

**ANALISIS *STEADY STATE* DAN DINAMIK SAAT  
MASUKNYA *RENEWABLE ENERGY* PADA SISTEM  
INTERKONEKSI 150 kV SULSELBAR**

*STEADY STATE AND DYNAMIC ANALYSIS WHEN ENTRY  
RENEWABLE ENERGY IN INTERCONNECTION SYSTEM 150 kV  
SULSELBAR*

**EKA SANJAYA PUTRA AZ  
P2700214005**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDIN  
MAKASSAR  
2018**

**ANALISIS *STEADY STATE* DAN DINAMIK SAAT MASUKNYA  
*RENEWABLE ENERGY* PADA SISTEM INTERKONEKSI 150 kV  
SULSELBAR**

**TESIS**

**SEBAGAI SALAH SATU SYARAT UNTUK MENCAPAI GELAR MAGISTER**

**PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK ELEKTRO**

**DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH**

**EKA SANJAYA PUTRA AZ**

**P2700214005**

**KEPADA**

**PROGRAM PASCA SARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2018**

## TESIS

### ANALISIS STEADY STATE DAN DINAMIK SAAT MASUKNYA RENEWABLE ENERGY PADA SISTEM INTERKONEKSI 150 kV SULSELBAR

Disusun dan diajukan oleh

**EKA SANJAYA PUTRA AZ**

**Nomor Pokok P2700214005**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal 22 November 2018

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

**Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT**

Ketua

**Yusri Syam Akil, ST, MT, Ph.D**

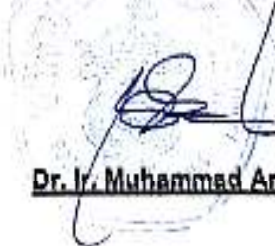
Anggota

a.n. Ketua Program Studi Teknik Elektro,  
Departemen Teknik Elektro



**Prof. Dr. Ir. H. Salama Maniang, MT**

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin,



**Dr. Ir. Muhammad Azyad Thaha, MT**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Eka Sanjaya Putra AZ

Nomor Pokok : P2700214005

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 November 2018  
Yang menyatakan

Eka Sanjaya Putra AZ

## PRAKATA

Segala puji atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan hasil penelitian ini. Salam dan shalawat kita sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai tauladan bagi seluruh ummat manusia.

Pada penelitian ini penulis dedikasikan untuk **kedua orang tua** atas kasih sayang serta pengorbanan yang tak ternilai dalam perjalanan hidup penulis. Kepada Istri tersayang (**A. Tri Novitasari, SE**) terima kasih atas pengertian, motivasi dan dorongan sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih serta penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A** selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, M.S.M.E** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, ST. M.Eng** selaku ketua program studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin,ST,MT** dan **Yusri Syam Akil, ST, MT, P.hD** selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan mulai dari awal hingga selesainya penelitian ini.

5. Dosen serta staf Program Studi Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
6. PT. PLN (Persero) Wilayah Sulawesi Selatan, Tenggara dan Barat yang telah memberikan kontribusi kepada penulis.
7. Teman – teman Mahasiswa Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin S2 angkatan 2015 - 2016 dan S3 angkatan 2016. Terima kasih pula para penghuni ***Power System Stability and Control – Research Group*** (PSSC-RG), serta paling khususnya teman seperjuangan **Re14y** yang senantiasa memberi dorongan untuk selalu lebih bersemangat.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pemikiran kepada pembaca terutama bagi penulis sendiri. Oleh karena keterbatasan penulis, mungkin penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan para pembaca dapat memberikan sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan penelitian ini.

**Makassar, 27 November 2018**

**Penulis,**

**Eka Sanjaya Putra AZ**

## ABSTRAK

**EKA SANJAYA PUTRA AZ**, *Analisis Steady State dan Dinamik saat masuknya Renewable Energy pada Sistem Interkoneksi 150 kV SULSELBAR* (dibimbing oleh Indar Chaerah Gunadin dan Yusri Syam Akil).

Penelitian ini bertujuan untuk : (1) Untuk menganalisa dampak dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* terhadap sistem ditinjau dari keadaan *steady state*. (2) Untuk menganalisa kestabilan dinamik dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* terhadap sistem, ditinjau dari sudut rotor, tegangan dan frekuensi.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium *Power System Stability and Control – Research Group* (PSSC-RG) Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin dengan studi kasus pada sistem kelistrikan PT. PLN (Persero) di Makassar. Analisis dengan cara mensimulasikan data – data yang sudah diperoleh dalam metode *Newton Raphson* sehingga didapatkan nilai aliran daya system, kemudian di injeksi rencana pengembangan sarana kelistrikan pada system dan dilihat perbandingan hasil aliran daya sebelum dan sesudah injeksi. Setelah mendapatkan perbandingan aliran daya, kemudian dilanjutkan analisis tentang *steady state* dan dinamik.

Hasil analisis *steady state* menunjukkan profil tegangan pada sistem mengalami perbaikan dan mereduksi rugi-rugi daya aktif sebesar 0.07 %, daya reaktif 0.51 % dari sebelum pembangkitan *Renewable Energy*. Kemudian stabilitas dinamik menunjukkan waktu pemulihan sudut rotor, frekuensi dan tegangan dapat kembali ke kondisi *steady state* dengan waktu pemutusan kritis setelah injeksi pembangkitan *Renewable Energy* lebih lama durasinya 0.789 detik sistem baru mengalami lepas sinkron.

**Kata Kunci:** *Renewable Energy; Steady State, Stabilitas Dinamik, Sistem Interkoneksi SULSELBAR.*

## **ABSTRACT**

**EKA SANJAYA PUTRA AZ**, *Steady State and Dynamic Analysis when Renewable Energy entered the 150 kV SULSELBAR Interconnection System* (supervised by Indar Chaerah Gunadin and Yusri Syam Akil).

This study aims to: (1) analyze the impact of the entry of the Renewable Energy generation injection on the system in terms of the steady state. (2) analyze the dynamic stability of the entry of the Renewable Energy generation injection into the system, in terms of rotor angle, voltage and frequency.

This research was conducted in the laboratory of Power System Stability and Control - Research Group (PSSC-RG) Department of Electrical Engineering, Hasanuddin University with a case study on the electrical system of PT. PLN (Persero) in Makassar. Analysis was done by simulating the data that has been obtained in the Newton Raphson method to obtain the value of power flow system, then in the injection plan for the development of electrical facilities on the system and see the comparison of the results of power flow before and after injection. After obtaining a comparison of power flow, then continued analysis of steady state and dynamic.

The steady state analysis results show that the voltage profile of the system has improved and reduced active power losses of 0.07%, reactive power 0.51% from before the Renewable Energy generation. Then the dynamic stability shows the recovery time of the rotor angle, the frequency and voltage can return to the steady state condition with the critical clearing time after injection of Renewable Energy generation for a longer duration of 0.789 seconds then the new system is out of sync.

**Key word:** Renewable Energy; Steady State, Dynamic Stability, SULSELBAR Interconnection System.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGANTAR .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
PRAKATA .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A..Latar Belakang .....	1
B..Rumusan Masalah .....	4
C.Tujuan Penelitian .....	5
D..Manfaat Penelitian .....	5
E..Batasan Masalah.....	5
F. Sistematika Penulisan .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Landasan Teori .....	8
B. Studi Aliran Daya.....	10
C. Standart Perfomansi Jaringan.....	21
D. Sistem Per Unit.....	23

E. Analisis Kestabilan .....	24
F. Stabilitas Frekuensi .....	31
G. Stabilitas Tegangan .....	33
H. Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan .....	39
I. Penelitian Terkait.....	45
J. Kerangka Pikir .....	47
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>48</b>
A. Tahapan Penelitian .....	48
B. Perancangan Penelitian .....	49
C. Teknik Validasi .....	51
D. Teknik Analisis Validasi.....	51
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS .....</b>	<b>52</b>
A. Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR .....	53
B. Analisis Data Kelistrikan SULSELBAR.....	56
C. Analisis <i>Steady State</i> Sistem Kelistrikan SULSELBAR.....	59
D. Analisis Stabilitas Dinamik Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR Sebelum dan Setelah Injeksi PLTB Sidrap.....	79
E. Waktu Pemutusan Kritis .....	114
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>117</b>
A. Kesimpulan.....	117
B. Saran .....	118
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>119</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar .....	Hal.
2.1 Diagram Satu Garis Sistem 2 Bus .....	11
2.2 Diagram Impedansi Sistem 2 Bus .....	12
2.3 Bus Daya Dengan Transmisi Model $\pi$ Untuk Sistem 2 Bus.....	12
2.4 Aliran Arus Pada Rangkaian Ekuivalen .....	13
2.5 Ilustrasi Metode <i>Newton Raphson</i> .....	19
2.6 Diagram Alir Metode <i>Newton Raphson</i> .....	20
2.7 Klasifikasi stabilitas Sistem Tenaga.....	25
2.8 Diagram Fasor Mesin Sinkron Rotor Silindris pada Keadaan Mantap	28
2.9 <i>Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan transien</i> .....	30
2.10 <i>Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan dinamik</i> .....	31
2.11 Sebuah sistem radial sederhana untuk ilustrasi fenomena stabilitas tegangan.....	34
2.12 Tegangan sisi terima, arus dan daya fungsi beban.....	36
2.13 Karakteristik tegangan fungsi daya pada sistem.....	37
2.14 Karakteristik $V_R - P_R$ dari sistem dengan faktor daya beban yang berbeda.....	38
2.15 Karakteristik $V_R - V_Q$ dari sistem dengan rasio $P_R/P_{RMAX}$ berbeda ....	39
2.16 Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah putaran serta momen putar mekanis dan elektrik untuk (a) generator dan (b) motor .....	41
3.1 Diagram Alur Rancangan Penelitian .....	50

4.1 Single Line Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR .....	53
4.2 <i>Block</i> Parameter <i>Slack Bus</i> .....	60
4.3 <i>Blok</i> Parameter PV .....	61
4.4 Blok Parameter Transformator.....	61
4.5 Blok Parameter Saluran.....	62
4.6 Blok Parameter Beban.....	62
4.7 Grafik Tegangan Pada Simulasi Beban Puncak 18.30 WITA .....	65
4.8 Grafik Tegangan Pada Simulasi Kenaikan Beban 10 % .....	68
4.9 Grafik Tegangan Pada Simulasi Saat Injeksi Pembangkit <i>Renewable Energy</i> .....	72
4.10 Grafik Tegangan Pada Simulasi Saat Kenaikan Penambahan Beban 10% dan Injeksi Pembangkit <i>Renewable Energy</i> 70 MW .....	76
4.11 Grafik Perbandingan Profil Tegangan Hasil Simulasi Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR .....	79
4.12 Blok Parameter <i>Fault</i> .....	80
4.13 (a) Blok Parameter AVR dan (b) Blok TG .....	80
4.14 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng150).....	82
4.15 Grafik Frekuensi $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng 150).....	83
4.16 Grafik Tegangan $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng 150).....	84
4.17 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare150) .....	86
4.18 Grafik Frekuensi $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare 150).....	87
4.19 Grafik Tegangan $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare 150).....	88
4.20 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale150) .....	90

4.21 Grafik Frekuensi $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale 150).....	91
4.22 Grafik Tegangan $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale 150) .....	92
4.23 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150).....	94
4.24 Grafik Frekuensi $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150) .....	95
4.25 Grafik Tegangan $f(t)$ Sebelum Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150).....	96
4.26 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng 150).....	97
4.27 Grafik Frekuensi $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng 150).....	99
4.28 Grafik Tegangan $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Soppeng 150) .....	100
4.29 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare 150) .....	101
4.30 Grafik Frekuensi $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare 150) .....	103
4.31 Grafik Tegangan $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Parepare 150) .....	104
4.32 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale 150) .....	105
4.33 Grafik Frekuensi $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale 150).....	107
4.34 Grafik Tegangan $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Makale 150) .....	108
4.35 Grafik Sudut Rotor $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150).....	109
4.36 Grafik Frekuensi $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150) .....	111
4.37 Grafik Tegangan $f(t)$ Setelah Injeksi ( <i>fault</i> GI Maros 150).....	112
4.38 Grafik Waktu Pemutusan sudut rotor sebelum Injeksi ( <i>Fault</i> GI Soppeng) .....	114
4.39 Grafik Waktu Pemutusan sudut rotor setelah Injeksi ( <i>Fault</i> GI Soppeng) .....	114

## DAFTAR TABEL

Tabel.....	Hal.
Tabel 2.1 Klasifikasi Bus Pada Sistem Tenaga .....	16
Tabel 4.1 Data Bus Beban Puncak 18.30 WITA .....	54
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Daya Beban Puncak 18.30 WITA.....	63
Tabel 4.3 Hasil Analisis Aliran Daya Kenaikan Beban 10 %.....	66
Tabel 4.4 Total Losses Kenaikan Beban 10% .....	69
Tabel 4.5 Hasil Analisis Aliran Daya Setelah Injeksi Pembangkit Renewable Energy 70 MW .....	70
Tabel 4.6 Total Losses Injeksi Pembangkit Renewable Energy .....	73
Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya setelah Kenaikan Beban 10% dan Injeksi Pembangkit Renewable energy 70 MW.....	74
Tabel 4.8 Total Losses Penambahan Pertumbuhan Beban 10 % dan Injeksi Pembangkit Renewable Energy 70 MW .....	77
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR.....	78
Tabel 4.10 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (fault GI Soppeng150) .....	82

Tabel 4.11 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (fault GI Soppeng150) .	83
Tabel 4.12 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (fault GI Soppeng150) .	85
Tabel 4.13 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (fault GI Parepare150) .....	86
Tabel 4.14 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (fault GI Parepare150) .	87
Tabel 4.15 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (fault GI Parepare150) .	89
Tabel 4.16 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (fault GI Makale150) .	90
Tabel 4.17 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (fault GI Makale 150) ...	91
Tabel 4.18 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (fault GI Makale 150)...	93
Tabel 4.19 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (fault GI Maros 150) .	94
Tabel 4.20 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (fault GI Maros 150).....	95
Tabel 4.21 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (fault GI Maros 150) ....	97
Tabel 4.22 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (fault GI Soppeng 150)	98
Tabel 4.23 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (fault GI Soppeng 150) ..	99
Tabel 4.24 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (fault GI Soppeng 150)	101
Tabel 4.25 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (fault GI Parepare 150) .....	102

Tabel 4.26 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (fault GI Parepare 150)	103
Tabel 4.27 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (fault GI Parepare 150)	105
Tabel 4.28 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (fault GI Makale 150)	106
Tabel 4.29 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (fault GI Makale 150) ...	107
Tabel 4.30 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (fault GI Makale 150)...	109
Tabel 4.31 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (fault GI Maros 150) .	110
Tabel 4.32 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (fault GI Maros 150).....	111
Tabel 4.33 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (fault GI Maros 150) ....	113
Tabel 4.34 Waktu Pemutusan Sudut Rotor (fault di GI Soppeng).....	115



## Bab I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

*Renewable Energy* adalah sebuah energi alternatif yang bisa digunakan untuk menggantikan energi alami yang ada di bumi. Bahan bakar alami yang ada di bumi memang tidak bisa didapat dengan mudah. Hal ini disebabkan oleh proses pembentukan energi bumi yang sangat lama tinggal ratusan hingga ribuan tahun. Oleh sebab itu, kita memerlukan sebuah sumber energi baru yang bisa digunakan tanpa takut habis. Di Indonesia bisa menjadi tempat yang sangat baik untuk mengembangkan energi alternatif. Dengan alam Indonesia yang kaya akan sangat mudah ditemui berbagai sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Berikut adalah beberapa sumber energi ramah lingkungan yang bisa dimanfaatkan di Indonesia.

1. Biofuel atau bahan bakar hayati
2. Biomassa
3. Panas Bumi
4. Air
5. Angin
6. Matahari
7. Gelombang Laut
8. Pasang Surut

Khususnya daerah yang berada pada sistem kelistrikan SULSELBAR banyak potensi sumber energi terbarukan (*Renewable Energy*) yaitu seperti Energi Biomassa, Air, Angin dan Matahari perlu

dikembangkan dalam rangka guna memenuhi permintaan kebutuhan energi listrik jangka panjang.

Kebutuhan listrik pada sistem kelistrikan SULSELBAR sebaian besar berada diarea bagian selatan yaitu dikota Makassar dan sekitarnya, sedangkan potensi pembangkitan *Renewable energy* berada dibagian utara dan tengah wilayahnya. Kondisi ini menjadi persoalan tersendiri terkait dengan kestabilan sistem karena transmisi yang menghubungkan pusat pembangkit ke pusat beban sangat panjang. Pembangkit yang direncanakan dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PLN (RUPTL PLN) 2016 – 2025 akan dibangun adalah PLTB Sidrap dengan berkapasitas 70 MW (RUPTL PLN 2016 - 2025).

Dalam suatu perencanaan sistem tenaga listrik ada empat komponen utama yang harus diperhatikan, yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi, dan beban. Tenaga listrik dibangkitkan oleh sistem pembangkit haruslah cukup untuk melayani kebutuhan konsumen. Untuk memenuhi kriteria pasokan energi listrik diperlukan penyediaan kapasitas pembangkit di atas kapasitas beban puncak. Akan tetapi, pada kenyataannya seringkali energi listrik yang diterima tidak sesuai dengan yang diharapkan. Permintaan beban selalu meningkat dan berubah-ubah setiap saat.

Energi listrik merupakan kebutuhan yang mendasar bagi masyarakat saat ini. Perkembangan kehidupan masyarakat dan semakin pesatnya teknologi akan memberikan dampak pada kebutuhan tenaga

listrik. Permintaan beban listrik yang meningkat setiap tahunnya akan diikuti dengan pertumbuhan jaringan listrik yang semakin meningkat baik kebutuhan listrik rumah tangga, perdagangan, maupun kebutuhan di bidang industri. Energi listrik tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat, semakin besar jaringan listrik maka akan menimbulkan beberapa masalah dalam penyalurannya.

Sistem tenaga listrik perlu dioperasikan dengan standar yang ditetapkan. Karenanya diperlukan perencanaan sistem tenaga listrik dan operasi sistem tenaga listrik dengan baik. Perencanaan pengembangan suatu sistem tenaga listrik akan melibatkan masalah bagaimana merancang pembangkit, saluran transmisi dan distribusi yang disesuaikan dengan kebutuhan energi dimasa yang akan datang. Sebagai awalnya dibutuhkan rencana perkiraan beban pada jangka menengah (sekitar 5-10 tahun), jika hal tersebut sudah diketahui maka perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik bisa dilakukan. Pembangkit yang akan dibangun harus ditentukan jenis dan tempatnya. (Stevenson, 1994).

Injeksi pembangkit baru akan menyebabkan terjadinya perubahan aliran daya pada sistem yang sudah ada, dan akan bisa mempengaruhi kestabilan sistem secara keseluruhan. Dengan adanya injeksi pembangkit baru tersebut, evaluasi terhadap sistem kelistrikan perlu dilakukan untuk memperbaharui data sistem. Data ini berguna dalam operasi sistem maupun sebagai bahan perancangan pengembangan sistem kelistrikan di masa yang akan datang. Adanya variasi beban dan gangguan pada

sistem akan mempengaruhi stabilitas sistem serta respon dinamik dari pembangkit yang tersebar. Oleh karena itu, analisis terhadap sistem perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang timbul pada sistem, sehingga.

Dalam penelitian ini dilakukan, analisis kinerja sistem saat kondisi *steady state* dan analisis dinamik berupa stabilitas sudut rotor, tegangan dan frekuensi akibat gangguan pada sistem sebelum dan setelah injeksi daya *Renewable Energy* tersebut. Hasil analisis nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai bahan analisis yang lebih komprehensif.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana sistem dalam keadaan *steady state* dampak dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* pada sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR (Sulawesi Selatan dan Barat) berdasarkan RUPTL 2016-2025.
2. Bagaimana sistem dalam keadaan kestabilan dinamik berupa kestabilan tegangan, frekuensi dan sudut rotor dampak dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* pada sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR (Sulawesi Selatan dan Barat) berdasarkan RUPTL 2016-2025.

### **C. Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui dampak dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* terhadap sistem ditinjau dari keadaan *steady state*.
2. Untuk mengetahui performansi sistem saat terjadi gangguan pada kestabilan dinamik dari masuknya injeksi pembangkitan *Renewable Energy* terhadap sistem, ditinjau dari sudut rotor, tegangan dan frekuensi.

### **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan evaluasi dalam pengembangan sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR dimasa yang akan datang.

### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini, pembangkit baru yang akan di injeksi pada sistem yaitu pembangkit *Renewable Energy* berupa PLTB Sidrap dan proyeksi pertumbuhan beban 10% pertahun sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2016 – 2025.
2. Data Sistem tenaga listrik SULSELBAR yang digunakan dalam penelitian adalah data beban puncak pukul 18.30 WITA, 18

November 2016, yang hanya terdiri dari 15 pembangkit beroperasi.

3. Analisis kestabilan *steady state* dan dinamik dilakukan dengan *load flow* sebelum dan setelah pembangkit *Renewable Energy* diinjeksi dalam sistem.
4. Analisis *load flow* dilakukan dengan menggunakan metode *Newton Raphson*, dan dengan bantuan *software MATLAB 2014a dan simulink Power System Analysis Toolbox (PSAT) 2.1.9*, yang terintegrasi dengan program *MATLAB R.2014a*.

## **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada penelitian ini yaitu :

### **BAB I Pendahuluan**

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab II berisi penjelasan tentang landasan teori yang digunakan dalam penelitian dan kerangka pemikiran. Diuraikan pula tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Adapun sumber acuan dari landasan teori adalah buku, artikel, jurnal, prosiding dan tulisan

lainnya yang berhubungan dengan judul atau tema penelitian yang dilakukan dan juga sebagai arahan dalam memecahkan masalah yang diteliti. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pemikiran yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab III menjelaskan tentang tahapan penelitian yang meliputi lokasi dan tempat penelitian, jenis penelitian, teknik pengumpulan data, alat penelitian yang digunakan, rancangan penelitian, metode analisis, teknik validasi dan jadwal rencana penelitian.

### **BAB IV Hasil Dan Pembahasan**

BAB IV menjelaskan tentang hasil dan pembahasan penelitian analisis *steady state* dan dinamik.

### **BAB V Penutup**

BAB V berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian serta saran pada PT.PLN (Persero) Wilayah SULTANBATARA dan peneliti selanjutnya untuk pengembangan sistem berikutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Landasan Teori

Analisis tentang *steady state* dan dinamik pada perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik menjadi perhatian oleh banyak peneliti dengan berbagai macam metode dan penyelesaian yang digunakan. Penelitian analisis tentang *steady state* dan dinamik dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem kelistrikan dimasa akan datang, dan juga digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada (*existing*).

Overbye, dkk (1999) Produksi tidak hanya dapat dibatasi oleh aspek ekonomi, namun juga kemampuan rating dari sistem transmisi. Gangguan yang ditimbulkan karena terbatasnya kapasitas sistem transmisi biasanya tidak mudah menentukan nilainya. Kemampuan sistem transmisi untuk mendukung transaksi injeksi daya baru, dibatasi oleh kebutuhan untuk mempertahankan keamanan sistem. Keterbatasan kapasitas sistem transmisi karena semua mekanisme berbeda, termasuk jaringan transmisi, transformator, batas tegangan bus, dan kebutuhan sistem untuk mempertahankan stabilitas tegangan.

Florencio Aboytes, dkk (2000) menuliskan operasi sistem interkoneksi saluran transmisi 230 kV antara Kolombia dan Venezuela.



Analisis teknis yang dilakukan untuk stabilisasi osilasi aliran daya. Analisis meliputi hasil simulasi dan rekaman lapangan yang diperoleh peredaman osilasi 0,22 Hz yang diakibatkan gangguan persamaan ayunan terhadap generator di daerah pusat selatan Kolombia. Melalui keuntungan sistem eksitasi, kontrol tidak mungkin dapat meningkatkan redaman substansial. Keuntungan dari perencanaan pembangkit di San Carlos memberikan efek penurunan osilasi 0,22 Hz. Menggunakan sistem eksitasi PSS, osilasi kritis memberikan kepekaan terbesar pada peningkatan redaman di San Carlos, Chivor, Parafso, dan unit pembangkit Guaca. Terdapat peningkatan redaman yang cukup besar dengan menggunakan PSS dalam sistem pembangkit Kolombia. Hasil penelitian telah divalidasi dengan simulasi perubahan waktu dan rekaman lapangan yang membuktikan tindakan efektivitas.

M. Reza, dkk. (2003) menuliskan bahwa dampak dari injeksi pembangkit tersebar dalam stabilitas transmisi, tidak begitu terasa pada konsentrasi daya yang rendah. Namun pada penetrasi yang besar, dampaknya tidak terbatas pada jaringan distribusi tetapi mulai mempengaruhi seluruh sistem termasuk sistem transmisi. Tingkat penetrasi pembangkit tersebar ini berpengaruh kepada sistem stabilitas pada sistem transmisi.

Chai Campo, dkk (2005) mengatakan dampak suatu pembangkit tenaga angin terhadap sistem yang terinterkoneksi. Dampak dari sistem operasi pembangkit angin skala besar, profil tegangan, dan keamanan

sistem harus diselidiki dan dipelajari. Jika pembangkit dioperasikan dengan faktor daya 0.95 leading maka menimbulkan masalah penurunan tegangan pada jaringan akibat gangguan. Oleh karena itu, pembangkit dioperasikan pada factor daya 0.95 lagging, dan mengatur sistem relay untuk menghindari kedip tegangan.

N. Hasyim, dkk (2009) menuliskan analisis tentang stabilitas transien dari pengujian sistem IEEE 14 bus menggunakan Perhitungan *Dynamic Power Systems* (DCPS) dengan perangkat lunak C++. Untuk menganalisis pengaruh jarak lokasi gangguan dan waktu pemutusan kritis pada stabilitas sistem, gangguan tiga fase telah diterapkan di lima lokasi yang berbeda dalam sistem. Simulasi stabilitas sistem telah diamati berdasarkan grafik tegangan terminal, sudut rotor mesin, kecepatan dan output mesin tenaga listrik. Hasil simulasinya menunjukkan bahwa waktu pemutusan kritis terjadi penurunan pada lokasi gangguan yang dekat dengan generator utama.

## **B. Studi Aliran Daya**

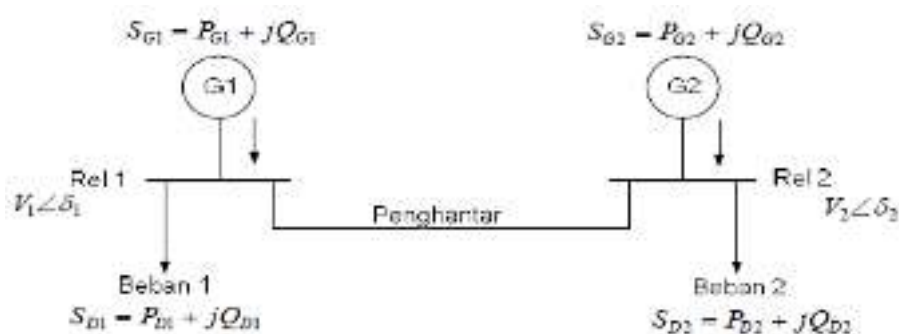
Studi aliran daya di dalam sistem tenaga merupakan studi yang penting. Studi aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu tatkala sistem bekerja saat tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya

daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) diberbagai titik pada system daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal.

Studi aliran daya merupakan studi yang penting dalam perencanaan dan desain perluasan sistem tenaga listrik dan menentukan operasi terbaik pada jaringan yang sudah ada. Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa-masa yang akan datang. Karena seiring dengan bertambahnya konsumen akan kebutuhan tenaga listrik, maka akan selalu terjadi perubahan beban, perubahan unit-unit pembangkit, dan perubahan saluran transmisi.

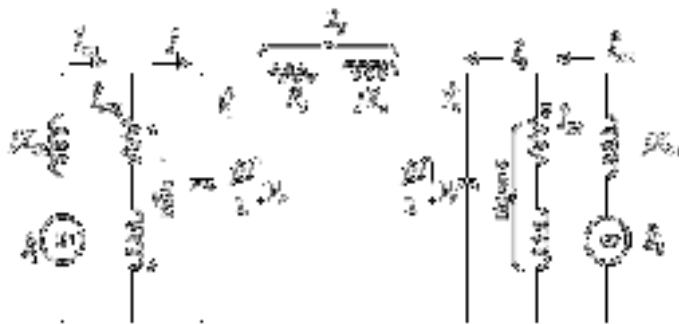
### 1. Persamaan Aliran Daya

Persamaan aliran daya secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini, untuk system yang memiliki sebuah generator dan beban, walaupun pada kenyataannya tidak semua bus memiliki generator. Penghantar menghubungkan Antara bus 1 dengan bus 2. Pada setiap bus memiliki 6 besaran elektris yang terdiri dari :  $P_D$ ,  $P_G$ ,  $Q_D$ ,  $Q_G$ ,  $V$  dan  $\delta$ .



Gambar 2.1 Diagram Satu garis system 2 bus

Pada Gambar 2.1 dapat dihasilkan persamaan aliran daya dengan menggunakan diagram impedansi. Pada Gambar 2.2 merupakan diagram impedansi dimana generator sinkron direpresentasikan sebagai sumber yang memiliki reaktansi dan transmisi model  $\pi$  (phi). Beban diasumsikan memiliki impedansi konstan dan daya konstan pada diagram impedansi.



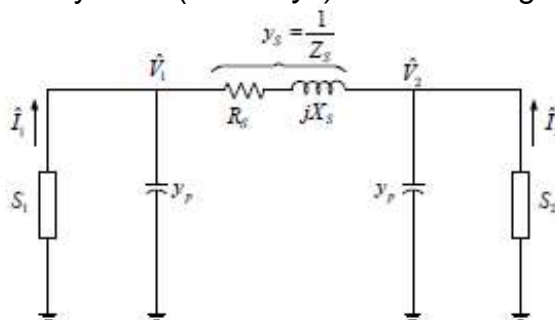
Gambar 2.2 Diagram impedansi system 2 bus

Besar daya pada bus 1 dan bus 2 adalah :

$$S_1 = S_{G1} - S_{D1} = (P_{G1} - P_{D1}) + j ( Q_{G1} - Q_{D1}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$S_2 = S_{G2} - S_{D2} = (P_{G2} - P_{D2}) + j ( Q_{G2} - Q_{D2}) \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada gambar 2.3 dibawah ini merupakan penyederhanaan dari gambar 2.2 menjadi daya bus (*Bus Daya*) untuk masing – masing bus.



Gambar 2.3 bus daya dengan transmisi model  $\pi$  untuk system 2 bus

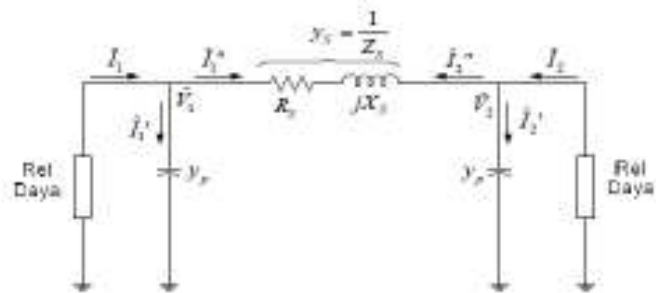
Besarnya arus yang diinjeksi pada bus 1 dan bus 2 adalah :

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_{G1} - \hat{I}_{D1} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\hat{I}_2 = \hat{I}_{G2} - \hat{I}_{D2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Semua besaran adalah diasumsikan dalam system per-unit, sehingga :  $S_1 = \hat{V}_1 \hat{I}_1^* = P_1 + jQ_1 \Rightarrow (P_1 - jQ_1) = \hat{V}_1^* \hat{I}_1 \dots\dots\dots(2.5)$

$$S_2 = \hat{V}_2 \hat{I}_2^* = P_2 + jQ_2 \Rightarrow (P_2 - jQ_2) = \hat{V}_2^* \hat{I}_2 \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2.4 Aliran arus pada rangkaian ekivalen

Aliran arus dapat dilihat pada gambar 2.4 dimana arus pada bus 1 adalah

$$\begin{aligned} \hat{I}_1 &= \hat{I}_1' + \hat{I}_1'' \\ \hat{I}_1 &= \hat{V}_1 y_p + (\hat{V}_1 - \hat{V}_2) y_s \\ \hat{I}_1 &= (y_p + y_s) \hat{V}_1 + (-y_s) \hat{V}_2 \dots\dots\dots(2.7) \end{aligned}$$

$$\hat{I}_1 = Y_{11} \hat{V}_1 + Y_{12} \hat{V}_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$$Y_{11} \text{ adalah jumlah admitansi terhubung pada bus 1} = Y_p + Y_s \dots (2.9)$$

$$Y_{12} \text{ adalah admitansi negative Antara bus 1 dan bus 2} = -Y \dots (2.10)$$

Untuk aliran arus pada bus 2 adalah :

$$\begin{aligned} \hat{I}_2 &= \hat{I}_2' + \hat{I}_2'' \\ \hat{I}_2 &= \hat{V}_2 y_p + (\hat{V}_2 - \hat{V}_1) y_s \\ \hat{I}_2 &= (-y_s) \hat{V}_1 + (y_p + y_s) \hat{V}_2 \dots (2.11) \end{aligned}$$

$$\hat{I}_1 = Y_{21} \hat{V}_1 + Y_{22} \hat{V}_2 \dots (2.12)$$

Dimana :

$$Y_{22} \text{ adalah jumlah admitansi terhubung pada bus 2} = Y_p + Y_s \dots (2.13)$$

$$Y_{21} \text{ adalah admitansi negative Antara bus 2 dan bus 1} = -Y_s = Y_{12} \dots (2.14)$$

Dari persamaan (2.8) dan (2.12) dapat dihasilkan persamaan dalam bentuk matrik, yaitu :

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \end{bmatrix} \dots (2.15)$$

Notasi matrik dari persamaan (2.15) adalah :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \dots (2.16)$$

Persamaan (2.5) hingga (2.16) yang diberikan untuk system 2 rel dapat dijadikan sebagai dasar untuk penyelesaian persamaan aliran daya system n-bus.

## 2. Klasifikasi Bus

Jenis Bus pada system tenaga yaitu :

### 1. Bus Beban

Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan bus beban. Pada bus ini daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ) diketahui sehingga sering juga disebut bus PQ. Daya aktif dan reaktif yang dicatu ke dalam sistem tenaga adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan reaktif yang di konsumsi bernilai negatif. Besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah  $V$  dan  $\delta$  (sudut beban).

### 2. Bus Generator

Bus Generator dapat disebut dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus ini dibuat selalu konstan atau bus dimana terdapat generator. Pembangkitan daya aktif dapat dikendalikan dengan mengatur penggerak mula (*prime mover*) dan nilai tegangan dikendalikan dengan mengatur eksitasi generator. Sehingga bus ini sering juga disebut dengan PV bus.

Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah  $Q$  dan  $\delta$  (sudut beban).

### 3. Slack Bus

Slack Bus sering juga disebut dengan swing bus atau rel berayun. Adapun besaran yang diketahui dari rel ini adalah tegangan ( $V$ ) dan sudut beban ( $\delta$ ). Suatu system tenaga biasanya didesign memiliki rel ini yang dijadikan sebagai referensi yaitu besaran  $\delta = 0^0$ . Besaran yang dapat dihitung dari rel ini adalah daya aktif dan reaktif.

Secara singkat klasifikasi bus pada sistem tenaga terdapat pada Tabel 2.1 yaitu besaran yang dapat diketahui dan tidak diketahui pada bus tersebut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Bus Pada Sistem Tenaga

Jenis Bus	Besaran yang diketahui	Besaran yang tidak diketahui
Bus beban (Bus PQ)	$P, Q$	$V, \delta$
Bus Generator (Bus PV)	$P, V$	$Q, \delta$
Slack Bus	$V, \delta = 0$	$P, Q$

### 3. Metode *Newton rapshon*

System multi-bus, dalam penyelesaian aliran daya dengan metode persamaan aliran daya. Metode yang digunakan dalam penyelesaian aliran daya untuk hal ini yaitu dengan metode *Newton Raphson*.

Metode *Newton Rapshon* secara luas digunakan untuk permasalahan persamaan *non linier*. Penyelesaian persamaan ini



menggunakan permasalahan yang linear dengan solusi pendekatan. Metode ini dapat diaplikasikan untuk satu Persamaan atau beberapa Persamaan dengan beberapa variabel yang tidak diketahui. Kecepatan Relatif dari bermacam-macam metode analisis aliran beban sukar dipastikan karena ini akan berubah dari komputer yang satu ke komputer yang lain. Perlu di ketahui keefektifan suatu teknik merupakan fungsi kecepatan konvergensi, lama waktu tiap iterasi dan kepekaannya terhadap parameter - parameter rangkaian.

Metode untuk menghitung aliran daya yang terjadi adalah metode *Newton-Raphson*. Metode *Newton-Raphson* memiliki perhitungan lebih baik untuk system tenaga yang lebih besar dan tidak linier, karena lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan sedikit untuk memperoleh pemecahan berdasarkan ukuran sistem. Metode ini lebih disukai karena konvergensinya jauh lebih cepat dan persamaan aliran dayanya dirumuskan dalam bentuk polar.

Dalam bentuk matriks admitansi, dapat ditulis menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots \dots \dots (2.17)$$

Atau dalam bentuk polar menjadi :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} \delta_j \dots \dots \dots (2.18)$$

Daya kompleks di GI I adalah :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} \delta_j \dots \dots \dots (2.19)$$

Daya aktif di GI I adalah :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots(2.20)$$

Daya reaktif di GI I adalah :

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots(2.21)$$

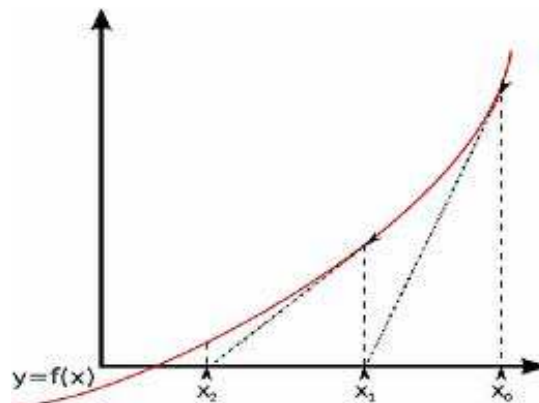
G.I. beban akan dibentuk sepasang persamaan  $P_i$  dan  $Q_i$  sedangkan untuk G.I. pembangkit akan dibentuk satu persamaan  $P_i$ . Dengan memasukkan nilai taksiran besaran tegangan  $|V|$  dan sudut fasa tegangan  $\delta$  disetiap G.I. dan memperluas persamaan (2.20) dan persamaan (2.21) ke dalam *deret Taylor* sampai orde pertama maka diperoleh persamaan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.22)$$

Elemen-elemen matriks Jacobian dihitung dengan menggunakan magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi mula-mula. Dengan menggunakan metode invers langsung maka persamaan linier (2.22) dapat dipecahkan untuk mendapatkan nilai-nilai magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan estimasi yang baru pada tiap bus (kecuali slack bus), sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.23)$$

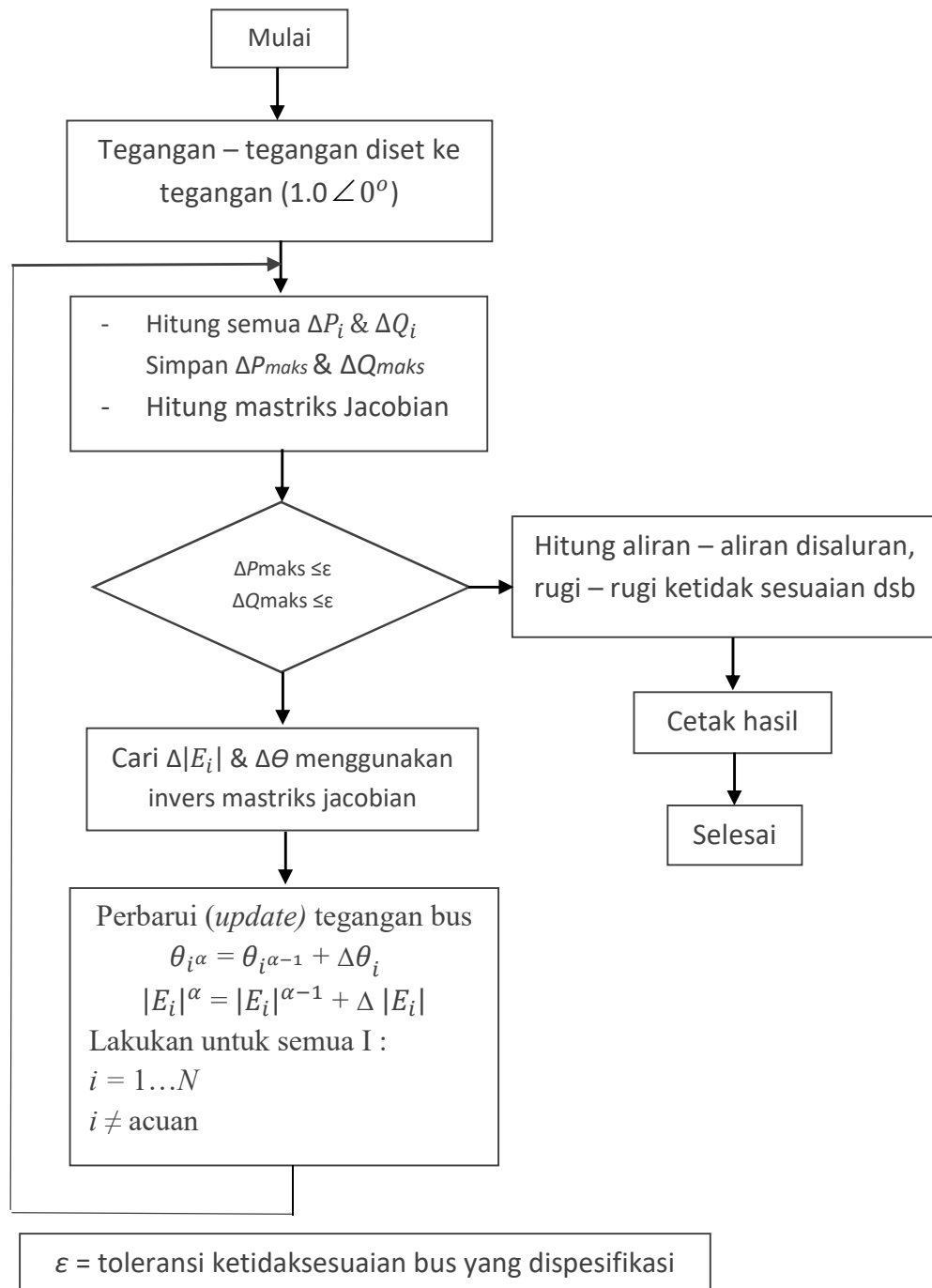
Ilustrasi Metode *Newton Rapshon* secara grafik dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Ilustrasi metode *Newton Raphson*

Gambar 2.5 dapat dilihat kurva garis melengkung diasumsikan grafik persamaan  $y = F(x)$ . Nilai  $x_0$  pada garis  $x$  merupakan nilai perkiraan awal kemudian dilakukan dengan nilai perkiraan kedua hingga perkiraan ketiga.

Prosedur perhitungan aliran daya metode iteratif *Newton Raphson* diuraikan sebagai berikut :



Gambar 2.6 Diagram alir metode Newton Raphson

Perhitungan mencapai tingkat konvergensi yang ditetapkan (*konvergen*), dari besaran tegangan  $V$  dan sudut fasa tegangan setiap G.I. yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan perhitungan aliran daya disetiap

fasilitas transmisi, besaran daya aktif P dan daya reaktif Q yang harus dibangkitkan oleh setiap pembangkit serta rugi-rugi di sistem transmisi.

### C. Standart Perfomansi Jaringan

PT PLN (Persero) dan semua pemakai jaringan harus berusaha semaksimal mungkin agar pada setiap titik sambungan, unjuk kerja berikut ini dipenuhi (Permen ESDM, 2007):

- a. Frekuensi nominal 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49,5 Hz, atau lebih tinggi dari 50,5 Hz, dan selama waktu keadaan darurat (emergency) dan gangguan, frekuensi sistem diisinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52,0 Hz sebelum unit pembangkit keluar dari operasi.
- b. Tegangan sistem harus dipertahankan dalam batasan sebagai berikut:

Tegangan Nominal	Kondisi Normal
500 kV	+5%, - 5%
150 kV	+5%, -10%
70 kV	+5%, -10%
20 kV	+5%, -10%

- c. Distorsi harmonik total maksimum pada setiap titik sambungan dalam kondisi operasi normal dan pada kondisi-kondisi keluar terencana maupun tak terencana harus memenuhi sebagai berikut:

Tegangan Nominal	Distorsi Total
500 kV	Tidak termasuk
150 kV	3%
70 kV	3%
20 kV	3%

- d. Komponen urutan negatif maksimum dari tegangan fasa dalam jaringan tidak boleh melebihi 1% pada kondisi operasi normal dan keluar terencana, serta tidak melebihi 2% selama kejadian tegangan impuls sesaat (*infrequently short duration peaks*).
- e. Fluktuasi tegangan pada suatu titik sambungan dengan beban berfluktuasi, harus tidak melebihi batasan:
1. 2% dari tingkat tegangan untuk setiap perubahan step, yang dapat terjadi berulang. Setiap kejadian ekskursi tegangan yang besar diluar perubahan step dapat diizinkan hingga 3% asalkan tidak menimbulkan resiko terhadap jaringan transmisi, atau instalasi pemakai jaringan. Kedip tegangan hingga 5% saat menjalankan motor listrik yang tidak sering terjadi dapat ditolerir.
  2. *Flicker* jangka pendek 1,0 unit dan jangka panjang 0,8 unit yang terukur dengan *flicker meter* sesuai dengan spesifikasi IEC-868.
- f. Factor daya ( $\cos \varphi$ ) di titik sambung antara pemakai jaringan dengan jaringan minimum sebesar 0,85 *lagging*.

Waktu pemutusan gangguan untuk gangguan disisi pemakai jaringan yang terhubung langsung dengan jaringan transmisi, mulai dari saat terjadinya gangguan hingga padamnya busur listrik oleh terbukanya PMT, harus kurang dari atau sama dengan:

1. 500 kV : 90 milidetik
2. 150 kV : 120 milidetik
3. 70 kV : 150 milidetik

Dalam hal terjadinya kesalahan peralatan proteksi utama pemakai jaringan, maka proteksi cadangan (*back up*) untuk gangguan dititik sambungan tegangan tinggi yang disediakan oleh pemakai jaringan, harus disetel dengan waktu pemutusan gangguan kurang dari 400 milidetik.

#### **D. Sistem Per Unit**

Saluran transmisi tenaga dioperasikan pada tingkat tegangan dimana kilovolt merupakan unit yang sangat memudahkan untuk menyatakan tegangan. Karena besarnya daya yang harus disalurkan dengan satuan kilowatt atau megawatt dan kilovolt-ampere atau megavolt-ampere adalah istila-istilah yang sudah biasa dipakai. Misalnya, sebagai tegangan dasar dipilih 120 kV, maka tegangan-tegangan sebesar 108, 120 dan 126 kV berturut-turut menjadi 0.90, 1 dan 1.05 pu. Defenisi nilai per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam decimal (Stevenson, 1984).

Apabila pada tegangan dan daya yang digunakan adalah tegangan dan daya 3 fasa, maka perhitungan nilai dasar menggunakan rumus-rumus berikut:

$$1. \text{ Arus dasar, } I = \frac{\text{dasar } kVA_{1\phi}}{\text{tegangan dasar } kV_{LN}} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$2. \text{ Impedansi dasar} = \frac{\text{tegangan dasar } V_{LN}}{\text{ arus dasar } A} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar } kV_{LN})^2 \times 1000}{\text{dasar } kVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\text{Impedansi dasar} = \frac{(\text{tegangan dasar } kV_{LN})^2}{\text{dasar } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$\text{Impedansi per-unit} = \frac{\text{Impedansi sebenarnya, } \Omega}{\text{impedansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$3. \text{ Daya dasar, } kW_{1\phi} = \text{dasar } kVA_{1\phi} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\text{Daya dasar, } MW_{1\phi} = \text{dasar } MVA_{1\phi} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\text{Daya per-unit} = \frac{\text{daya sebenarnya, } MW_{1\phi}}{\text{daya dasar, } MVA_{1\phi}} \dots\dots\dots (2.31)$$

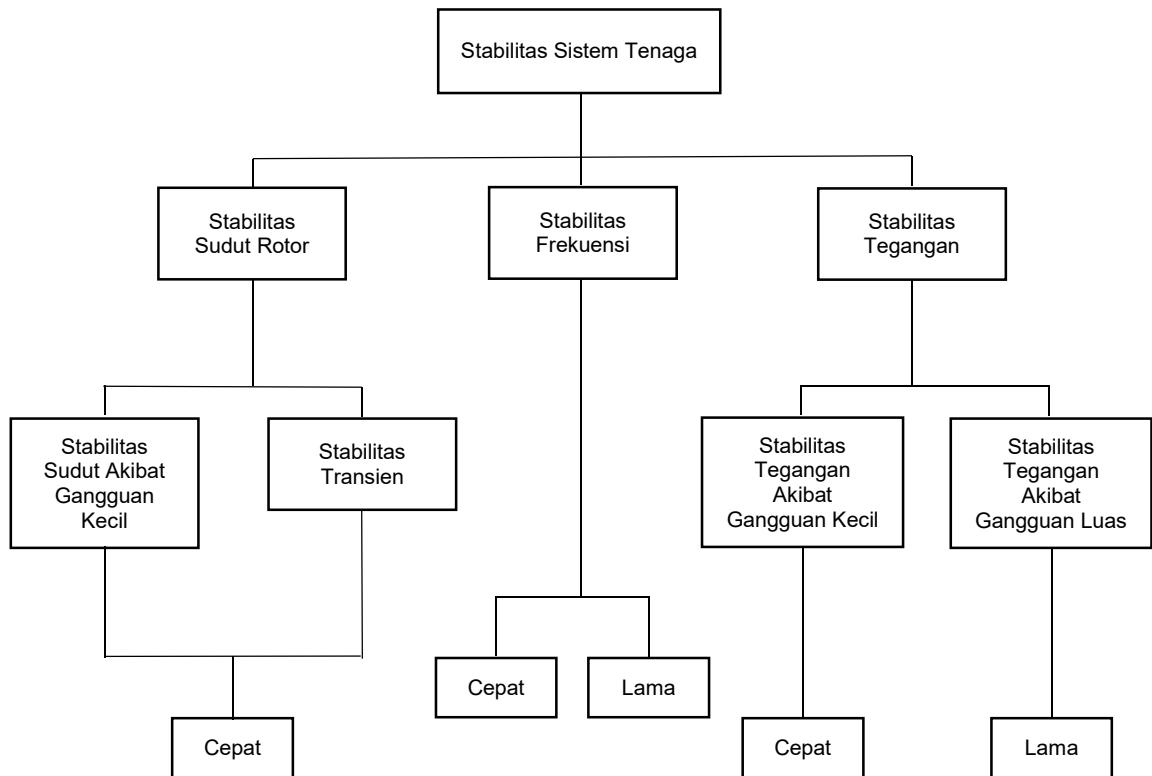
$$4. \text{ Daya tegangan per-unit} = \frac{\text{tegangan sebenarnya, } kV_{LL}}{\text{tegangan sebenarnya, } kV_{LL}} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$\text{Resistansi per-unit} = \frac{\text{resistansi sebenarnya, } \Omega}{\text{resistansi dasar, } \Omega} \dots\dots\dots (2.33)$$

## E. Analisis Kestabilan

Sistem tenaga merupakan sistem yang sangat kompleks dan terdiri dari banyak peralatan listrik yang memiliki karakteristik serta tanggapan masing – masing terhadap perubahan kondisi. Oleh karena itu perlu, perlu pengklasifikasi kestabilan sistem tenaga berdasarkan factor kontribusi yang menyebabkan ketidakstabilan. Klasifikasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut :





Gambar 2.7 Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga  
(Kundur dkk, 2004)

Gupta (1998) mendefinisikan stabilitas dari suatu sistem secara fisis adalah mengacu pada kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke posisi keseimbangan awal pada saat terjadi gangguan, atau menuju titik keseimbangan baru yang secara umum mendekati titik keseimbangan yang lama.

Selanjutnya menurut Saadat (1999), gangguan yang terjadi dapat berupa gangguan kecil atau gangguan besar yang bisa membuat sistem dalam kondisi tidak stabil. Permasalahan stabilitas sangat berhubungan dengan kelakuan dari mesin-mesin sinkron setelah terjadi gangguan. Untuk memudahkan analisis, masalah stabilitas dibagi kedalam dua katagori

yaitu: Stabilitas keadaan mantap (*Steady-State Stability*), dan stabilitas transien (*Transient Stability*) . *Steady-state stability* mengacu kepada kemampuan dari sistem tenaga listrik untuk kembali ke keadaan sinkron setelah gangguan kecil dan perlahan, seperti perubahan daya yang berangsur-angsur. Perluasan dari *steady-state stability* disebut dengan *dynamic stability*, yaitu stabilitas yang berhubungan dengan gangguan kecil yang berlangsung dalam waktu yang lama, dengan mencantumkan peralatan kontrol otomatis. Studi stabilitas transien berhubungan dengan persoalan yang memberikan pengaruh besar pada kestabilan sistem, gangguan mendadak seperti hubung singkat, lepasnya beban dari sistem secara mendadak, atau masuknya beban ke dalam sistem secara mendadak.

Studi stabilitas transien diperlukan untuk menjamin atau memastikan bahwa sistem dapat bertahan menyusul terjadinya gangguan yang besar. Karakterisasi sistem daya pada saat *steady state* sebelum terjadi gangguan akan sangat menentukan perilaku dinamis suatu sistem daya. Stimulasi gangguan pada sistem daya yang akan menyebabkan osilasi secara transient ataupun permanen akan berdampak kepada sistem secara keseluruhan. Karena itu, analisis dinamis sistem dapat membantu dalam memberikan gambaran ketangguhan suatu sistem untuk kembali kepada keadaan normal setelah terjadi gangguan, yang selanjutnya derajat kestabilan suatu sistem daya dapat ditentukan (Suyono, 2005). Analisis injeksi pembangkit pada sistem daya juga telah banyak menjadi perhatian

peneliti termasuk juga injeksi pada sistem distribusi berupa pembangkit tersebar dengan menggunakan injeksi *renewable energy* (Suyono, 2013).

### 1. Analisis Steady State

Diagram fasor fluksi dan tegangan pada mesin sinkron rotor silindris ditunjukkan pada Gambar 2.8, yang mana semua efek kejenuhan diabaikan. Fluksi medan  $F$  sebanding dengan arus medan  $I_f$  terminal stator untuk rangkaian hubung-buka  $E_i$  sebanding dengan  $I_f$  yang berada pada sumbu quadrature. Tegangan juga sebanding dengan tegangan medan yang diterapkan direferensikan sebagai  $E_f$ .

Ketika mesin sinkron dibebani, fluksi  $F$  sebanding dengan arus stator yang dihasilkan, penjumlahan secara vector fluksi  $F_1$  memberikan sebuah nilai fluksi efektif  $F_e$ . Tegangan efektif stator  $E_i$  memiliki kaitan dengan  $F_e$  dan tertinggal 90 derajat. Tegangan terminal  $V_d$  dan  $V_q$  diperoleh dari tegangan  $E_i$  melalui pertimbangan jatuh tegangan karena adanya reaktansi  $X_1$  dan resistansi jangkar  $R_a$ . Perbedaan antara  $E_f$  dan  $E_i$  adalah pada fasa dengan jatuh tegangan pada  $|X|$  dan sebanding dengan  $I$  oleh karena itu, perbedaan tegangan dapat dikatakan sebagai jatuh tegangan pada reaktansi jangkar  $X_a$ . Jumlah antara  $X_1$  dan  $X_d$  disebut reaktansi sinkron (Arrilaga, 1990):

$$X_d = X_1 + X_{ad} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$X_q = X_1 + X_{aq} \dots\dots\dots (2.35)$$

$$E_i - V_q = R_a I_q - X_d I_d \dots \dots \dots (2.36)$$

$$-V_d = R_a I_d - X_q I_q \dots \dots \dots (2.37)$$

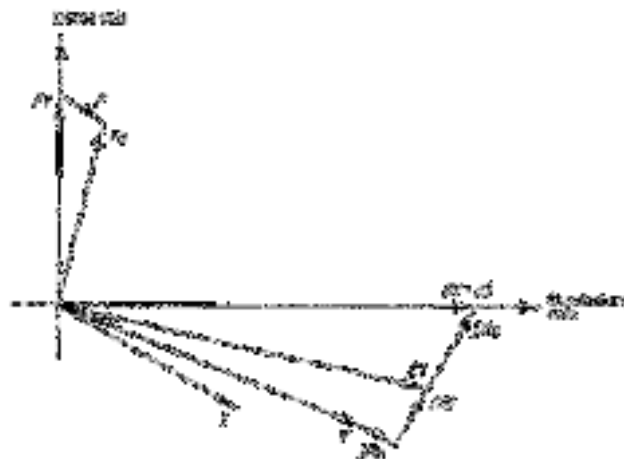
dengan :

$X_d$  = reaktansi sumbu *direct*

$X_q$  = reaktansi sumbu *quatrature*

$I_d$  = arus jangkar sumbu *direct*

$I_q$  = arus jangkar sumbu *quadrature*



Gambar 2.8 Diagram Fasor Mesin Sinkron Rotor Silindris pada Keadaan Mantap

## 2. Analisis Transien

Untuk perubahan yang lebih cepat pada kondisi eksternal mesin sinkron, model di atas tidak lagi sesuai. Karena perubahan inersia gandingan fluks tidak tercermin di dalam model tersebut. Oleh karena itu, diperlukan suatu tegangan peralihan yang baru yaitu  $E'_d$  dan  $E'_q$  yang

mewakili gandengan fluks pada kumparan rotor. Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi peralihan generator sinkron yaitu  $X'_d$  dan  $X'_q$  (Arrilaga, 1990):

$$E'_q - V_q = Ra I_q - X'_d I_d \dots \dots \dots (2.38)$$

$$E'_d - V_d = Ra I_d - X'_q I_q \dots \dots \dots (2.39)$$

dengan :

$E'_d$  = tegangan peralihan sumbu *direct*

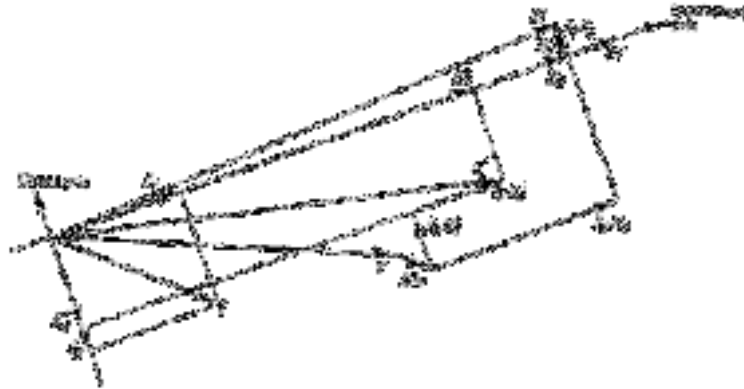
$E'_q$  = tegangan peralihan sumbu *quadrature*

$X'_d$  = reaktansi peralihan sumbu *direct*

$X'_q$  = reaktansi peralihan sumbu *quadrature*

Sekarang tegangan harus dianggap sebagai jumlah dari dua  $E'_d$  dan  $E'_q$  merupakan tagangan dibelakang reaktansi sinkron. Pada bagian sebelumnya, dimana untuk keadaan mantap, arus mengalir hanya dalam kumparan medan sehingga dalam kasus tersebut  $E'_d=0$  dan  $E_q=E_in$ .

Diagram fasor untuk operasi mesin pada kondisi peralihan ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan transien

### 3. Analisis Dinamik

Dalam kondisi sub-peralihan generator, kasus kumparan peredam (*dampers windings*) ataupun rangkaian lain yang terdapat dalam rotor, diperlukan jika pemodelan yang lebih tepat diperlukan. Reaktansi dan konstanta waktu yang dilibatkan kecil dan sering kali diabaikan. Dalam hal ini diperlukan suatu tegangan sub-peralihan yang baru yaitu  $X''_d$  dan  $X''_q$ . Tegangan peralihan ini dapat ditunjukkan melalui adanya reaktansi sub-peralihan generator sinkron yaitu  $X''_d$  dan  $X''_q$ . Jika diperlukan pengembangan dari persamaan ini identik dengan suatu kondisi sub-peralihan generator sinkron dan menghasilkan (Arillaga, 1990).

$$E''_q - V_q = Ra I_q - X''_d I_d \dots\dots\dots (2.40)$$

$$E''_d - V_d = Ra I_d - X''_q I_q \dots\dots\dots (2.41)$$

dengan :

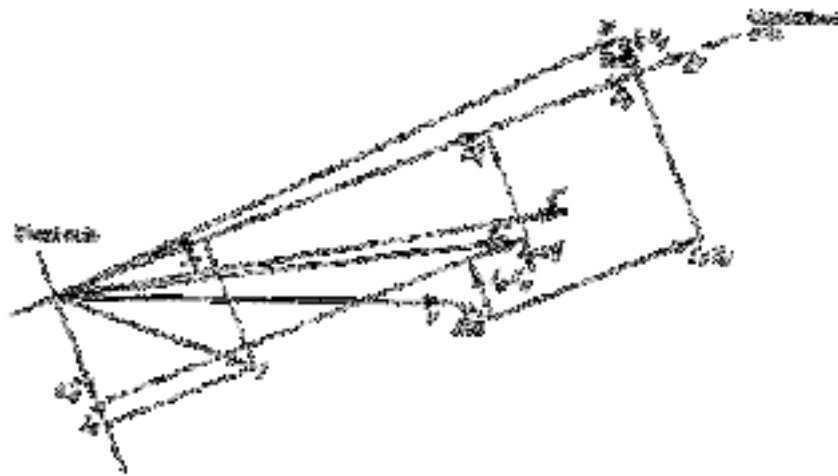
$E''_d$  = tegangan sub-peralihan sumbu *direct*

$E''_q$  = tegangan sub-peralihan sumbu *quadrature*

$X''_d$  = reaktansi sub-peralihan sumbu *direct*

$X''_q$  = reaktansi sub-peralihan sumbu *quadrature*

Persamaan tersebut dikembangkan dengan sebuah asumsi bahwa konstanta waktu peralihan lebih besar jika dibandingkan dengan konstanta waktu sub-peralihan. Diagram fasor dari mesin sinkron pada kondisi sub-peralihan ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram fasor mesin sinkron pada keadaan dinamik

## F. Stabilitas Frekuensi

Stabilitas frekuensi merupakan suatu kemampuan sistem daya untuk menjaga frekuensi tetap stabil dalam kisaran nominal (Grigsby. 2007). Hal itu tergantung pada kemampuan untuk mengembalikan keseimbangan

antara sistem generator dan beban, dengan rugi-rugi minimal pada beban. Gangguan sistem yang parah umumnya mengakibatkan perubahan besar terhadap frekuensi, arus aliran daya, tegangan, dan variabel sistem lainnya, sehingga memerlukan tindakan proses, kontrol, dan proteksi yang tidak dimodelkan dalam stabilitas yang konvensional atau studi stabilitas tegangan. Umumnya, masalah stabilitas frekuensi berkaitan dengan ketidakmampuan tanggapan peralatan, koordinasi yang buruk dalam kontrol dan peralatan proteksi, atau cadangan generator / pembangkit tidak mencukupi.

Selama ketidakstabilan frekuensi, waktu karakteristik proses dan perangkat yang diaktifkan oleh pergeseran besar frekuensi dan variabel sistem lainnya akan berkisar pada hitungan detik, sesuai dengan tanggapan dari perangkat seperti kontrol dan proteksi generator, hingga beberapa menit, sesuai dengan tanggapan perangkat seperti sistem penggerak utama pemasok daya dan regulator tegangan beban. Meskipun stabilitas frekuensi dipengaruhi oleh dinamika yang lambat, kerangka waktu keseluruhan meluas hingga beberapa menit. Mode elektromekanis yang melibatkan waktu ini biasanya terjadi pada kisaran frekuensi 0,1-2 Hz. Mode antar wilayah biasanya dikaitkan dengan kelompok mesin yang berayun relatif terhadap kelompok lain melintasi jalur transmisi yang relatif lemah. Mode elektromekanis frekuensi yang lebih tinggi (1-2 Hz) biasanya melibatkan satu atau dua generator yang berayun terhadap seluruh sistem daya atau mesin listrik yang berayun satu sama lain.



## G. Stabilitas Tegangan

Stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan suatu sistem daya untuk menjaga tegangan tetap stabil pada semua bus dalam sistem pada kondisi operasi normal dan setelah terjadi gangguan (*IEEE-CIGRE, 2004*). Ketidakstabilan yang terjadi akan mengakibatkan tegangan turun atau tegangan naik pada beberapa bus. Akibat yang mungkin timbul dari ketidakstabilan tegangan adalah hilangnya beban di daerah dimana tegangan mencapai nilai rendah yang tidak dapat diterima atau hilangnya integritas sistem daya. Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan biasanya jatuh tegangan yang terjadi ketika aliran daya aktif dan reaktif melalui reaktansi induktif yang terkait dengan jaringan transmisi, dimana hal ini membatasi kemampuan jaringan transmisi untuk mentransfer daya.

Sebuah sistem tegangan tidak stabil jika, setidaknya satu bus dalam sistem, besaran tegangan bus ( $V$ ) menurun karena injeksi daya reaktif ( $Q$ ) di bus yang sama meningkat. Dengan kata lain, sistem tegangan stabil jika sensitivitas  $V$ - $Q$  positif untuk setiap bus dan tegangan tidak stabil jika sensitivitas  $V$ - $Q$  negative untuk setidaknya satu bus. Penurunan progresif tegangan dalam bus juga dapat dikaitkan dengan sudut rotor akan akan lepas sinkron. Misalnya, lepasnya sudut rotor mesin sinkron antara dua kelompok mesin atau melebihi  $180^\circ$ , akan menghasilkan tegangan tegangan yang sangat rendah di dalam jaringan. Sebaliknya, jenis penurunan tegangan berkelanjutan yang berhubungan dengan

ketidakstabilan tegangan terjadi di mana stabilitas sudut rotor tidak masalah (Kundur, 1994).

Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi dalam beberapa cara berbeda. Dalam bentuk sederhana dapat diilustrasikan dengan mempertimbangkan jaringan dua terminal Gambar 2.11. Ini terdiri dari sumber tegangan konstan ( $\tilde{E}_s$ ) memasok beban ( $Z_{LD}$ ) melalui impedansi seri ( $Z_{LN}$ ). Gambar 2.10 merupakan contoh sederhana daerah beban yang dilayani oleh sistem besar melalui saluran transmisi.



Gambar 2.11 Sebuah sistem radial sederhana untuk ilustrasi fenomena stabilitas tegangan

Dari gambar 2.11 arus  $\tilde{I}$  dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut :

$$\tilde{I} = \frac{\tilde{E}_s}{Z_{LN} + Z_{LD}} \dots \dots \dots (2.42)$$

Dimana,

$\tilde{I}$  dan  $\tilde{E}$  = fasor

$$\tilde{Z}_{LN} = Z_{LN} \angle \theta, \tilde{Z}_{LD} = Z_{LD} \angle \phi$$

Besarnya arus yang diberikan adalah :

$$I = \frac{E_s}{\sqrt{(Z_{LN} \cos \theta + Z_{LD} \cos \phi)^2 + (Z_{LN} \sin \theta + Z_{LD} \sin \phi)^2}} \dots \dots \dots (2.43)$$

Hal ini dapat dinyatakan sebagai

$$I = \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{E_s}{Z_{LN}} \dots \dots \dots (2.44)$$

dimana,

$$F = 1 + \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right)^2 + 2\left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right) \cos (\theta - \phi)$$

besarnya tegangan penerima diberikan oleh

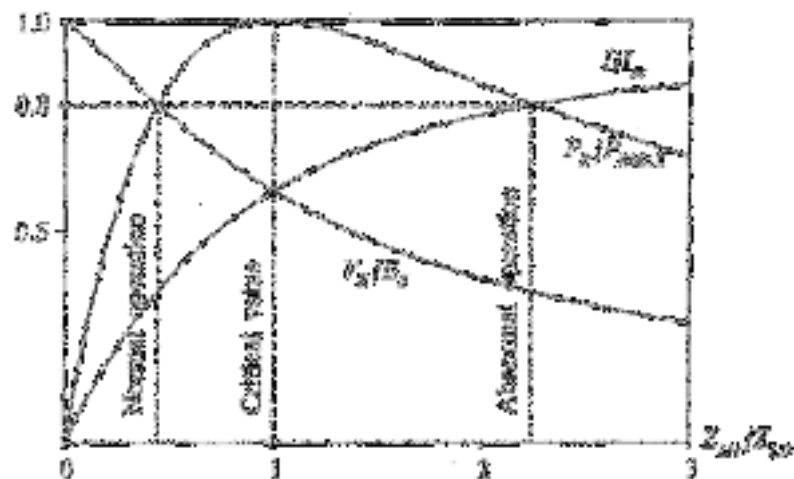
$$\begin{aligned} V_R &= Z_{LD} I \\ &= \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} E_s \dots \dots \dots (2.45) \end{aligned}$$

Daya yang disuplai ke beban

$$\begin{aligned} P_R &= V_R I \cos \phi \\ &= \frac{Z_{LD}}{F} \left(\frac{E_s}{Z_{LN}}\right)^2 \cos \phi \dots \dots \dots (2.46) \end{aligned}$$

Ilustrasi I,  $V_R$  dan  $P_R$  ditunjukkan pada Gambar 2.12 sebagai fungsi dari  $Z_{LN} / Z_{LD}$ , untuk kasus dengan  $\tan \theta = 10,0$  dan  $\cos \phi = 0,95$ . Untuk membuat hasil yang berlaku pada nilai  $Z_{LN}$ , nilai I,  $V_R$  dan  $P_R$  yang tepat dinormalisasi.

Sebagai permintaan beban meningkat dengan mengurangi  $Z_{LD}$ ,  $P_R$  meningkat pesat pada awalnya dan kemudian perlahan-lahan sebelum mencapai maksimum, setelah itu menurun. Jadi ada nilai maksimum yang dapat ditularkan melalui impedansi dari sumber tegangan konstan.

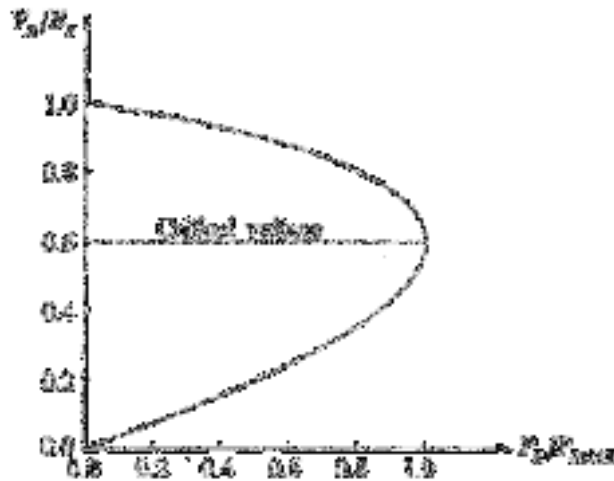


Gambar. 2.12 Tegangan sisi terima, arus dan daya fungsi beban

$$(I_{SC} = E_s/Z_{LN}; \cos \phi = 0,95 \text{ lag}; \tan \theta = 10,0)$$

Ketika daya yang ditransmisikan maksimum penurunan tegangan sama besarnya dengan  $V_R$ , yaitu ketika  $Z_{LN} / Z_{LD} = 1$ . Seperti  $Z_{LD}$  menurun secara bertahap,  $I$  meningkat dan  $V_R$  menurun. Awalnya, pada nilai  $Z_{LD}$  yang tinggi, peningkatan  $I$  mendominasi penurunan  $V_R$ , dan karena  $P_R$  meningkat pesat dengan penurunan  $Z_{LD}$ . Ketika  $Z_{LD}$  mendekati  $Z_{LN}$ , efek penurunan  $I$  hanya sedikit lebih besar dari penurunan  $V_R$ . Ketika  $Z_{LD}$  kurang dari  $Z_{LN}$ , penurunan  $V_R$  mendominasi peningkatan  $I$ , dan efek perbaikannya adalah penurunan  $P_R$ .

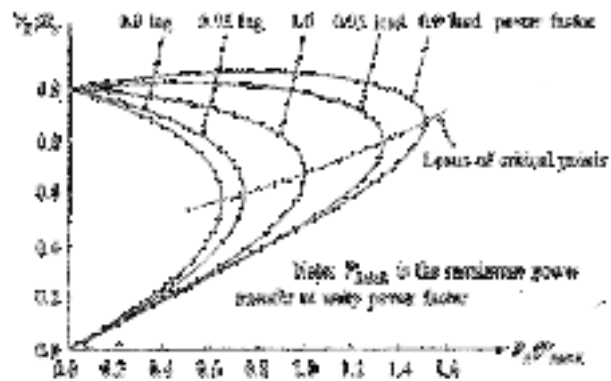
Dari sudut pandang stabilitas tegangan, hubungan antara  $P_R$  dan  $V_R$  yang menarik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.13, untuk sistem yang dipertimbangkan ketika faktor daya beban sama dengan 0,95 Lag.



Gambar 2.13 Karakteristik tegangan fungsi daya pada sistem

$$(\cos \phi = 0,95 \text{ lag; } \tan \theta = 10,0)$$

Dari Persamaan (2.34) dan Persamaan (2.35), kita melihat bahwa faktor daya beban memiliki dampak yang signifikan terhadap karakteristik tegangan pada sistem. Hal ini karena *drop* tegangan di saluran transmisi adalah fungsi transfer daya aktif serta reaktif. Stabilitas tegangan, pada kenyataanya, tergantung pada hubungan antara  $P$ ,  $Q$  dan  $V$ . Bentuk-bentuk tradisional menampilkan hubungan ini ditunjukkan pada Gambar 2.14 dan Gambar 2.15.

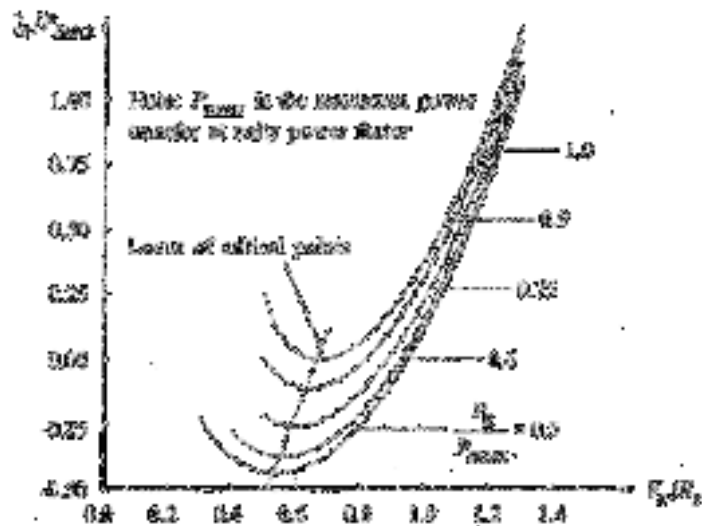


Gambar. 2.14 Karakteristik  $V_R - P_R$  dari sistem dengan factor daya beban yang berbeda

Dari Gambar 2.14 menunjukkan, untuk sistem daya Gambar 2.11, kurva hubungan  $V_R - P_R$  untuk nilai yang berbeda dari faktor daya beban. Tempat titik-titik operasi kritis ditunjukkan oleh garis putus-putus pada gambar. Biasanya, hanya poin operasi di atas titik kritis merupakan kondisi operasi yang memuaskan. Penurunan faktor daya tiba-tiba (peningkatan  $Q_R$ ) sehingga dapat menyebabkan sistem berubah dari kondisi operasi yang stabil, ke kondisi operasi yang memuaskan, dan mungkin tidak stabil yang diwakili oleh bagian bawah kurva  $V_P$ .

Karakteristik pengaruh daya reaktif dari perangkat di ujung penerima (beban dan perangkat kompensasi) lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.15. ini menunjukkan kurva sistem daya untuk Gambar 2.11, yang masing-masing mewakili hubungan antara  $V_R$  dan  $Q_R$  untuk nilai  $P_R$  tetap. Sistem ini stabil di mana daerah turunan  $dQ_R/dV_R$  adalah positif. Batas stabilitas tegangan (titik operasi kritis) tercapai bila nilai turunan adalah nol. Jadi bagian dari kurva  $QV$  sebelah kanan minimal mewakili operasi yang stabil, dan bagian-bagian di sebelah kiri mewakili operasi tidak stabil. Operasi

yang stabil di daerah dimana  $dQ_R/dV_R$  negatif dapat dicapai hanya dengan kompensasi daya reaktif diatur memiliki rentang kendali yang cukup dan gain Q/V tinggi dengan polaritas yang berlawanan dengan yang normal.



Gambar. 2.15 Karakteristik  $V_R-V_Q$  dari sistem dengan rasio  $P_R/P_{RMAX}$  berbeda

### H. Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan

Pada prinsip dasar dalam dinamika yang menyatakan bahwa momen-putar percepatan (*accelerating torque*) adalah hasil-kali dari momen-kelambanan (*moment of inertia*) rotor dan percepatan sudutnya. Dalam sistem unit-unit MKS, dan untuk generator serempak, persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk

$$J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad N - M \dots\dots\dots (2.47)$$

dengan :

$J$  : momen-kelembanan total dari massa rotor, dalam  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

$\theta_m$  : pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (*stationary*), dalam radian mekanis.

$t$  : waktu, dalam detik

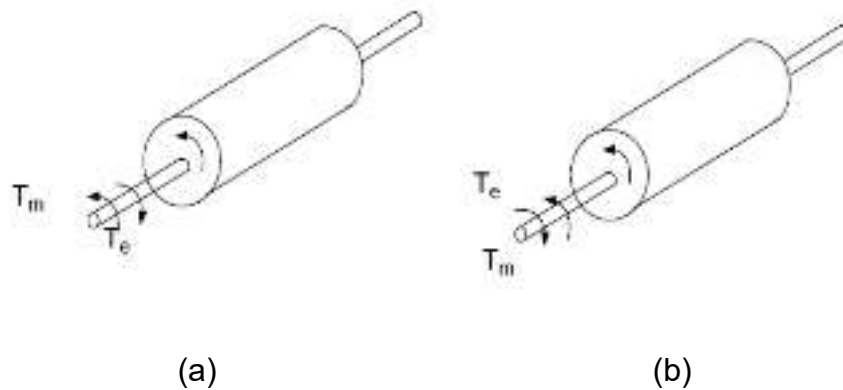
$T_M$  : momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak-mula dikurangi dengan momen-putar perlambatan (*retarding*) yang disebabkan oleh rugi – rugi perputaran, dalam N-m.

$T_e$  : momen putar listrik atau elektromagnetis bersih, dalam N-m

$T_a$  : momen-putar percepatan bersih, dalam N-m

Momen putar mekanis  $T_m$  dan momen putar listrik  $T_e$  dianggap positif untuk generator serempak. Ini berarti bahwa  $\theta_m$  adalah resultan momen putar poros yang mempunyai kecenderungan untuk mempercepat rotor dalam arah perputaran  $\theta_m$  yang positif seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.16a. Dalam motor serempak arah aliran daya adalah berlawanan dengan arah pada generator. Karena itu, untuk suatu motor baik  $T_m$  maupun  $T_e$  akan terbalik tandanya seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.16b.





(a) (b)  
 Gambar. 2.16 Representasi suatu rotor mesin yang membandingkan arah putaran serta momen putar mekanis dan listrik untuk (a) generator dan (b) motor

Karena  $\theta_m$  diukur terhadap suatu sumbu pedoman yang diam pada stator, maka  $\theta_m$  adalah suatu ukuran yang absolute dari sudut rotor. Karena itu pula,  $\theta_m$  akan terus bertambah dengan waktu, bahkan juga pada kecepatan serempak yang konstan.

$$\theta_m = \omega_{sm}t + \delta_m \dots\dots\dots (2.48)$$

dengan :

$\omega_{sm}$  : kecepatan serempak mesin dalam radian mekanis/detik

$\delta_m$  : pergeseran sudut rotor dalam radian mekanis

turunan – turunan (derivatives) persamaan terhadap waktu adalah

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \dots\dots\dots (2.49)$$

dan

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \dots\dots\dots (2.50)$$

Persamaan (2.44) menunjukkan bahwa kecepatan sudut rotor  $d\theta_m/dt$  adalah konstan dan sama dengan kecepatan serempak hanya bila  $d\delta_m/dt$  sama dengan nol. Karena itu,  $d\delta_m/dt$  adalah penyimpangan kecepatan rotor dari keadaan serempak dalam radian mekanis per detik. Persamaan (2.45) percepatan rotor yang diukur dalam radian mekanis per detik pangkat dua. Dengan memasukkan Persamaan (2.45) di peroleh :

$$J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad N - m \dots\dots\dots (2.51)$$

Untuk mempermudah notasi kecepatan sudut dari rotor kita diperkenalkan

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} \dots\dots\dots (2.52)$$

Dinamika dasar bahwa daya sama dengan momen-putar kali kecepatan sudut dan karena itu, dengan mengalikan persamaan (2.46) dengan  $\omega_m$ , kita peroleh

$$J \omega_m \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad W \dots\dots\dots (2.53)$$

dengan:

$P_m$  : masukan daya poros ke mesin dikurangi dengan rugi-rugi perputaran

$P_e$  : daya listrik pada celah udara

$P_a$  : daya percepatan yang menjelaskan ketidakseimbangan antara daya  $P_m$  dan  $P_e$

Koefisien  $m$  adalah momen sudut (*angular momentum*) rotor; pada kecepatan serempak  $\omega_{sm}$  momen ini dinyatakan dengan  $M$  dan disebut konstanta kelambanan (*inertia constant*) dari mesin. Dengan meneliti unit-unit pada masing-masing suku persamaan (2.28) didapatkan bahwa  $M$  dinyatakan dalam joule-detik per radian mekanis dan kita peroleh :

$$M \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad W \dots\dots\dots (2.54)$$

Dalam data mesin yang diberikan untuk keperluan studi kestabilan, suatu konstanta lagi yang ada hubungannya dengan kelambanan sangat sering kita jumpai. Konstanta ini dinamakan konstanta  $H$  yang didefinisikan sebagai

$$H = \frac{\text{daya kinetis yang disimpan dalam megajoule pada kecepatan serempak}}{\text{rating mesin dalam MVA}}$$

dan

$$H = \frac{1/2 J \omega_{sm}^2}{S_{mach}} = \frac{1/2 M \omega_{sm}}{S_{mach}} \text{ MJ/MVA} \dots\dots\dots (2.55)$$

dengan

$S_{mach}$  : rating tiga fasa mesin dalam MVA

Dengan menyelesaikan untuk  $M$  pada persamaan (2.48) kita dapatkan

$$M = \frac{2H}{\omega_{sm}} S_{mach} \text{ MJ/radian mekanis} \dots\dots\dots (2.56)$$

dan dengan memasukan persamaan (2.49) kedalam persamaan (2.47) diperoleh

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = \frac{P_a}{S_{mach}} = \frac{P_m - P_e}{S_{mach}} \dots\dots\dots (2.57)$$

Pembilang  $\delta_m$  pada Persamaan (2.49), dinyatakan dalam radian mekanis sedangkan  $\omega_{sm}$  pada penyebut dinyatakan dalam radian mekanis per detik. Karena itu, Persamaan itu dapat ditulis

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \text{ per satuan} \dots\dots\dots (2.58)$$

jika  $\delta$  maupun  $\omega_s$  mempunyai satuan-satuan yang tetap (*consistent*), yang mungkin dalam derajat mekanis atau listrik maupun radian. H dan t mempunyai satuan-satuan yang tetap karena megajoule per megavoltampere adalah dalam satuan waktu dalam detik dan  $P_a$ ,  $P_m$ , dan  $P_e$  harus dalam per satuan dengan dasar yang sama seperti untuk H. Bila subskrip m dihubungkan pada  $\omega$ ,  $\omega_s$  dan  $\delta$  dan itu berarti bahwa yang digunakan ialah satuan-satuan mekanis; jika tidak demikian maka yang dimaksudkan ialah satuan-satuan listrik. Dengan demikian,  $\omega_s$  adalah kecepatan serempak dalam satuan-satuan listrik. Untuk suatu sistem dengan frekuensi sebesar f (*hertz*), Persamaan (2.41) menjadi:

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \text{ per satuan} \dots\dots\dots (2.59)$$

Bila  $\delta$  dinyatakan dalam radian listrik, sedangkan

$$\frac{H}{180f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \text{ per satuan} \dots\dots\dots (2.60)$$

Persamaan (2.51), yang disebut persamaan ayunan mesin, adalah persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) perputaran dari mesin serempak dalam studi kestabilan. Persamaan tersebut adalah suatu persamaan diferensial orde-kedua yang dapat dituliskan sebagai dua buah persamaan-persamaan diferensial orde pertama

$$\frac{H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \text{ per satuan} \dots\dots\dots (2.61)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \omega - \omega_s \dots\dots\dots (2.62)$$

dimana  $\omega$ ,  $\omega_s$  dan  $\delta$  adalah menyangkut radian listrik atau derajat listrik.

### I. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan antara lain :

1. Y.C.Su, S.J. Cheng, J.Y. Wen dan J. Zhang, IEEE 2007. “ **Power System Dynamic Stability Analysis and Stability Type Discrimination**” Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC '06. Proceedings of the 41st International. (Analisis Stabilitas dinamik dengan menggunakan metode analisis sinyal kecil).
2. Dwi Indra Kusuma, Hadi Suyono dan Mahfudz Shidiq. 2013. “**Analisis Kondisi Steady-State dan Dinamik pada Sistem Kelistrikan PT.Badak NGL Bontang, Kalimantan Timur**” Jurnal

TEUB, Vol. 1, No. 2, 2013. ( Analisis stabilitas sistem daya pada sistem kelistrikan di PT. Badak NGL saat kondisi *captive* maupun kondisi interkoneksi terhadap gangguan 3 fasa pada bus generator. Analisis stabilitas ini bertujuan untuk mengetahui performa sudut rotor dan frekuensi generator sebelum, selama, dan setelah terjadi gangguan).

3. Zhengjun Bi dan Changzheng Gao, 2014. "**Power System Dynamic Voltage Stability Analysis Considering Wind Power**" Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC), 2014 IEEE 12th International Conference on. ( Analisis dampak Pembangkit Listrik Tenaga Angin terhadap stabilitas tegangan pada sistem tenaga mempertimbangkan kondisi operasi yang berbeda)
4. Li Wang, Quang-Son Vo dan Anton Prokhorov , 2016. "**Dynamic Stability Analysis of a Hybrid Wave and Photovoltaic Power Generation System Integrated into a Distribution Power Grid**". IEEE Transactions on Sustainable Energy, Volume: PP, Issue: 99, 26 August 2016. (Mengevaluasi stabilitas dinamis sistem hybrid pembangkit listrik *Wave* dan *Photovoltaic* yang terintegrasi kedalam jaringan distribusi).
5. Indar Chaerah Gunadin, Sri Mawar Said, Muhammad Irsan, Jurnal, 2016. "**DETERMINATION OF STABILITY INDEX OF ELECTRICAL POWER SYSTEM USING REI-DIMO METHODS**" JATIT, Vol.90. No.3, Agustus 2016. (analisis penentuan indek stabilitas sistem

tenaga listrik ditinjau dari stabilitas *steady state* menggunakan metode *Rei-Dimo*).

Pada penelitian ini mengembangkan penelitian sebelumnya yaitu menganalisis *Steady State* dan Dinamik saat masuknya rencana pengembangan sarana kelistrikan tahun 2017 di RUPTL 2016-2017 pada sistem interkoneksi SULSELBAR.

## J. Kerangka Pikir

### PROBLEM

Dampak Masuknya pembangkit *Renewable Energy*  
Pada Sistem Interkoneksi SULSELBAR



### TARGET IMPLEMENTASI

*Steady State* dan Dinamik



### OLAH DATA

Analisis tentang sistem kondisi *steady state* dan kestabilan dinamik dilakukan untuk mengetahui stabilitas sudut rotor, frekuensi, dan kestabilan tegangan setelah terjadi gangguan pada kondisi sebelum dan sesudah injeksi pembangkit *Renewable Energy* pada sistem Interkoneksi SULSELBAR.



### HASIL

Analisis sebelum dan sesudah injeksi ke sistem dibandingkan, sehingga diketahui kestabilan suatu sistem sebelum dan sesudah diinjeksikan pembangkit *Renewable Energy* pada sistem Interkoneksi SULSELBAR

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Tahapan Penelitian

##### 1. Waktu dan tempat penelitian

Waktu penelitian akan dilaksanakan selama 7 bulan dimulai dari Desember 2016 hingga April 2017 dan bertempat di Laboratorium *Power System Stability and Control – Research Group* (PSSC-RG) Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

##### 2. Jenis penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bersifat analisis sehingga dari ruang lingkup masalah dapat dilakukan dengan metode studi pustaka (*library research*), metode pengumpulan data (*field research*) dan analisis.

##### 3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data terdiri dari pengumpulan data primer dan pengumpulan data sekunder:

###### a. Data Primer

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kelistrikan system interkoneksi Sulawesi Selatan dan Barat (SULSELBAR).

###### b. Data Sekunder

Dalam metode ini dilakukan pencarian sebanyak mungkin literature yang ada, baik dari buku, jurnal maupun internet.



#### 4. Parameter Ukur

Parameter ukur yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu data bus, pembangkitan beserta parameter mesinnya, beban dan saluran pada system kelistrikan interkoneksi SULSELBAR pada beban puncak jam 19.30 tanggal 18 November 2016.

#### 5. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a. Software :

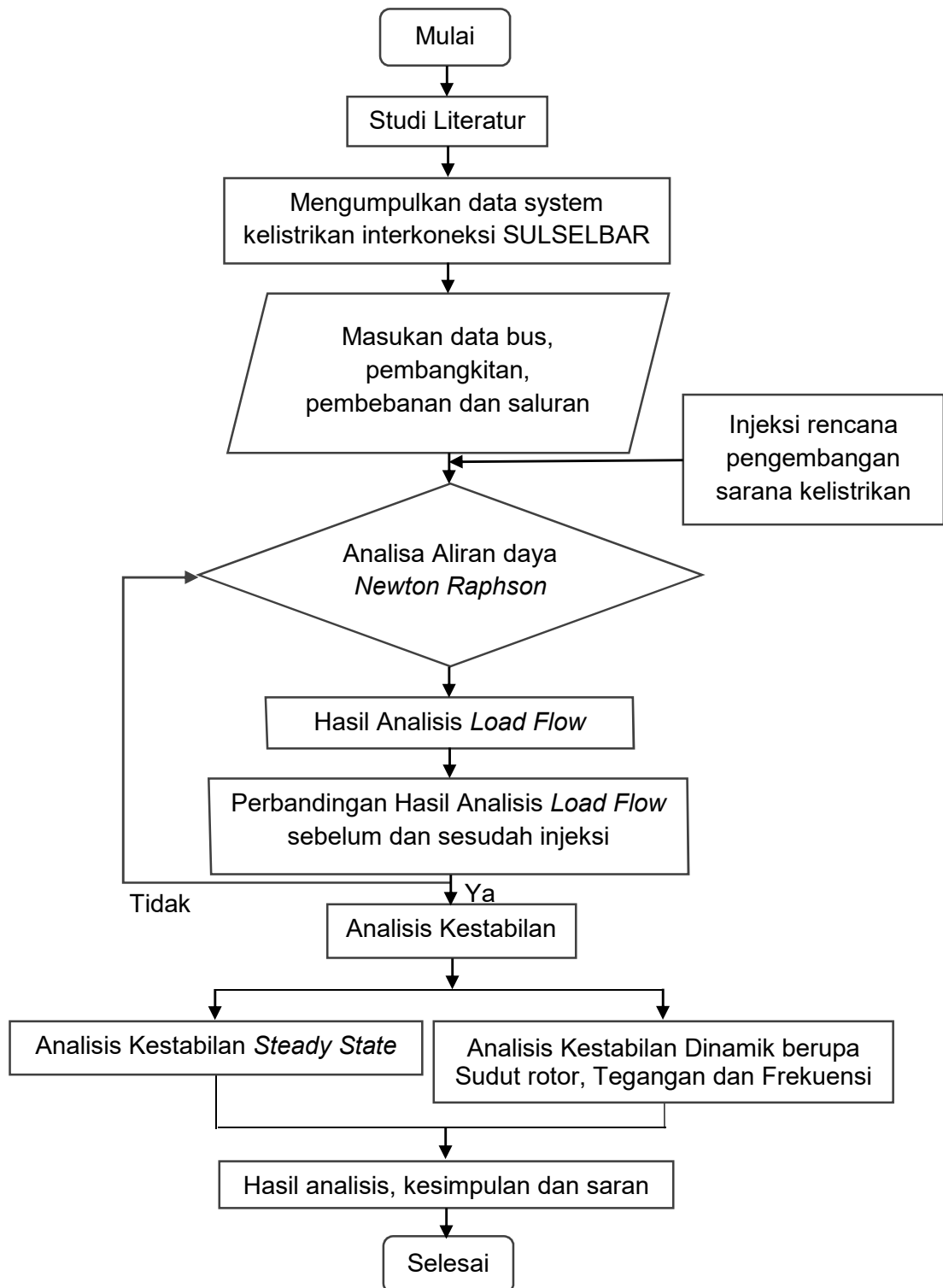
- Windows 10
- Aplikasi MATLAB 2014a dan *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) 2.1.10 yang terintegrasi pada MATLAB 2014a.

b. Hardware :

- Laptop MSI *Processor Core i7*
- Hardisk 1 TB HDD
- RAM DDR3 16 GB
- 64-bit, *x64-based processor*

#### B. Perancangan Penelitian

Perancangan untuk menyelesaikan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alur Rancangan Penelitian

### C. Teknik Validasi Data

Validasi data dilakukan dengan 4 teknik yaitu :

1. Terhadap ahli dan praktisi dilakukan melalui diskusi intensif terhadap teori – teori yang berhubungan dengan judul penelitian.
2. Pengumpulan teori – teori yang berhubungan dengan penelitian.
3. Menelaah teori – teori yang berhubungan dengan penelitian dengan relevan. dan
4. Menggunakan pengalaman atau intuisi peneliti sendiri

### D. Teknik Analisis Validasi Data

Dari hasil validasi tersebut, selanjutnya dianalisis dengan cara mensimulasikan data – data yang sudah diperoleh dalam metode *Newton Raphson* sehingga didapatkan nilai aliran daya system, kemudian di injeksi rencana pengembangan sarana kelistrikan pada system dan dilihat perbandingan hasil aliran daya sebelum dan sesudah injeksi. Setelah mendapatkan perbandingan aliran daya, kemudian dilanjutkan analisis tentang *steady state* dan dinamik, hasil dari analisis *steady state* dan dinamik dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dalam rancangan pengembangan sistem ketenagalistrikan dimasa yang akan datang.

Secara keseluruhan proses dan prosedur penelitian ini terlihat pada Gambar 3.1 diagram alur rancangan penelitian.

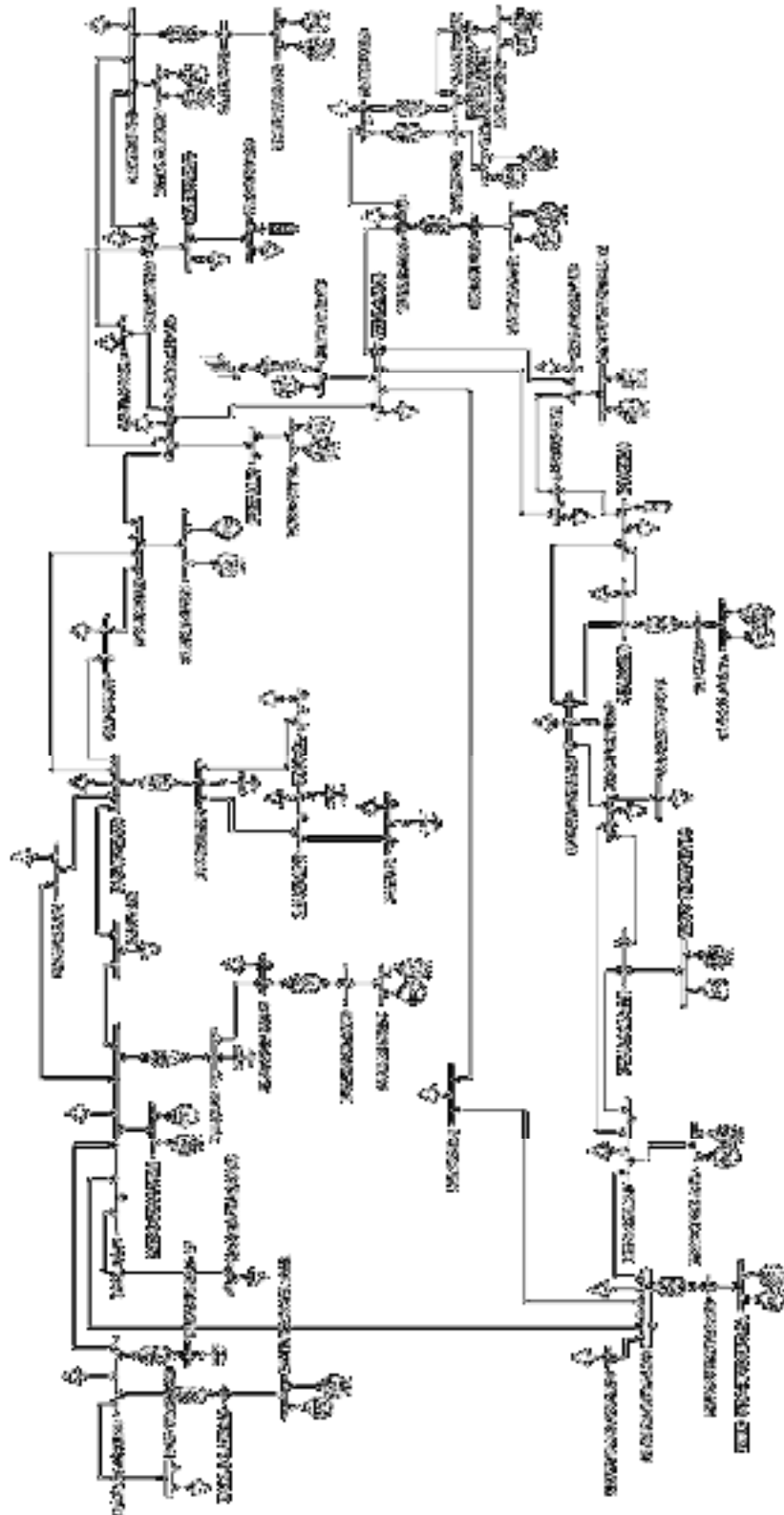
## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISIS

Sesuai dengan kerangka konsep penelitian, adanya penambahan pembangkit *Renewable Energy* dan proyeksi pertumbuhan beban 10% pertahun pada sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR (Sulawesi Selatan dan Barat) dengan kapasitas 70 MW. Pembangkit baru ini akan diinjeksikan ke sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR. Injeksi tersebut dapat untuk memperbaiki profil tegangan, profil tegangan pada sistem sebelum adanya injeksi daya pembangkit baru dapat diketahui dengan melakukan analisis aliran daya.

Melakukan analisis aliran daya dibutuhkan data sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR yang dituangkan pada Tabel 4.1 adalah data bus beban puncak 18.30 WITA, 18 November 2016, kemudian membandingkan hasil simulasi sebelum dan setelah di injeksi penambahan pembangkit *Renewable Energy* sehingga bisa dijadikan sebagai bahan referensi untuk penelitian dimasa yang akan datang.

### A. Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR



Gambar 4.1 *Single Line* Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR

Dalam simulasi stabilitas *Steady State* dan *Dynamic* terhadap sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR menggunakan data beban puncak pukul 18.30 WITA pada tanggal 18 November 2016

Sistem kelistrikan SULSELBAR terdiri dari 64 bus, 32 bus Beban, 15 Pembangkitan, 59 Saluran Transmisi dan 12 *Transformers*.

Tabel 4.1 Data Bus Beban Puncak 18.30 WITA

No Bus	Nama Bus	Kode Bus	Beban		Generator	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	BAKARU150	0	3.500	2.170		
2	BAKARU20	0				
3	BALUSU150	0				
4	BANTAENG NEW	0	8.200	5.084		
5	BARAWAJA30	0				
6	BARRU150	0	10.060	6.237		
7	BONE150	0	32.100	-9.510		
8	BONTOALA150	0	26.500	13.966		
9	BORONGLOE20	0				
10	BORONGLOE70	0	11.400	7.068		
11	BOSOWA150	0	33.120	20.535		
12	BULUKUMBA150	0	27.100	-12.762		
13	DAYA70	0	24.500	-2.968		
14	JENEPONTO150	0	17.400	10.788		
15	KIMA150	0	18.000	11.160		
16	LATUPA275	0				
17	MAJENE150	0	11.100	6.882		
18	MAKALE150	0	11.900	7.378		
19	MAKALE20	0				
20	MAMUJU150	0	21.800	-3.977		
21	MANDAI70	0	24.300	-13.616		
22	MAROS150	0	18.600	11.532		
23	PALOPO150	0	49.200	30.504		
24	PALOPO20	0				
25	PAMONA275	0				
26	PANAKUKANG150	0	68.300	42.346		
27	PANGKEP150	0	22.100	13.702		
28	PANGKEP70	0				

Lanjutan Tabel 4.1

29	PAREPARE150	0	18.700	11.594		
30	PINRANG150	0	24.500	15.190		
31	PLTA BAKARU	2			63.000	17.058
32	PLTA BILIBILI	2			5.200	-1.822
33	PLTA MALEA	2			8.195	19.752
34	PLTA POSO	2			195.000	40.129
35	PLTA TANGKA	2			4.000	6.339
36	PLTD MASAMBA	2			4.000	27.992
37	PLTD SUNGGUMINASA	2			20.000	1.834
38	PLTD SUPPA	2			31.100	53.980
39	PLTD TALLASA	2			79.000	45.507
40	PLTD TALLO LAMA	2			12.600	-5.818
41	PLTG GE2/SWD1	2			21.000	8.619
42	PLTM BUNGIN	2			2.940	-0.113
43	PLTU BARRU	2			60.360	46.673
44	PLTU JENEPONTO	2			196.090	-12.337
45	PLTGU SENGKANG	1			122.822	41.753
46	POLMAS150	0	17.100	10.602		
47	PUNAGAYA150	0				
48	SENGKANG 150	0	28.400	17.608		
49	SIDRAP150	0	26.500	16.430		
50	SINJAI150	0	21.900	13.578		
51	SINJAI20	0				
52	SOPPENG150	0	14.100	8.742		
53	SUNGGUMINASA150	0	15.700	9.734		
54	SUNGGUMINASA20	0				
55	SUPPA150	0				
56	TALLASA150	0	20.600	12.772		
57	TALLO LAMA 70	0				
58	TALLO LAMA150	0	19.700	12.214		
59	TALLO LAMA20	0				
60	TANJUNG BUNGA150	0	55.200	34.224		
61	TELLO150	0	63.300	39.246		
62	TELLO30	0				
63	TELLO70	0				
64	TONASA	0	18.900	11.718		

## B. Analisis Data Sistem Kelistrikan SULSELBAR

Data – data yang didapatkan pada sistem kelistrikan SULSELBAR terlebih dahulu dirubah kedalam satuan (p.u). untuk melakukan analisis aliran daya menggunakan PSAT versi 2.1.9 yang terintegrasi dengan *software* MATLAB versi R2014a.

### 1. Analisis data generator

Analisis data daya generator, dasar yang digunakan adalah data aktual, dengan membagi  $\cos \phi$  ( $\phi$ ) dengan daya aktif (P) diperoleh daya semu (S).  $\cos \phi$  adalah 0.8 dan 0.85, pada Tabel 4.1 generator PLTD Masamba dengan daya aktif (Pmax dan Pmin) 4 MW dijadikan acuan untuk menentukan nilai parameter PV dan bus referensi, daya (S) dapat dicari dengan :

$$S = P_{\max} / \phi = 4 \text{ MW} / 0.8 = 5 \text{ MVA}$$

Sedangkan  $P_{\min} = 50\% \times P_{\max} = 50\% \times 4 = 2 \text{ MW}$

Daya reaktif ( $Q_{\max}$  dan  $Q_{\min}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan segitiga daya.

$$Q_{\max} = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{5^2 - 4^2} = 3 \text{ MVAR}$$

$$Q_{\min} = -\sqrt{S^2 - P^2} = -\sqrt{5^2 - (5 \times 0,9)^2} = -2.179 \text{ MVAR}$$

Daya aktif dan daya reaktif dalam satuan p.u dapat dihitung sebagai berikut :



$$P = \frac{P_{\text{aktual}}}{S_{\text{aktual}}} = \frac{4}{5} = 0.8 \text{ p.u}$$

$$Q_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{max}}}{S_{\text{aktual}}} = \frac{3}{5} = 0.6 \text{ p.u dan}$$

$$Q_{\text{min}} = \frac{Q_{\text{min}}}{S_{\text{aktual}}} = \frac{-2.179}{5} = -0.436 \text{ p.u}$$

Hasil perhitungan dituangkan pada Lampiran Tabel 1.

## 2. Analisis data beban

Untuk menganalisis data beban kedalam satuan p.u perlu menentukan MVA dasar yang akan digunakan. MVA dasar yang digunakan dalam perhitungan parameter beban kedalam satuan p.u adalah beban daya semu ( $S_{\text{max}}$ ) pada masing – masing Gardu Induk (GI) seperti pada Lampiran Tabel 2.

Misalnya untuk bus Gardu Induk Sengkang diketahui beban daya semu ( $S_{\text{max}}$ ) sebesar 33.412 MVA, dengan beban daya aktif (P) 28.400 MW dan beban daya reaktif (Q) 17.60 MVAR, dalam satuan p.u dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = \frac{P \text{ (MW)}}{S \text{ (MVA)}} = \frac{28.400}{33.412} = 0.85 \text{ p.u dan}$$

$$Q = \frac{Q \text{ (MW)}}{S \text{ (MVA)}} = \frac{17.60}{33.412} = 0.5268 \text{ p.u}$$

### 3. Analisis data saluran

Sama seperti analisis data generator, untuk menganalisis data saluran pada Lampiran Tabel 3 kedalam satuan p.u, juga perlu menentukan MVA dasar serta impedansi dasar yang akan digunakan. MVA dasar yang digunakan adalah hasil kali antara tegangan (kV) dan kuat arus penghantar (KHA). Misalnya untuk menghitung resistansi (R) = 0.035 ohm/KM dan reaktansi (X) = 0.369 ohm/KM saluran dari Bus GI Sengkang ke Bus GI Sidrap, menggunakan jenis kabel ACSR 435/55 Dengan panjang saluran (L) 31.17 KM, maka R dan X dapat dihitung :

$$R = R \times L = 0.035 \times 31.17 = 1.38 \text{ ohm}$$

$$X = X \times L = 0.369 \times 31.17 = 11.5 \text{ ohm}$$

Impedansi dasarnya dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{base} = \frac{kV^2}{S_{base}} = \frac{150^2}{135} = 166.6667 \text{ ohm}$$

Sehingga diperoleh resistansi dan reaktansi dalam satuan p.u sebagai berikut :

$$R_{p.u} = \frac{R}{Z_{base}} = \frac{1.38}{166.6667} = 0.008280 \text{ p.u}$$

$$X_{p.u} = \frac{X}{Z_{base}} = \frac{11.5}{166.6667} = 0.069000 \text{ p.u}$$

Untuk *resistansi* dan *reaktansi* saluran dalam satuan p.u dari bus GI ke bus GI yang lain ataupun pembangkit ke GI, dihitung dengan cara sama sesuai dengan tegangan, luas penampang kabel dan kuat arus penghantar (kA). Hasilnya seperti pada Lampiran Tabel 3.

### **C. Analisis Steady State Sistem Kelistrikan SULSELBAR**

#### **1. Analisis Aliran Daya Sebelum Penambahan Proyeksi Pertumbuhan Beban 10% Dan Injeksi Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW**

Dalam simulasi analisis aliran daya (*load flow*) menggunakan metode *Newton-Raphson* dengan bantuan PSAT versi 2.1.9 yang dijalankan pada software MATLAB versi R2014a. Pertama-tama sistem dimodelkan sesuai dengan diagram satu garis sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR sebelum diinjeksi seperti pada Gambar 4.1.

Adapun data referensi model sistem kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR sebagai berikut :

Base MVA = Data daya semu (*S actual*)

Base Tegangan = 20 kV, 30 kV, 70 kV, 150 kV dan 275 kV

*Slack Bus* = Bus Sengkang

Bus Beban = Gardu Induk

Setelah sistem dimodelkan, selanjutnya dilakukan proses input data dari masing – masing parameter sesuai dengan data hasil analisis dan data

referensi sistem. *Magnitude* dan sudut fasa tegangan referensi yang digunakan pada *slack* bus adalah [1.02]  $\angle 0$  untuk semua kondisi beban. *Magnitude* dan sudut fasa tegangan awal untuk bus yang lain adalah [1.00]  $\angle 0$ , yang selanjutnya secara iterasi akan dihitung dengan menggunakan persamaan aliran daya metode *Newton-Raphson*. Input data hasil perhitungan parameter PV, *Slack* Bus, Transformator, Saluran penghantar dan beban kedalam program PSAT, seperti pada Gambar 4.2 untuk parameter *Slack* Bus, Gambar 4.3 untuk Parameter PV, Gambar 4.4 untuk Transformator, Gambar 4.5 untuk Parameter Saluran dan Gambar 4.6 untuk Parameter Beban.



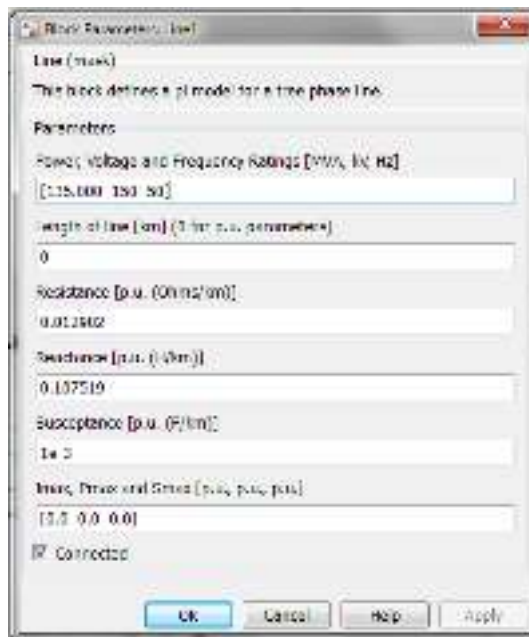
Gambar 4.2 *Block* Parameter *Slack* Bus



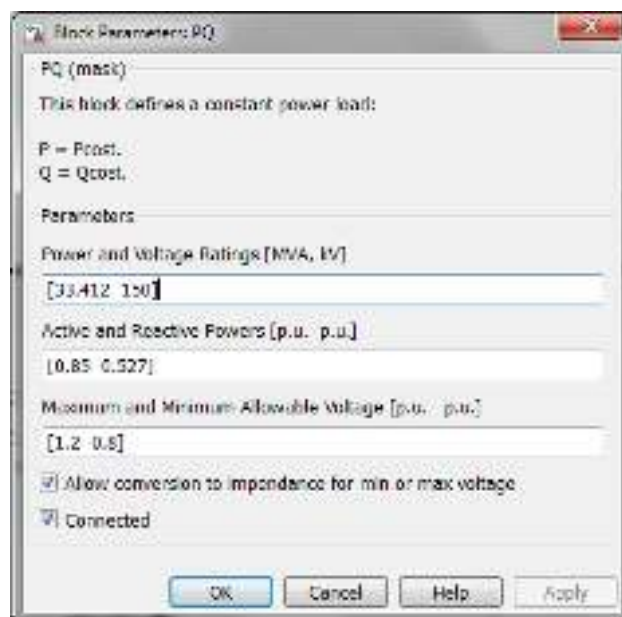
Gambar 4.3 Blok Parameter PV



Gambar 4.4 Blok Parameter Transformator



Gambar 4.5 Blok Parameter Saluran



Gambar 4.6 Blok Parameter Beban

Setelah data parameter diinput, selanjutnya dilakukan proses *running*, dengan hasil seperti pada Tabel 4.2 untuk beban puncak berikut.

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Daya Beban Puncak 18.30 WITA

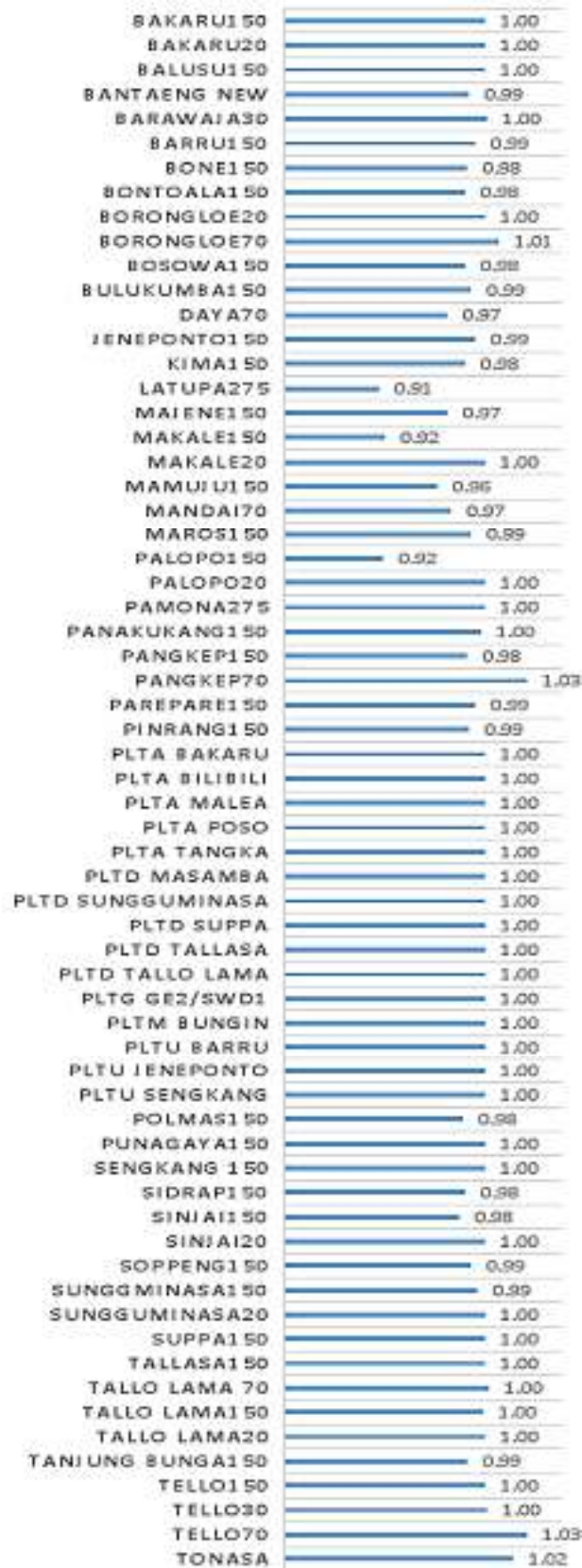
No Bus	Nama Bus	Vm	Sudut Tegangan	Beban		Generator	
				MW	MVAR	MW	MVAR
1	BAKARU150	1.00	-0.014	3.50	2.17	0.00	0.00
2	BAKARU20	1.00	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BALUSU150	1.00	-0.080	0.00	0.00	0.00	0.00
4	BANTAENG NEW	0.99	-0.053	8.20	5.08	0.00	0.00
5	BARAWAJA30	1.00	-0.143	0.00	0.00	0.00	0.00
6	BARRU150	0.99	-0.103	10.06	6.24	0.00	0.00
7	BONE150	0.98	-0.070	32.10	-9.51	0.00	0.00
8	BONTOALA150	0.98	-0.158	22.53	13.97	0.00	0.00
9	BORONGLOE20	1.00	-0.157	0.00	0.00	0.00	0.00
10	BORONGLOE70	1.01	-0.192	11.40	7.07	0.00	0.00
11	BOSOWA150	0.98	-0.150	33.12	20.53	0.00	0.00
12	BULUKUMBA150	0.99	-0.078	27.10	-12.76	0.00	0.00
13	DAYA70	0.97	-0.473	24.50	-2.97	0.00	0.00
14	JENEPONTO150	0.99	-0.049	17.40	10.79	0.00	0.00
15	KIMA150	0.98	-0.149	18.00	11.16	0.00	0.00
16	LATUPA275	0.91	0.487	0.00	0.00	0.00	0.00
17	MAJENE150	0.97	-0.074	11.10	6.88	0.00	0.00
18	MAKALE150	0.92	0.250	11.90	7.38	0.00	0.00
19	MAKALE20	1.00	0.281	0.00	0.00	0.00	0.00
20	MAMUJU150	0.96	-0.124	21.80	-3.98	0.00	0.00
21	MANDAI70	0.97	-0.450	24.30	-13.61	0.00	0.00
22	MAROS150	0.99	-0.109	18.60	11.53	0.00	0.00
23	PALOPO150	0.92	0.366	49.20	30.50	0.00	0.00
24	PALOPO20	1.00	0.374	0.00	0.00	0.00	0.00
25	PAMONA275	1.00	0.722	0.00	0.00	0.00	0.00
26	PANAKUKANG150	1.00	-0.147	68.30	42.35	0.00	0.00
27	PANGKEP150	0.98	-0.144	22.10	13.70	0.00	0.00
28	PANGKEP70	1.03	-0.263	0.00	-43.49	0.00	0.00
29	PAREPARE150	0.99	-0.045	18.70	11.59	0.00	0.00
30	PINRANG150	0.99	-0.042	24.50	15.19	0.00	0.00
31	PLTA BAKARU	1.00	-0.014	0.00	0.00	63.00	17.05
32	PLTA BILIBILI	1.00	-0.157	0.00	0.00	5.20	-1.82
33	PLTA MALEA	1.00	0.281	0.00	0.00	8.20	19.75
34	PLTA POSO	1.00	0.722	0.00	0.00	195.00	40.13
35	PLTA TANGKA	1.00	-0.072	0.00	0.00	4.00	6.34
36	PLTD MASAMBA	1.00	0.374	0.00	0.00	4.00	27.99
37	PLTD SUNGGUMINASA	1.00	-0.051	0.00	0.00	20.00	1.84
38	PLTD SUPPA	1.00	-0.043	0.00	0.00	31.10	53.96
39	PLTD TALLASA	1.00	-0.061	0.00	0.00	79.00	45.59

Lanjutan Tabel 4.2

40	PLTD TALLO LAMA	1.00	-0.104	0.00	0.00	12.60	0.19
41	PLTG GE2/SWD1	1.00	-0.143	0.00	0.00	21.00	197.15
42	PLTM BUNGIN	1.00	0.015	0.00	0.00	2.94	-0.11
43	PLTU BARRU	1.00	-0.080	0.00	0.00	60.36	46.64
44	PLTU JENEPONTO	1.00	-0.018	0.00	0.00	196.09	-12.36
45	PLTGU SENGKANG	1.02	0.000	0.00	0.00	121.33	41.95
46	POLMAS150	0.98	-0.044	17.10	10.60	0.00	0.00
47	PUNAGAYA150	1.00	-0.019	0.00	0.00	0.00	0.00
48	SENGKANG 150	1.00	0.000	28.40	17.61	0.00	0.00
49	SIDRAP150	0.98	-0.028	26.50	16.43	0.00	0.00
50	SINJAI150	0.98	-0.084	21.90	13.58	0.00	0.00
51	SINJAI20	1.00	-0.072	0.00	0.00	0.00	0.00
52	SOPPING150	0.99	-0.033	14.10	8.74	0.00	0.00
53	SUNGGMINASA150	0.99	-0.118	15.70	9.73	0.00	0.00
54	SUNGGUMINASA20	1.00	-0.051	0.00	0.00	0.00	0.00
55	SUPPA150	1.00	-0.043	0.00	0.00	0.00	0.00
56	TALLASA150	1.00	-0.061	20.60	12.77	0.00	0.00
57	TALLO LAMA 70	1.00	-0.146	0.00	-16.08	0.00	0.00
58	TALLO LAMA150	1.00	-0.146	19.70	12.21	0.00	0.00
59	TALLO LAMA20	1.00	-0.104	0.00	0.00	0.00	0.00
60	TANJUNG BUNGA150	0.99	-0.126	55.20	34.22	0.00	0.00
61	TELLO150	1.00	-0.143	63.30	39.25	0.00	0.00
62	TELLO30	1.00	-0.143	0.00	0.00	0.00	0.00
63	TELLO70	1.03	-0.185	0.00	-14.89	0.00	0.00
64	TONASA	1.02	-0.272	18.90	11.72	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>779.81</b>	<b>285.7</b>	<b>823.82</b>	<b>484.29</b>

Pada Tabel lampiran 4.2 hasil analisis aliran daya sebelum penambahan pertumbuhan beban 10% dan diinjeksi pembangkit *Renewable Energy* dan diperoleh tegangan bus ditunjukkan pada Gambar 4.6 Grafik Tegangan Pada Beban Puncak sebagai berikut.





Gambar 4.7 Grafik Tegangan Pada Simulasi Beban Puncak 18.30 WITA

Dari Gambar 4.6 Bus Latupa275 0.91 pu, Makale20 0.92 pu dan Palopo150 0.92 mengalami penurunan tegangan serta pada bus Pangkep70 1.03 pu dan Tello70 1.03 pu mengalami kenaikan tegangan, tetapi masih dalam batas – batas yang di izinkan yaitu +5%, - 10%. Pada Tabel lampiran 3.1 total losses pada beban puncak yaitu daya Aktif sebesar 44.006 MW dan daya Reaktif sebesar 198.579 MVar.

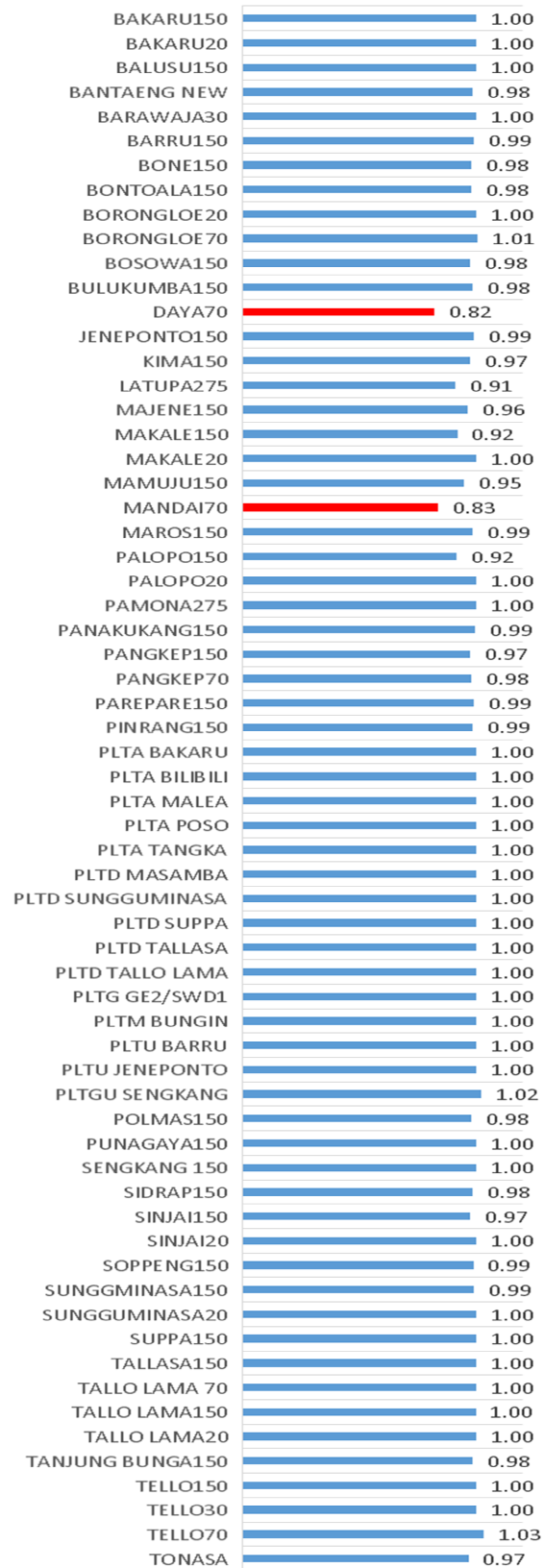
## 2. Analisis Aliran Daya Setelah Penambahan Proyeksi Pertumbuhan beban 10%

Tabel 4.3 Hasil Analisis Aliran Daya Kenaikan Beban 10 %

No Bus	Nama Bus	Vm	Sudut Tegangan	Beban		Generator	
				MW	MVAR	MW	MVAR
1	BAKARU150	1.00	-0.06	3.85	2.39	0.00	0.00
2	BAKARU20	1.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BALUSU150	1.00	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
4	BANTAENG NEW	0.98	-0.13	9.02	5.59	0.00	0.00
5	BARAWAJA30	1.00	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
6	BARRU150	0.99	-0.17	11.07	6.86	0.00	0.00
7	BONE150	0.98	-0.11	35.31	-7.20	0.00	0.00
8	BONTOALA150	0.98	-0.24	29.15	18.07	0.00	0.00
9	BORONGLOE20	1.00	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
10	BORONGLOE70	1.01	-0.28	12.54	7.77	0.00	0.00
11	BOSOWA150	0.98	-0.23	36.43	22.59	0.00	0.00
12	BULUKUMBA150	0.98	-0.14	29.81	-10.80	0.00	0.00
13	DAYA70	0.82	-0.60	26.95	3.62	0.00	0.00
14	JENEPONTO150	0.99	-0.12	19.14	11.87	0.00	0.00
15	KIMA150	0.97	-0.22	19.80	12.28	0.00	0.00
16	LATUPA275	0.91	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00
17	MAJENE150	0.96	-0.12	12.21	7.57	0.00	0.00
18	MAKALE150	0.92	0.20	13.09	8.12	0.00	0.00
19	MAKALE20	1.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
20	MAMUJU150	0.95	-0.18	23.98	-2.16	0.00	0.00
21	MANDAI70	0.83	-0.57	26.73	-4.55	0.00	0.00
22	MAROS150	0.99	-0.18	20.46	12.69	0.00	0.00
23	PALOPO150	0.92	0.31	54.12	33.55	0.00	0.00

Lanjutan Tabel 4.3

24	PALOPO20	1.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
25	PAMONA275	1.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
26	PANAKUKANG150	0.99	-0.23	75.13	46.58	0.00	0.00
27	PANGKEP150	0.97	-0.21	24.31	15.07	0.00	0.00
28	PANGKEP70	0.98	-0.36	0.00	-39.03	0.00	0.00
29	PAREPARE150	0.99	-0.09	20.57	12.75	0.00	0.00
30	PINRANG150	0.99	-0.09	26.95	16.71	0.00	0.00
31	PLTA BAKARU	1.00	-0.06	0.00	0.00	63.00	22.54
32	PLTA BILIBILI	1.00	-0.25	0.00	0.00	5.20	-1.29
33	PLTA MALEA	1.00	0.23	0.00	0.00	8.20	20.06
34	PLTA POSO	1.00	0.67	0.00	0.00	195.00	41.66
35	PLTA TANGKA	1.00	-0.12	0.00	0.00	4.00	7.96
36	PLTD MASAMBA	1.00	0.32	0.00	0.00	4.00	28.92
37	PLTD SUNGGUMINASA	1.00	-0.13	0.00	0.00	20.00	2.11
38	PLTD SUPPA	1.00	-0.09	0.00	0.00	31.10	60.20
39	PLTD TALLASA	1.00	-0.14	0.00	0.00	79.00	53.27
40	PLTD TALLO LAMA	1.00	-0.18	0.00	0.00	12.60	0.44
41	PLTG GE2/SWD1	1.00	-0.22	0.00	0.00	21.00	240.40
42	PLTM BUNGIN	1.00	-0.03	0.00	0.00	2.94	-0.11
43	PLTU BARRU	1.00	-0.14	0.00	0.00	60.36	74.77
44	PLTU JENEPONTO	1.00	-0.09	0.00	0.00	196.09	-7.78
45	PLTGU SENGKANG	1.02	0.00	0.00	0.00	211.27	39.30
46	POLMAS150	0.98	-0.09	18.81	11.66	0.00	0.00
47	PUNAGAYA150	1.00	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
48	SENGKANG 150	1.00	0.00	31.24	19.37	0.00	0.00
49	SIDRAP150	0.98	-0.07	29.15	18.07	0.00	0.00
50	SINJAI150	0.97	-0.14	24.09	14.94	0.00	0.00
51	SINJAI20	1.00	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
52	SOPPENG150	0.99	-0.06	15.51	9.62	0.00	0.00
53	SUNGGMINASA150	0.99	-0.20	17.27	10.71	0.00	0.00
54	SUNGGUMINASA20	1.00	-0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
55	SUPPA150	1.00	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
56	TALLASA150	1.00	-0.14	22.66	14.05	0.00	0.00
57	TALLO LAMA 70	1.00	-0.23	0.00	-16.05	0.00	0.00
58	TALLO LAMA150	1.00	-0.23	21.67	13.44	0.00	0.00
59	TALLO LAMA20	1.00	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
60	TANJUNG BUNGA150	0.98	-0.20	60.72	37.65	0.00	0.00
61	TELLO150	1.00	-0.22	69.63	43.17	0.00	0.00
62	TELLO30	1.00	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
63	TELLO70	1.03	-0.27	0.00	-14.82	0.00	0.00
64	TONASA	0.97	-0.37	20.79	12.89	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>862.16</b>	<b>355.02</b>	<b>913.76</b>	<b>582.46</b>



Gambar 4.8 Grafik Tegangan Pada Simulasi Kenaikan Beban 10 %

Hasil simulasi *load flow* penambahan kenaikan pertumbuhan beban 10 % pada sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR terlihat terjadi penurunan tegangan terbesar terletak pada bus Daya70 sebesar 0.82 pu dan Mandai70 sebesar 0.83 pu, tegangan sebelum penambahan beban 10% yaitu bus Daya70 sebesar 0.97 pu dan Mandai70 sebesar 0.97. Hal ini terjadi karena adanya penambahan beban 10 % pada sistem dan penurunan tegangan tersebut melewati batas yang di izinkan yaitu +5 %, - 10 %.

Total *losses* pada simulasi *load flow* penambahan beban 10% yaitu daya aktif sebesar 51.60 MW dan daya reaktif 227.43 MVar. Hal ini mengalami kenaikan *losses* seperti terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Total Losses Kenaikan Beban 10%

Aliran Daya & Losses	Sebelum Kenaikan	Sesudah Kenaikan
<b>Total Pembangkitan</b>		
Daya Aktif [MW]	823.81	913.76
Daya Reaktif [MVar]	484.30	582.46
<b>Total Beban</b>		
Daya Aktif [MW]	779.81	862.16
Daya Reaktif [MVar]	285.72	355.02
<b>Total Losses</b>		
Daya Aktif [MW]	44.01	51.60
Daya Reaktif [MVar]	198.58	227.43
Persentase Daya Aktif [%]	5.34	5.65
Persentase Daya Reaktif [%]	41.0	39.05

Dari Tabel 4.4 terlihat perbandingan total *losses* sebelum dan setelah kenaikan beban 10 %, yang diperoleh sebelum kenaikan beban *losses* daya aktif sebesar 5.34 % dan daya reaktif sebesar 41.0 %. Sesudah kenaikan beban 10 % *losses* daya aktif naik menjadi 5.65 % dan reaktif

turun menjadi 39.05 %, jadi kenaikan *losses* daya aktif adalah sebesar 0.31% dan *losses* daya reaktif turun sebesar 1.95 %.

### 3. Analisis Aliran Daya Setelah Injeksi Pembangkit *Renewable Energy*

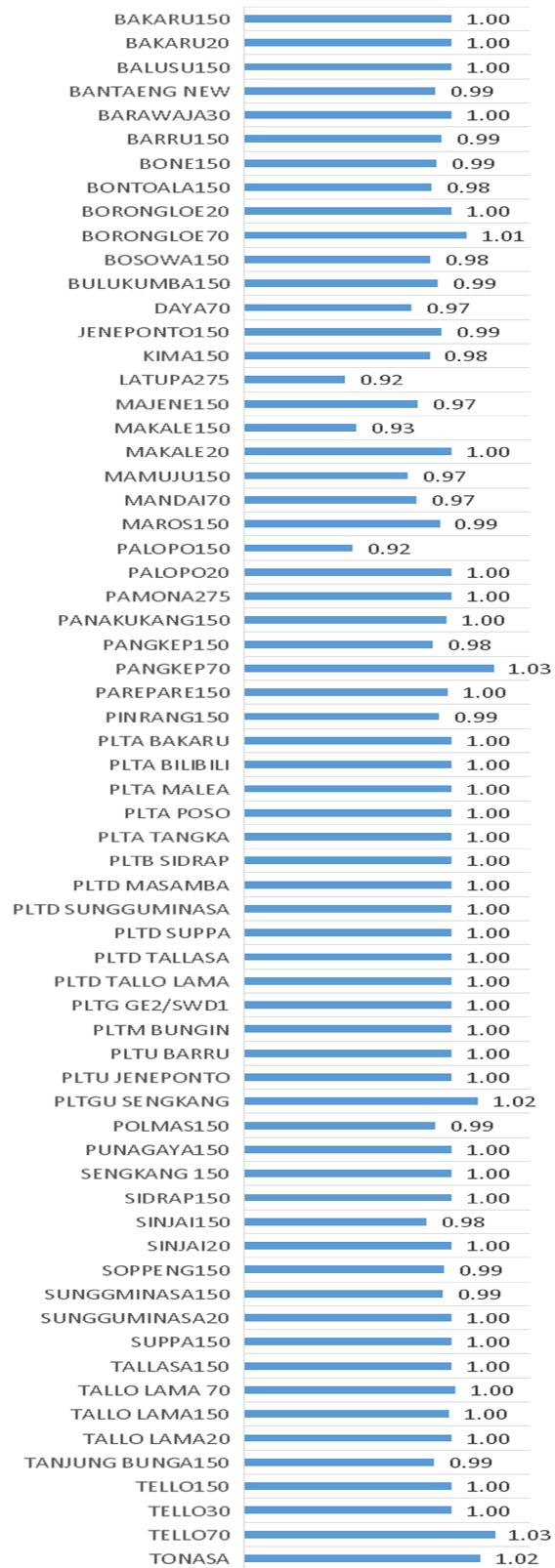
#### 70 MW

Tabel 4.5 Hasil Analisis Aliran Daya Setelah Injeksi Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW

No Bus	Nama Bus	Vm	Sudut Tegangan	Beban		Generator	
				MW	MVAR	MW	MVAR
1	BAKARU150	1.00	0.03	3.50	2.17	0.00	0.00
2	BAKARU20	1.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BALUSU150	1.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
4	BANTAENG NEW	0.99	-0.02	8.20	5.08	0.00	0.00
5	BARAWAJA30	1.00	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
6	BARRU150	0.99	-0.07	10.06	6.24	0.00	0.00
7	BONE150	0.99	-0.05	32.10	-9.72	0.00	0.00
8	BONTOALA150	0.98	-0.12	22.53	13.97	0.00	0.00
9	BORONGLOE20	1.00	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00
10	BORONGLOE70	1.01	-0.16	11.40	7.07	0.00	0.00
11	BOSOWA150	0.98	-0.11	33.12	20.53	0.00	0.00
12	BULUKUMBA150	0.99	-0.05	27.10	-12.85	0.00	0.00
13	DAYA70	0.97	-0.44	24.50	-2.96	0.00	0.00
14	JENEPONTO150	0.99	-0.02	17.40	10.79	0.00	0.00
15	KIMA150	0.98	-0.11	18.00	11.16	0.00	0.00
16	LATUPA275	0.92	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00
17	MAJENE150	0.97	-0.03	11.10	6.88	0.00	0.00
18	MAKALE150	0.93	0.28	11.90	7.38	0.00	0.00
19	MAKALE20	1.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
20	MAMUJU150	0.97	-0.08	21.80	-4.17	0.00	0.00
21	MANDAI70	0.97	-0.41	24.30	-13.60	0.00	0.00
22	MAROS150	0.99	-0.07	18.60	11.53	0.00	0.00
23	PALOPO150	0.92	0.40	49.20	30.50	0.00	0.00
24	PALOPO20	1.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
25	PAMONA275	1.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00
26	PANAKUKANG150	1.00	-0.11	68.30	42.35	0.00	0.00
27	PANGKEP150	0.98	-0.11	22.10	13.70	0.00	0.00
28	PANGKEP70	1.03	-0.23	0.00	-43.48	0.00	0.00
29	PAREPARE150	1.00	-0.01	18.70	11.59	0.00	0.00

Lanjutan Tabel 4.5

30	PINRANG150	0.99	0.00	24.50	15.19	0.00	0.00
31	PLTA BAKARU	1.00	0.03	0.00	0.00	63.00	8.64
32	PLTA BILIBILI	1.00	-0.12	0.00	0.00	5.20	-1.82
33	PLTA MALEA	1.00	0.31	0.00	0.00	8.20	18.05
34	PLTA POSO	1.00	0.75	0.00	0.00	195.00	37.63
35	PLTA TANGKA	1.00	-0.05	0.00	0.00	4.00	5.72
36	PLTB SIDRAP	1.00	0.01	0.00	0.00	70.00	91.47
37	PLTD MASAMBA	1.00	0.40	0.00	0.00	4.00	26.49
38	PLTD SUNGGUMINASA	1.00	-0.02	0.00	0.00	20.00	1.62
39	PLTD SUPPA	1.00	0.00	0.00	0.00	31.10	14.20
40	PLTD TALLASA	1.00	-0.03	0.00	0.00	79.00	41.97
41	PLTD TALLO LAMA	1.00	-0.07	0.00	0.00	12.60	0.19
42	PLTG GE2/SWD1	1.00	-0.11	0.00	0.00	21.00	192.03
43	PLTM BUNGIN	1.00	0.06	0.00	0.00	2.94	-0.11
44	PLTU BARRU	1.00	-0.04	0.00	0.00	60.36	33.22
45	PLTU JENEPONTO	1.00	0.01	0.00	0.00	196.09	-13.52
46	PLTGU SENKANG	1.02	0.00	0.00	0.00	50.67	23.52
47	POLMAS150	0.99	0.00	17.10	10.60	0.00	0.00
48	PUNAGAYA150	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
49	SENGKANG 150	1.00	0.00	28.40	17.61	0.00	0.00
50	SIDRAP150	1.00	0.01	26.50	16.43	0.00	0.00
51	SINJAI150	0.98	-0.06	21.90	13.58	0.00	0.00
52	SINJAI20	1.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
53	SOPPENG150	0.99	-0.02	14.10	8.74	0.00	0.00
54	SUNGGUMINASA150	0.99	-0.08	15.70	9.73	0.00	0.00
55	SUNGGUMINASA20	1.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
56	SUPPA150	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	TALLASA150	1.00	-0.03	20.60	12.77	0.00	0.00
58	TALLO LAMA 70	1.00	-0.11	0.00	-16.08	0.00	0.00
59	TALLO LAMA150	1.00	-0.11	19.70	12.21	0.00	0.00
60	TALLO LAMA20	1.00	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
61	TANJUNG BUNGA150	0.99	-0.09	55.20	34.22	0.00	0.00
62	TELLO150	1.00	-0.11	63.30	39.25	0.00	0.00
63	TELLO30	1.00	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
64	TELLO70	1.03	-0.15	0.00	-14.89	0.00	0.00
65	TONASA	1.02	-0.24	18.90	11.72	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>779.81</b>	<b>285.26</b>	<b>823.16</b>	<b>479.31</b>



Gambar 4.9 Grafik Tegangan Pada Simulasi Saat Injeksi Pembangkit  
*Renewable Energy*



Hasil simulasi *load flow* penambahan injeksi pembangkit *Renewable Energy* pada sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR terlihat terjadi kenaikan tegangan terletak pada bus Bone150 sebesar 0.99 pu, Latupa275 sebesar 0.92 pu, Makale150 sebesar 0.93 pu, Mamuju150 sebesar 0.97 pu, Parepare150 sebesar 1.00 pu, Polmas150 sebesar 0.99 pu dan Sidrap150 sebesar 1.00 pu, , tegangan sebelum injeksi pembangkit *Renewable Energy* yaitu bus Bone150 sebesar 0.98 pu, Latupa275 sebesar 0.91 pu, Makale150 sebesar 0.92 pu, Mamuju150 sebesar 0.96 pu, Parepare150 sebesar 0.99 pu, Polmas150 sebesar 0.98 pu, Sidrap 150 sebesar 0.98 pu. Hal ini terjadi karena adanya penambahan injeksi pembangkit baru pada sistem dan kenaikan tegangan tersebut masih dalam batas yang diizinkan yaitu +5 %, -10 %.

Total *losses* pada simulasi *load flow* penambahan injeksi pembangkit yaitu daya aktif sebesar 43.35 MW dan daya reaktif 194.05 MVar. Hal ini mengalami penurunan *losses* seperti terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.6 Total *Losses* Injeksi Pembangkit *Renewable Energy*

Aliran Daya & Losses	Sebelum Injeksi	Sesudah Injeksi
<b>Total Pembangkitan</b>		
Daya Aktif [MW]	823.81	823.16
Daya Reaktif [MVar]	484.30	479.31
<b>Total Beban</b>		
Daya Aktif [MW]	779.81	779.81
Daya Reaktif [MVar]	285.72	285.26
<b>Total Losses</b>		
Daya Aktif [MW]	44.01	43.35
Daya Reaktif [MVar]	198.58	194.05
Persentase Daya Aktif [%]	5.34	5.27
Persentase Daya Reaktif [%]	41.0	40.49

Dari Tabel 4.6 terlihat perbandingan total *losses* sebelum dan setelah injeksi pembangkit, yang diperoleh sebelum injeksi *losses* daya aktif sebesar 5.34 % dan daya reaktif sebesar 41.0 %. Sesudah injeksi pembangkit *losses* daya aktif turun menjadi 5.27 % dan reaktif turun menjadi 40.49 %, jadi penurunan *losses* daya aktif adalah sebesar 0.07% dan *losses* daya reaktif turun sebesar 0.51 % *load flow* sebelum injeksi pembangkit *Renewable Energy*.

#### 4. Analisis Aliran Daya Setelah Penambahan Kenaikan Beban 10% dan Injeksi Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW

Tabel 4.7 Hasil Aliran Daya setelah Kenaikan Beban 10% dan Injeksi Pembangkit *Renewable energy* 70 MW

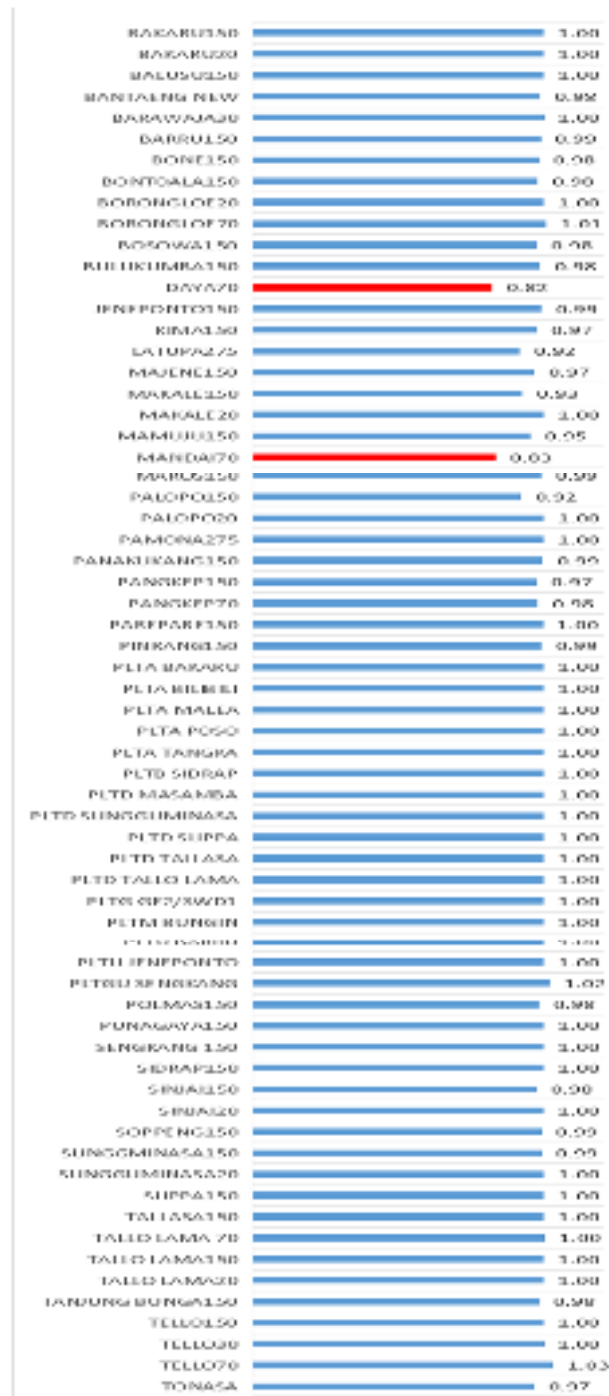
No Bus	Nama Bus	Vm	Sudut Tegangan	Beban		Generator	
				MW	MVAR	MW	MVAR
1	BAKARU150	1.00	-0.02	3.85	2.39	0.00	0.00
2	BAKARU20	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3	BALUSU150	1.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
4	BANTAENG NEW	0.98	-0.09	9.02	5.59	0.00	0.00
5	BARAWAJA30	1.00	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
6	BARRU150	0.99	-0.13	11.07	6.86	0.00	0.00
7	BONE150	0.98	-0.09	35.31	-7.46	0.00	0.00
8	BONTOALA150	0.98	-0.21	29.15	18.07	0.00	0.00
9	BORONGLOE20	1.00	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
10	BORONGLOE70	1.01	-0.25	12.54	7.77	0.00	0.00
11	BOSOWA150	0.98	-0.19	36.43	22.59	0.00	0.00
12	BULUKUMBA150	0.98	-0.11	29.81	-10.91	0.00	0.00
13	DAYA70	0.82	-0.56	26.95	3.63	0.00	0.00
14	JENEPONTO150	0.99	-0.09	19.14	11.87	0.00	0.00
15	KIMA150	0.97	-0.18	19.80	12.28	0.00	0.00
16	LATUPA275	0.92	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00
17	MAJENE150	0.97	-0.08	12.21	7.57	0.00	0.00
18	MAKALE150	0.93	0.23	13.09	8.12	0.00	0.00
19	MAKALE20	1.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
20	MAMUJU150	0.95	-0.14	23.98	-2.36	0.00	0.00

Lanjutan Tabel 4.7

21	MANDAI70	0.83	-0.53	26.73	-4.53	0.00	0.00
22	MAROS150	0.99	-0.15	20.46	12.69	0.00	0.00
23	PALOPO150	0.92	0.34	54.12	33.55	0.00	0.00
24	PALOPO20	1.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
25	PAMONA275	1.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
26	PANAKUKANG150	0.99	-0.19	75.13	46.58	0.00	0.00
27	PANGKEP150	0.97	-0.18	24.31	15.07	0.00	0.00
28	PANGKEP70	0.98	-0.32	0.00	-39.01	0.00	0.00
29	PAREPARE150	1.00	-0.05	20.57	12.75	0.00	0.00
30	PINRANG150	0.99	-0.05	26.95	16.71	0.00	0.00
31	PLTA BAKARU	1.00	-0.02	0.00	0.00	63.00	13.52
32	PLTA BILIBILI	1.00	-0.21	0.00	0.00	5.20	-1.29
33	PLTA MALEA	1.00	0.26	0.00	0.00	8.20	18.25
34	PLTA POSO	1.00	0.70	0.00	0.00	195.00	39.00
35	PLTA TANGKA	1.00	-0.10	0.00	0.00	4.00	7.19
36	PLTB SIDRAP	1.00	-0.03	0.00	0.00	70.00	95.75
37	PLTD MASAMBA	1.00	0.35	0.00	0.00	4.00	27.31
38	PLTD SUNGGUMINASA	1.00	-0.09	0.00	0.00	20.00	1.87
39	PLTD SUPPA	1.00	-0.05	0.00	0.00	31.10	17.67
40	PLTD TALLASA	1.00	-0.10	0.00	0.00	79.00	49.30
41	PLTD TALLO LAMA	1.00	-0.15	0.00	0.00	12.60	0.43
42	PLTG GE2/SWD1	1.00	-0.19	0.00	0.00	21.00	234.95
43	PLTM BUNGIN	1.00	0.01	0.00	0.00	2.94	-0.11
44	PLTU BARRU	1.00	-0.10	0.00	0.00	60.36	60.45
45	PLTU JENEPONTO	1.00	-0.06	0.00	0.00	196.09	-9.26
46	PLTGU SENGKANG	1.02	0.00	0.00	0.00	139.51	16.08
47	POLMAS150	0.98	-0.05	18.81	11.66	0.00	0.00
48	PUNAGAYA150	1.00	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
49	SENGKANG 150	1.00	0.00	31.24	19.37	0.00	0.00
50	SIDRAP150	1.00	-0.03	29.15	18.07	0.00	0.00
51	SINJAI150	0.98	-0.11	24.09	14.94	0.00	0.00
52	SINJAI20	1.00	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
53	SOPPENG150	0.99	-0.04	15.51	9.62	0.00	0.00
54	SUNGGMINASA150	0.99	-0.16	17.27	10.71	0.00	0.00
55	SUNGGUMINASA20	1.00	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
56	SUPPA150	1.00	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
57	TALLASA150	1.00	-0.10	22.66	14.05	0.00	0.00
58	TALLO LAMA 70	1.00	-0.19	0.00	-16.05	0.00	0.00
59	TALLO LAMA150	1.00	-0.19	21.67	13.44	0.00	0.00
60	TALLO LAMA20	1.00	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
61	TANJUNG BUNGA150	0.98	-0.17	60.72	37.65	0.00	0.00
62	TELLO150	1.00	-0.19	69.63	43.17	0.00	0.00

Lanjutan Tabel 4.7

63	TELLO30	1.00	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
64	TELLO70	1.03	-0.24	0.00	-14.82	0.00	0.00
65	TONASA	0.97	-0.33	20.79	12.89	0.00	0.00
<b>Total</b>				<b>862.16</b>	<b>354.50</b>	<b>911.99</b>	<b>571.11</b>



Gambar 4.10 Grafik Tegangan Pada Simulasi Saat Kenaikan Penambahan Beban 10% dan Injeksi Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW

Hasil simulasi *load flow* saat kenaikan pertumbuhan beban 10 % dan injeksi pembangkitan *Renewable Energy* 70 MW pada sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR terlihat terjadi penurunan tegangan terbesar terletak pada bus Daya70 sebesar 0.82 pu dan Mandai70 sebesar 0.83 pu, tegangan sebelum penambahan beban 10% yaitu bus Daya70 sebesar 0.97 pu dan Mandai70 sebesar 0.97. Hal ini terjadi karena adanya penambahan beban 10 % pada sistem sehingga penurunan tegangan tersebut melewati batas yang di izinkan yaitu +5 %, -10 %.

Total *losses* pada simulasi *load flow* penambahan beban 10% dan injeksi pembangkit *Renewable Energy* 70 MW yaitu daya aktif sebesar 49.83 MW dan daya reaktif 216.61 MVar. Hal ini mengalami kenaikan *losses* seperti terlihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Total *Losses* Penambahan Pertumbuhan Beban 10 % dan Injeksi Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW

<b>Aliran Daya &amp; Losses</b>	<b>Sebelum</b>	<b>Sesudah</b>
<b>Total Pembangkitan</b>		
Daya Aktif [MW]	823.81	911.99
Daya Reaktif [MVar]	484.30	571.11
<b>Total Beban</b>		
Daya Aktif [MW]	779.81	862.16
Daya Reaktif [MVar]	285.72	354.50
<b>Total Losses</b>		
Daya Aktif [MW]	44.01	49.83
Daya Reaktif [MVar]	198.58	216.61
Persentase Daya Aktif [%]	5.34	5.46
Persentase Daya Reaktif [%]	41.0	37.93

## 5. Perbandingan Simulasi Aliran Daya Sebelum dan Setelah Penambahan Pertumbuhan Beban 10% Serta diinjeksikan Pembangkit *Renewable Energy* 70 MW

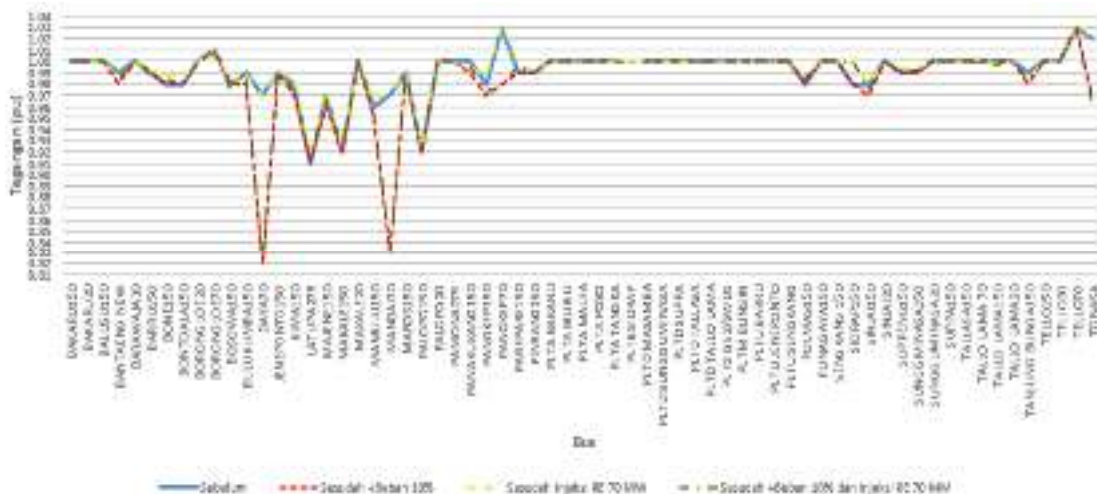
Berdasarkan hasil analisis aliran daya pada sistem kelistrikan interkoneksi SULSELBAR sebelum dan setelah penambahan pertumbuhan beban 10% serta diinjeksikan pembangkit *renewable energy* 70 MW, maka dapat diperoleh gambaran umum tentang *load flow* pada sistem seperti terlihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR

Aliran Daya, Losses dan AVG Tegangan	Sebelum	Setelah +Beban 10%	Setelah Injeksi RE 70 MW	Setelah +Beban 10% dan Injeksi RE 70 MW
<b>Total Pembangkitan</b>				
Daya Aktif [MW]	823.81	913.76	823.16	911.99
Daya Reaktif [MVar]	484.30	582.46	479.31	571.11
<b>Total Beban</b>				
Daya Aktif [MW]	779.81	862.16	779.81	862.16
Daya Reaktif [MVar]	285.72	355.02	285.26	354.50
<b>Total Losses</b>				
Daya Aktif [MW]	44.01	51.60	<b>43.35</b>	49.83
Daya Reaktif [MVar]	198.58	227.43	<b>194.05</b>	216.61
Persentase Daya Aktif [%]	5.34	<b>5.65</b>	<b>5.27</b>	<b>5.46</b>
Persentase Daya Reaktif [%]	41.0	39.05	<b>40.49</b>	37.93
<b>AVG Tegangan (pu)</b>	0.991	<b>0.984</b>	<b>0.993</b>	<b>0.985</b>

Tabel 4.9 menunjukkan hasil perbandingan bahwa *losses* setelah diinjeksikan pembangkit *renewable energy* lebih kecil yaitu daya aktif 43.35 MW, daya reaktif 194.05 MVar yang dibandingkan dengan simulasi sebelum diinjeksi pembangkit *renewable energy* yaitu daya aktif 44.01 MW, daya reaktif 198.58 MVar. Begitu pula dengan simulasi lainnya terlihat hanya pada injeksi pembangkit *renewable energy* *losses*nya paling kecil.

Selain itu, tegangan yang ditampilkan pada Gambar 4.10 terlihat pada simulasi setelah injeksi pembangkit *renewable energy* lebih baik daripada simulasi lainnya yaitu memiliki rentang mulai dari batas atas 1.03 pu dan batas bawah 0.92 pu tidak melebihi atau kurang dari batas tegangan yang diizinkan yaitu +5% (1.05 pu) dan -10% (0.90 pu) dari tegangan nominal 1 pu.

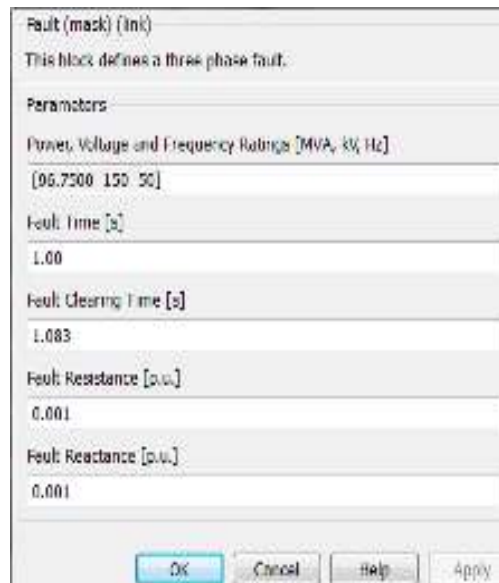
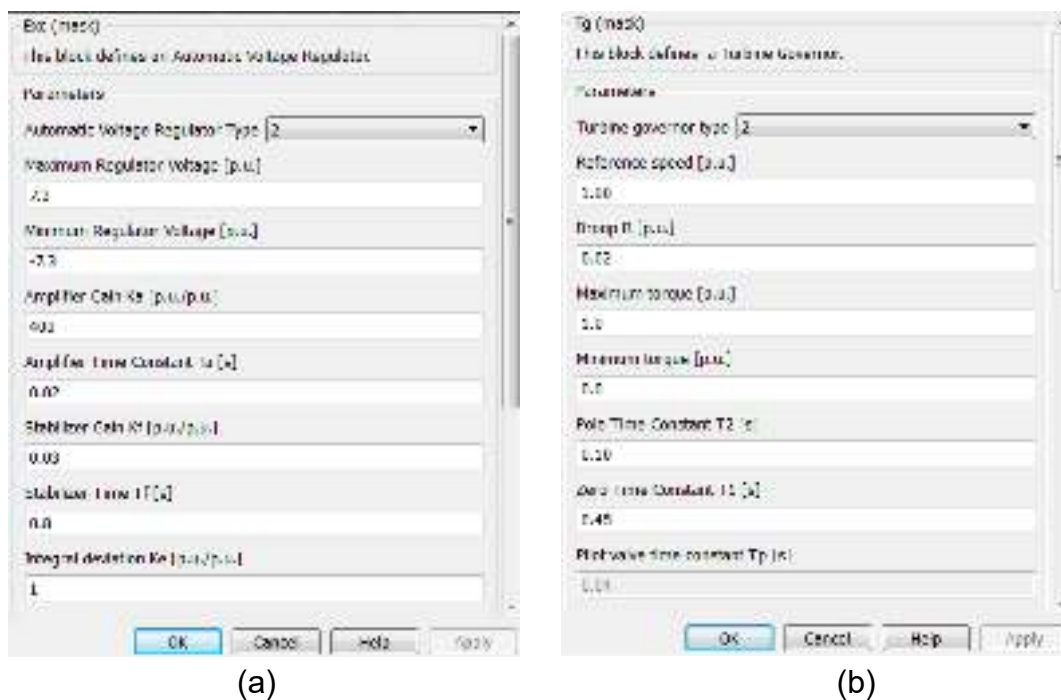


Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Profil Tegangan Hasil Simulasi Analisis Aliran Daya Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR

#### D. Analisis Stabilitas Dinamik Sistem Kelistrikan Interkoneksi

##### SULSELBAR Sebelum Dan Setelah Injeksi PLTB Sidrap

Untuk melakukan analisis stabilitas pada sistem SULSELBAR, pada simulasi *steady state* generator PV diganti dengan *synchronous machine* (syn), yang dilengkapi dengan *Automatic Voltage Regulator* (AVR), *Turbine Governor* (TG) serta fault. Seperti pada Gambar 4.12 untuk *Fault*, Gambar 4.13 untuk AVR, dan TG.

Gambar 4.12 Blok Parameter *Fault*

(a)

(b)

Gambar 4.13 (a) Blok Parameter AVR dan (b) Blok TG

Setelah data parameter diinput dilakukan proses *running* sebelum dan setelah injeksi daya PLTB Sidrap dengan simulasi gangguan pada ke-4 GI yaitu GI Soppeng150, GI Parepare150, GI Makale150 dan GI Maros150. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil stabilitas sistem daya



dari gangguan ke-4 GI tersebut sebelum dan setelah di injeksi pembangkit *renewable energy*. Untuk dilakukannya skenario gangguan hubung singkat di GI Soppeng150, GI Parepare150, GI Makale150 dan GI Maros150 untuk mengetahui performa sistem terhadap kestabilan dinamikanya karena ke-4 GI tersebut terhubung dengan GI Sidrap150 yang akan diinjeksikan pembangkit *renewable energy*, gangguan terjadi pada saat  $t = 1$  detik dengan durasi gangguan 0.83 detik.

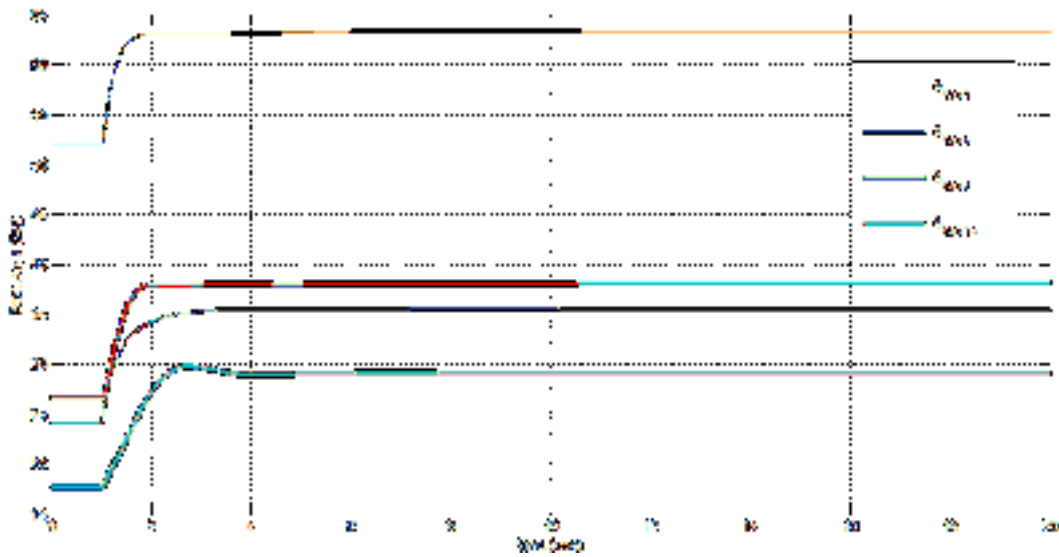
## **1. Analisis Stabilitas Dinamik Sebelum Injeksi PLTB Sidrap Pada Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR**

### **a. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Sebelum Injeksi PLTB Sidrap (*Fault* di GI Soppeng150)**

#### ➤ Stabilitas Sudut Rotor

Hasil stabilitas sudut rotor sistem SULSELBAR sebelum injeksi daya PLTB Sidrap ditunjukkan pada Gambar 4.14. Hasil stabilitas digunakan PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) karena sistem menggunakan berbagai jenis pembangkit daya listrik dengan banyak unit pembangkit yang berbeda-beda sehingga respon tipikal dari sudut rotor untuk masing – masing pembangkit berbeda tersebut.

Dari Gambar 4.14 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dapat dituangkan dalam bentuk tabel, sebagai mana ditunjukkan pada Tabel 4.10.



Gambar 4.14 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Soppeng150)

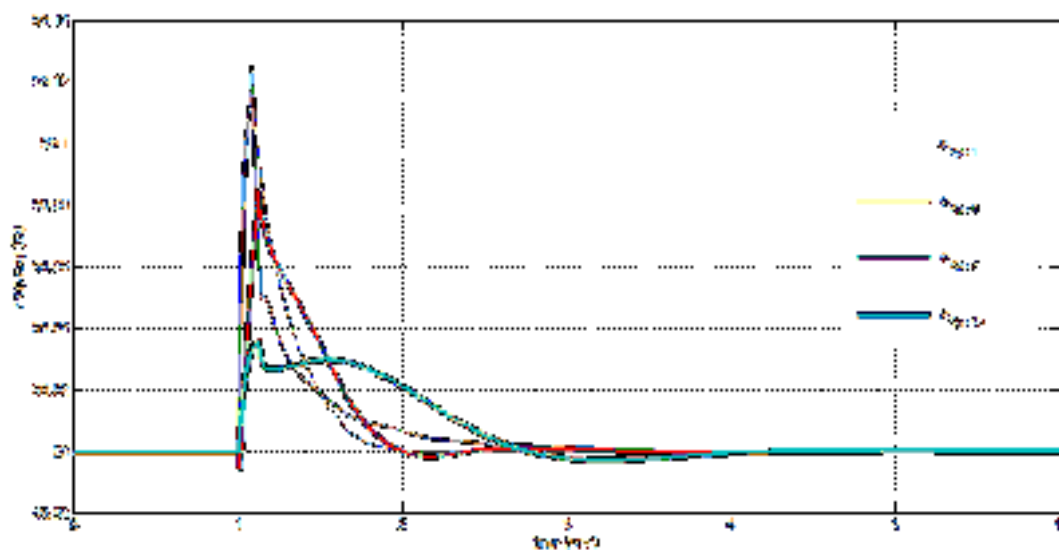
Pada Tabel 4.10 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut equilibrium steady-state. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 10.1 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 10.6 detik, PLTU Barru (G7) 6.5 detik dan PLTA Poso (G13) 4.6 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.10 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (*fault* GI Soppeng150)

Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks Min	51.98	63.43	63.38	10.1
G6	Maks Min	24.08	35.50	35.48	10.6
G7	Maks Min	26.65	38.02 37.95	38	6.5
G13	Maks Min	17.71	29.82 28.95	29	4.6

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi sebelum injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.15. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik ke 1.



Gambar 4.15 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* G1 Soppeng 150)

Dari Gambar 4.15 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11. Dari Tabel 4.11 stabilitas frekuensi sebelum injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi kerja 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 11.1 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 12.2 detik, PLTU Barru (G7) selama 11.7 detik dan PLTA Poso (G13) selama 11.4 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

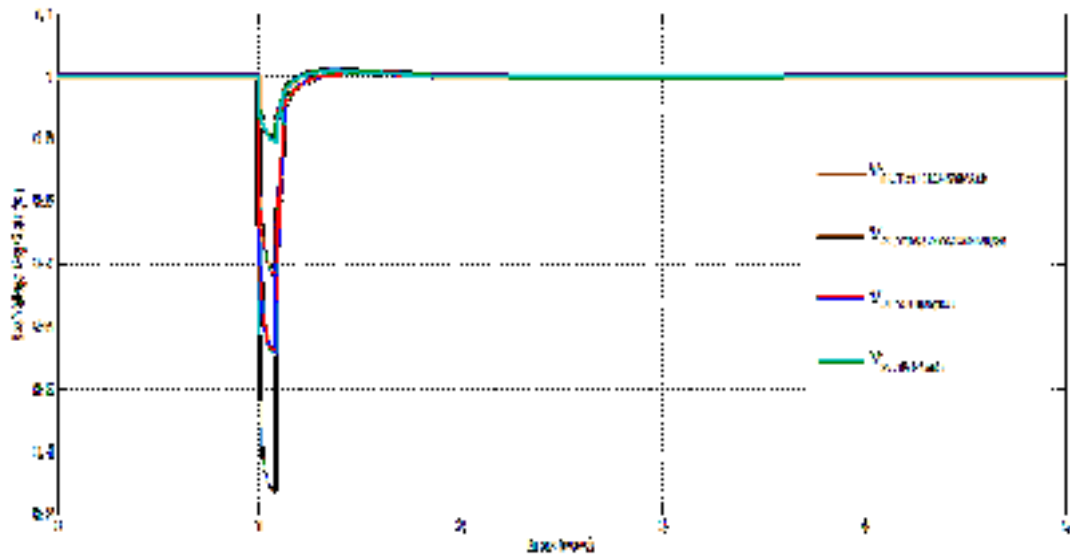
Tabel 4.11 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (*fault* GI Soppeng150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.12	50	11.1
	Min	49.99		
G6	Maks	50.11	50	12.2
	Min	49.99		
G7	Maks	50.08	50	11.7
	Min	49.99		
G13	Maks	50.03	50	11.4
	Min	49.99		

➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.16 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.16 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada tabel 4.12 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1. Pada Tabel 4.12 stabilitas tegangan sebelum injeksi, tegangan mengalami *drop* dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 5.6 detik, PLTD Sungguminasa selama 10.9 detik, PLTU Barru selama 11.5 detik dan PLTA Poso selama 10.9 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.



Gambar 4.16 Grafik Tegangan  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Tabel 4.12 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (*fault* GI Soppeng150)

Bus	V (drop) (pu)	V (Steady State) (pu)	Waktu (Steady State) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.33	1	11.5
PLTD Sungguminasa	0.68	1	10.9
PLTU Barru	0.55	1	10.9
PLTA Poso	0.89	1	5.7

#### b. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Sebelum Injeksi

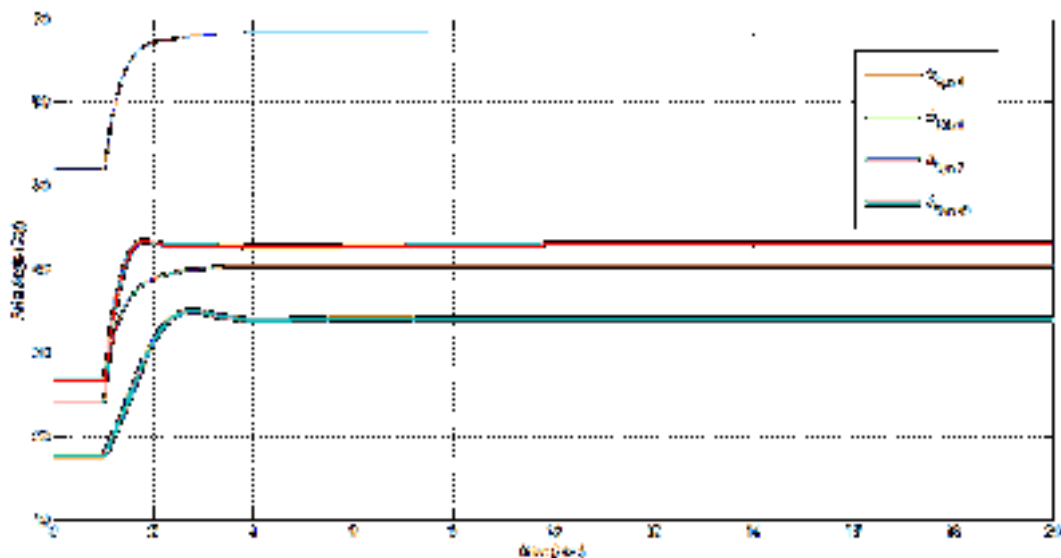
##### PLTB Sidrap (*Fault* di GI Parepare150)

###### ➤ Stabilitas Sudut Rotor

Hasil stabilitas sudut rotor sistem SULSELBAR sebelum injeksi daya PLTB Sidrap ditunjukkan pada Gambar 4.17. Hasil stabilitas digunakan PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) karena sistem menggunakan

berbagai jenis pembangkit daya listrik dengan banyak unit pembangkit yang berbeda-beda sehingga dipilih generator yang sudut rotornya berbeda.

Pada Gambar 4.17 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 4.13, yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.17 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare150)

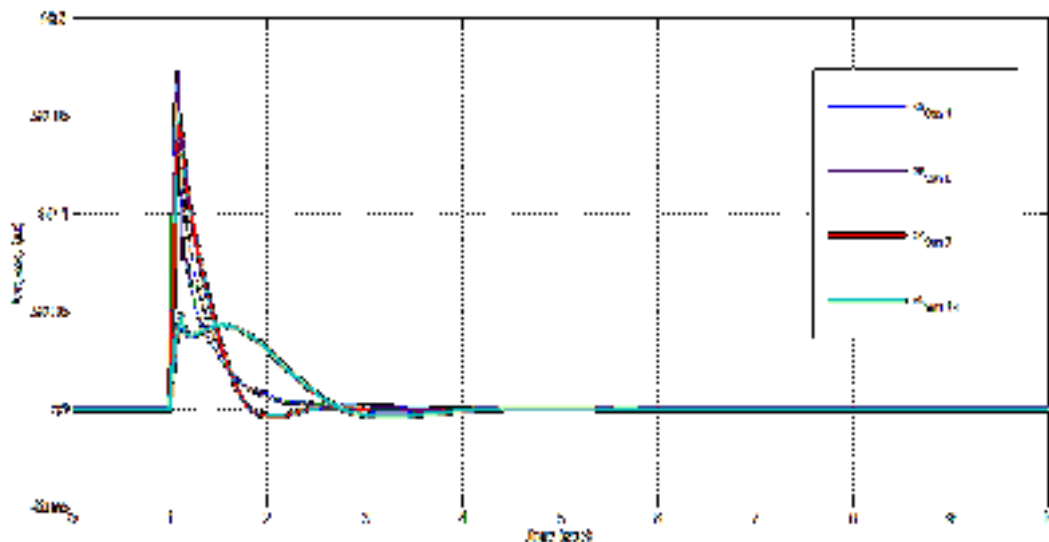
Pada Tabel 4.13 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut equilibrium steady-state. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 10.2 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 10.6 detik, PLTU Barru (G7) 6.5 detik dan PLTA Poso (G13) 10.5 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.13 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare150)

Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	51.98	68.33	68.24	10.2
G6	Maks Min	24.08	35.50	40.34	10.6
G7	Maks Min	26.65	40.38	38	6.5
G13	Maks Min	17.71	35.01 33.84	33.97	10.5

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.18. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.

Gambar 4.18 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Dari Gambar 4.18 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.14 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.14 stabilitas frekuensi sebelum injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 12 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 12 detik, PLTU Barru (G7) selama 12.1 detik dan PLTA Poso (G13) selama 11.5 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.14 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare150)

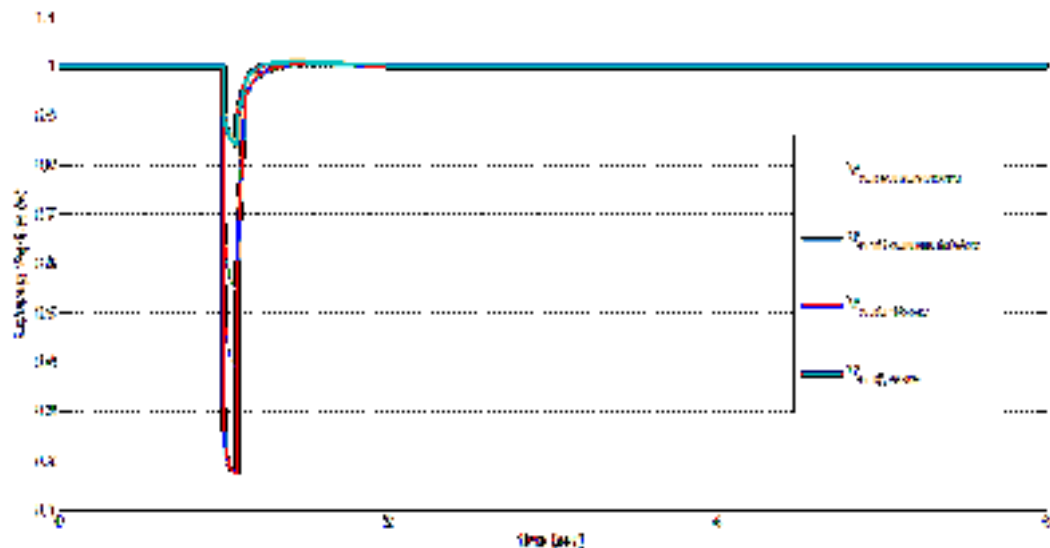
Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.14	50	12
	Min	49.99		
G6	Maks	50.17	50	12
	Min	49.99		
G7	Maks	50.14	50	12.1
	Min	49.99		
G13	Maks	50.04	50	11.5
	Min	49.99		

#### ➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.19 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.



Pada Gambar 4.19 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.15 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.19 Grafik Tegangan  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Pada tabel 4.15 stabilitas tegangan sebelum injeksi, tegangan mengalami drop dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 9.9 detik, PLTD Sungguminasa selama 10.7 detik, PLTU Barru selama 14.5 detik dan PLTA Poso selama 5.6 detik.

Tabel 4.15 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (*fault* GI Parepare150)

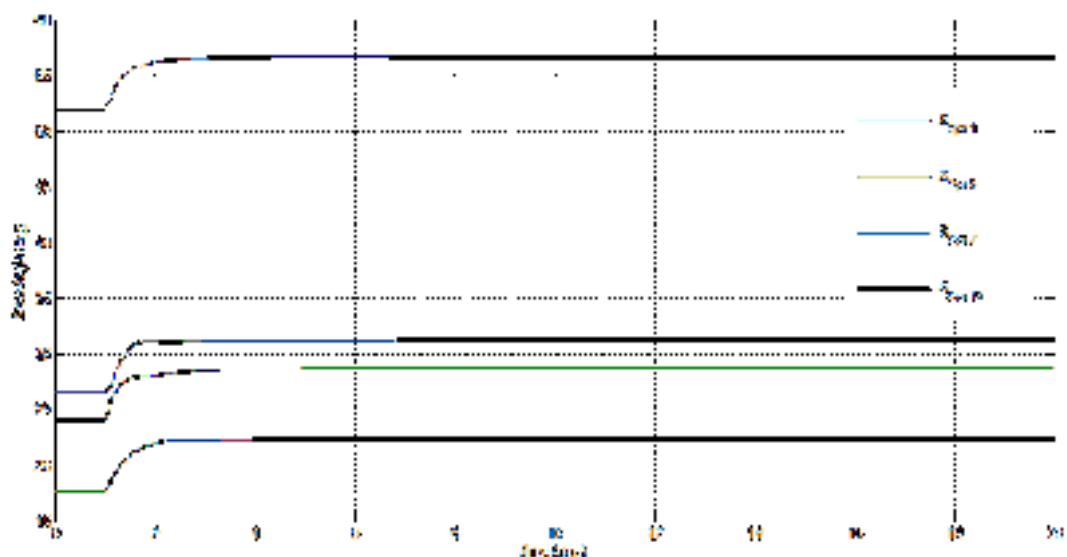
Bus	V (drop) (pu)	V (Steady State) (pu)	Waktu (Steady State) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.38	1	9.9
PLTD Sungguminasa	0.54	1	10.7
PLTU Barru	0.17	1	14.5
PLTA Poso	0.84	1	5.6

### c. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Sebelum Injeksi PLTB Sidrap (*Fault* di GI Makale150)

#### ➤ Stabilitas Sudut Rotor

Hasil stabilitas sudut rotor sistem SULSELBAR sebelum injeksi daya PLTB Sidrap ditunjukkan pada gambar 4.20. Hasil stabilitas digunakan PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) karena sistem menggunakan berbagai jenis pembangkit daya listrik dengan banyak unit pembangkit yang berbeda-beda sehingga dipilih generator yang sudut rotornya berbeda.

Pada gambar 4.20 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 4.16, yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.20 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale150)

Pada Tabel 4.16 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil

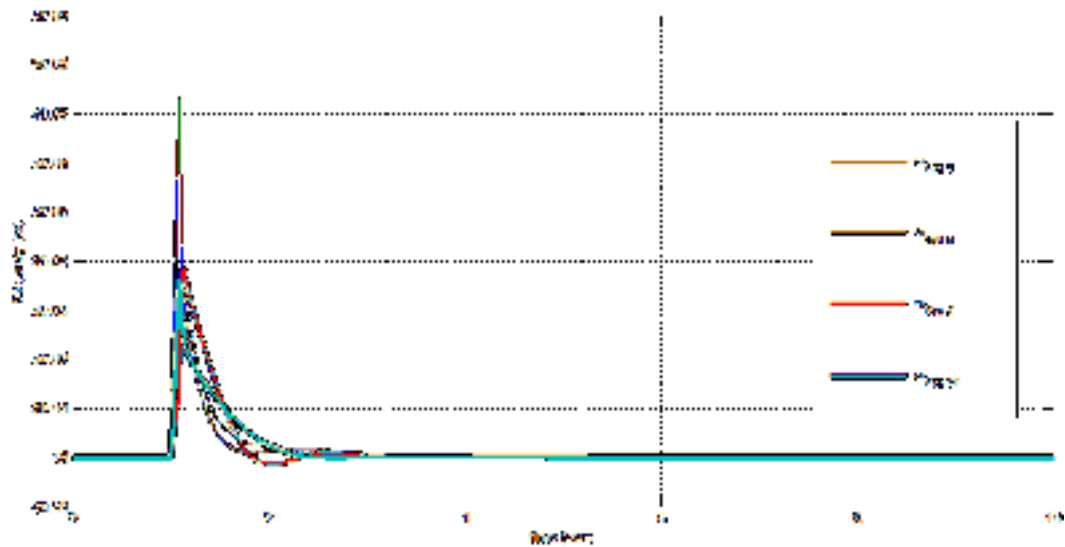
dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 10 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 9.5 detik, PLTU Barru (G7) 17.7 detik dan PLTA Poso (G13) 10.3 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.16 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale150)

Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	51.98	56.67	56.65	10
G6	Maks Min	24.08	28.76	28.75	9.5
G7	Maks Min	26.65	31.33	31.32	17.7
G13	Maks Min	17.71	22.40	22.38	10.3

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.21. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.21 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Dari Gambar 4.21 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.17 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.17 stabilitas frekuensi sebelum injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 9 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 11.1 detik, PLTU Barru (G7) selama 10.5 detik dan PLTA Poso (G13) selama 10.2 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

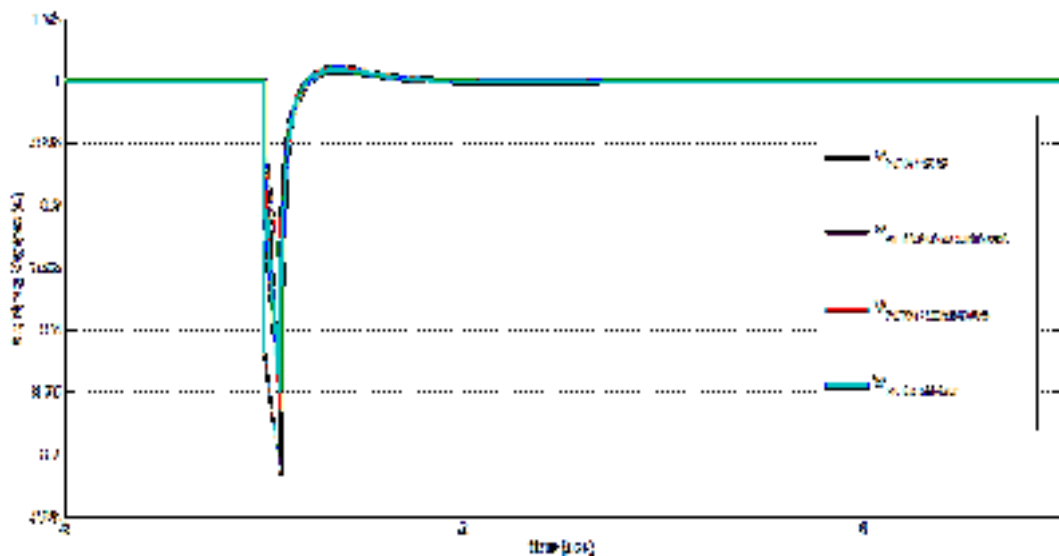
Tabel 4.17 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.03	50	9
	Min	49.99		
G6	Maks	50.07	50	11.1
	Min	49.99		
G7	Maks	50.03	50	10.5
	Min	49.99		
G13	Maks	50.03	50	10.2
	Min	49.99		

➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.22 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.22 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.18 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.22 Grafik Tegangan  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Pada Tabel 4.21 stabilitas tegangan sebelum injeksi, tegangan mengalami drop dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 8.2 detik, PLTD Sungguminasa selama 9.2 detik, PLTU Barru selama 10 detik dan PLTA Poso selama 6.2 detik.

Tabel 4.18 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (*fault* GI Makale 150)

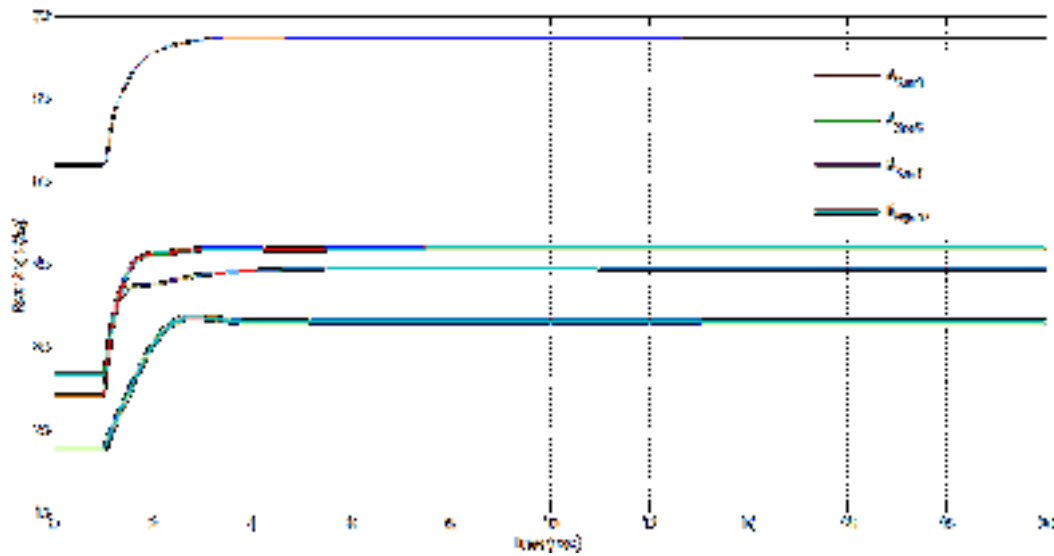
Bus	V (drop) (pu)	V ( <i>Steady State</i> ) (pu)	Waktu ( <i>Steady State</i> ) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.73	1	8.2
PLTD Sungguminasa	0.84	1	9.2
PLTU Barru	0.75	1	10
PLTA Poso	0.68	1	6.2

**d. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Sebelum Injeksi  
PLTB Sidrap (*Fault* di GI Maros150)**

➤ Stabilitas Sudut Rotor

Hasil stabilitas sudut rotor sistem SULSELBAR sebelum injeksi daya PLTB Sidrap ditunjukkan pada Gambar 4.23. Hasil stabilitas digunakan PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) karena sistem menggunakan berbagai jenis pembangkit daya listrik dengan banyak unit pembangkit yang berbeda-beda sehingga dipilih generator yang sudut rotornya berbeda.

Pada Gambar 4.23 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel seperti ditunjukkan pada Tabel 4.19, yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.23 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

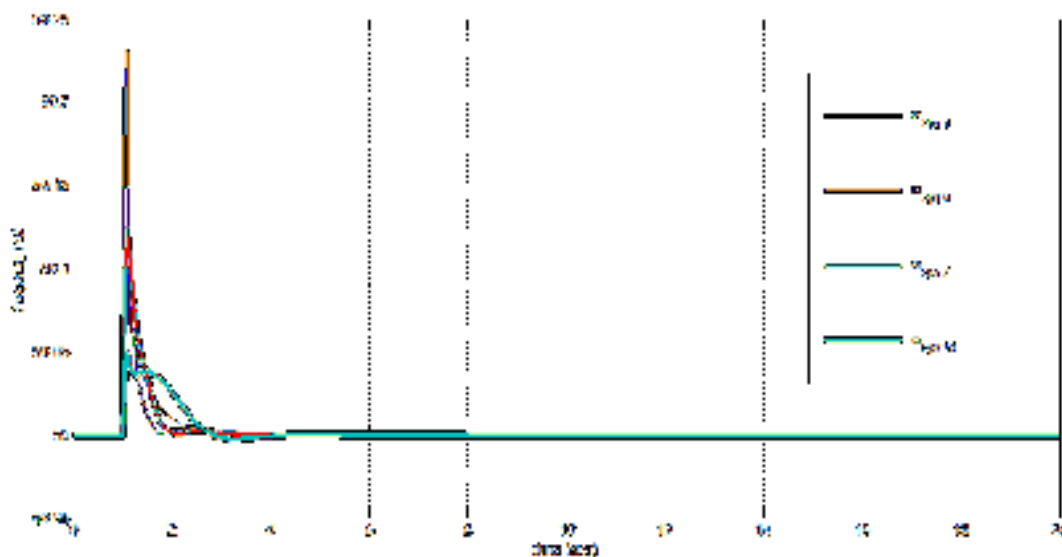
Pada Tabel 4.19 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Senggang (G1) 11.9 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 12.1 detik, PLTU Barru (G7) 16.4 detik dan PLTA Poso (G13) 12.2 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.19 Stabilitas Sudut Rotor Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	51.98	67.44	67.26	11.9
G6	Maks Min	24.08	39.42	39.36	12.1
G7	Maks Min	26.65	41.94	41.93	16.4
G13	Maks Min	17.71	33.55 32.91	32.99	12.2

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.24. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.24 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Dari Gambar 4.24 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.20 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.20 stabilitas frekuensi sebelum injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 13.2 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 13.9 detik, PLTU Barru (G7) selama 13.9 detik dan PLTA Poso (G13) selama 12.9 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.



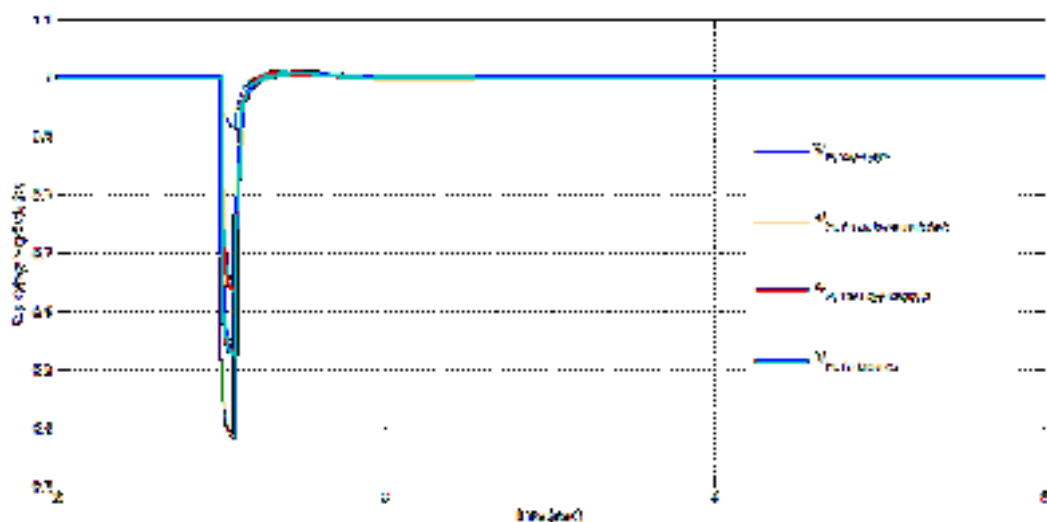
Tabel 4.20 Stabilitas Frekuensi Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.11	50	13.2
	Min	49.99		
G6	Maks	50.23	50	13.9
	Min	49.99		
G7	Maks	50.12	50	13.9
	Min	49.99		
G13	Maks	50.04	50	12.9
	Min	49.99		

### ➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan sebelum injeksi ditunjukkan pada gambar 4.25 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.25 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.21 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Gambar 4.25 Grafik Tegangan  $f(t)$  Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Pada Tabel 4.21 stabilitas tegangan sebelum injeksi, tegangan mengalami drop dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 8.2 detik, PLTD Sungguminasa selama 9.2 detik, PLTU Barru selama 10 detik dan PLTA Poso selama 6.2 detik.

Tabel 4.21 Stabilitas Tegangan Sebelum Injeksi (*fault* GI Maros 150)

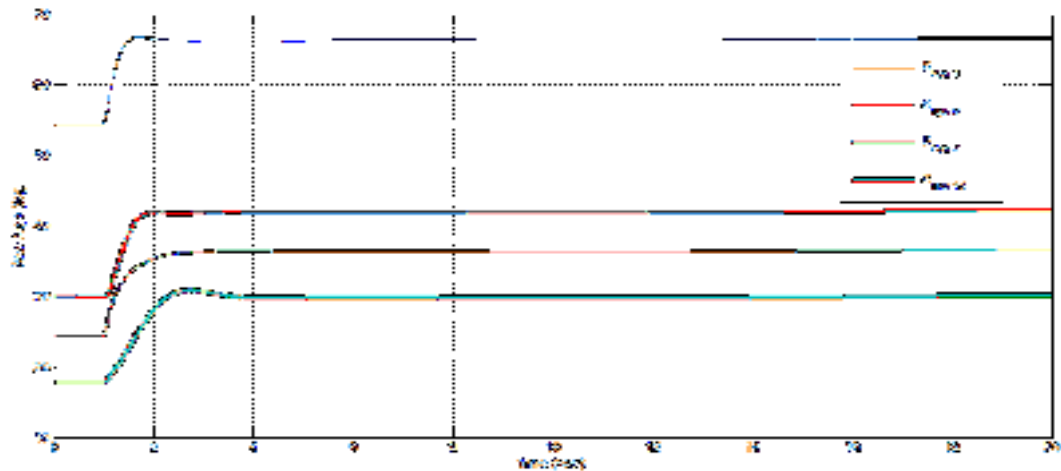
Bus	V (drop) (pu)	V (Steady State) (pu)	Waktu (Steady State) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.63	1	10.8
PLTD Sungguminasa	0.38	1	10.2
PLTU Barru	0.52	1	10.8
PLTA Poso	0.91	1	6.9

## 2. Analisis Stabilitas Dinamik Setelah Injeksi PLTB Sidrap Pada Sistem Kelistrikan Interkoneksi SULSELBAR

### a. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Setelah Injeksi PLTB Sidrap (*Fault* di GI Soppeng150)

#### ➤ Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor setelah diinjeksi, dengan fault pada GI Soppeng 150 ditunjukkan pada Gambar 4.26, yang dibahas adalah sudut rotor pada PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13).



Gambar 4.26 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Dari Gambar 4.26 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.22 yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Pada Tabel 4.22 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 9.3 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 8.8 detik, PLTU Barru (G7) 14.7 detik dan PLTA Poso (G13) 17.2 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.22 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

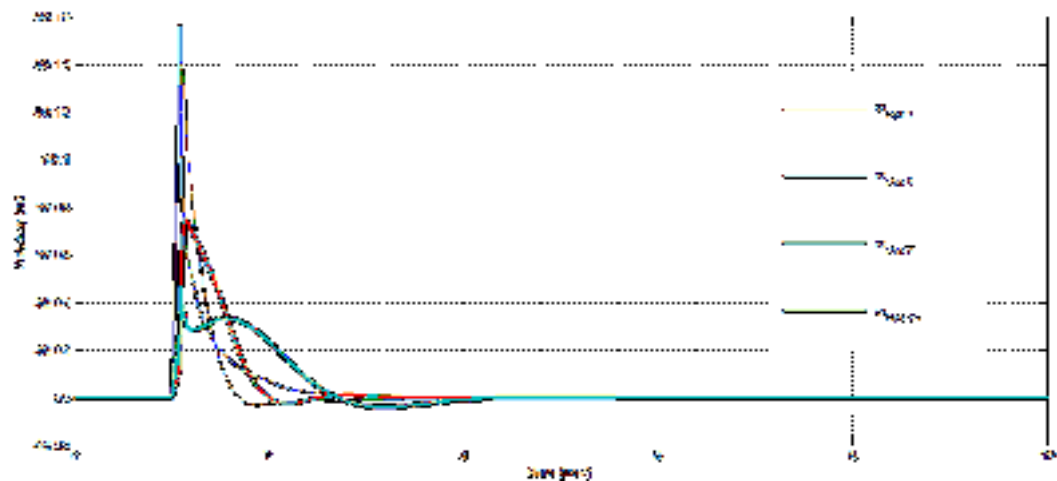
Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks	54.35	66.75	66.29	9.3
	Min		66.04		
G6	Maks	24.32	36.49	36.29	8.8
	Min		36.26		
G7	Maks	29.92	42	42	14.7
	Min		41.84		

Lanjutan Tabel 4.22

G13	Maks	17.78	30.85	30	17.2
	Min		29.70		

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.27. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.27 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Dari Gambar 4.27 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.23 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.23 stabilitas frekuensi setelah injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 10.1 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 10.8 detik, PLTU Barru (G7) selama 9.6 detik dan PLTA Poso (G13) selama 10 detik setelah gangguan dihilangkan.

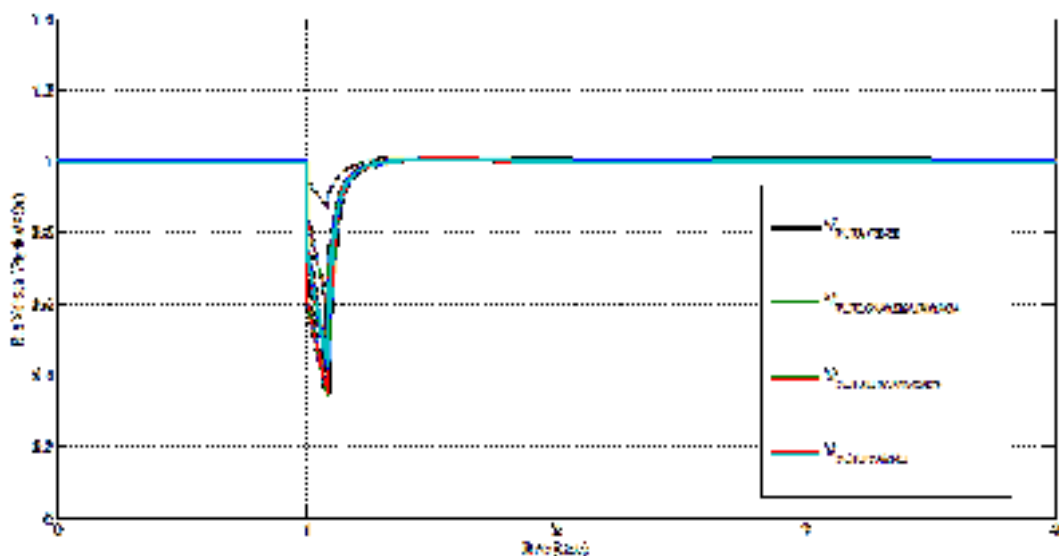
Tabel 4.23 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.15	50	10.1
	Min	49.99		
G6	Maks	50.15	50	10.8
	Min	49.99		
G7	Maks	50.07	50	9.6
	Min	49.99		
G13	Maks	50.03	50	10
	Min	49.99		

➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan setelah injeksi ditunjukkan pada gambar 4.28 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.28 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada tabel 4.24 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.



Gambar 4.28 Grafik Tegangan  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Pada Tabel 4.24 stabilitas tegangan setelah injeksi, tegangan mengalami *drop* dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 9.5 detik, PLTD Sungguminasa selama 11.1 detik, PLTU Barru selama 10.7 detik dan PLTA Poso selama 5.8 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sebelum sistem memasuki batas maksimum pemutusan gangguan yaitu 0.08 detik dari saat terjadi gangguan, sistem telah berada pada daerah *steady state*, sehingga dapat beroperasi dengan aman dan suplai daya tetap terjaga.

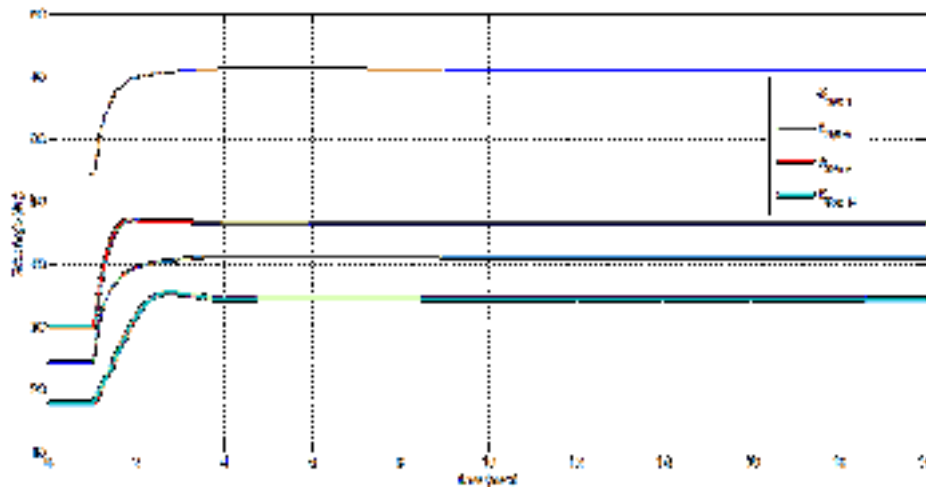
Tabel 4.24 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (*fault* GI Soppeng 150)

Bus	$V$ ( <i>drop</i> ) (pu)	$V$ ( <i>Steady State</i> ) (pu)	Waktu ( <i>Steady State</i> ) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.33	1	9.5
PLTD Sungguminasa	0.59	1	11.1
PLTU Barru	0.42	1	10.7
PLTA Poso	0.86	1	5.8

**b. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Setelah Injeksi  
PLTB Sidrap (*Fault* di GI Parepare150)**

➤ Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor setelah diinjeksi, dengan fault pada GI Parepare 150 ditunjukkan pada Gambar 4.29, yang dibahas adalah sudut rotor pada PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13).



Gambar 4.29 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Dari Gambar 4.29 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.25 yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Pada Tabel 4.25 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 9 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 11.1 detik, PLTU Barru (G7) 6.9 detik dan PLTA Poso (G13) 10.1 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.25 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

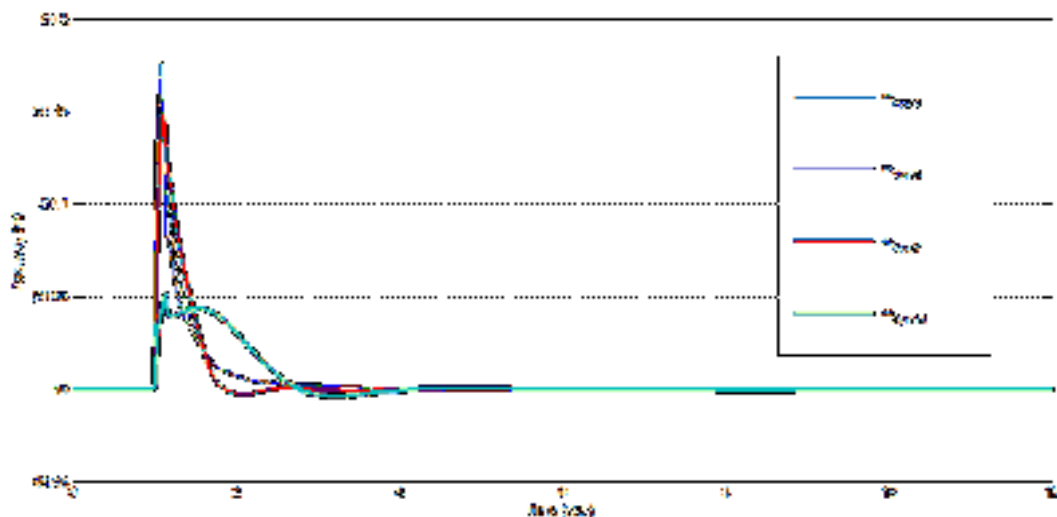
Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	54.35	71.3	71	9
G6	Maks Min	24.32	41.19 41	40	11.1
G7	Maks Min	29.92	46.99 46.44	46.6	6.9

Lanjutan Tabel 4.25

G13	Maks	17.78	35.52	34.4	10.1
	Min				

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.30. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.30 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Dari Gambar 4.30 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.26 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.26 stabilitas frekuensi setelah injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 5.4 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 4.6 detik, PLTU Barru (G7) selama 4.6 detik dan PLTA Poso (G13) selama 5.9 detik setelah gangguan dihilangkan.



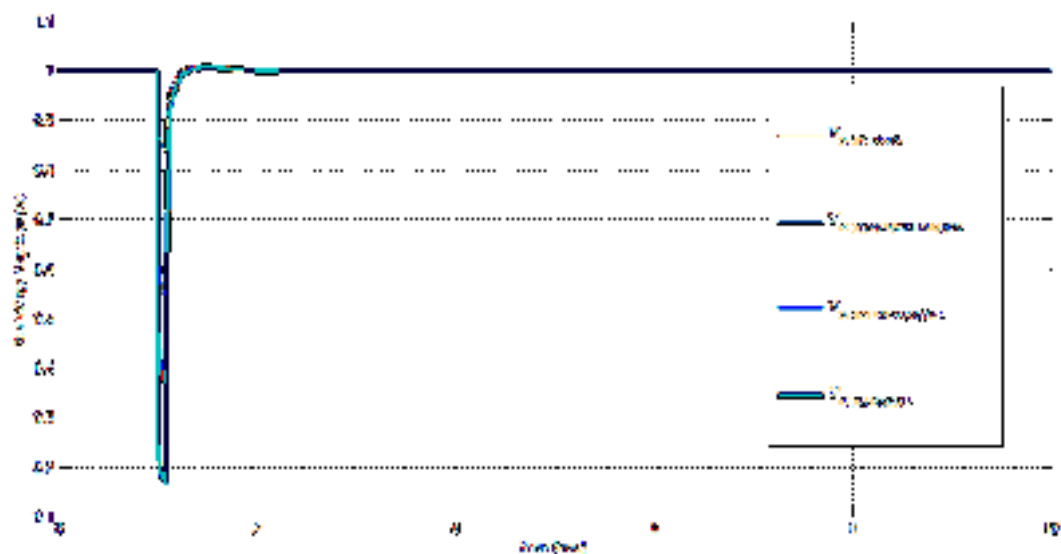
Tabel 4.26 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks Min	50.14	50	5.4
G6	Maks Min	50.17 49.99	50	4.6
G7	Maks Min	50.14 49.99	50	4.6
G13	Maks Min	50.05 49.99	50	5.9

➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.31 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.31 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.27 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Gambar 4.31 Grafik Tegangan  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Pada Tabel 4.27 stabilitas tegangan setelah injeksi, tegangan mengalami *drop* dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 9.5 detik, PLTD Sungguminasa selama 11.1 detik, PLTU Barru selama 10.7 detik dan PLTA Poso selama 5.8 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sebelum sistem memasuki batas maksimum pemutusan gangguan yaitu 0.083 detik dari saat terjadi gangguan, sistem telah berada pada daerah *steady state*, sehingga dapat beroperasi dengan aman dan suplai daya tetap terjaga.

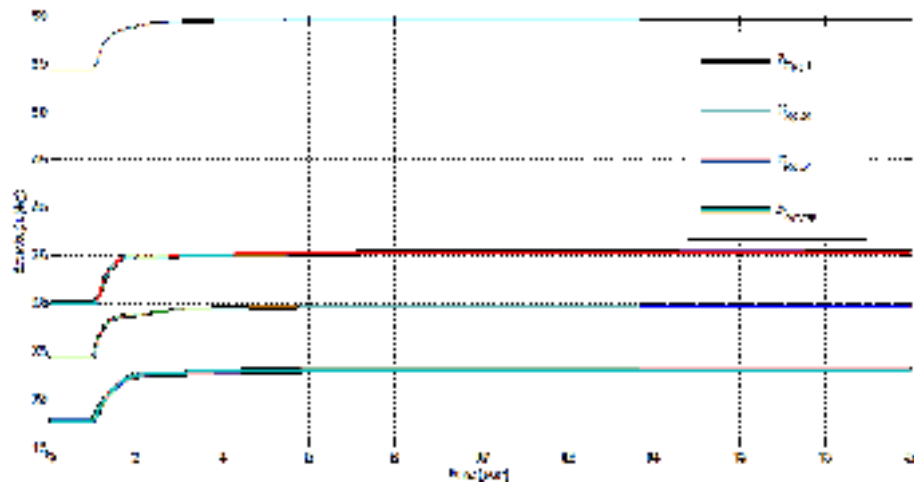
Tabel 4.27 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (*fault* GI Parepare 150)

Bus	V (drop) (pu)	V (Steady State) (pu)	Waktu (Steady State) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.37	1	4
PLTD Sungguminasa	0.54	1	7.2
PLTU Barru	0.17	1	10.5
PLTA Poso	0.83	1	4.2

**c. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Setelah Injeksi  
PLTB Sidrap (*Fault* di GI Makale150)**

➤ Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor setelah diinjeksi, dengan fault pada GI Makale 150 ditunjukkan pada Gambar 4.32, yang dibahas adalah sudut rotor pada PLTGU Sengkang (G1) sebagai *reference angle*, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13).



Gambar 4.32 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Dari Gambar 4.32 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.28 yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Pada Tabel 4.28 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 2.3 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 2.3 detik, PLTU Barru (G7) 3.1 detik dan PLTA Poso (G13) 5.3 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.28 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (*fault* GI Makale 150)

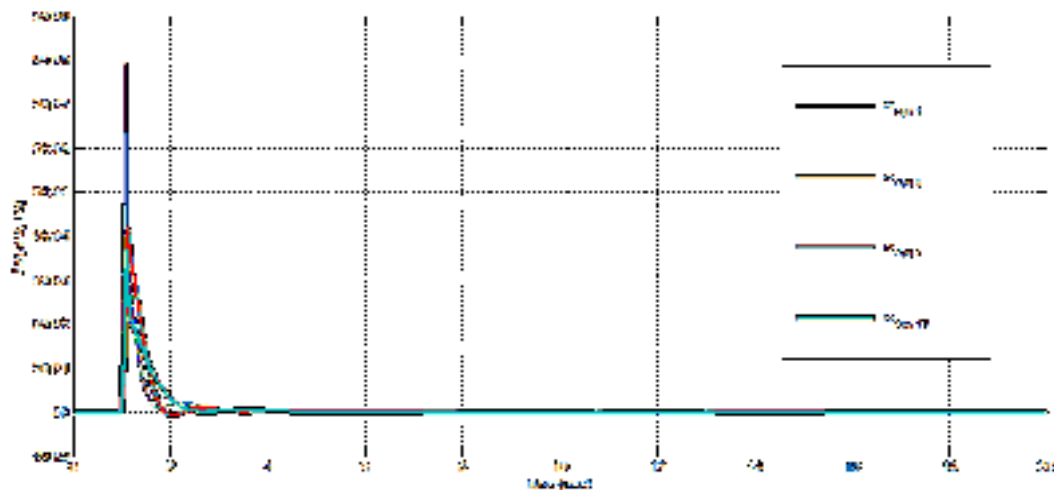
Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	54.33	59	59	2.3
G6	Maks Min	24.36	29	29	2.3
G7	Maks Min	29.96	35	35	3.1

Lanjutan Tabel 4.28

G13	Maks Min	17.78	23	23	5.3
-----	-------------	-------	----	----	-----

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.33. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.33 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* G1 Makale 150)

Dari Gambar 4.33 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.29 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.29 stabilitas frekuensi setelah injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 8.2 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 8.2 detik, PLTU Barru (G7) selama 8.3 detik dan PLTA Poso (G13) selama 8.5 detik setelah gangguan dihilangkan.

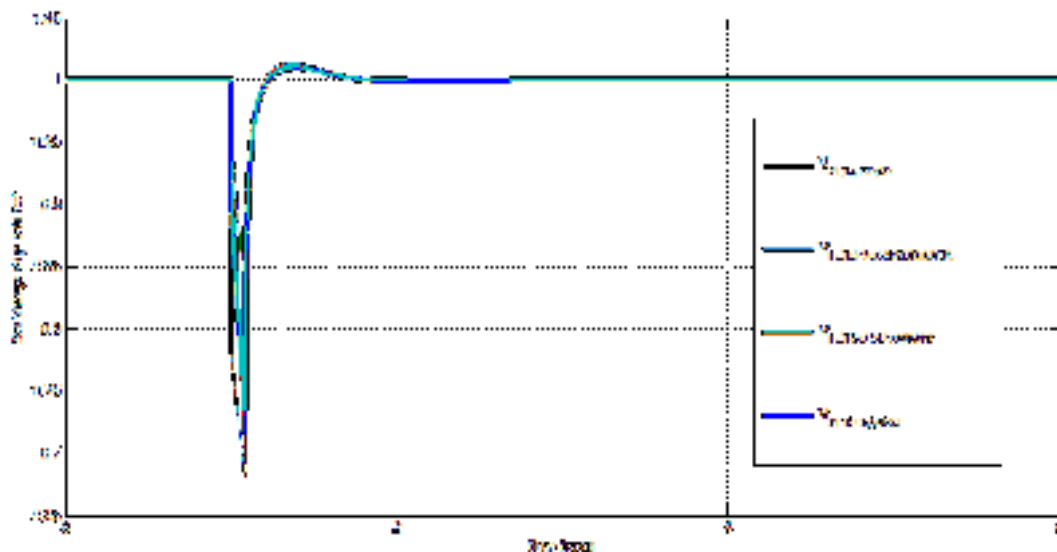
Tabel 4.29 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.04	50	8.2
	Min	49.99		
G6	Maks	50.07	50	8.2
	Min	49.99		
G7	Maks	50.04	50	8.3
	Min	49.99		
G13	Maks	50.03	50	8.5
	Min			

➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.34 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.34 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.30 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Gambar 4.34 Grafik Tegangan  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Pada Tabel 4.30 stabilitas tegangan setelah injeksi, tegangan mengalami drop dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 5.3 detik, PLTD Sungguminasa selama 3.5 detik, PLTU Barru selama 8.6 detik dan PLTA Poso selama 3.7 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sebelum sistem memasuki batas maksimum pemutusan gangguan yaitu 0.08 detik dari saat terjadi gangguan, sistem telah berada pada daerah *steady state*, sehingga dapat beroperasi dengan aman dan suplai daya tetap terjaga.

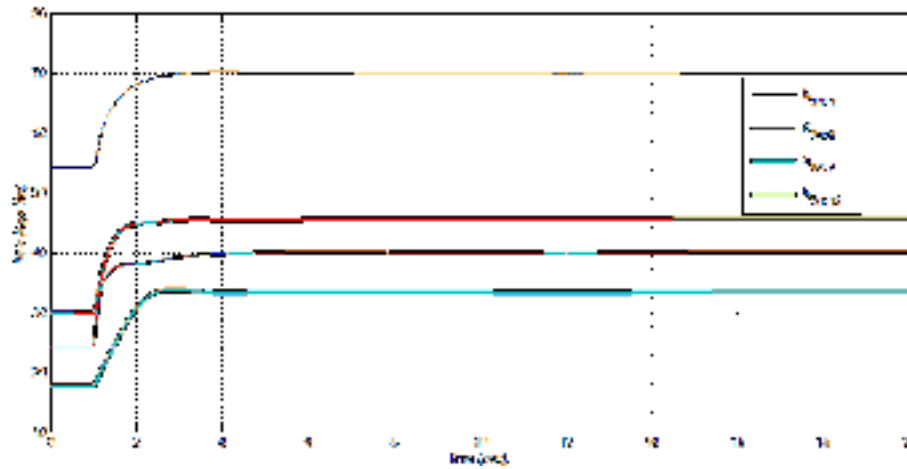
Tabel 4.30 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (*fault* GI Makale 150)

Bus	V (drop) (pu)	V (Steady State) (pu)	Waktu (Steady State) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.71	1	5.3
PLTD Sungguminasa	0.83	1	3.5
PLTU Barru	0.73	1	8.6
PLTA Poso	0.68	1	3.7

#### d. Stabilitas Sudut Rotor, Frekuensi, Tegangan Setelah Injeksi PLTB Sidrap (*Fault* di GI Maros150)

##### ➤ Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor setelah diinjeksi, dengan fault pada GI Maros 150 ditunjukkan pada Gambar 4.35, yang dibahas adalah sudut rotor pada PLTGU Sengkang (G1) sebagai reference angle, PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13).



Gambar 4.35 Grafik Sudut Rotor  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Dari Gambar 4.35 hasil simulasi grafik sudut rotor fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.31 yang mana saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

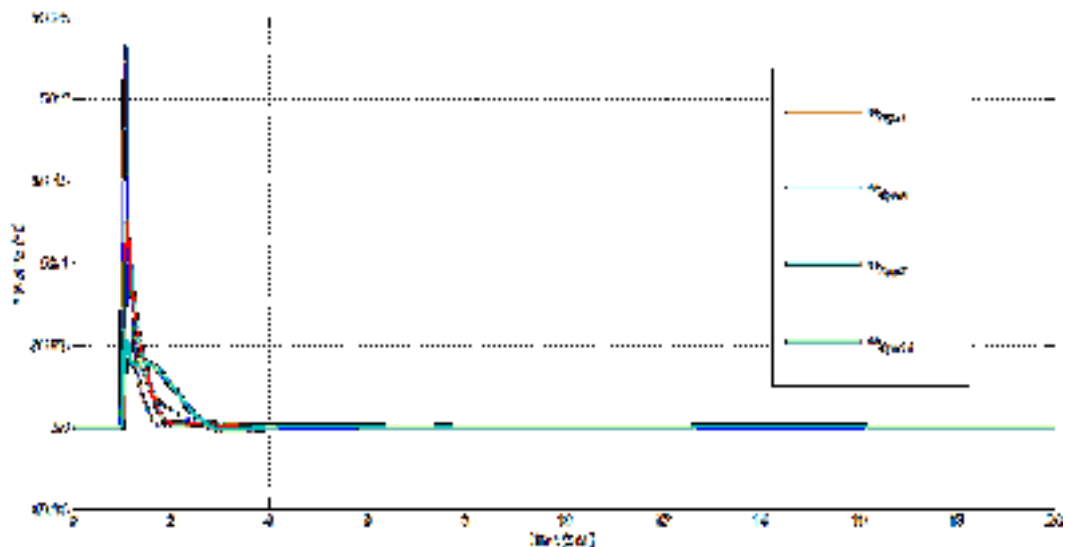
Pada Tabel 4.31 Pada tabel ditunjukkan osilasi transien sudut maksimum dan minimum yang terjadi, dan nilai sudut *equilibrium steady-state*. Sudut rotor mengalami osilasi transien dan dapat kembali stabil dengan sudut yang baru, dengan waktu pemulihan adalah PLTGU Sengkang (G1) 5.4 detik, PLTD Sungguminasa (G6) 8.2 detik, PLTU Barru (G7) 11.3 detik dan PLTA Poso (G13) 6.8 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem.

Tabel 4.31 Stabilitas Sudut Rotor Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Generator	Ayunan $\angle\delta$	$\angle\delta$ Awal (Derajat)	$\angle\delta$ Selama Gangguan (Derajat)	$\angle\delta$ Baru (Derajat)	Waktu <i>Steady State</i> (Detik)
G1	Maks Min	54.33	70.19	70	5.4
G6	Maks Min	24.32	40.08	40	8.2
G7	Maks Min	29.92	45.54	45	11.3
G13	Maks Min	17.78	33.50	33	6.8

➤ Stabilitas Frekuensi

Hasil simulasi frekuensi setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.36. sebelum terjadi gangguan frekuensi generator PLTGU Sengkang (G1), PLTD Sungguminasa (G6), PLTU Barru (G7) dan PLTA Poso (G13) berada pada frekuensi kerja yaitu 50 Hz, hingga terjadi gangguan pada detik1.



Gambar 4.36 Grafik Frekuensi  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Dari Gambar 4.36 hasil simulasi grafik frekuensi fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.32 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan detik 1. Dari Tabel 4.32 stabilitas frekuensi setelah injeksi, menunjukkan frekuensi mengalami osilasi dan dapat kembali stabil pada frekuensi 50 Hz dengan waktu pemulihan PLTGU Sengkang (G1) 11.9 detik, PLTD Sungguminasa (G6) selama 6.4 detik, PLTU Barru (G7) selama 8.1 detik dan PLTA Poso (G13) selama 6.3 detik setelah gangguan dihilangkan.



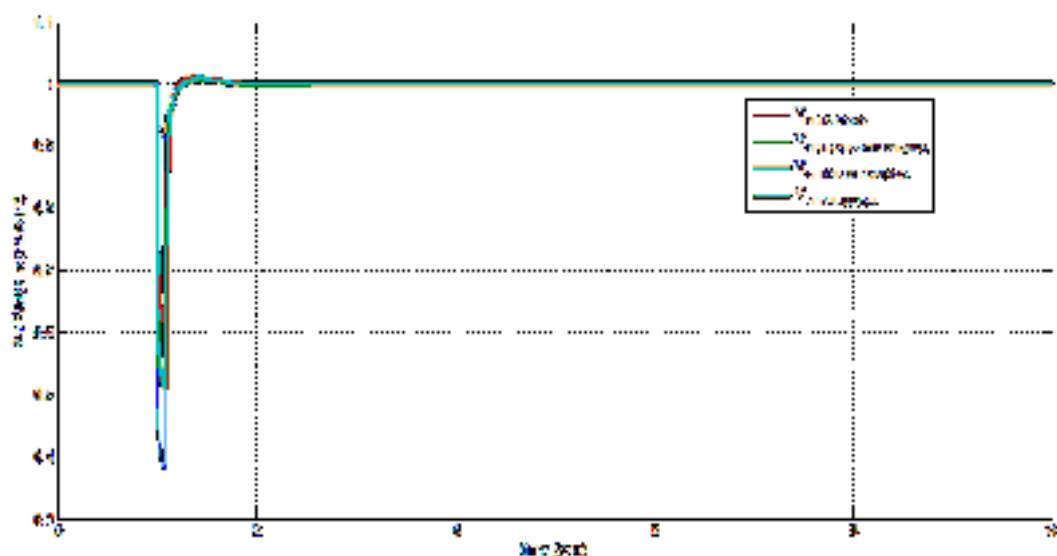
Tabel 4.32 Stabilitas Frekuensi Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Generator	Ayunan $\omega$	$\omega$ Selama Gangguan (Hz)	$\omega$ Steady State (Hz)	Waktu Steady State (Detik)
G1	Maks	50.11	50	11.9
	Min	49.99		
G6	Maks	50.23	50	6.4
	Min			
G7	Maks	50.12	50	8.1
	Min	49.99		
G13	Maks	50.05	50	6.3
	Min	49.99		

### ➤ Stabilitas Tegangan

Stabilitas Tegangan setelah injeksi ditunjukkan pada Gambar 4.37 untuk bus generator PLTGU Sengkang, PLTD Sungguminasa, PLTU Barru dan PLTA Poso, bus generator ini sebelum terjadi gangguan semuanya bekerja pada tegangan 1 pu, hingga terjadi gangguan pada detik 1.

Pada Gambar 4.37 hasil simulasi grafik tegangan fungsi waktu dapat dituangkan dalam bentuk tabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.33 yang mana pada saat sistem mengalami gangguan pada detik 1.

Gambar 4.37 Grafik Tegangan  $f(t)$  Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

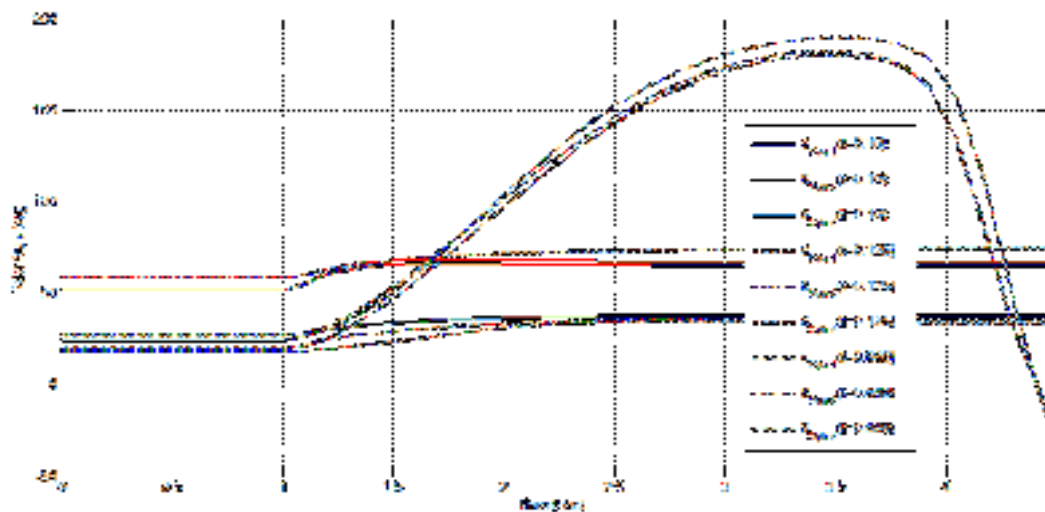
Pada Tabel 4.33 stabilitas tegangan setelah injeksi, tegangan mengalami drop dan dapat kembali stabil pada tegangan kerja 1 pu, dengan waktu pemulihan untuk bus PLTGU Sengkang selama 5.8 detik, PLTD Sungguminasa selama 5.1 detik, PLTU Barru selama 9.7 detik dan PLTA Poso selama 4.2 detik setelah gangguan dihilangkan dari sistem. Sebelum sistem memasuki batas maksimum pemutusan gangguan yaitu 0.08 detik dari saat terjadi gangguan, sistem telah berada pada daerah *steady state*, sehingga dapat beroperasi dengan aman dan suplai daya tetap terjaga.

Tabel 4.33 Stabilitas Tegangan Setelah Injeksi (*fault* GI Maros 150)

Bus	V (drop) (pu)	V ( <i>Steady State</i> ) (pu)	Waktu ( <i>Steady State</i> ) (Detik)
PLTGU Sengkang	0.61	1	5.8
PLTD Sungguminasa	0.37	1	5.1
PLTU Barru	0.51	1	9.7
PLTA Poso	0.90	1	4.2

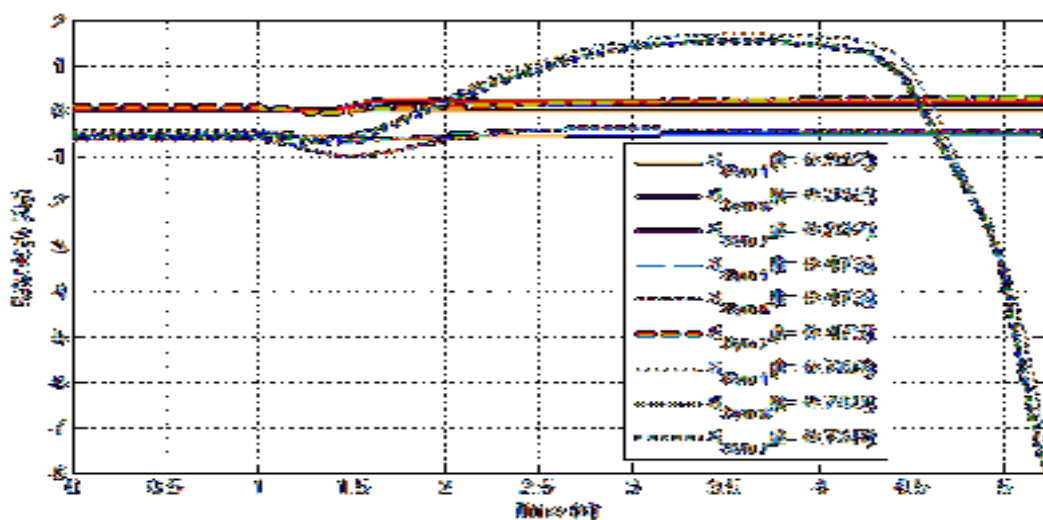
### E. Waktu Pemutusan Kritis

Untuk mengetahui waktu pemutusan kritis pada sistem kelistrikan SULSELBAR sebelum dan setelah injeksi daya PLTB Sidrap, dapat dilakukan dengan *trial and error* dengan mengubah-ubah nilai waktu gangguan. Untuk sebelum injeksi dilakukan simulasi stabilitas dengan durasi 0.10 detik, 0.125 detik, 0.669 detik dan waktu gangguan ketika sudut rotor mengalami lepas sinkron, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Grafik Waktu Pemutusan sudut rotor sebelum Injeksi (*Fault GI Sopping*)

Dari Gambar 4.38 waktu pemutusan kritis sebelum injeksi dengan gangguan pada GI Sopping, menunjukkan generator pada sistem akan mengalami lepas sinkron pada gangguan berlangsung selama 0.669 detik. Sedangkan untuk setelah injeksi dilakukan simulasi stabilitas dengan durasi 0.332 detik, 0.473 detik, dan 0.789 detik sudut rotor mengalami lepas sinkron seperti ditunjukkan pada gambar 4.39.



Gambar 4.39 Grafik Waktu Pemutusan sudut rotor setelah Injeksi (*Fault GI Sopping*)

Pada Gambar 4.39 waktu pemutusan kritis setelah injeksi PLTB Sidrap dengan gangguan di GI Soppeng, menunjukkan generator pada sistem mengalami lepas sinkron pada gangguan yang berlangsung selama 0.789 detik. Dari Tabel 4.34 Waktu pemutusan kritis pada sistem setelah injeksi PLTB Sidrap memiliki waktu lebih lama 0.789 detik dibandingkan dengan waktu pemutusan kritis pada sistem sebelum di injeksi PLTB Sidrap.

Tabel 4.34 Waktu Pemutusan Sudut Rotor (*fault* di GI Soppeng)

Generator	Waktu Pemutusan Kritis	
	Sebelum Injeksi ( <i>detik</i> )	Setelah Injeksi ( <i>Detik</i> )
G1	0.10	0.332
	0.125	0.473
	0.669	0.789
G6	0.10	0.332
	0.125	0.473
	0.669	0.789
G7	0.10	0.332
	0.125	0.473
	0.669	0.789

## BAB V

### PENUTUP

#### A. KESIMPULAN

Setelah melakukan Simulasi dan Analisis dampak injeksi pembangkit *Renewable Energy* pada sistem kelistrikan SULSELBAR pada kondisi *Steady State* dan Dinamik dapat disimpulkan:

- a. Injeksi pembangkit *renewable energy* telah memperbaiki profil tegangannya dan menurunkan rugi – rugi daya aktif sebesar 0.07% dan daya reaktif 0.51% dari sebelum injeksi.
- b. Berdasarkan analisis stabilitas dinamik yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan, pada saat terjadi gangguan dengan durasi 0.82 detik sistem kelistrikan SULSELBAR akan kembali pada kondisi stabil setelah terjadi osilasi secara transient, sehingga sistem dapat beroperasi dengan aman dan suplai daya tetap terjaga
- c. Waktu pemutusan kritis sebelum injeksi dengan gangguan pada GI Soppeng, menunjukkan generator pada sistem sudah mengalami lepas sinkron pada gangguan berlangsung selama 0.669 detik. Sedangkan untuk setelah injeksi, durasi gangguan 0.789 detik sudut rotor baru mengalami lepas sinkron.

## B. SARAN

Pada penelitian ini hanya membahas *steady state* dan kestabilan dinamik berupa stabilitas sudut rotor, stabilitas frekuensi dan stabilitas tegangan. Kemudian kedepan diharapkan pada peneliti selanjutnya menggabungkan kestabilan dan ekonomis. Selain mengetahui performa terhadap kestabilan pada sistem juga diikuti dengan hasil operasi sistem tenaga listrik yang ekonomis.

Sesuai analisis simulasi yang sudah dibahas, maka rekomendasikan ke PT. PLN (Persero) Wil. SULTANBATARA apabila ada pengembangan sarana kelistrikan dengan mempertimbangkan kestabilan terhadap sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

### Journal :

1. Reza M, Sloomwe JG, Schvemaker PH, Kling WL, Vander Sluis, 2003., *Investigation Impact of Distribution Generation on Transmission System Stability*, IEEE, Bologna Power Tech Proceedings, ISBN 0-7803-7967-
2. Y.C.Su, S.J. Cheng, J.Y. Wen dan J. Zhang, IEEE 2007. “ *Power System Dynamic Stability Analysis and Stability Type Discrimination*” Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC '06. Proceedings of the 41st International.
3. Dwi Indra Kusuma, Hadi Suyono dan Mahfudz Shidiq. “Analisis Kondisi Steady-State dan Dinamik pada Sistem Kelistrikan PT.Badak NGL Bontang, Kalimantan Timur” Jurnal TEUB, Vol. 1, No. 2, 2013.
4. Frengki Eka Putra Suresa, Hadi Suyono, Wijoyo,. *Analisis Steady State dan Dinamik pada Perencanaan Pengembangan Pembangkit Sistem Gorontalo*, JAEI, Vol 2, No 1. 2016
5. Indar Chaerah Gunadin, Muhammad Abdillah, Adi Soeprijanto, Ontoseno Penangsang, “*Steady-State Stability Assessment Using Neural Network Based on Network Equivalent*”. TELKOMNIKA, Vol.9, No.3, December 2011, pp.441~442.

6. Indar Chaerah Gunadin, Sri Mawar Said, Muhammad Irsan. *Determination of Stability Index of Electrical Power System Using Rei-Dimo Methods*. JATIT, Vol. 90, No.1, Agustus 2016
7. Kundur, P.; Paserba, J.; Ajarapu, V.; Andersson, G.; Bose, A.; Canizares, C.; Hatziargyriou, N.; Hill, D.; Stankovic, A.; Taylor, C.; Van Cutsem, T.; Vittal, V.; Definition and classification of power system stability IEEE/CIGRE joint task force on stability terms and definitions, IEEE Transactions on Power Systems, 2004, Volume: 19, Issue: 3, Pages: 1387 – 1401
8. Suyono, H. and Zainuddin, M., Injection Impact of Photovoltaic Distributed Generations (PVDG) on Power Distribution System Stability, 2015, Applied Mechanics and Materials International Journal, Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 785 (2015) pp 403- 408 doi:10.4028/ www.scientific.net/ AMM.785.2317.
9. Zhengjun Bi dan Changzheng Gao, 2014. " Power System Dynamic Voltage Stability Analysis Considering Wind Power" Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC), 2014 IEEE 12th International Conference on.
10. Indar Chaerah G., "Determination of Steady State Stability Margin Using Extreme Learning Machine", WSEAS Transactions and Power Systems, Issue 3, Vol.7, July 2012 91-103.



11. Federico Milano, dan Kailash Srivasta, “*Dynamic REI Equivalent for Short Circuit and Transient Stability Analyses*”, *Journal of Electric Power System Research* 79 (2009) 878-887.
12. Li Wang, Quang-Son Vo dan Anton Prokhorov , 2016. “*Dynamic Stability Analysis of a Hybrid Wave and Photovoltaic Power Generation System Integrated into a Distribution Power Grid*”. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Volume: PP, Issue: 99, 26 August 2016.
13. Steven Humena, Salama Manjang dan Indar Chaerah Gunadin. “*Optimization Economic Power Generation Using Modified Improved PSO Algorithm Methods*” . *JATIT*, Vol. 93, No.2, 30 November 2016

**Textbook :**

14. Allen J.Wood, Bruce F.Wollenberg. Copyright 1996, *Power Generation, Operation and Control*, John Wiley & Sons, Inc.
15. Kundhur, Praba. 1994. *Power System Stability and Control*. EPRI, McGraw-Hill, Inc, New York USA
16. Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analisis, Second Edition*. Singapura: Mc. Graw-Hill International
17. Stevenson, William D., Jr. 1984. *Analisa Sistem Tenaga Listrik Edisi 3*. Jakarta: Aksara Persada Indonesia.
18. Grigsby, Leonard L. 2007. *Power System Stability and Control*. New York: Taylor and Francis Group, LLC.

## Lampiran 1 Data Generator Sistem SULSELBAR 18 NOVEMBER 2016

GENERATOR	S		P		Q		PF	V kV
	MVA	PU	MW	PU	MVAR	PU		
PLTA BAKARU	78,750	0,788	63,00	0,630	47,25	0,473	0,8	150
PLTA BILIBILI	6,500	0,065	5,20	0,052	3,90	0,039	0,8	
PLTA MALEA	10,244	0,102	8,20	0,082	6,15	0,061	0,8	
PLTA POSO	243,750	2,437	195,00	1,950	146,25	1,462	0,8	
PLTA TANGKA	5,000	0,050	4,00	0,040	3,00	0,030	0,8	
PLTD MASAMBA	5,000	0,050	4,00	0,040	3,00	0,030	0,8	
PLTD SUNGGUMINASA	25,000	0,250	20,00	0,200	15,00	0,150	0,8	
PLTD SUPPA	38,875	0,389	31,10	0,311	23,33	0,233	0,8	
PLTD TALLASA	98,750	0,988	79,00	0,790	59,25	0,593	0,8	
PLTD TALLO LAMA	15,750	0,158	12,60	0,126	9,45	0,095	0,8	
PLTG GE 2/SWD 1	26,250	0,263	21,00	0,210	15,75	0,158	0,8	
PLTM BUNGIN	3,675	0,037	2,94	0,029	2,21	0,022	0,8	
PLTU BARRU	75,450	0,755	60,36	0,604	45,27	0,453	0,8	275
PLTU JENEPONTO	245,113	2,451	196,09	1,961	147,07	1,471	0,8	
PLTGU SKNG	331,500	3,315	265,20	2,652	198,90	1,989	0,8	
	1209,607		967,686		725,764			
PLTB SIDRAP	87,500	0,875	70,00	0,700	52,50	0,525	0,8	
	1297,107		1037,686		778,264			

Lampiran 2 Data BEBAN GI SISTEM SULSELBAR TANGGAL 18 NOV 2016

NO	NAMA GI	BEBAN			cos $\theta$	BEBAN	
		S (MVA)	P (MW)	Q (MVAR)		P (pu)	Q (pu)
1	BONTOALA	31,176	26,500	16,42	0,85	0,8500	0,5268
2	PANAKUKANG	80,353	68,300	42,33	0,85	0,8500	0,5268
3	TALLASA	24,235	20,600	12,77	0,85	0,8500	0,5268
4	SUNGGUMINASA	18,471	15,700	9,73	0,85	0,8500	0,5268
5	TANJUNG BUNGA	64,941	55,200	34,21	0,85	0,8500	0,5268
6	TELLO	74,471	63,300	39,23	0,85	0,8500	0,5268
7	BORONGLOE70	13,412	11,400	7,07	0,85	0,8500	0,5268
8	DAYA	28,824	24,500	15,18	0,85	0,8500	0,5268
9	TALLO LAMA	23,176	19,700	12,21	0,85	0,8500	0,5268
10	MANDAI	28,588	24,300	15,06	0,85	0,8500	0,5268
11	MAROS	21,882	18,600	11,53	0,85	0,8500	0,5268
12	KIMA	21,176	18,000	11,16	0,85	0,8500	0,5268
13	PANGKEP	26,000	22,100	13,70	0,85	0,8500	0,5268
14	BARRU	11,835	10,060	6,23	0,85	0,8500	0,5268
15	PAREPARE	22,000	18,700	11,59	0,85	0,8500	0,5268
16	SOPPENG	16,588	14,100	8,74	0,85	0,8500	0,5268
17	SIDRAP	31,176	26,500	16,42	0,85	0,8500	0,5268
18	PINRANG	28,824	24,50	15,18	0,85	0,8500	0,5268
19	BAKARU	4,118	3,500	2,17	0,85	0,8500	0,5268
20	POLMAS	20,118	17,100	10,60	0,85	0,8500	0,5268
21	MAJENE	13,059	11,100	6,88	0,85	0,8500	0,5268
22	MAMUJU	25,647	21,800	13,51	0,85	0,8500	0,5268
23	SENGKANG	33,412	28,400	17,60	0,85	0,8500	0,5268
24	BONE	37,765	32,100	19,89	0,85	0,8500	0,5268
25	SINJAI	25,765	21,900	13,57	0,85	0,8500	0,5268
26	BANTAENG	9,647	8,200	5,08	0,85	0,8500	0,5268
27	BULUKUMBA	31,882	27,100	16,80	0,85	0,8500	0,5268
28	JENEPONTO	20,471	17,400	10,78	0,85	0,8500	0,5268
29	MAKALE	14,000	11,900	7,37	0,85	0,8500	0,5268
30	PALOPO	57,882	49,200	30,49	0,85	0,8500	0,5268
31	TONASA	22,235	18,900	11,71	0,85	0,8500	0,5268
32	BOSOWA	38,965	33,12	20,53	0,85	0,8500	0,5268
<b>Jumlah</b>		922,094	<b>783,780</b>	485,74	0,85	<b>14,4500</b>	<b>8,9553</b>



**Kenaikan BEBAN 10%**

NO	NAMA GI	BEBAN			cos $\theta$	BEBAN	
		S (MVA)	P (MW)	Q (MVAR)		P (pu)	Q (pu)
1	BONTOALA	34,294	29,150	18,07	0,85	0,8500	0,5268
2	PANAKUKANG	88,388	75,130	46,56	0,85	0,8500	0,5268
3	TALASA	26,659	22,660	14,04	0,85	0,8500	0,5268
4	SUNGGUMINASA	20,318	17,270	10,70	0,85	0,8500	0,5268
5	TANJUNG BUNGA	71,435	60,720	37,63	0,85	0,8500	0,5268
6	TELLO	81,918	69,630	43,15	0,85	0,8500	0,5268
7	BORONGLOE70	14,753	12,540	7,77	0,85	0,8500	0,5268
8	DAYA	31,706	26,950	16,70	0,85	0,8500	0,5268
9	TALLO LAMA	25,494	21,670	13,43	0,85	0,8500	0,5268
10	MANDAI	31,447	26,730	16,57	0,85	0,8500	0,5268
11	MAROS	24,071	20,460	12,68	0,85	0,8500	0,5268
12	KIMA	23,294	19,800	12,27	0,85	0,8500	0,5268
13	PANGKEP	28,600	24,310	15,07	0,85	0,8500	0,5268
14	BARRU	13,019	11,066	6,86	0,85	0,8500	0,5268
15	PAREPARE	24,200	20,570	12,75	0,85	0,8500	0,5268
16	SOPPENG	18,247	15,510	9,61	0,85	0,8500	0,5268
17	SIDRAP	34,294	29,150	18,07	0,85	0,8500	0,5268
18	PINRANG	31,706	26,95	16,70	0,85	0,8500	0,5268
19	BAKARU	4,529	3,850	2,39	0,85	0,8500	0,5268
20	POLMAS	22,129	18,810	11,66	0,85	0,8500	0,5268
21	MAJENE	14,365	12,210	7,57	0,85	0,8500	0,5268
22	MAMUJU	28,212	23,980	14,86	0,85	0,8500	0,5268
23	SENGKANG	36,753	31,240	19,36	0,85	0,8500	0,5268
24	BONE	41,541	35,310	21,88	0,85	0,8500	0,5268
25	SINJAI	28,341	24,090	14,93	0,85	0,8500	0,5268
26	BANTAENG new	10,612	9,020	5,59	0,85	0,8500	0,5268
27	BULUKUMBA	35,071	29,810	18,47	0,85	0,8500	0,5268
28	JENEPONTO	22,518	19,140	11,86	0,85	0,8500	0,5268
29	MAKALE	15,400	13,090	8,11	0,85	0,8500	0,5268
30	PALOPO	63,671	54,120	33,54	0,85	0,8500	0,5268
31	TONASA	24,459	20,790	12,88	0,85	0,8500	0,5268
32	BOSOWA	42,861	36,432	22,58	0,85	0,8500	0,5268
<b>Jumlah</b>		1014,304	<b>862,16</b>	534,32	0,85	<b>14,4500</b>	<b>8,9553</b>

0,1	2,915	32,065
0,1	7,513	82,643
0,1	2,266	24,926
0,1	1,727	18,997
0,1	6,072	66,792
0,1	6,963	76,593
0,1	1,254	13,794
0,1	2,695	29,645
0,1	2,167	23,837
0,1	2,673	29,403
0,1	2,046	22,506
0,1	1,98	21,780
0,1	2,431	26,741
0,1	1,1066	12,173
0,1	2,057	22,627
0,1	1,551	17,061
0,1	2,915	32,065
0,1	2,695	29,645
0,1	0,385	4,235
0,1	1,881	20,691
0,1	1,221	13,431
0,1	2,398	26,378
0,1	3,124	34,364
0,1	3,531	38,841
0,1	2,409	26,499
0,1	0,902	9,922
0,1	2,981	32,791
0,1	1,914	21,054
0,1	1,309	14,399
0,1	5,412	59,532
0,1	2,079	22,869
0,1	3,6432	40,075

Lampiran 3 Data Saluran Transmisi Sistem SULSELBAR Per Unit (pu)

	DARI - KE		Jenis Kabel	A (mm <sup>2</sup> )	POSITIVE		PANJANG km	KHA (A)	KHA (kA)	V kV (L-L)	Sdasar MVA	Zdasar (Ohm)	R		X	
					R (Ohm/km)	X (Ohm/km)							Ohm	pu	Ohm	pu
1	TELLO	BARAWAJA	ACSR	120	0,241	0,812	3,40	410	0,4100	30	12,3000	73,1707	0,8201	0,011208	2,7601	0,037722
2	TELLO	BORONGLOE	ACSR	120	0,240	0,813	12,40	410	0,4100	70	28,7000	170,7317	2,9797	0,017453	10,0800	0,059040
3	TELLO	PANAKUKANG	ACSR	240	0,238	0,752	2,10	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	0,5000	0,002150	1,5800	0,006794
4	TELLO	TALLO LAMA	TACSR	330	0,181	0,747	3,20	790	0,7900	150	118,5000	189,8734	0,5800	0,003055	2,3900	0,012587
5	TELLO	SUNGGUMINASA	ACSR	435	0,073	0,559	5,47	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	0,4000	0,002400	3,0600	0,018360
6	SUNGGUMINASA	TANJUNG BUNGA	ACSR	435	0,114	0,610	5,95	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	0,6800	0,004080	3,6300	0,021780
7	SUNGGUMINASA	TALASA	ACSR	435	0,074	0,492	13,22	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	0,9800	0,005880	6,5100	0,039060
8	SUNGGUMINASA	MAROS	ACSR	435	0,069	0,575	20,85	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	1,4400	0,008640	11,9900	0,071940
9	TALLO LAMA	BONTOALA	XLPE	325	0,240	0,812	4,20	534	0,5340	70	37,3800	131,0861	1,0100	0,007705	3,4100	0,026013
10	MANDAI	DAYA	ACCC	240	0,240	0,812	5,00	400	0,4000	70	28,0000	175,0000	1,2000	0,006857	4,0600	0,023200
11	TELLO	KIMA	ACCC	240	0,126	0,425	17,21	600	0,6000	150	90,0000	250,0000	2,1600	0,008640	7,3134	0,029254
12	PANGKEP	MANDAI	ACCC	240	0,464	0,788	19,85	400	0,4000	70	28,0000	175,0000	9,2100	0,052629	15,6500	0,089429
13	PANGKEP	TONASA	ACSR	120	0,481	1,627	1,85	400	0,4000	70	28,0000	175,0000	0,8900	0,005086	3,0100	0,017200
14	PANGKEP	BOSOWA	ACSR	240	0,120	0,406	20,92	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	2,5104	0,010795	8,4998	0,036549
15	BOSOWA	TELLO	ACSR	240	0,126	0,425	34,42	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	4,3200	0,018576	14,6268	0,062895
16	MAJENE	MAMUJU	ACSR	240	0,258	0,792	57,15	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	14,7700	0,063511	45,2400	0,194532
17	PAREPARE	SUPPA	ACSR	240	0,235	0,819	3,75	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	0,8800	0,003784	3,0700	0,013201
18	POLMAS	MAJENE	ACSR	240	0,242	0,792	25,08	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	6,0694	0,026098	19,8634	0,085413
19	POLMAS	PAREPARE	ACSR	240	0,123	0,404	90,27	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	11,1032	0,047744	36,4691	0,156817
20	POLMAS	BAKARRU	ACSR	240	0,117	0,409	50,02	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	5,8523	0,025165	20,4582	0,087970
21	BAKARU	PINRANG	ACSR	240	0,120	0,406	58,68	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	7,0381	0,030264	23,8294	0,102466
22	BALUSU	PANGKEP	ACSR	240	0,240	0,813	22,19	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	5,3300	0,022919	18,0300	0,077529
23	BALUSU	PAREPARE	ACSR	240	0,059	0,200	44,61	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	2,6266	0,011295	8,9386	0,038436
24	BALUSU	BARRU	ACSR	240	0,120	0,406	22,00	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	2,6400	0,011352	8,9386	0,038436
25	BARRU	PANGKEP	ACSR	240	0,249	0,842	22,19	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	5,5200	0,023736	18,6898	0,080366
26	PINRANG	PAREPARE	ACSR	240	0,123	0,404	26,06	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	3,2054	0,013783	10,5282	0,045271
27	SIDRAP	MAKALE	ACSR	433	0,073	0,394	105,48	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	7,7000	0,046200	41,5591	0,249355
28	MAKALE	PALOPO	ACSR	240	0,120	0,406	37,40	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	4,4917	0,019314	15,1994	0,065357
29	PAREPARE	SIDRAP	ACSR	240	0,266	0,871	8,75	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	2,3302	0,010020	7,6209	0,032770
30	SIDRAP	SOPPING	ACSR	240	0,242	0,800	26,54	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	6,4227	0,027618	21,2320	0,091298
31	SOPPING	BONE	ACSR	240	0,238	0,771	21,66	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	5,1491	0,022141	16,7022	0,071819
32	SENGKANG	SIDRAP	ACSR	435	0,044	0,369	31,17	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	1,3800	0,008280	11,5000	0,069000
33	SENGKANG	SOPPING	ACSR	400	0,143	0,740	17,79	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	2,5488	0,015293	13,1688	0,079013
34	SIDRAP	MAROS	ACSR	435	0,035	0,288	126,37	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	4,4230	0,026538	36,3946	0,218367
35	TALASA	PUNAGAYA	ACSR	435	0,168	0,561	9,55	900	0,9000	150	135,0000	166,6667	1,6010	0,009606	5,3559	0,032135
36	PUNAGAYA	JENEPONTO	ACSR	240	0,069	0,575	12,25	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	0,8449	0,003633	7,0409	0,030276
37	BULUKUMBA	JENEPONTO	ACSR	240	0,122	0,408	46,40	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	5,6608	0,024341	18,9312	0,081404
38	BONE	BULUKUMBA	ACSR	240	0,120	0,406	137,20	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	16,4640	0,070795	55,7444	0,239701
39	BONE	SINJAI	ACSR	240	0,122	0,410	74,01	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	9,0218	0,038794	30,3219	0,130384
40	SINJAI	BULUKUMBA	ACSR	240	0,125	0,410	63,87	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	7,9901	0,034358	26,1675	0,112520
41	BANTAENG	JENEPONTO	ACSR	240	0,120	0,406	35,50	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	4,2600	0,018318	14,4130	0,061976
42	LATUPA	PAMONA	ACSR	435	0,110	0,420	209,00	645	0,6450	275	177,3750	426,3566	22,9900	0,053922	87,7800	0,205884
43	PANGKEP	KIMA	ACSR	240	0,047	0,161	45,50	645	0,6450	150	96,7500	232,5581	2,1600	0,009288	7,3134	0,031448