sistem tenaga listrik berdasarkan besarnya gangguan dapat diklasifikasikan menjadi:



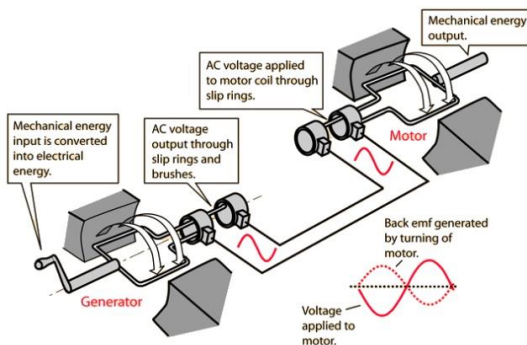
Gambar 2. 1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik[7]

2.3.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan mesin sinkron untuk tetap beroperasi pada kondisi sinkron saat kondisi normal maupun setelah gangguan. Faktor dasar pada kestabilan sudut rotor dikatakan stabil adalah torsi pada mesin sinkron bergerak secara bersamaan atau sinkron dengan nilai selisih sudut rotor torsi dan kecepatan mesin sinkron satu dengan yang lainnya adalah sama. Apabila sudut rotor dan kecepatan mesin sinkron dari mesin satu dengan yang lainnya tidak sama maka sistem dikatakan tidak stabil[6]. Berdasarkan besarnya gangguan kestabilan sudut rotor dapat diklasifikasikan menjadi:

2.3.1.1 Gangguan Besar

Pengaruh Gangguan besar pada sistem berhubungan dengan kestabilan transien. Kestabilan transien sendiri merupakan kemampuan sistem untuk kembali stabil pada satu swing setelah gangguan dengan asumsi governor dan exiter belum bekerja [5]. Dalam kestabilan transien sistem dikatakan stabil apabila torsi mekanik dan torsi elektrik pada mesin sinkron adalah seimbang. Apabila torsi mekanik dan elektrik tidak seimbang akan berpengaruh pada perbedaan sudut sebesar 90° [16] yang dapat menyebabkan *pole slip* pada motor dengan dampak terhadap rotor mengalami percepatan ($P_{\text{gen}} < P_{\text{beban}}$) atau perlambatan ($P_{\text{gen}} > P_{\text{beban}}$) mesin sinkron sehingga sistem dapat dikatakan tidak stabil.



Gambar 2. 2 Ilustrasi pergerakan arah serta momen putar rotor mesin sinkron secara mekanis dan elektris

2.3.1.2 Gangguan Kecil

Apabila pengaruh Gangguan kecil pada sistem mempunyai amplitudo sudut rotor mesin sinkron yang terus meningkat menjadi beresilasi tidak kembali pada kondisi stabil dikatakan tidak stabil dan sebaliknya [6]

2.3.2 Kestabilan Tegangan

Kestabilan Tegangan merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai tegangan pada setiap bus agar tidak melebihi batasannya Faktor utama yang menyebabkan sistem tidak stabil pada kategori kestabilan tegangan adalah ketidakseimbangan antara Daya

reaktif pada sistem yang dipengaruhi oleh karakteristik beban dan Generator PV(*voltage control*). Berdasarkan Besarnya pengaruh gangguan dapat diklasifikasikan lagi menjadi gangguan besar dan gangguan kecil [6].

2.3.3 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan nilai nominal frekuensi sistem setelah terjadi gangguan. Apabila frekuensi sistem melebihi batasan nilai nominal maka akan berpengaruh terhadap ketidakseimbangannya sistem antara beban dan pembangkit.

2.4 Permodelan Multimesin untuk Kestabilan Transien

Dalam melakukan permodelan kestabilan transien multimesin menggunakan matlab dibutuhkan permodelan matematis untuk menentukan perbedaan nilai sudut generator satu terhadap yang lainnya. Untuk mempermudah dalam melakukan analisa kestabilan transien dapat dilakukan permodelan yang sederhana dengan cara memodelkan generator klasik [6]. Dengan tidak memperhatikan damper. Apabila rangkaian damper dalam sistem tidak dimodelkan hal ini dapat dipertimbangkan untuk lingkup analisa seperti TSCOPF (*transienstability constrain optimal power flow*) [6]. perhitungan persamaan kestabilan transien pada multimesin terdapat beberapa kondisi yang dapat dilakukan [5]:

1. Setiap mesin sinkron dikategorikan mempunyai tegangan sumber konstan
2. Pengaruh dari governor diabaikan dan daya diasumsikan konstan selama simulasi
3. Pada saat tegangan sebelum gangguan, semua beban di konversi menjadi rangkaian equivalent admitansi terhubung ground di asumsikan mempunyai nilai konstan.
4. Damper tidak diperhitungkan
5. Tegangan exitasi selama dan sebelum gangguan diasumsikan konstan.

Sebelum menganalisa kestabilan sistem hal pertama yang harus terpenuhi adalah mendapatkan parameter aliran daya berupa tegangan, sudut tegangan dan daya aktif dan reaktif generator, sehingga analisa kestabilan transien setelah gangguan dapat dilanjutkan dengan langkah [5]:

1. Menghitung arus gangguan pada mesin dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.17

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.17)$$

Di mana:

m = Jumlah generator

V_i = Tegangan bus ke- i

$P_i - jQ_i$ = Daya aktif dan reaktif generator.

2. Menentukan Tegangan setelah gangguan pada persamaan 2.18 dengan mengasumsikan nilai dari resistansi generator sangat kecil sehingga bisa diabaikan [5].

$$E'_i = V_i + jX'_d I_i \quad (2.18)$$

Di mana:

E'_i = Tegangan setelah gangguan pada bus ke- i

V_i = Tegangan pada bus ke- i

I_i = Arus gangguan pada bus ke- i

jX'_d = Resistansi setelah gangguan

3. Selanjutnya semua beban di konversikan menjadi rangkaian equivalent admittansi dengan persamaan 2.19

$$Y_{i0} = \frac{S_i^*}{|V_i^*|^2} = \frac{P_i - jQ_i}{|V_i^*|^2} \quad (2.19)$$

4. Membuat matrix admittansi baru setelah gangguan dengan menambahkan nilai reaktansi gangguan (X_d') pada bus setelah titik generator sebelum impedansi, apabila dimodelkan dalam matrix dapat terlihat pada persamaan 2.20

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \\ \text{---} \\ I_{n+1} \\ \vdots \\ I_{n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{21} & \dots & Y_{2n} & Y_{2(n+1)} & \dots & Y_{2(n+m)} \\ Y_{21} & \dots & Y_{2n} & Y_{2(n+1)} & \dots & Y_{2(n+m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{21} & \dots & Y_{2n} & Y_{2(n+1)} & \dots & Y_{2(n+m)} \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ Y_{(n+1)1} & \dots & Y_{(n+1)n} & Y_{(n+1)(n+1)} & \dots & Y_{(n+1)(n+m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{(n+1)1} & \dots & Y_{(n+1)n} & Y_{(n+1)(n+1)} & \dots & Y_{(n+1)(n+m)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ \text{---} \\ E'_{n+1} \\ \vdots \\ E'_{n+m} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Pada matrix diatas mempunyai elemen Y_{bus} yang hampir mirip dengan matrix admitansi *load flow* menggunakan newthon rhapsion namun terdapat sedikit perbedaan dalam emennya yaitu penambahan elemen $Y_{admitansi}$ setelah gangguan (warna biru) Di mana $Y=R+jXd'$. Nilai resistansinya diasumsikan 0, karena mempunyai nilai yang sangat kecil.

5. Reduksi matriks, langkah ini digunakan untuk mempermudah analisa. semua elemen matrix pada beban disederhanakan menggunakan *kron reduksi matrix* [5]. Dalam melakukan reduksi matrix yang dilkauan adalah menghilangkan bus beban (warna hitam) pada persamaan 2.20 karena pada beban nilai arus yang masuk dan keluar tidak mempunyai nilai sehingga dapat diasumsikan 0.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{nn} & Y_{nm} \\ Y_{nm}^t & Y_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ E'_m \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Di mana:

- I_m = Arus generator ke-m
- E'_m = Tegangan generator ke-m setelah gangguan
- V_n = Tegangan beban
- Y_{nm}^t = Matrix admitansi transpose dimensi (nxm)
- Y_{nn} = Matrix admitansi diagonal dimensi (nxn)
- Y_{nm} = Matrix admitansi dimensi (nxm)
- Y_{mm} = Matrix admitansi diagonal dimensi (mxm)

Tegangan bus beban persamaan 2.22 dapat disederhanakan menjadi persamaan 2.24

$$0 = Y_{nn}V_n + Y_{nm}E'_m \quad (2.22)$$

$$I_m = Y'_{nn}V_n + Y_{nm}E'_m \quad (2.23)$$

Pada persamaan 2.22 dapat dipindahkan menjadi 2.24

$$V_n = -Y_{nn}^{-1}Y_{nm}E'_m \quad (2.24)$$

Substitusi persamaan 2.24 ke 2.23 menjadi persamaan 2.25

$$I_m = [Y_{mm} - Y_{nm}^t Y_{nn}^{-1} Y_{nm}]E'_m \quad (2.25)$$

Sehingga hasil akhir dari reduksi matrix admitansi dari generator dengan dimensi $(m \times m)$, di mana m =jumlah generator adalah:

$$Y_{bus}^{red} = [Y_{mm} - Y_{nm}^t Y_{nn}^{-1} Y_{nm}] \quad (2.26)$$

6. Menghitung daya listrik pada generator setelah gangguan transien dapat diketahui dari persamaan 2.27

$$S_{ei}^* = E_i'^* I_i \quad (2.27)$$

Atau persamaan 2.28

$$P_{ei}^* = (E_i'^* I_i) \quad (2.28)$$

Di mana nilai arus gangguan pada jumlah generator adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^m E_j' Y_{ij} \quad (2.29)$$

Substitusi persamaan 2.29 ke dalam persamaan 2.28 didapatkan persamaan 2.30. di mana nilai dari tegangan dan admitansi dirubah kedalambentuk polar.

$$P_{mi} = \sum_{j=1}^m |E'_i| |E'_j| |Y'_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.30)$$

Dimana

E'_i = Tegangan generator setelah gangguan

E'_j = Tegangan generator sebelum gangguan

Y'_{ij} = Reduksi matrix admitansi setelah gangguan.

θ_{ij} = Sudut admitansi dalam bentuk polar

δ = Sudut Tegangan gen setelah gangguan

Dalam menganalisa Kestabilan transien terdapat 3 kondisi sistem yang perlu diperhatikan yaitu sebelum gangguan, selama gangguan dan sesudah gangguan. Dalam kondisi tersebut terdapat parameter-parameter yang berubah-ubah sesuai dengan kondisinya. Parameter tersebut adalah matrix admitansi, tegangan generator, daya generator mekanis maupun listrik dan Arus gangguan. Pada umumnya, untuk menganalisa kestabilan transien sistem, gangguan yang diaplikasikan adalah gangguan saluran 3 phasa. Sebagai contoh adalah gangguan 3 phasa pada bus k sehingga nilai tegangan pada bus k adalah 0 v karena arus yang sangat tinggi saat gangguan. Bus k kemudian di lepas dengan cara penyimulasiannya adalah menghilangkan elemen matrix Yadmitansi bus gangguan [baris, kolom] sebelum gangguan. Kemudian Yadmitansi di reduksi ulang dengan menghilangkan semua beban kecuali beban generator. Barulah didapatkan nilai dari daya elektrik generator sesuai dengan persamaan 2.29 dengan pendukung persamaan swing sesuai pada persamaan 2.30

$$\frac{H_i d^2 \delta_i}{\pi f_0 dt^2} = P_{mi} - \sum_{j=1}^m |E'_i| |E'_j| |Y'_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.31)$$

Untuk mengetahui daya elektrik generator ke-i setelah gangguan dapat merubah ke variabel state dengan persamaan 2.32

$$\frac{d\Delta\omega_i}{dt} = \frac{\pi f_0}{H_i} (P_m - P^f_e) \quad (2.32)$$

2.5 Batasan Kestabilan Transien Menggunakan Metode COI

Metode COI (*center of inertia*) merupakan suatu metode penentuan parameter kestabilan sistem berdasarkan perbandingan selisih nilai dari sudut rotor COI (*center of inertia*) dengan sudut terhadap sudut rotor maksimal. Metode COI didapatkan dari persamaan 2.18-2.20 [10]. Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan batasan sudut generator satu terhadap yang lainnya. Apabila generator melampaui batasan kestabilan sistem yang ditentukan berdasarkan perhitungan sudut dari *center of inertia*, Output daya dari generator akan di iterasi terus sampai iterasi maksimal hingga semua batasan terpenuhi. Respon sudut rotor terhadap gangguan dikatakan stabil apabila mempunyai amplitudo yang tidak melebihi batasan 180° [16] atau 200° [10].

$$\delta_0 = \frac{1}{M_t} \sum_{i=1}^{ng} M_i \delta_i \quad (2.33)$$

$$M_t = \sum_{i=1}^{ng} M_i \quad (2.34)$$

Di mana

M = Momen inersia generator

i^{th} = Urutan Jumlah Generator

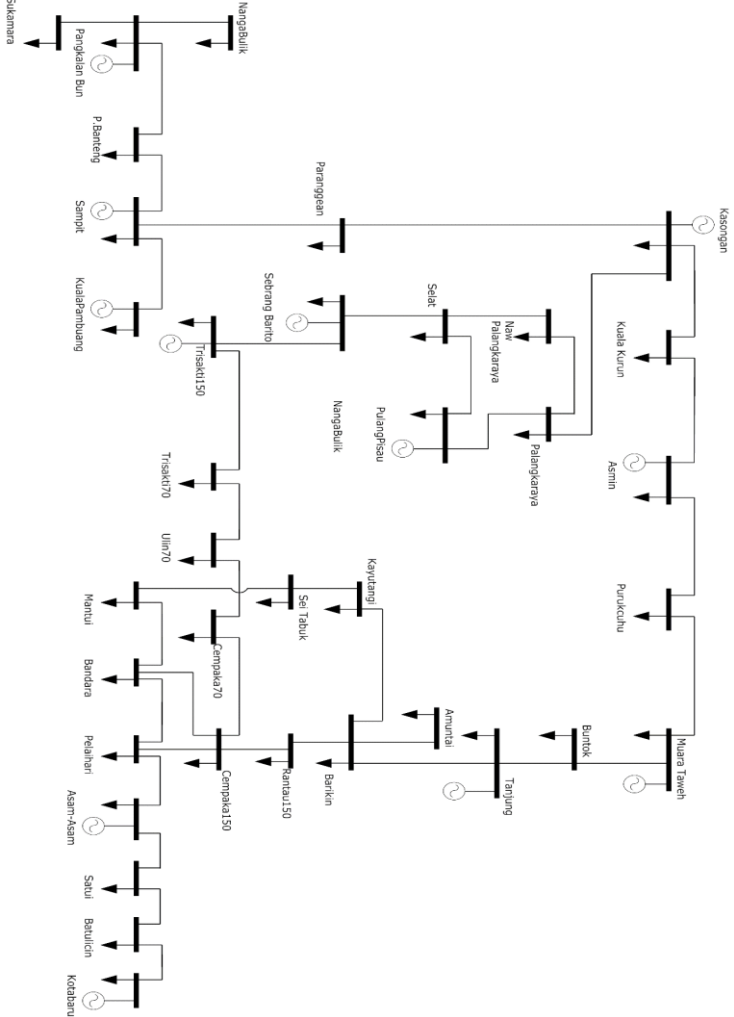
ng = Jumlah generator generator

δ_i = Sudut generator ke-i

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III DATA PENELITIAN DAN PERMODELAN

3.1 Data Penelitian



Gambar 3. 1 Sistem Interkoneksi Kalselteng 2021

Pada tugas ahir studi aliran daya optimum mempertimbangkan kestabilan transien dibutuhkan data sistem yang terdiri dari data bus, saluran dan data dinamik dan kemampuan generator. Data tersebut terdapat pada lampiran tabel 1.1-1.4.

3.2 Permodelan OPF Mempertimbangkan Kestabilan Transien

Permodelan dalam tugas ahir ini dilakukan dengan mengubah persamaan matematis aliran daya optimum mempertimbangkan kestabilan transien kedalam software MATLAB R2015B. Fungsi objektif aliran daya optimum atau OPF (*optimal power flow*) secara matematis diminimalkan dengan batasan-batasan sesuai persamaan 3.1-3.3 [10]

$$f(x, u) = \begin{cases} g(x, u) = 0 \\ h(x, u) \leq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$x = [P_{slack}, V_L, Q_g] \quad (3.2)$$

$$u = [P_g, V_g, T, Q_C] \quad (3.3)$$

Di mana:

$f(x, u)$	= Fungsi objektif	Q_C	= Shunt Kapasitor
$g(x, u)$	= Batasan kesamaan	T	= Tap Trafo
$h(x, u)$	= Batasan ketidaksamaan	V_g	= Tegangan generator
P_{slack}	= Daya aktif slack bus		
V_L	= Tegangan beban		
Q_g	= Daya reaktif generator		
P_g	= Daya aktif generator		

3.2.1 Fungsi objektif

Permodelan Penentuan Fungsi objektif berupa minimalisasi biaya total pembangkitan ditentukan berdasarkan persamaan 3.2[10]:

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N_g} a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2 \quad (3.4)$$

Di mana

F_{total}	= Total biaya pembangkitan
a_i, b_i, c_i	= Koefisien bahan bakar setiap unit pembangkit
P_{g_i}	= Daya pembangkit setiap unit
N_g	= Banyaknya generator

3.2.2 Batasan kesamaan (*Equality constrain*)

Persamaan batasan kesamaan dalam aliran daya optimum ditentukan berdasarkan persamaan 3.4 dan 3.5 dengan prinsip dasar bahwa daya yang diterima sama dengan daya yang dikirim dengan asumsi tanpa losses [10]

$$P_{gi} - P_{li} - V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + (B_{ij} \sin \theta_{ij})) = 0 \quad (3.5)$$

$$Q_{gi} + Q_{ci} - Q_{li} - V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - (B_{ij} \cos \theta_{ij})) = 0 \quad (3.6)$$

Di mana:

- N = Total bus sistem
- P_{li} = Daya aktif beban pada bus ke-i
- Q_{li} = Daya reaktif beban pada bus ke-i
- V_i = Tegangan magnitude pada bus ke-i
- G_{ij} = Konduktansi antara bus i dan j
- B_{ij} = Susceptance antara bus i dan j
- θ_{ij} = Sudut tegangan antara bus i dan j

3.2.3 Batasan Ketidaksamaan (*inequality constrain*)

Persamaan batasan ketidaksamaan dalam aliran daya optimum ditentukan berdasarkan persamaan 3.6 - 3.10[10]

$$P_{gi}(\min) \leq P_{gi} \leq P_{gi}(\max) \quad i = 1, \dots, Ng \quad (3.7)$$

$$Q_{gi}(\min) \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}(\max) \quad i = 1, \dots, Ng \quad (3.8)$$

$$V_{gi}(\min) \leq V_{gi} \leq V_{gi}(\max) \quad i = 1, \dots, N \quad (3.9)$$

$$T_i(\min) \leq T_i \leq T_i(\max) \quad i = 1, \dots, N_T \quad (3.10)$$

$$Q_{ct}(\min) \leq Q_{ct} \leq T_i(\max) \quad i = 1, \dots, N_c \quad (3.11)$$

Di mana:

- P_{gi} = Daya aktif generator
- Q_{gi} = Daya Reaktif generator
- V_{gi} = Tegangan Generator
- T_i = Tap Trafo
- Q_{ct} = Kapasitor Shunt

3.2.4 Batasan Kestabilan Transien

Batasan kestabilan transien merupakan batasan tambahan terhadap proses perhitungan *optimal power flow*. Bertujuan untuk membuat sistem aman pada saat gangguan hubung singkat. Permasalahan kestabilan transien dijelaskan melalui persamaan 3.11 -3.12 [10] Persamaan tersebut merupakan metode perhitungan COI (*center of inertia*).

$$\delta_{COI} = \frac{\sum_{i=1}^{ng} M_i \delta_i}{\sum_{i=1}^{ng} M_t} \quad (3.12)$$

$$|\delta_i - \delta_{COI}| \leq \delta_{max} \quad i = 1, \dots, Ng \quad (3.13)$$

3.2.4 Perhitungan nilai fitness

Nilai fitness dihitung dari masing-masing individu dengan ditambah penyimpangan variabel kontrol terhadap biaya pembangkitan untuk analisa aliran daya yang dinyatakan dalam persamaan 3.13-3.19

$$f(x, u) = f_1 + K_V \sum_{t=1}^{Npq} (V_i - V_i^{lim})^2 + K_Q \sum_{t=1}^{Ng} (Q_{gt} - Q_{gt}^{lim})^2 \quad (3.14)$$

$$K_P \sum_{t=1}^{Npq} (P_{slack} - P_{slack}^{lim})^2 + K_T \sum_{t=1}^{Npq} (|\delta_i - \delta_{COI}|_{max} - \delta_i^{lim})^2$$

Dengan nilai V_t^{lim} , Q_{gt}^{lim} , P_{slack}^{lim} , dan δ_i^{lim} merupakan :

$$V_t^{lim} = \begin{cases} V_i^{max}, & V_i > V_i^{max} \\ V_i^{min}, & V_i < V_i^{min} \end{cases} \quad (3.15)$$

$$Q_{gi}^{lim} = \begin{cases} Q_{gi}^{max}, & Q_{gi} > Q_{gi}^{max} \\ Q_{gi}^{min}, & Q_{gi} < Q_{gi}^{min} \end{cases} \quad (3.16)$$

$$P_{slack}^{lim} = \begin{cases} P_{slack}^{max}, & P_{slack} > P_{slack}^{max} \\ P_{slack}^{min}, & P_{slack} < P_{slack}^{min} \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\delta_i^{\text{lim}} = \begin{cases} \delta_i^{\text{max}}, & |\delta_i - \delta_{\text{COI}}|_{\text{max}} > \delta_i^{\text{max}} \\ 0, & |\delta_i - \delta_{\text{COI}}|_{\text{max}} < \delta_i^{\text{max}} \end{cases} \quad (3.18)$$

Di mana:

P_{gi}	= Daya aktif generator	Q_{ct}	= Injected Kapasitor
Q_{gi}	= Daya reaktif generator	N_g	= Jumlah Generator
V_{gi}	= Tegangan generator	N_T	= Jumlah Tap trafo
N	= Jumlah Tegangan bus	T_i	= Tap trafo
T_i	= Tap trafo		
N_c	= Jumlah Kapasitor bank		

3.3 Algoritma Aliran Daya Optimum Memepertimbangkan Kestabilan Transien Menggunakan PSO

Data parameter PSO akan diolah berdasarkan banyaknya populasi yang mempunyai n partikel dan setiap partikel mempunyai parameter optimasi sendiri yang dapat dihitung berdasarkan urutan [4]:

1. Inisialisasi

Inisialisai dilakukan dengan nilai perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Berikan partikel sebanyak n yang di random pada saat waktu $t=0$ dengan nilai $\{X_j(0), j=1, \dots, n\}$, Di mana $X_j(0) = [x_{j,1}(0), \dots, x_{j,m}(0)]$. $x_{j,k}(0)$ dirandom dengan batas range optimasi $[x_k^{\text{min}} < x_k < x_k^{\text{max}}]$.

Di mana

t	= waktu awal
n	= banyak partikel
$X_j(0)$	= jumlah partikel dalam ukuran matrix
$x_{j,k}(0)$	= Posisi partikel j terhadap parameter optimasi k
$x_{j,1}(0)$	= Partikel awal dalam ukuran matrix
$x_{j,m}(0)$	= Partikel ahir dalam ukuran matrix

- Kecepatan partikel dirandom pada setiap partikel $\{V_j(0), j=1, \dots, n\}$, Di mana nilai $V_j(0) = [v_{j,1}(0), \dots, v_{j,m}(0)]$. $v_{j,k}(0)$ dirandom dengan batas range optimasi $[-v_k^{\text{max}}, v_k^{\text{max}}]$.

Di mana :

- $V_j(0)$ = Kecepatan setiap partikel dalam ukuran matrix
- $v_{j,1}(0)$ = Kecepatan Partikel awal dalam ukuran matrix
- $v_{j,m}(0)$ = Kecepatan Partikel ahir dalam ukuran matrix
- $v_{j,k}(0)$ = Kecepatan pososi partikel j terhadap parameter optimasi k

- c. Setiap partikel pada populasi awal dievaluasi menggunakan fungsi objektif J yang menghaiskan nilai terbaik $X_j(0)$ yang diatur menjadi $X_j^*(0) = X_j(0)$. dan $J_j = J_{j,j=1, \dots, n}$. kemudian nilai fungsi objective J_{best} dihitung. dengan mengatur nilai terbaik partikel yang berhubungan dengan J_{best} . sebagai global best $X^{**}(0)$.

Di mana:

- $X_j(0)$ = Partikel
- $X_j^*(0)$ = Individu terbaik
- $X^{**}(0)$ = Global terbaik
- J_j = Fungsi objektif
- J_j^* = Fungsi objektif terbaik dari J_j
- J_{best} = Fungsi objektif terbaik dari J_j^*

2. Update waktu

Perubahan waktu perhitungan dilakukan dengan penambahan 1 step yaitu $t = t+1$.

3. Update kecepatan

Dengan variabel populasi dan individu terbaik pada setiap partikel. Nilai kecepatan partikel pada posisi j dimensi k di update berdasarkan

$$V_{j,k}(t) = w(t) v_{j,k}(t-1) + c_1 r_1 (x_{j,k}^*(t-1) - x_{j,k}(t-1)) + c_2 r_2 (x^{**}_{j,k}(t-1) - x_{j,k}(t-1)) \quad (3.19)$$

Di mana :

- $v_{j,k}(t)$ = Update kecepatan
- $w(t)$ = Parameter inertia
- $c1$ dan $c2$ = Konstantanta positif
- $r1$ dan $r2$ = Bentuk tidak umum dari matrix nilai random [0,1]

pada persamaan update kecepatan $\{c_1 r_1 (x_{j,k}^* (t - 1) - x_{j,k}(t - 1))\}$ menyatakan perubahan kecepatan berdasarkan memory dan pikiran program. $\{c_2 r_2 (x_{j,k}^{**} (t - 1) - x_{j,k}(t - 1))\}$ adalah perubahan kecepatan berdasarkan adaptasi psikologi sosial Apabila nilai partikel melebihi nilai kecepatan limit maka kecepatan tersebut mempunyai batas kecepatan limit

4. Update posisi

Berdasarkan nilai update kecepatan maka setiap posisi partikel akan berubah berdasarkan

$$x_{j,k}(t) = v_{j,k}(t) + x_{j,k}(t - 1) \quad (3.20)$$

5. Update individu Terbaik

Setiap partikel di evaluasi berdasarkan nilai update posisi, apabila $J_i < J^*_j$, $j = 1, \dots, n$. kemudian nilai dari update individu terbaik menjadi $X^*_j(t) = X_j(t)$ dan $J^*_j = J_j$

6. Update Global best

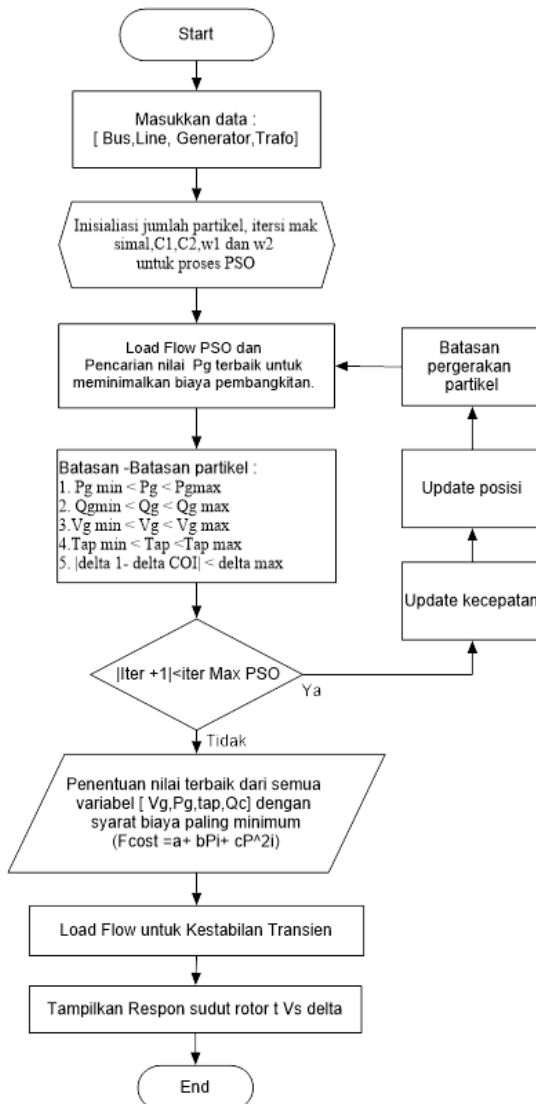
Pencarian nilai minimum dari J_{min} diantara nilai J_j^* , Di mana nilai minimum tersebut merupakan indeks dari partikel minimum dari fungsi object, seperti $\in \{j; j = 1, \dots, n\}$. Apabila $J_{min} < J^{**}$, kemudian nilai dari populasi terbaik menjadi $X^{**}(t) = X_{min}(t)$ dan $J^{**} = J_{min}$

7. Kriteria terahir

Kriteria terahir merupakan pemilihan dari nilai data yang telah memenuhi batasan.

Untuk menentukan Fungsi objektif berupa total biaya pembangkitan minimum pada permasalahan OPF dan TSCOPF dibutuhkan parameter inialisasi untuk metode PSO. Inialisasi awal tersebut adalah:

Jumlah partikel	= 100
Iterasi maksimal	= 200
Cognitive constant	= 1.79
Social constant	= 1.76
Koefisien inresia min ω_{min}	= 0.02
Koefisien inresia max ω_{max}	= 0.02



Gambar 3. 2 Flowchart algoritma TSCOPF menggunakan PSO

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Simulasi Sistem

Sistem yang diuji pada simulasi tugas akhir ini merupakan sistem interkoneksi kalimantan selatan-tengah pada tahun 2021 dengan total 74 Bus dan 32 Generator. Simulasi dilakukan pada PC dengan spesifikasi Asus, RAM 2 GB, CPU core i3. Hasil simulasi divalidasi menggunakan toolbox matlab PST (*power system toolbox*) [8] untuk kestabilan transiennya, ETAP 12.6.0 untuk aliran daya dan MATPOWER untuk OPF (*optimal power flow*) [9]. Metode pegerjaan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah PSO (*particel swarm optimization*) sebagai solusi dari sistem yang mempunyai permasalahan TSCOPF (*transient stability constrain optimal power flow*). Generator sinkron dimodelkan sebagai *classical generator* multi mesin dengan beban impedansi konstan.

4.2 Analisa Sistem

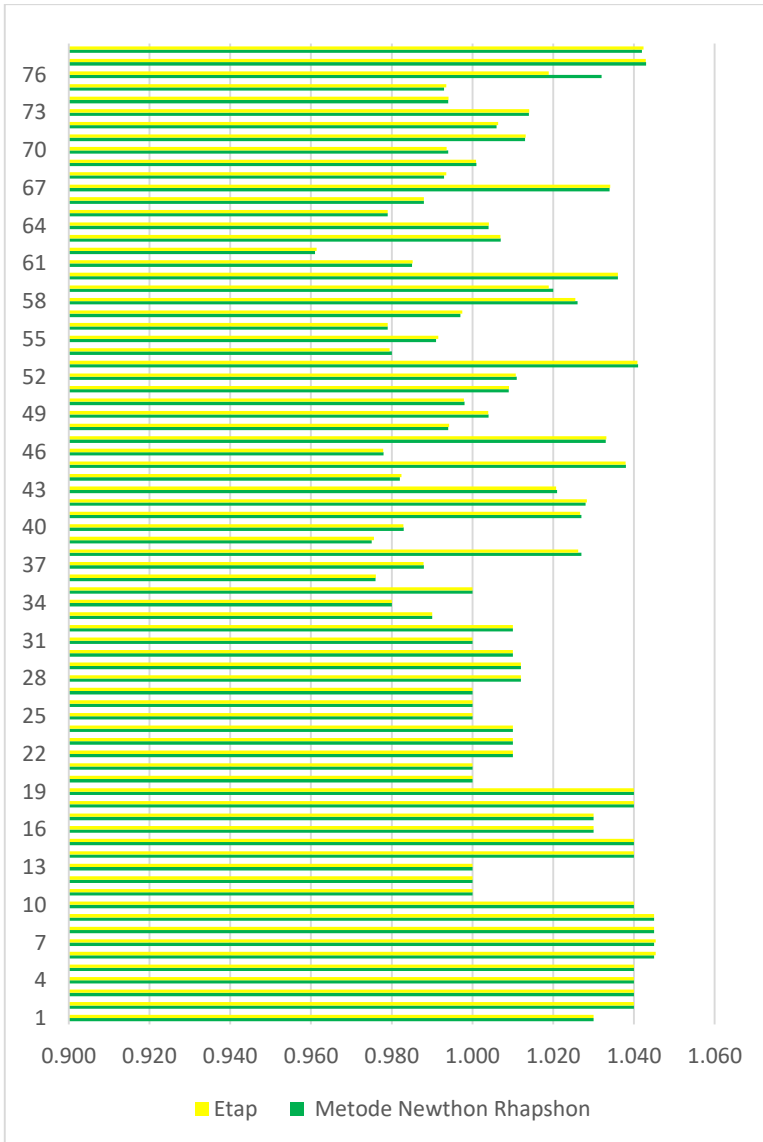
Sistem interkoneksi Kalimantan selatan-tengah 150 kV tahun 2021 ditunjukkan pada Gambar 3.1 dengan spesifikasi data parameter pada tabel 1-4 pada lampiran. Pengujian sistem untuk permasalahan pada tugas akhir ini terbagi menjadi 3 kategori diantaranya adalah:

4.2.1 Aliran Daya

Pada pengujian kasus ini dilakukan berdasarkan hasil running load flow menggunakan metode *Newton Rhapson* dengan total 4 iterasi di mana hasil dari simulasi tersebut divalidasi menggunakan Software ETAP 12.6.0 yang telah diperoleh nilai toleransi prosentasi eror sebesar $\pm 5\%$.

Tabel 4. 1 Hasil *load flow* ETAP dengan Newthton rhapson (N-R)

Parameter	Matlab	Etap 12.6.0
Total Daya generator	1151.672+ j147.397	1151.643+ j149.003
Total Beban	1118.801+ j362.704	1118.801+ j366.302
Loses	32.872 -j215.304	32.841-j216.159



Gambar 4. 1 Perbandingan Kurva (plot) tegangan N-R dengan Etap

Setelah hasil *load flow* didapatkan analisa dan simulasi di lanjutkan dengan mengoptimasi fungsi objektif biaya pembangkitan sistem dengan beberapa kasus diantaranya adalah:

1. OPF-PSO

Kasus ini merupakan optimasi aliran daya menggunakan metode *particel swarm optimization* tanpa mempertimbangkan kestabilan transien sistem

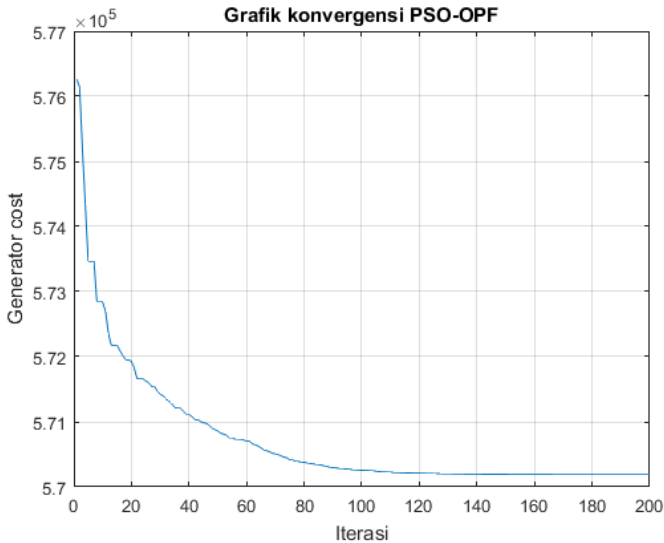
2. TSCOPF

Kasus ini merupakan optimasi aliran daya menggunakan metode *particel swarm optimization* mempertimbangkan kestabilan transien sistem.

4.2.2 OPF-PSO

Pada kasus ini Sistem yang di analisa tidak mempertimbangkan kestabilan transien melainkan hanya mempertimbangkan batasan-batasan sesuai persamaan 3.4-3.10. Optimasi fungsi objektif yang digunakan untuk meminimalkan biaya pembangkitan minimum yang dilakukan menggunakan metode *particel swarm optimization* dan hasilnya dibandingkan dengan toolbox matlab MATPOWER 6.0 [9].

Parameter yang didapatkan dari simulasi OPF-PSO



Gambar 4. 2 Grafik konvergensi OPF-PSO

Tabel 4. 2 Perbandingan total biaya pembangkitan sistem

No Gen	PSO		MATPOWER	
	V(p.u)	P(MW)	v(p.u)	P(MW)
1	1.005	39.96	1.050	40.64
2	1.036	30.79	1.040	30.29
3	1.018	26.03	1.040	28.72
4	1.011	30.02	1.040	26.27
5	1.017	36.39	1.040	26.62
6	1.050	10.48	1.020	12.7
7	0.957	11.01	1.020	12.7
8	1.050	47.25	1.043	48.45
9	1.005	42.23	1.043	48.45
10	1.000	4.80	1.031	3.51
11	0.998	58.00	0.974	66.2
12	1.050	145.10	1.025	168.44
13	1.027	79.31	1.021	65.24
14	1.019	40.13	1.037	40.66
15	0.997	53.06	1.036	44.3
16	1.006	61.78	1.045	62.31
17	1.020	75.45	1.047	88.38
18	1.004	60.70	1.041	57.85
19	1.050	40.44	1.040	42.79
20	0.971	24.20	1.048	25.92
21	0.986	27.66	1.048	25.92
22	0.967	16.44	1.048	11.50
23	1.050	3.95	1.050	3.19
24	1.047	4.23	1.050	3.19
25	1.045	1.99	1.047	2.83

Tabel 4. 3 Perbandingan total biaya pembangkitan sistem

No Gen	PSO		MATPOWER	
	V(p.u)	P(MW)	v(p.u)	P(MW)
26	0.976	2.19	1.047	2.83
27	1.006	7.34	1.045	9.43
28	0.983	35.48	1.047	32.20
29	1.047	31.59	1.047	31.55
30	1.048	42.44	1.050	27.45
31	0.989	14.41	0.977	9.33
32	0.983	10.06	1.050	10.65
33	1.049	8.84	1.047	11.01
34	1.047	9.68	1.047	11.01
35	1.020	8.62	1.047	11.01
Total cost	570.201.519 (R/h)		570.202.201 (R/h)	

Dari hasil simulasi diketahui bahwa menggunakan metode PSO untuk menentukan titik operasi maksimal mempunyai total biaya pembangkitan sebesar 570.201.519 (R/h) dan matpower sebesar 570.202.004 (R/h). Proses perhitungan dengan menggunakan PSO adalah berdasarkan metode randomisasi yang mengarah pada satu titik [13]. Sedangkan Matpower menggunakan metode matematis di mana nilai dari biaya generator minimum mempunyai nilai kapasitas yang maksimal [12]. Perbandingan PSO dan matpower mempunyai perbedaan nilai yang sangat kecil yang terlihat pada gambar 4.3 hal tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode PSO dapat diterapkan sebagai solusi terhadap permasalahan OPF.

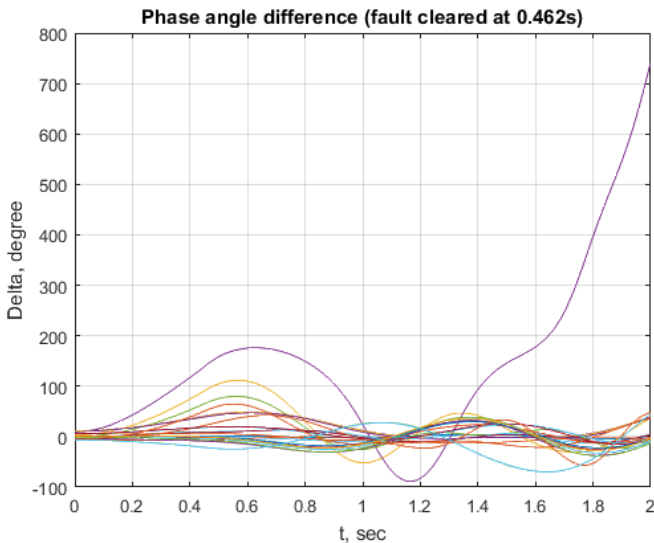
4.2.3 TSC-OPF

Pada kasus ini sistem di analisa dengan mempertimbangkan batasan kestabilan transien sesuai dengan persamaan 3.12. Optimasi fungsi objektif yang digunakan adalah meminimalkan biaya pembangkitan seminimal mungkin menggunakan metode PSO. Hasil simulasi kestabilan transien dilakukan selama 5 s menggunakan *time domain*

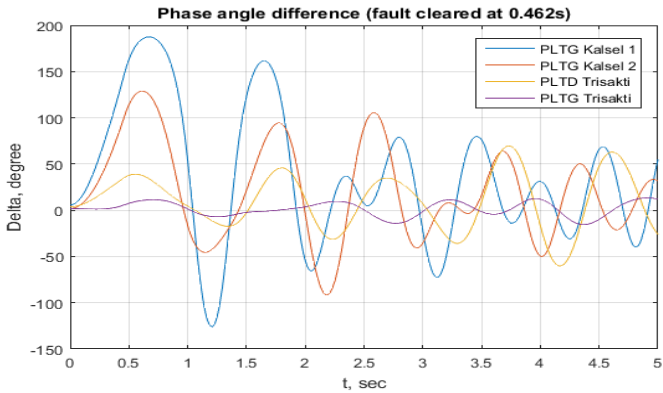
simulation dengan waktu gangguan dimulai pada detik ke 0. Hasil simulasi menggunakan metode *partikel swarm optimization* divalidasi menggunakan *power system tollbox* dengan gangguan dimulai pada detik ke 1 dan simulasikan selama 5s. Di mana batasan sistem dikatan stabil adalah δ_{\max} diatur 180° [16]

4.2.1.1 Pengujian gangguan

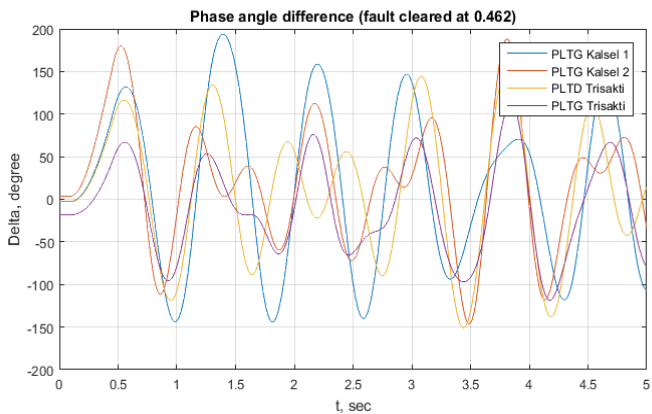
Gangguan terjadi pada saluran tepat di titik setelah CB yang mendekati bus 46 [mantui] sehingga di asumsikan gangguan berada di bus 46 dengan kondisi *short circuit* 3 fasa paling besar, gangguan diatasi dengan membuka Circuit Breaker antara bus 46 dan 61 [mantui dan trisakti]. Respon sistem setelah gangguan dapat dilihat seperti hasil simulasi pada gambar 4.4 di mana sistem tidak stabil karena salah satu generator lepas dari sistem. Parameter yang didapatkan dari simulasi TSCOPF-PSO dapat dilihat pada tabel 4.3



Gambar 4. 3 Respon sudut rotor pada sistem di gangguan [46-61]

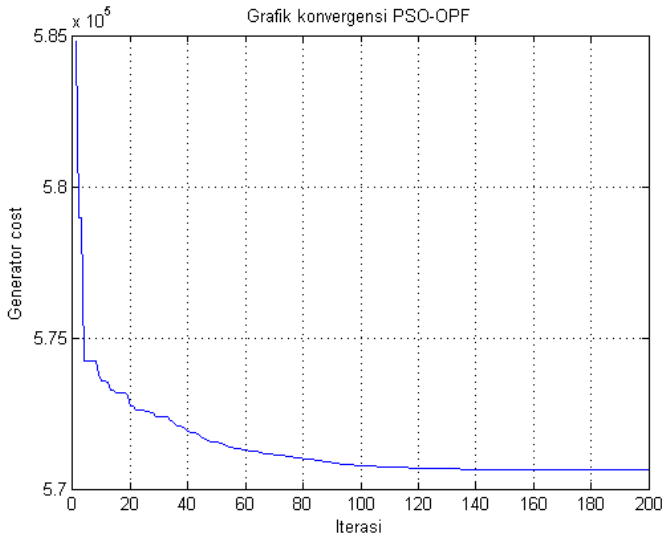


Gambar 4. 4 Respon sudut rotor setelah proses TSCOPF



Gambar 4. 5 Validasi respon sudut rotor sistem menggunakan PST

Hasil running respon sudut yang ditampilkan merupakan generator terdekat dengan bus pada saat terjadi gangguan yaitu PLTG kalsel 1 dan 2 dan PLTD dan PLTG Trisakti. Paramter kestabilan transien yang diambil dalam studi aliran daya optimum ini adalah dilihat dari swing pertama yang tidak melebihi 180° . [10], [16] dan [11].



Gambar 4. 6 Grafik konvergensi TSCOPF menggunakan PSO

Perhitungan biaya transien diperoleh dari perhitungan iterasi ulang dari batasan-batasan dari persamaan 3.4-3.12 sehingga apabila sistem stabil terdapat nilai daya generator yang berubah seperti bus PLTG kalsel 1 setelah dicari titik optimal pembebanan sebelum gangguan sebesar 58.00 MW dengan pembebanan total 1141.75 MW. Namun setelah terjadi gangguan generator tersebut menjadi tidak stabil sehingga perlu di dispatch ulang dengan memberikan batasan kestabilan sudut = 180° . Sampai bus kalsel menjadi stabil diperoleh nilai daya pembangkitan baru yaitu 66.2 MW dengan total pembebanan 1144.1903 MW yang dimasukkan ke dalam perhitungan Fcost persamaan 3.2. Sehingga biaya pembangkitan dengan penambahan batasan kestabilan lebih mahal. TSCOPF sangat dibutuhkan pada sistem karena pada saat gangguan sebesar 0.462 s sistem tidak stabil sehingga perlu di dispatch ulang agar sistem tersebut murah dan juga aman karena dispatch pada OPF biasa sistem tersebut mempunyai biaya yang murah namun amannya sistem belum terjamin. Sehingga bisa jadi pertimbangan ulang untuk kestabilan sistem

Berikut adalah tabel perbandingan antara operasi optimasi pada OPF biasa yang dibandingkan dengan OPF yang mempertimbangkan kestabilan sistem

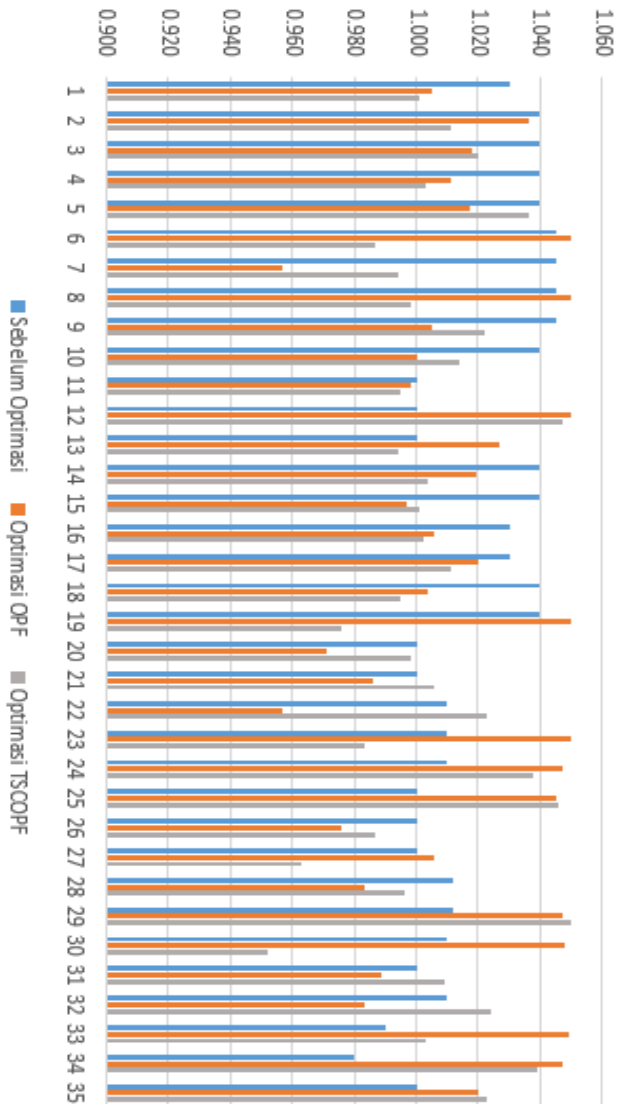
Tabel 4. 4 Perbandingan biaya minimal OPF dengan TSCOPF

No Gen	OPF-PSO		TSCOPF	
	V(p.u)	P(MW)	V(p.u)	P(MW)
1	1.005	39.96	1.0011	42.38
2	1.036	30.79	1.011	32.45
3	1.018	26.03	1.0195	34.17
4	1.011	30.02	1.0029	27.93
5	1.017	36.39	1.0355	35.55
6	1.050	10.48	0.9874	10.59
7	0.957	11.01	0.9935	10.42
8	1.050	47.25	0.9979	49.15
9	1.005	42.23	1.0219	44.72
10	1.000	4.80	1.0136	4.06
11	0.998	58.00	0.9948	76.76
12	1.050	145.10	1.0472	106.50
13	1.027	79.31	0.9943	62.48
14	1.019	40.13	1.0044	55.31
15	0.997	53.06	1.0011	47.08
16	1.006	61.78	1.0018	67.38
17	1.020	75.45	1.0109	88.85
18	1.004	60.70	0.9948	55.98
19	1.050	40.44	0.9758	45.53
20	0.971	24.20	0.9977	31.11
21	0.986	27.66	1.0059	30.43
22	0.967	16.44	1.0225	14.89

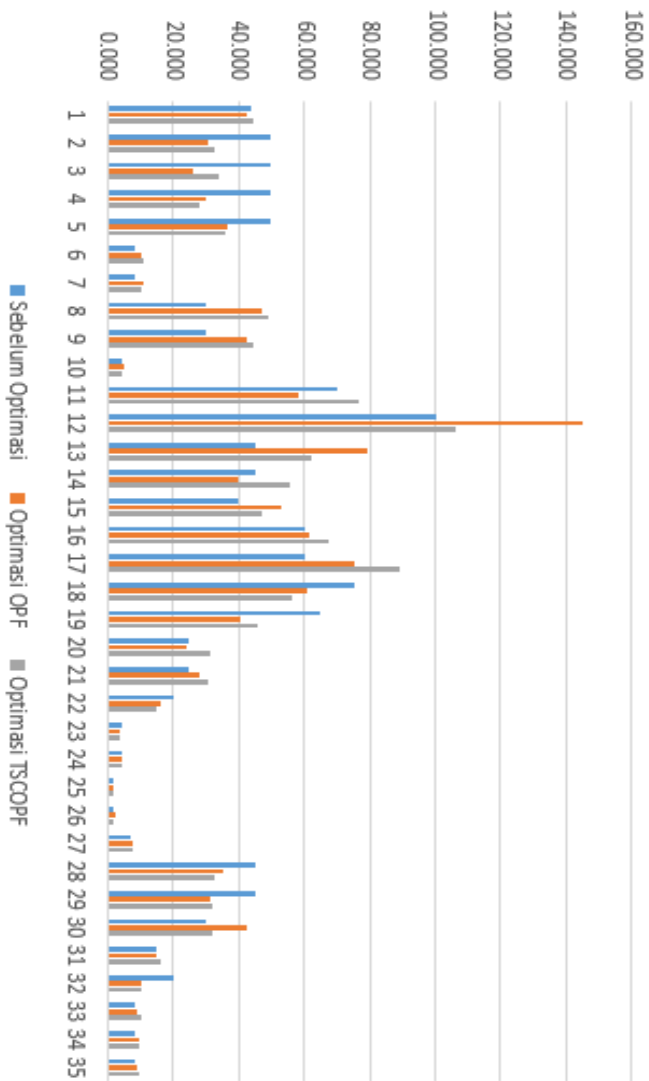
Tabel 4. 5 Perbandingan biaya minimal OPF dengan TSCOPF

No Gen	OPF-PSO		TSCOPF	
	V(p.u)	P(MW)	V(p.u)	P(MW)
23	1.050	3.95	0.9828	3.90
24	1.047	4.23	1.0383	4.28
25	1.045	1.99	1.0462	1.83
26	0.976	2.19	0.9871	1.97
27	1.006	7.34	0.9625	7.57
28	0.983	35.48	0.9961	32.55
29	1.047	31.59	1.05	31.98
30	1.048	42.44	0.9517	31.67
31	0.989	14.41	1.0093	16.39
32	0.983	10.06	1.0244	10.44
33	1.049	8.84	1.0032	10.04
34	1.047	9.68	1.0393	9.52
35	1.020	8.62	1.0227	9.89
Total cost	570.201.519 R/h		570.586.509 R/h	
CCT	0.289-0.290 s		0.462-0.463 s	

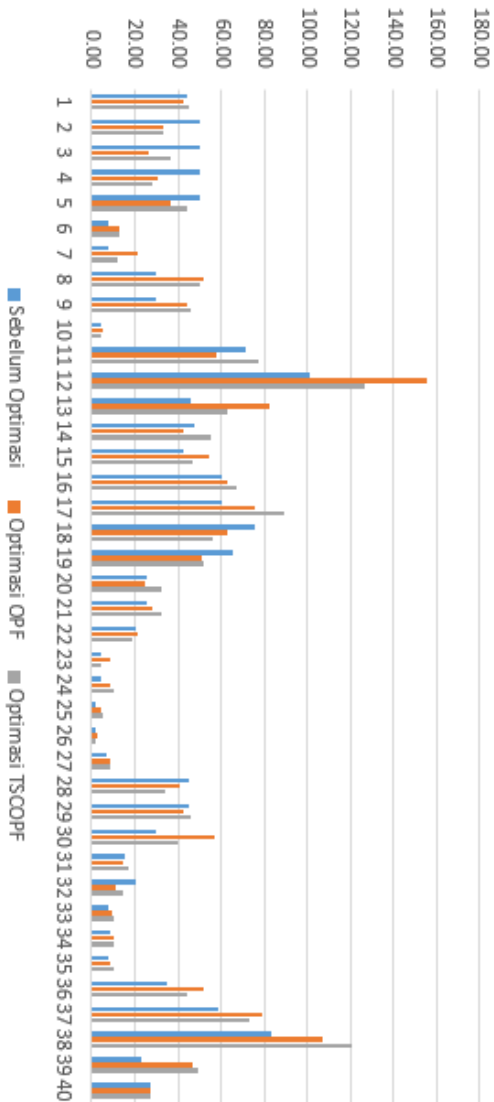
Dari hasil simulasi diketahui bahwa menggunakan metode PSO untuk menentukan biaya pembangkitan minimum TSCOPF mempunyai total biaya pembangkitan 570.586.509 R/h Rupiah/h. Dibandingkan dengan OPF-PSO kasus TSCOPF mempunyai biaya pembangkitan lebih mahal dengan selisih 385.490 Rupiah/Jam.



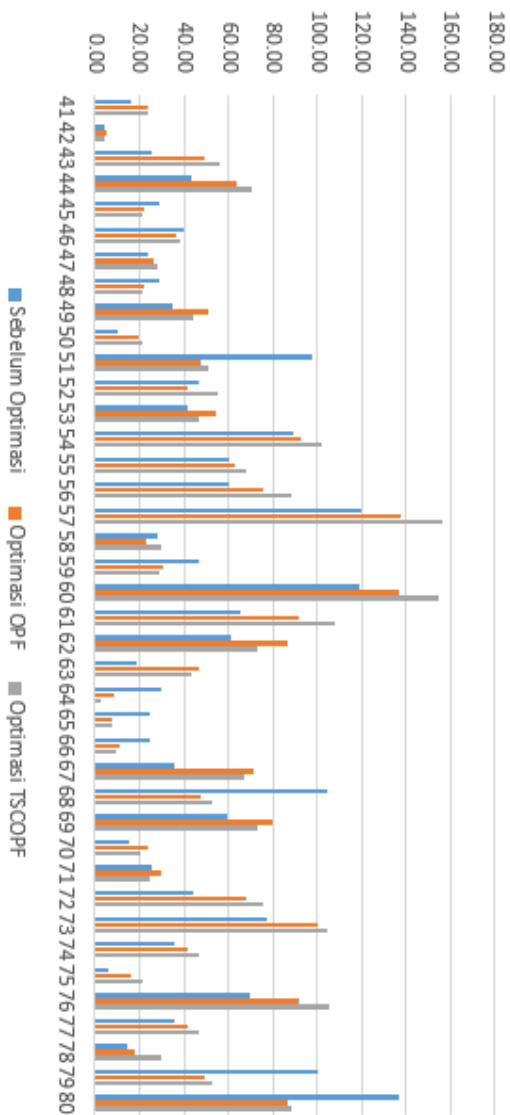
Gambar 4. 7 Perbandingan Tegangan pada generator kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOPF



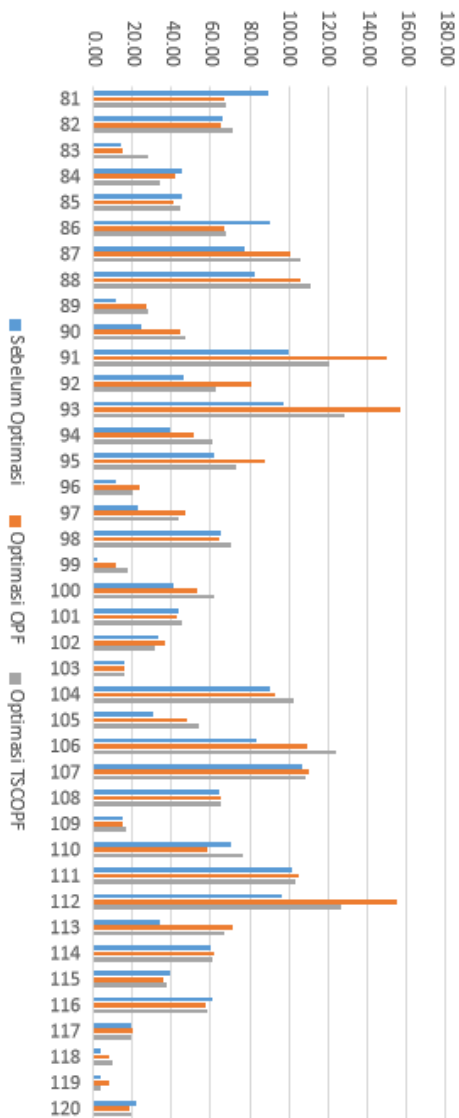
Gambar 4. 8 Perbandingan Daya Aktif pada generator kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOP



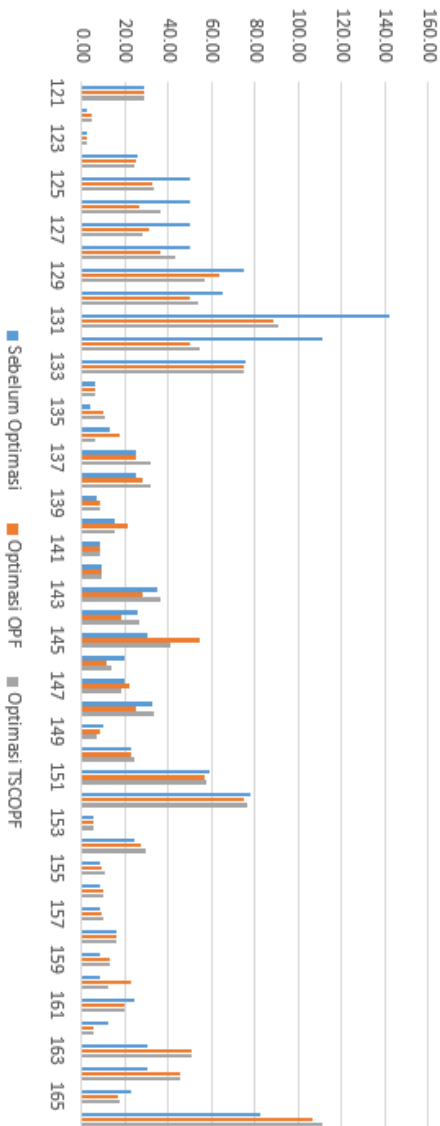
Gambar 4.9 Perbandingan Aliran daya pada saluran kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOP



Gambar 4. 10 Perbandingan Aliran daya pada saluran kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOP



Gambar 4. 11 Perbandingan Aliran daya pada saluran kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOP



Gambar 4. 12 Perbandingan Aliran daya pada saluran kasus sebelum optimasi, OPF dan TSCOP

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil simulasi akhir pada sistem interkoneksi 150 kV Kalimantan selatan – tengah pada tahun 2021. Metode PSO telah berhasil diterapkan pada permasalahan studi aliran daya daya mempertimbangkan kestabilan transien dengan kondisi OPF biasa dan TSCOPF. Dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil optimasi dengan menggunakan PSO dapat menyelesaikan permasalahan pentuan fungsi objektif berupa harga yang lebih murah daripada MATPOWER, namun untuk proses pencarian solusi terbaik untuk analisa OPF menggunakan MATPOWER lebih cepat. Biaya OPF PSO sebesar 570.201.519 Rupiah/jam sedangkan matpower sebesar 570.202.004 Rupiah/Jam.
2. Biaya pembangkitan yang diperoleh dari optimasi TSCOPF (*transien stability constrain optimal power flow*) adalah 570.586.509 Rupiah/Jam. Dimana Optimasi TSCOPF dibandingkn dengan optimasi OPF tanpa mempertimbangkan kestabilan transien mempunyai biaya yang lebih mahal namun untuk kestabilan sistemnya sangat terjamin dengan range CCT yang lebih lama dari optimasi OPF tanpa memperhatikan batasan kestabilan.

5.2 Saran

1. Diperlukan penambahan batasan multiobjective lain sehingga dapat memberikan gambaran secara keseluruhan
2. Diperlukan simulasi pada sistem dengan kareakteristik beban yang dinamis sehingga dapat memberikan Gambaran mendekati sistem secara keseluruhan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Penangsang Ontoseno, “*Analisis Aliran daya pada sistem tenaga listrik*”, Surabaya 2012
- [2] J.Wood Allen, W.F. Bruce, “*Power Generation, Operation, and Control*”, A Wiley-Interscience Publication, New Delhi, 1996.
- [3] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*,” IEEE Transaction on Power System, Vol.19, No.2, May. 2004.
- [4] Departmen of electrical engineerin, K. F. (5 July 2001). *Optimal power flow using partichel swarm optimization*. M.A Adibo.
- [5] Saadat hadi, “*Power Sytem Alaysis*”, Milwaekee Schol of engineering, New York san Fransisco, Second edition 511
- [6] IEEE Power Engineering Society “*IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses*” IEEE Std 1110.-2002
- [7] Kundur, P., “*Power System Stability and Control*”, New York: McGraw Hill, 1994.
- [8] PST toolbox “http://www.eps.ee.kth.se/personal/luigiv/pst/Power_System_Toolbox_Webpage/PST.html” diakses pada tanggal 8 Februari 2017
- [9] Matpower 6.0 <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/> diakses pada tanggal 8 Februari 2017
- [10] K`ur,sat AYAN1,”*Solution of transient stability-constrained optimal power flow using artificial bee colony algorithm*” Department of Computer Engineering, Faculty of Computer and Information Science, Sakarya University, Adapazari, Sakarya, Turkey
- [11] Youcef OUBBATI,” *Transient Stability Constrained Optimal Power Flow Using Teaching Learning Based Optimization*”, Laboratoire d'Analyse et de Commande des Systèmes d'Energie et Réseaux Electriques (LACoSERE).Université Amar Telidji de Laghouat, Algérie

- [12] *A Transient Stability Constrained Optimal Power Flow*,” School of Electrical Engineering Cornell University Ithaca, NY 14853
- [13] N. Mo, Z.Y. Zou, K.W. Chan and T.Y.G. Pong “*Transient stability constrained optimal power flow using particle swarm optimisation*”,The Institution of Engineering and Technology 2007
- [14] Thomas J. Overbye “PowerWorld_TransientStability_Quick Start” University of illinois & Power word, slide 21
- [15] Reza Mochammad,“*Studi Aliran Daya Optimum Mempertim bangkan Kestabilan Transien Sistem Menggunakan Simulasi Domain Waktu*”, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- [16] IEEE Std 399-1997,” IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis”, American National Standard (ANSI), 16 September 1997 halaman 214
- [17] T.B. Nguyen, M.A. Pai, “*Dynamic security-constrained rescheduling of power systems using trajectory sensitivities*” ,IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, pp. 848-854, 2003.

LAMPIRAN

1. Data sistem interkoneksi kalimantan selatan-tengah tahun 2021

Table 1.1 Data Bus dan beban sistem kalselteng 2021

No bus	Nama Bus	Jenis Bus	Beban	
			MW	Mvar
1	Bingkanai	Slack	0.000	0.000
2	Asam-asam1	Generator	50.000	0.000
3	Asam-asam2	Generator	50.000	0.000
4	Asam-asam3	Generator	50.000	0.000
5	Asam-asam4	Generator	50.000	0.000
6	Asmin 1.1	Generator	8.000	0.000
7	Asmin 1.2	Generator	8.000	0.000
8	Asmin 2.1	Generator	30.000	0.000
9	Asmin 2.2	Generator	30.000	0.000
10	Buntok	Generator	4.000	0.000
11	Diesel Trisakti	Generator	70.000	0.000
12	Gas kalsel 1	Generator	100.000	0.000
13	Gas kalsel 2	Generator	45.000	0.000
14	kalsel 1	Generator	45.000	0.000
15	Kalsel 2	Generator	40.000	0.000
16	kalselteng 1.1	Generator	60.000	0.000
17	kalselteng 1.2	Generator	60.000	0.000
18	Kalselteng 2.1	Generator	75.000	0.000
19	Kalselteng 2.2	Generator	65.000	0.000
20	Kalselteng 3.1	Generator	25.000	0.000
21	Kalselteng 3.2	Generator	25.000	0.000
22	Uap Sampit 2	Generator	20.000	0.000
23	Kotabaru1	Generator	4.000	0.000
24	KotaBaru2	Generator	4.000	0.000
25	KualaPambg1	Generator	2.000	0.000
26	KualaPambg 2	Generator	2.000	0.000
27	Pangkalanbun	Generator	7.000	0.000

Table 1.1 Data Bus dan beban sistem kalselteng 2021

No bus	Nama Bus	Jenis Bus	Beban	
			MW	Mvar
28	Pulang pisau 1	Generator	45.000	0.000
29	Pulang pisau 2	Generator	45.000	0.000
30	Sampit	Generator	30.000	0.000
31	Trisakti	Generator	15.000	0.000
32	Sampit1	Generator	20.000	0.000
33	Riam Kanan 1	Generator	8.000	0.000
34	Riam Kanan 2	Generator	8.000	0.000
35	Riam Kanan 3	Generator	8.000	0.000
36	Bandara2	Beban	35.501	17.194
37	Barikin.	Beban	44.400	21.504
38	Buntok	Beban	20.200	9.783
39	Cempaka-70	Beban	11.600	5.618
40	Cempaka-150	Beban	77.000	-58.480
41	Kalsel	Beban	0.000	0.000
42	Kalselteng	Beban	0.000	0.000
43	Kasongan	Beban	18.000	8.718
44	Kayutangi.	Beban	30.600	14.820
45	Kuala Kurun	Beban	10.400	5.037
46	Mantuil.	Beban	61.800	29.931
47	Muara Teweh	Beban	13.900	6.732
48	Naw Palangky	Beban	31.300	19.398
49	Palangkaraya	Beban	42.600	20.632
50	Pelaihari2	Beban	39.500	19.131
51	Pulang Pisau	Beban	9.400	4.552
52	Pulangpisau 1	Beban	0.000	0.000
53	Puruk Cahu	Beban	5.400	2.615
54	Rantau-150	Beban	32.400	15.692
55	Saberang Barit	Beban	24.800	12.011
56	Sei Tabuk.	Beban	23.100	11.188
57	Selat	Beban	27.900	13.513

Table 1.1 Data Bus dan beban sistem kalselteng 2021

No bus	Nama Bus	Jenis Bus	Beban	
			MW	Mvar
58	Bingkanai slcak	Beban	63.8	30.8
59	Tanjung	Beban	47.4	22.957
60	Trisakti-70	Beban	46.9	-105.77
61	Trisakti-150	Beban	64.7	31.336
62	Ulin-70	Beban	80.1	38.794
63	Batulicin.-1	Beban	37.5	18.162
64	Kota Baru-1	Beban	27	13.05
65	Amuntai.	Beban	26.2	12.689
66	Kuala pambuang-1	Beban	25.5	15.803
67	Asam Asam2	Beban	11.7	5.667
68	Nangabulik-1	Beban	4.7	3.525
69	P. Banteng-1	Beban	7.8	5.85
70	Pangkalan Bun-1	Beban	49.4	37.05
71	Paranggean-1	Beban	7.8	5.85
72	Sampit-1	Beban	52.4	39.3
73	Satui.-1	Beban	17.4	8.427
74	Sukamara-1	Beban	4.3	3.225
75	Riam kanan	Beban	0	0
76	Kaltim(GI)	Beban	-15.6	-3.6
77	Asmin1	Beban	0	0
78	Asmin2	Beban	0	0

Tabel 1.2 Data Saluran sistem interkoneksi kalselteng 150 kV 2021

Saluran	Dari bus	Ke bus	R(p.u)	X(p.u)	B(p.u)	Kapasitas Saluran (MVA)
1	67	2	0.001	0.1333	0	50.334
2	67	3	0.001	0.1333	0	50.334
3	67	4	0.001	0.1333	0	50.334
4	67	5	0.001	0.1333	0	50.334
5	6	77	0.0069	0.3433	0	8.031
6	7	77	0.0069	0.3433	0	8.031
7	78	8	0.0011	0.1333	0	30.089
8	78	9	0.0011	0.1333	0	30.089
9	38	10	0.014	0.6999	0	4.482
10	39	40	0.0013	0.1329	0	28.791
11	72	30	0.0027	0.1333	0	30.125
12	55	12	0.0013	0.08	0	100.844
13	16	42	0.0008	0.1	0	47.626
14	17	42	0.0008	0.1	0	46.350
15	67	18	0.0008	0.1	0	60.072
16	67	19	0.0008	0.1	0	60.075
17	70	20	0.0017	0.17	0	75.441
18	70	21	0.0017	0.17	0	65.440
19	14	41	0.0015	0.0889	0	25.326
20	55	13	0.0007	0.0799	0	25.326
21	15	41	0.0021	0.0889	0	42.796
22	59	76	0.0067	0.6666	0	4.103
23	64	24	0.0067	0.6666	0	4.103
24	64	23	0.0067	0.6666	0	4.103

Tabel 1.2 Data Saluran sistem interkoneksi kalselteng 150 kV 2021

Saluran	Dari bus	Ke bus	R(p.u)	X(p.u)	B(p.u)	Kapasitas Saluran (MVA)
25	66	25	0.149	1.493	0	2.097
26	66	26	0.1493	1.4926	0	0.018
27	70	27	0.034	0.6324	0	7.044
28	61	31	0.0089	0.3999	0	15.477
29	52	28	0.0011	0.1333	0	45.043
30	52	29	0.0011	0.1333	0	45.043
31	1	58	0.0016	0.08	0	44.012
32	61	11	0.0022	0.1333	0	71.237
33	61	60	0.0017	0.0997	0	107.038
34	72	32	0.008	0.3999	0	20.042
35	72	22	0.0116	0.3165	0	20.027
36	33	75	0.0304	0.5658	0	8.075
37	34	75	0.0304	0.5658	0	8.523
38	35	75	0.0304	0.5658	0	8.05
39	71	43	0.0081	0.026	0.0455	34.736
40	59	41	0.0045	0.0144	0.0253	90.304
41	38	59	0.0134	0.0433	0.0758	30.925
42	58	47	0.009	0.0289	0.0505	33.364
43	47	38	0.0197	0.0635	0.1112	44.417
44	47	53	0.0084	0.0271	0.0475	77.211
45	45	43	0.0215	0.0693	0.1213	46.55
46	42	43	0.0063	0.0202	0.0354	119.949
47	43	49	0.0117	0.0375	0.0657	69.493
48	71	72	0.0072	0.0231	0.0404	32.5

Tabel 1.2 Data Saluran sistem interkoneksi kalselteng 150 kV 2021

Saluran	Dari bus	Ke bus	R(p.u)	X(p.u)	B(p.u)	Kapasitas Saluran (MVA)
49	69	70	0.0308	0.0727	0.0587	15.264
50	70	68	0.0286	0.0676	0.0546	8.636
51	70	74	0.0304	0.0718	0.058	9.28
52	51	52	0.0018	0.0058	0.0101	89.966
53	51	57	0.0179	0.0423	0.0341	66.356
54	61	55	0.0072	0.0169	0.0137	97.178
55	37	59	0.0215	0.0507	0.041	82.941
56	78	77	0.0072	0.0231	0.0404	24.475
57	48	49	0.0144	0.0366	0.0063	35.761
58	51	49	0.0359	0.0915	0.0157	14.186
59	57	48	0.0719	0.1831	0.0315	5.825
60	55	57	0.0431	0.1098	0.0189	40.749
61	72	69	0.0308	0.0727	0.0587	13.235
62	62	60	0.0493	0.1164	0.0045	64.395
63	62	39	0.0493	0.1164	0.0045	40.114
64	46	61	0.0089	0.0211	0.0171	35.997
65	40	36	0.0144	0.0366	0.0063	35.545
66	40	54	0.025	0.0592	0.0478	11.524
67	54	37	0.0233	0.0549	0.0444	24.568
68	50	40	0.0503	0.1282	0.022	100.002
69	67	50	0.0252	0.0641	0.011	142.096
70	67	46	0.0719	0.1831	0.0315	111.255
71	63	73	0.0061	0.0196	0.0344	60.708
72	73	67	0.0161	0.0519	0.091	78.001

Tabel 1.2 Data Saluran sistem interkoneksi kalselteng 150 kV 2021

Saluran	Dari bus	Ke bus	R(p.u)	X(p.u)	B(p.u)	Kapasitas Saluran (MVA)
73	36	46	0.0054	0.0127	0.0102	59.455
74	37	65	0.0179	0.0423	0.0341	29.111
75	44	55	0.0143	0.0338	0.0273	61.608
76	56	46	0.0054	0.0173	0.0303	15.388
77	44	56	0.0054	0.0173	0.0303	22.612
78	37	44	0.0215	0.0693	0.1213	29.478
79	45	77	0.0108	0.0346	0.0606	24.295
80	53	78	0.0018	0.0058	0.0101	82.594
81	64	63	0.0066	0.0214	0.0374	22.181
82	66	72	0.0573	0.1352	0.1092	26.043
83	75	39	0.115	0.2717	0.0104	24.224
78	37	44	0.0215	0.0693	0.1213	29.478
79	45	77	0.0108	0.0346	0.0606	24.295
80	53	78	0.0018	0.0058	0.0101	82.594
81	64	63	0.0066	0.0214	0.0374	22.181
82	66	72	0.0573	0.1352	0.1092	26.043
83	75	39	0.115	0.2717	0.0104	24.224

Tabel 1.3 Data Dinamik Generator

No gen	Ra(p.u)	Xd'(p.u)	H(p.u)
1	0	0.22	4.2
2	0	0.24	3.4
3	0	0.24	3.4
4	0	0.24	3.4
5	0	0.24	3.4
6	0	0.04	1.8
7	0	0.04	1.8
8	0	0.25	2.9
9	0	0.25	2.9
10	0	0.18	2
11	0	0.19	4.4
12	0	0.25	3.2
13	0	0.27	3.4
14	0	0.27	3.4
15	0	0.27	3.1
16	0	0.14	4
17	0	0.14	4
18	0	0.14	5
19	0	0.14	3.7
20	0	0.24	2.9
21	0	0.24	2.9
22	0	0.18	3.8
23	0	0.19	1.4
24	0	0.19	1.4
25	0	0.15	1.2

Tabel 1.3 Data Dinamik Generator sistem kalselteng 2021

No gen	Ra(p.u)	Xd'(p.u)	H(p.u)
26	0	0.15	1.2
27	0	0.2	1.8
28	0	0.27	4
29	0	0.27	3.2
30	0	0.25	4
31	0	0.14	1.2
32	0	0.18	3.8
33	0	0.04	1.8
34	0	0.04	1.8
35	0	0.04	1.8

Tabel 1.4 Data kemampuan Generator sistem kalselteng 2021

No gen	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Fungsi biaya		
			a	b	c
1	249	40	21698	206.473	0.20920
2	58	26	9422	208.288	0.36710
3	58	26	9822	206	0.42710
4	58	26	8422	206	0.46710
5	58	26	9220	206	0.46100
6	13	6	1672	217.1	0.00271
7	13	6	1672	217.1	0.00271
8	58	26	9127	212.4765	0.05671
9	58	26	9127	212.4765	0.05671
10	6	3	1623	228.8624	0.00210
11	80	26	12687	239.8196	0.00256
12	178	80	36293	233.93	0.00211

Tabel 1.4 Data kemampuan Generator sistem kalselteng 2021

No gen	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Fungsi biaya		
			a	b	c
13	90	40	14364	234.9	0.00411
14	90	40	14364	222.6401	0.09620
15	89	40	14364	222.6401	0.08672
16	89	40	22482	201.9447	0.09000
17	89	40	22482	201.9447	0.06300
18	89	40	12687	195.0195	0.30630
19	89	40	22482	204.3195	0.30600
20	44	20	8628	201.7648	0.33800
21	44	20	8628	201.7648	0.33800
22	22	10	4200	207.4401	0.48720
23	6	2.8	1423	238.1576	0.02109
24	6	2.8	1423	238.1576	0.02109
25	3	1.2	489	221.899	0.05920
26	3	1.2	489	221.899	0.05920
27	10	4.4	1369	216.3401	0.09720
28	53	24	9502	196.9447	0.39200
29	53	24	9502	196.9447	0.40000
30	58	26	10921	196.9207	0.40000
31	20	8	2940	240.0051	0.02435
32	22	10	4200	202.0011	0.79000
33	13	6	0.000	228.6	0.00000
34	13	6	0.000	228.6	0.00000
35	13	6	0.000	228.6	0.00000

BIOGRAFI PENULIS



Imam Tantowi, Tempat dan tanggal lahir Bojonegoro 14 Desember 1994. Telah menempuh pendidikan SDN 1 Caruban 2000 – 2006, SMPN 1 Kanor 2006 – 2009, MAN 1 Bojonegoro 2009 – 2012 Program Studi Diploma 3 Teknik Telekomunikasi – Politeknik Elektronika Negeri Surabaya tahun 2012–2015. Penulis melanjutkan pendidikannya ke jenjang strata I (S1) melalui program alih jenjang Fakultas

Teknik Elektro dan mengambil program studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis pernah menjalani kerja praktek di PT. Petrokimiagresik.tbk dengan mempelajari sistem pembangkit dan proteksi Penulis dapat dihubungi melalui email:

Imamtantowi23@gmail.com

