

**ANALISIS KESTABILAN SUDUT ROTOR SISTEM SULBAGSEL  
MEMPERHATIKAN LEPASNYA SALAH SATU PUSAT PEMBANGKIT**



**TUGAS AKHIR**

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*

*Makassar*

Oleh:

**AIDIL FUDHAIL MUMTAZ**

**D411 16 007**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2020**

**HALAMAN JUDUL**

**ANALISIS KESTABILAN SUDUT ROTOR SISTEM SULBAGSEL**

**MEMPERHATIKAN LEPASNYA SALAH SATU PUSAT PEMBANGKIT**

Oleh:

**AIDIL FUDHAIL MUMTAZ**

**D411 16 007**

**TUGAS AKHIR**

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan*

*Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro*

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2020**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KESTABILAN SUDUT ROTOR SISTEM SULBAGSEL  
MEMPERHATIKAN LEPASNYA SALAH SATU PUSAT PEMBANGKIT**

Disusun Oleh:

**AIDIL FUDHAIL MUMTAZ**  
**D411 16 007**

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan  
Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi Listrik

Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 26 November 2020


Disahkan Oleh:

Pembimbing I



**Ir. Muh. Bachtiar Nappu, ST., MT., M.Phil., Ph.D.**  
NIP: 19760406 200312 1 002


Pembimbing II



**Ir. Gassing, M.T.**  
NIP: 19600720 198702 1 001

**Mengetahui,**

Ketua Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



**Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.**  
NIP: 19691026 199412 2 001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, nama Aidil Fudhail Mumtaz, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Kestabilan Sudut Rotor Sistem Sulbagsel Memperhatikan Lepasnya Salah Satu Pusat Pembangkit”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kemaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko

Gowa, 26 November 2020

Yang membuat pernyataan



Aidil Fudhail Mumtaz

NIM : D411 16 007

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul : “Analisis Kestabilan Sudut Rotor Sistem Sulbagsel Memperhatikan Lepasnya Salah Satu Pusat Pembangkit”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S-1 diprogram Studi Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Maka, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Keluarga saya yang sangat saya cintai, mereka yang tak putus – putusnya mendoakan, memberikan motivasi, dan pengorbanannya baik dari segi moril, maupun materi kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, MT Ketua Departemen Teknik Elektro.
3. Bapak M. Bachtiar Nappu, ST., MT., Ph.D dan Bapak Ir. Gassing, MT selaku dosen pembimbing skripsi saya yang telah memberikan kritik dan

saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.

4. Ibu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D dan Bapak Prof. Dr. Ir. Nadjamuddin Harun, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya program studi Teknik Elektro yang telah banyak membantu saya selama menjalani masa studi.
6. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) UPB Makassar.
7. Kepada teman-teman Nandemonai (Adul, Kiki, Reyhan, Riang, Adnan, Wira, Ari, Arya, Julian, Gafur, dan Piud).
8. Kepada Furnaningsi yang selalu memotivasi saya saat mengerjakan skripsi.
9. Kepada teman-teman Kumpul Positif (Ansar, Amal, Tio, Icul, dan yang lainnya) yang sering mengajak kumpul walaupun saya kerja skripsi.
10. Kepada teman-teman EXCITER16 terima kasih kebersamaan dan kekompakannya.
11. Kepada semua pihak yang terlibat dan tidak dapat saya sebut satu persatu, terima kasih yang tak terhingga atas semua dukungan dan bantuannya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua, aamiin.

Makassar, 26 November 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I: PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Metodologi .....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II: TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga .....	8
2.2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	10
2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor .....	11
2.2.2 Kestabilan Frekuensi .....	12
2.2.3 Kestabilan Tegangan .....	12
2.3 Klasifikasi Kestabilan Sudut Rotor [12].....	13
2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan [7].....	17
2.5 Metode Mempertahankan Kestabilan Sudut Rotor [13].....	22
2.6 <i>DIgSILENT PowerFactory</i> .....	24
<b>BAB III: METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
3.1 Judul Penelitian .....	26
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	26
3.3 Teknik Pengambilan Data .....	26
3.4 Metode Analisa Data .....	27

3.5	Langkah Penelitian Tugas Akhir .....	27
3.5.1	Studi Literatur .....	28
3.5.2	Pengambilan Data Sistem Sulbagsel .....	29
3.5.3	Membuat pemodelan single line diagram Sulbagsel.....	29
3.5.4	Analisis kestabilan sudut rotor ketika beban puncak siang dan malam saat salah satu pusat pembangkit hilang.....	30
3.5.5	Analisis solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor .....	30
3.5.6	Penulisan Hasil.....	31
<b>BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>32</b>
4.1	Skenario Simulasi.....	32
4.2	Data Sistem Sulbagsel .....	32
4.3	Hasil Simulasi.....	35
4.3.1	Simulasi PLTU Jenenponto Ekspansi Lepas.....	35
4.3.2	Simulasi PLTA Poso Lepas .....	40
4.3.3	Simulasi Metode Mempertahankan Kestabilan Sudut Rotor .....	45
4.3.4	Simulasi Pengaruh penggunaan PLTB pada sistem 14 bus IEEE...	62
<b>BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>68</b>
5.1	Kesimpulan .....	68
5.2	Saran.....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>70</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>72</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik [11].....	11
Gambar 2.2 (a) Contoh ayunan pertama untuk sistem stabil, (b) contoh ayunan pertama untuk sistem tidak stabil [11].....	16
Gambar 2.3 Representasi daya mekanik dan daya listrik pada sebuah generator [7] .....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 4.1 <i>Single Line</i> Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel.....	34
Gambar 4.2 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas pada beban puncak siang .....	36
Gambar 4.3 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas pada beban puncak malam .....	37
Gambar 4.4 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas pada beban puncak siang .....	38
Gambar 4.5 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas pada beban puncak malam.....	39
Gambar 4.6 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas pada beban puncak siang .....	41
Gambar 4.7 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas pada beban puncak malam.....	41
Gambar 4.8 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 dan 3 lepas pada beban puncak siang .....	43
Gambar 4.9 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 dan 3 lepas pada beban puncak malam.....	43
Gambar 4.10 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas ....	46
Gambar 4.11 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas .....	46
Gambar 4.12 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas .....	47

Gambar 4.13 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitanasa 1 saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas .....	47
Gambar 4.14 Respon sudut rotor PLTMG Nitanasa 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas .	48
Gambar 4.15 Respon sudut rotor PLTMG Nitanasa 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas .....	49
Gambar 4.16 Respon sudut rotor PLTMG Nitanasa 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 lepas.....	49
Gambar 4.17 Respon sudut rotor PLTMG Nitanasa 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas .....	50
Gambar 4.18 Respon sudut rotor dengan posisi tap 10 dari trafo PLTMG Nitanasa 1, PLTU Nitanasa unit 1 dan unit 3 pada kondisi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan 2 lepas .....	51
Gambar 4.19 Respon sudut rotor dengan posisi tap 10 dari trafo PLTMG Nitanasa 1, PLTU Nitanasa unit 1 dan unit 3 pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas .....	52
Gambar 4.20 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas .....	53
Gambar 4.21 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas .....	54
Gambar 4.22 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas .....	54
Gambar 4.23 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTA Poso 2 unit 3 dan unit 2 lepas .....	55
Gambar 4.24 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas .....	57
Gambar 4.25 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas .....	57

Gambar 4.26 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas .....	58
Gambar 4.27 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas .....	58
Gambar 4.28 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas .....	59
Gambar 4.29 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas .....	60
Gambar 4.30 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas .....	60
Gambar 4.31 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas .....	61
Gambar 4.32 Single line sistem 14 bus IEEE .....	62
Gambar 4.33 Respon sudut rotor saat pembangkit thermal 1 lepas .....	63
Gambar 4.34 Respon sudut rotor saat PLTB lepas .....	63
Gambar 4.35 Respon sudut rotor pembangkit 2 dengan nilai konstanta inersia yang berbeda.....	65
Gambar 4.36 Respon sudut rotor Pembangkit 2 dengan tegangan yang berbeda.	66
Gambar 4.37 Respon sudut rotor dengan jumlah saluran yang berbeda.....	67

## ABSTRAK

**Aidil Fudhail Mumtaz, Analisis Kestabilan Sudut Rotor Sistem Sulbagsel Memperhatikan Lepasnya Salah Satu Pusat Pembangkit(dibimbing oleh Muhammad Bachtiar Nappu dan Gassing).**

Penyedia listrik harus memikirkan secara matang akan pasokan listrik yang tersedia agar kebutuhan energi listrik dapat dipenuhi secara menyeluruh. Di Sulawesi Selatan Khususnya sistem Sulbagsel telah menggunakan energi terbarukan maupun energi fosil yang saling terinterkoneksi. Pada sistem terinterkoneksi dapat terjadi lepasnya salah satu pembangkit yang ada. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi kestabilan sistem interkoneksi Sulbagsel yang berakibat pada perubahan sudut rotor dari generator sinkron yang digunakan. Pada tugas akhir ini data yang digunakan diperoleh dari PLN yang kemudian data tersebut dimasukkan pada Software DigSilent lalu dibuat menjadi sistem Sulbagsel. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi aliran daya dan kestabilan transient untuk melihat respon sudut rotor pada sistem kelistrikan Sulbagsel ketika terjadi hilangnya salah satu pembangkit di sistem Sulbagsel. Ada beberapa skenario simulasi yang dilakukan, yaitu dimulai dari simulasi ketika salah satu pusat pembangkitan lepas dari sistem interkoneksi Sulbagsel pada saat kondisi beban puncak malam dan beban puncak siang. simulasi juga dilakukan dengan sistem 14 bus dari IEEE untuk membandingkan respon sistem saat penggunaan PLTB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gangguan hanya terjadi pada kondisi beban puncak siang. Kemudian dilakukan simulasi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor pada kondisi yang mengalami gangguan dengan metode menaikkan konstanta inersia generator, menaikkan tegangan generator, menggunakan high speed recloser dan menurunkan reaktansi saluran. Dari keempat metode yang digunakan, solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor adalah dengan menggunakan Peralatan Pemutus Rangkaian Yang Cepat (High Speed Recloser), Menaikkan tegangan dan menurunkan reaktansi saluran. Selain itu, penggunaan PLTB untuk menggantikan pembangkit thermal tidak memberikan perubahan signifikan pada kestabilan dari sudut rotor.

**Kata Kunci:** *Kestabilan sudut rotor, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, kapasitor seri, tap changer, lepas sinkron.*

## ABSTRACT

**Aidil Fudhail Mumtaz, Rotor Angle Stability Analysis of Sulbagsel System in Concern of a Disconnected Power Plant(supervised by Muhammad Bachtiar Nappu and Gassing).**

The electricity provider must concern about the available electricity supply so that electrical demands can be supplied completely. In South Sulawesi, especially the Sulbagsel system has used interconnected renewable energy and fossil energy. In an interconnected system, one of the existing power plant might be disconnected unexpectedly. This condition can affect the stability of the Sulbagsel interconnection system which results in changes in the rotor angle of the synchronous generator used. In this final project, the data used were obtained from PLN, which entered into the DigSilent software and then made it into the Sulbagsel system. Power flow and transient stability simulations are carried out to see the response of the rotor angle to the Sulbagsel electrical system when a power plant is disconnected in the Sulbagsel system. There are several simulation scenarios done, started from the simulation when one of the power plants disconnected from the Sulbagsel interconnection system during the peak load conditions at night and peak loads during the day. The 14 bus system from IEEE is also simulated to compare the system response when the wind turbines operate. The simulation result shows that the interference only occurs in the peak load conditions during the day. Simulations are needed in order to maintain the stability of the rotor angle in interfered conditions by increasing the generator inertia constant, increasing the generator voltage, using a high-speed recloser, and decreasing the line reactance. Of the four methods used, the solution to maintain the stability of the rotor angle is to use a High-Speed Recloser, increase the voltage, and reduce the line reactance. In addition, the use of wind turbines to replace the thermal generator does not provide a significant change in the stability of the rotor angle

**Keywords:** *Rotor Angle Stability, Wind Turbine, Series Capacitor, tap changer, unsynchronized.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus menerus meningkat, energi listrik telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat sehari-hari seiring dengan pesatnya peningkatan pembangunan di bidang teknologi, industri dan informasi. Dengan meningkatnya kebutuhan listrik dari tahun ke tahun, maka penyedia listrik harus memikirkan secara matang akan pasokan listrik yang tersedia agar kebutuhan energi listrik dapat dipenuhi secara menyeluruh. Ketersediaan energi listrik harus terus di ditingkatkan seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, Energi listrik di Indonesia mayoritas dibangkitkan dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas dan batu bara. Bahan bakar fosil merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, sehingga penggunaannya untuk membangkitkan energi listrik tidak dapat terus diandalkan akibat dari persediaan dari bahan bakar fosil yang terus menerus kian menipis. Di samping itu pembangkitan energi listrik dari bahan bakar fosil memiliki banyak dampak negatif bagi lingkungan.

Sejak tahun 2004, Indonesia telah menjadi negara pengimpor minyak netto (net oil importer). Hal tersebut disebabkan karena kebutuhan minyak yang terus meningkat sementara produksinya terus menurun [1]. Artinya impor minyak Indonesia lebih besar dari eksportnya. Pembangkit yang menggunakan energi primer dari fosil menghasilkan daya besar dan keberlangsungan pasokannya cukup panjang. Sedangkan pembangkit dengan bahan bakar jenis non-fosil mempunyai

kapasitas daya yang rendah dan mempunyai sifat *intermittent* [2], sehingga pemakaian pembangkit dengan bahan bakar fosil masih lebih banyak digunakan.

Indonesia dikaruniai kekayaan alam yang berlimpah ruah yang tersebar dibelasan ribu pulau, baik yang tersimpan diatas daratan, di dalam lautan, maupun di bawah kulit bumi [3]. Diantara kekayaan alam tersebut terdapat sumber-sumber energi terbarukan dengan potensi yang cukup besar antara lain air, sinar matahari, angin, panas bumi, bioenergi, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut energi gelombang laut. Di Sulawesi Selatan khususnya telah menggunakan energi terbarukan untuk membangkitkan energi, tercatat kapasitas terpasang pembangkit listrik PLN tahun 2018 yaitu 513,50 MW PLTA, 1,62 MW PLTM, 42,23 MW PLTMH, 142,05 MW PLTB, 17,20 MW PLTBm, dan 5,29 MWp PLTS [4]. Diantara pembangkit listrik dengan energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan ketersediaan listrik di Indonesia.

PLTB Sidrap I merupakan pembangkit bertenaga angin skala komersial pertama di Indonesia. Penyelesaian pembangunan proyek ini dilakukan dalam waktu 2,5 tahun (Agustus 2015 s.d. Maret 2018). Sebanyak 30 kincir angin dengan tinggi tower 80 meter dan panjang baling-baling 57 meter, masing-masing menggerakkan turbin berkapasitas 2,5 MW. PLTB Sidrap I telah beroperasi akhir Maret 2018 lalu dan dapat mengaliri lebih dari 70.000 pelanggan listrik dengan daya 900 VA. Tingkat komponen dalam negeri (TKDN) PLTB Sidrap I ini mencapai 40% [5]. PLTB Tolo yang dikelola oleh pengembang listrik swasta (Independent Power Producer/IPP) ini memiliki Tingkat Komponen Dalam Negeri

(TKDN) yang mencapai sekitar 40%. Dengan tinggi 133 meter (m) dan panjang baling-baling 63 m, 20 turbin yang terpasang masing-masing mampu mengalirkan listrik sebesar 3,6 MW, sehingga kapasitas totalnya mencapai 72 MW. Kehadiran PLTB ini mampu melistriki setara 300.000 rumah tangga pelanggan 900 VA [6].

Interkoneksi dua PLTB tersebut di jaringan interkoneksi Sulawesi bagian selatan tentunya akan mempengaruhi kestabilan dari sistem tenaga listrik. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan karakteristik sistem tenaga yang memungkinkan mesin bergerak serempak dalam sistem pada operasi normal dan dapat kembali dalam keadaan seimbang setelah terjadi gangguan. Generator sinkron merupakan komponen yang sangat vital dalam sistem tenaga listrik. Sistem yang terinterkoneksi terdiri dari beberapa generator yang bekerja secara paralel untuk mencatu daya. Dalam sistem interkoneksi terdapat beberapa kondisi yang dapat menyebabkan sebuah generator kehilangan sinkronisasi atau kestabilannya. Generator yang tidak stabil akan dilepas dari sistem dan pelepasan ini dapat berpengaruh terhadap kestabilan sistem secara keseluruhan. Lepasnya generator yang mencatu sebagian besar daya sistem dapat mengakibatkan pemadaman total (blackout) [7].

Pada PLTB energi angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik bergantung pada kondisi alam sehingga mempunyai kondisi yang bervariasi dan tidak selalu konstan. Kondisi ini dapat mempengaruhi kestabilan sistem interkoneksi Sulbagsel yang berakibat pada perubahan sudut rotor dari generator sinkron yang digunakan, Oleh karena itu, penulis tertarik untuk meneliti kestabilan sudut rotor pada sistem kelistrikan Sulbagsel dengan memperhatikan lepasnya salah



satu pusat pembangkit. Adapun judul penelitian yang akan diangkat adalah “Analisis Kestabilan Sudut Rotor Sistem Sulbagsel Memperhatikan Lepasnya Salah Satu Pusat Pembangkit”. Pada penelitian ini, analisis kestabilan Sudut Rotor dari Sulbagsel akan disimulasikan dengan menggunakan *software* DIgSILENT *PowerFactory (Digital Simulation and Electrical Network)*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kestabilan sudut rotor sistem Sulbagsel ketika beban puncak siang dan beban puncak malam apabila salah satu pusat pembangkit hilang?
2. Bagaimana solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor apabila terjadi ketidakstabilan?
3. Bagaimana pengaruh dari penggunaan PLTB dibandingkan dengan pembangkit thermal terhadap kestabilan sudut rotor ketika salah satu pembangkit hilang?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis kestabilan sudut rotor sistem Sulbagsel ketika beban puncak siang dan beban puncak malam apabila salah satu pusat pembangkit hilang.

2. Untuk menganalisis solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor apabila terjadi ketidakstabilan.
3. Untuk menganalisis pengaruh dari penggunaan PLTB dibandingkan dengan pembangkit thermal terhadap kestabilan sudut rotor ketika salah satu pembangkit hilang.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah penelitian analisis kestabilan sudut rotor sistem subbagel memperhatikan lepasnya salah satu pusat pembangkit antara lain:

1. Sistem kelistrikan yang dianalisis adalah sistem kelistrikan Sulbagesel dan sistem 14 bus IEEE.
2. Kestabilan yang dibahas hanya pada kestabilan sudut rotor.
3. PLTB yang diteliti hanya pada daya output yang dihasilkan.
4. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* DIgSILENT.

#### **1.5 Metodologi**

Tahap pengerjaan dalam menyelesaikan proposal ini adalah:

##### **1. Studi Literatur**

Studi literatur untuk mengumpulkan dan mencari referensi bahan melalui buku, jurnal ilmiah (*paper*), dan melalui media internet yang berhubungan dengan judul penelitian untuk menunjang pengumpulan data sehingga bisa dipelajari dalam pengerjaan dan penelitian tugas akhir..

##### **2. Pengambilan Data**

Berupa pengambilan data yang penting dan untuk diolah dalam penelitian ini.

### 3. Pemodelan

Pemodelan ini akan menggunakan *software* simulasi DIGSILENT. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan *single line diagram* pada *software* simulator untuk sistem Sulbagsel.

### 4. Simulasi dan Pengolahan Data

Dilakukan simulasi yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik profil tegangan dan sudut rotor pada sistem kelistrikan

### 5. Analisa Data

Dilakukan analisis data hasil dari simulasi dan menganalisis kestabilan sudut rotor dengan berbagai kondisi yang berbeda.

### 6. Penarikan Kesimpulan

Diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan dengan permasalahan yang diteliti. Simpulan ini merupakan hasil akhir dari semua masalah yang dibahas

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penyusunan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi teori penunjang dan literatur/referensi lain terkait kestabilan sudut rotor.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Dalam bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, metode pengambilan data, analisa data, dan langkah-langkah penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi hasil simulasi dan pembahasan berdasarkan rumusan masalah.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan tujuan penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kestabilan Sistem Tenaga

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memenuhi beberapa syarat, seperti: “*Reliability, Quality dan Stability*” [8].

- ✓ *Reliability* adalah kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus.
- ✓ *Quality* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi.
- ✓ *Stability* adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan.

Dalam sistem tenaga listrik yang baik maka ketiga syarat tersebut harus dipenuhi yaitu sistem harus mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan.

Untuk jaringan yang sangat kompleks dimana beberapa pembangkit saling terkoneksi satu sama lain maka keluaran daya elektris berupa besaran seperti tegangan dan frekuensi haruslah diperhatikan agar tidak ada pembangkit yang kelebihan beban dan pembangkit yang lain bebannya kecil.

Sistem tenaga listrik mempunyai variasi beban yang sangat dinamis dimana setiap detik akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik tetap dan harus disuplai dengan besaran daya yang sesuai, bila pada

saat tertentu terjadi lonjakan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini sudah dapat dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yakni kondisi tidak seimbang antara pasokan listrik dan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan, baik pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kerja dari pembangkit yang lain menjadi lebih berat.

Kestabilan suatu sistem tenaga listrik adalah kemampuan dari sistem itu untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Sebaliknya ketidakstabilan suatu sistem adalah kehilangan sinkron dari sistem itu. Jadi masalah kestabilan terkait dengan penilaian mesin sinkron setelah gangguan. Untuk mempermudah analisis, masalah kestabilan secara umum dibagi dalam dua kategori utama, yaitu kestabilan *steady state* (keadaan tunak) dan kestabilan *transient*. Kestabilan *steady state* dipandang sebagai kemampuan dari sistem tenaga untuk memperoleh kembali kesinkronan setelah terjadi gangguan kecil. Perluasan dari kestabilan *steady state* dikenal sebagai kestabilan dinamik. Kestabilan dinamik adalah suatu kestabilan yang difokuskan setelah terjadi gangguan kecil untuk waktu yang lama dengan memasukkan komponen kontrol otomatis. Kestabilan transien dipandang pada gangguan yang mendadak seperti halnya pemutusan saluran yang mendadak, penambahan beban yang mendadak atau perubahan beban [9].

Pada keadaan operasional yang stabil dari sistem tenaga membutuhkan keseimbangan antara daya input mekanis pada penggerak mula (*prime mover*) dengan daya output listrik pada sistem. Jika input mekanis tidak sesuai dengan beban listrik, maka kecepatan sistem (frekuensi) dan tegangan akan menyimpang

dari normal. Kondisi yang lebih parah jika ketika terjadi masalah pada sistem, seperti gangguan pada saluran transmisi atau hilangnya generator pada beban besar. Fungsi peralatan kontrol, seperti governor, generator, regulator tegangan, dan peralatan kontrol frekuensi beban adalah untuk merasakan penyimpangan dari normal dan bertindak untuk menyimpan frekuensi dan tegangan normal. Namun, perangkat kontrol tidak sempurna dan biasanya mengizinkan osilasi terjadi (variasi periodik) di sekitar kondisi yang diinginkan [10].

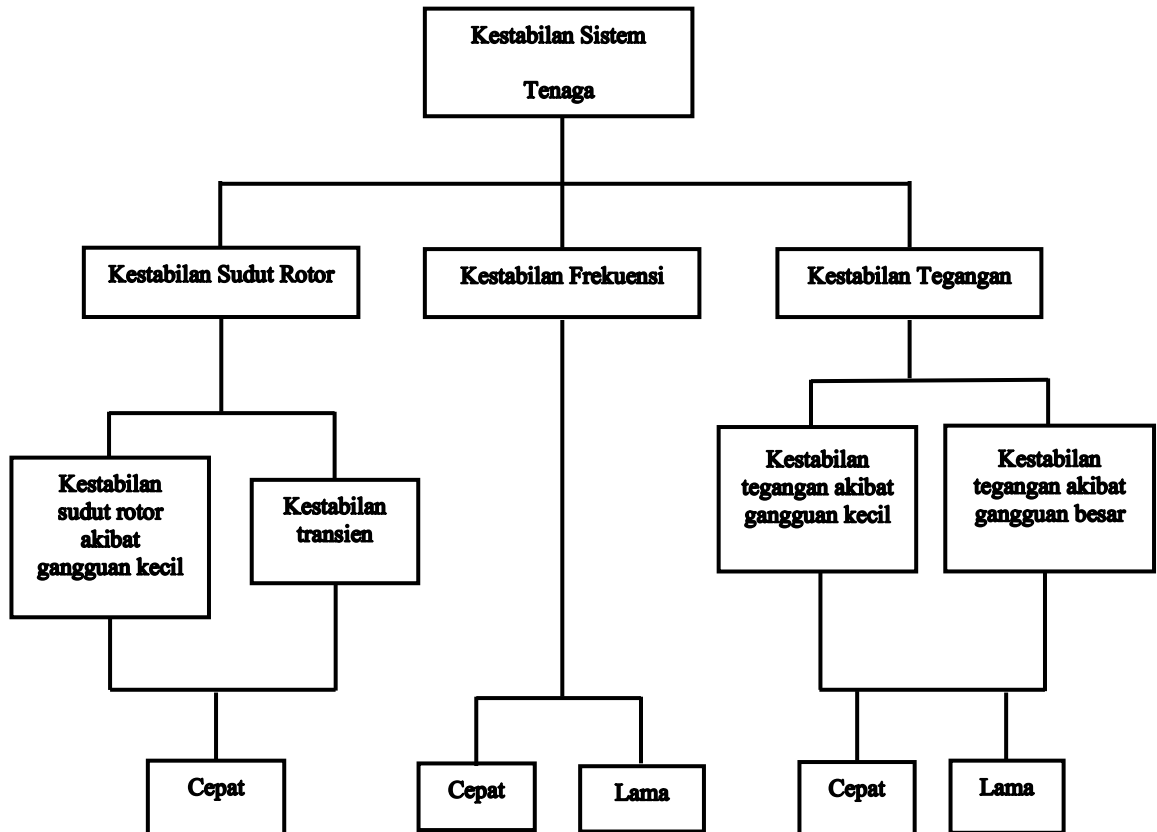
## 2.2 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal di bawah ini [11]:

- a. Sifat alami dari ketidakstabilan yang dihasilkan terkait dengan parameter sistem utama dimana ketidakstabilan bisa diamati.
- b. Ukuran gangguan dianggap menunjukkan metode perhitungan dan prediksi ketidakstabilan yang paling sesuai.
- c. Divais, proses dan rentang waktu yang harus diambil untuk menjadi pertimbangan dalam menentukan kestabilan

Secara umum permasalahan kestabilan sistem tenaga listrik terkait dengan kestabilan sudut rotor (*Rotor Angle Stability*), kestabilan tegangan (*Voltage Stability*) dan kestabilan frekuensi (*Frequency Stability*). Klasifikasi ini berdasarkan rentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan. Kestabilan sudut rotor diklasifikasikan menjadi *Small Signal Stability* dan *transient Stability*. *Small signal Stability* adalah kestabilan sistem untuk gangguan-gangguan kecil dalam bentuk osilasi elektromekanik yang tak teredam, sedangkan *Transient*

*Stability* dikarenakan kurang serempaknya torsi dan diawali dengan gangguan-gangguan besar [11].



Gambar 2.1 Klasifikasi kestabilan sistem tenaga listrik [11]

Gambar diatas menunjukkan gambaran menyeluruh tentang masalah kestabilan sistem tenaga listrik yang diidentifikasi berdasarkan kategori dan sub kategorinya.

### 2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor berkaitan dengan kemampuan mempertahankan keadaan sinkron di bawah kondisi operasi setelah mengalami gangguan oleh mesin sinkron yang terinterkoneksi dalam sebuah sistem tenaga listrik. Hal ini bergantung pada kemampuan untuk mempertahankan atau mengembalikan



kesetimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik masing-masing mesin sinkron pada sistem. Ketidakstabilan dapat menyebabkan terjadinya kenaikan sudut ayunan beberapa generator menuju kehilangan sinkronisasinya dengan generator lain. Kehilangan sinkronisasi dapat terjadi antara satu mesin dengan sistem atau antara beberapa kelompok mesin, antara sinkronisasi yang dipertahankan dengan masing-masing kelompok setelah pemisahan satu sama lain. Untuk tetap mempertahankan kestabilan dari sinkronisasi sistem perbedaan sudut rotor antar generator tidak boleh melebihi dari batas kestabilan sudut rotor sebesar  $90^\circ$  [11]. Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua kategori, yaitu kestabilan gangguan kecil (keadaan tunak) dan kestabilan gangguan besar (keadaan transien) [12].

### **2.2.2 Kestabilan Frekuensi**

Kestabilan frekuensi terkait dengan kemampuan sebuah sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi tunak dengan kisaran nominal mengikuti beberapa gangguan sistem yang menghasilkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan dan beban. Hal ini bergantung pada kemampuan untuk mengembalikan keseimbangan antara beban dan pembangkitan dengan meminimalisasi pelepasan unit dan atau kehilangan beban [12].

### **2.2.3 Kestabilan Tegangan**

Kestabilan tegangan mengacu pada kemampuan sistem daya untuk mempertahankan tegangan stabil di semua bus dalam sistem setelah dikenakan gangguan dari kondisi operasi awal yang diberikan. Itu tergantung pada kemampuan mempertahankan/mengembalikan keseimbangan antara memuat

permintaan dan pasokan beban dari sistem tenaga. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi dalam bentuk jatuhnya atau naiknya tegangan beberapa bus. Kemungkinan hasil ketidakstabilan tegangan adalah hilangnya beban di suatu area, atau tersandung transmisi garis-garis dan elemen-elemen lain oleh sistem pelindung mereka yang mengarah ke gangguan aliran listrik. Hilangnya sinkronisme beberapa generator dapat dihasilkan dari pemadaman ini atau dari kondisi operasi itu melanggar batas arus [12].

### **2.3 Klasifikasi Kestabilan Sudut Rotor [12]**

Kestabilan sudut rotor dibagi menjadi dua kategori, yaitu kestabilan gangguan kecil (keadaan tunak) dan kestabilan gangguan besar (keadaan transien).

#### **a. Kestabilan gangguan kecil (keadaan tunak)**

Kestabilan gangguan kecil (atau sinyal kecil) terkait dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi di bawah gangguan kecil. Gangguan dianggap cukup kecil sehingga linierisasi persamaan sistem dapat diterima untuk keperluan analisis.

Kestabilan Gangguan kecil tergantung pada kondisi pengoperasian awal sistem. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi dapat dari dua bentuk: i) peningkatan sudut rotor karena kurangnya torsi sinkronisasi, atau ii) osilasi rotor dari peningkatan amplitudo karena kurangnya torsi redaman yang cukup.

Dalam sistem daya saat ini, masalah kestabilan sudut rotor gangguan kecil biasanya terkait dengan redaman osilasi yang tidak memadai. Masalah ketidakstabilan aperiodik sebagian besar telah dihilangkan dengan menggunakan

regulator tegangan generator yang bekerja terus menerus; Namun, masalah ini masih dapat terjadi ketika generator beroperasi dengan eksitasi konstan ketika dikenakan tindakan pembatas eksitasi (pembatas arus medan).

Masalah gangguan kestabilan sudut rotor kecil dapat bersifat lokal atau global. Masalah lokal melibatkan sebagian kecil dari sistem tenaga listrik, dan biasanya dikaitkan dengan osilasi sudut rotor dari pembangkit listrik tunggal terhadap sistem tenaga lainnya. Osilasi semacam itu disebut osilasi mode instalasi lokal. Kestabilan (redaman) dari osilasi ini tergantung pada kekuatan sistem transmisi seperti yang terlihat oleh pembangkit listrik, sistem kontrol eksitasi generator dan output pabrik.

Masalah global disebabkan oleh interaksi di antara kelompok-kelompok besar generator dan memiliki efek samping yang lebih besar. Mereka melibatkan getaran dari kelompok generator di area yang berayun melawan sekelompok generator di area lain. Osilasi semacam itu disebut osilasi mode inter-area. Karakteristiknya sangat kompleks dan berbeda secara signifikan dengan karakteristik mode instalasi lokal. Karakteristik beban, khususnya, memiliki efek besar pada kestabilan mode inter-area.

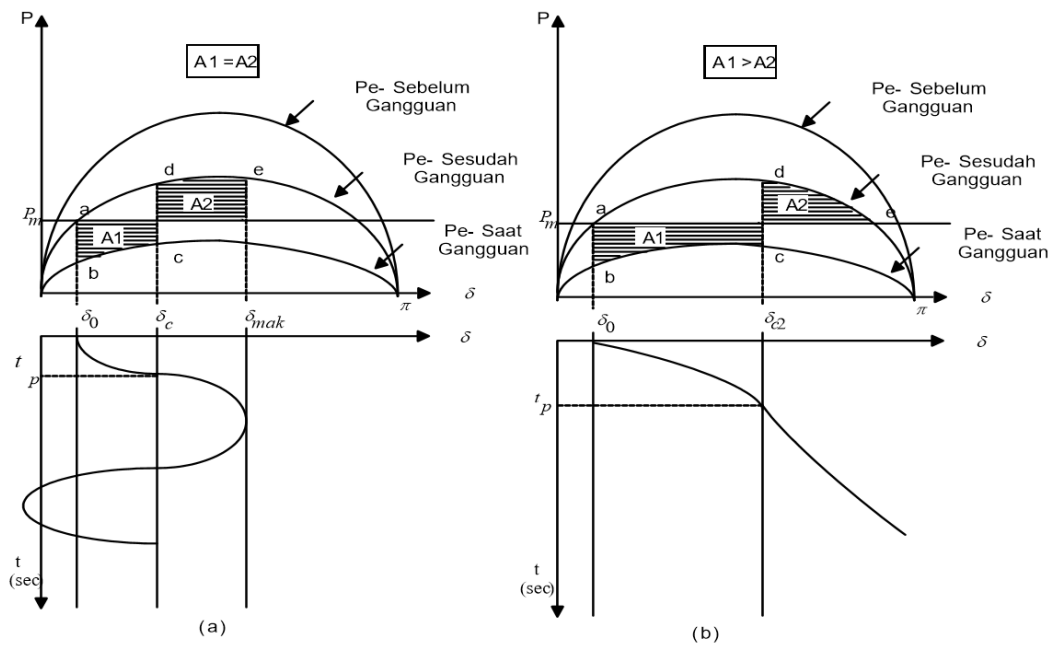
#### b. Kestabilan gangguan besar (keadaan transien)

Kestabilan gangguan besar atau kestabilan transien, seperti yang biasa disebut, berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi ketika mengalami gangguan yang besar, seperti short-circuit pada

saluran transmisi. Respons sistem yang dihasilkan melibatkan perubahan besar sudut rotor generator dan dipengaruhi oleh hubungan sudut daya nonlinier.

Kestabilan sementara tergantung pada status pengoperasian awal sistem dan tingkat gangguan dari gangguan. Ketidakstabilan biasanya dalam bentuk pemisahan sudut aperiodik karena torsi sinkronisasi yang tidak memadai, sebagai ketidakstabilan ayunan pertama. Namun, dalam sistem daya besar, ketidakstabilan sementara tidak selalu terjadi karena ketidakstabilan ayunan pertama yang terkait dengan mode tunggal; itu bisa merupakan hasil dari superposisi dari mode inter-area swing lambat dan mode local swing.

Selain melihat kondisi kestabilan sistem, studi kestabilan transien juga bertujuan untuk menentukan berapa besar waktu pemutusan kritis atau batas maksimum gangguan dihilangkan. Menurut Stevenson (1984) studi kestabilan transien lebih lanjut dapat dibagi ke kedalam kestabilan ayunan pertama (first swing) dan ayunan majemuk (multiswing). Kestabilan ayunan pertama generator dimodelkan sederhana yaitu tanpa memasukkan sistem-sistem pengaturannya [7]. Periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Jika generator-generator pada sistem tetap berada dalam keadaan serempak sebelum berakhirnya detik pertama maka sistem dikatakan dalam keadaan stabil. Namun umumnya lama studi kestabilan digunakan 2 sampai dengan 3 detik agar bentuk kurva ayunan sudut rotor jelas terlihat [11]. Untuk kestabilan ayunan majemuk meliputi periode yang lebih lama karena itu, pengaruh dari sistem-sistem pengaturan generator sudah dipertimbangkan, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 (a) Contoh ayunan pertama untuk sistem stabil, (b) contoh ayunan pertama untuk sistem tidak stabil [11].

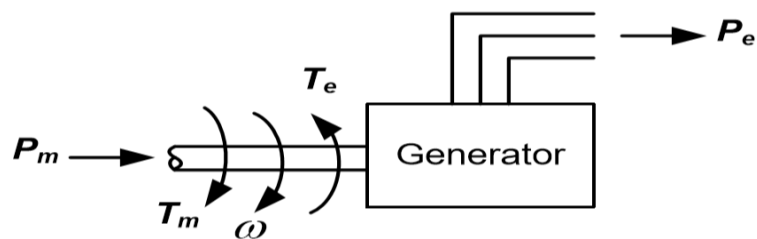
Semua studi-studi kesatabilan dibuat dalam tiga asumsi yang mendasar untuk memudahkan dalam perhitungan yaitu :

1. Dalam gulungan-gulungan stator dan sistem daya, hanya diperhitungkan arus dan tegangan. Karena itu arus-arus pergeseran dc (dc offset currents) dan komponen-komponen harmonisasi semuanya diabaikan.
2. Komponen-komponen simetris digunakan dalam representasi gangguan-gangguan tidak seimbang.
3. Tegangan yang dibangkitkan dianggap tidak dipengaruhi oleh perubahan-perubahan kecepatan mesin.

## 2.4 Dinamika Rotor dan Persamaan Ayunan [7]

Penggerak mula (primover) sebuah mesin sinkron akan memberikan besarnya momen putar mekanis  $T_m$  pada poros mesin dan momen putar listrik  $T_e$  pada mesin sinkron. Pada Gambar 2.3 arah momen putar mekanis dan momen putar listrik akan saling berlawanan. Jika sebagai akibat dari gangguan, torsi mekanis lebih besar daripada torsi elektromagnetis atau sebaliknya maka rotor akan mengalami momen percepatan bersih yang besarnya diberikan oleh : tenaga untuk bertahan dari gangguan yang mempengaruhi kestabilan transien system yang bersangkutan. Adapun metode tersebut adalah sebagai berikut :

$$T_a = T_m - T_e \quad (\text{N-m}) \quad (1)$$



Gambar 2.3 Representasi daya mekanik dan daya listrik pada sebuah generator [7]

Berdasarkan prinsip dasar dinamika, momen putar percepatan suatu mesin sinkron (accelerating torque) adalah hasil kali dari momen momen kelembanan (moment of inertia) rotor dan percepatan sudutnya. Untuk generator sinkron, persamaan ini dapat ditulis dalam bentuk:

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

dengan :

$J$  = Momen kelembanan total dari massa rotor dalam kg-m<sup>2</sup>

$\theta_m$  = Pergeseran sudut dari rotor terhadap suatu sumbu yang diam (stationary), dalam radian mekanis

$t$  = Waktu, dalam detik

$T_a$  = Momen putar percepatan bersih, dalam Nm

$T_m$  = Momen putar mekanis atau poros (penggerak) yang diberikan oleh penggerak mula dikurangi dengan momen putar perlambatan (retarding) yang disebabkan oleh rugi-rugi perputaran, dalam Nm

$T_e$  = Momen putar listrik atau elektromagnetis bersih, dalam Nm

Generator sinkron yang bekerja dalam keadaan steady-state maka generator berputar pada keadaan kecepatan sinkron  $\omega_{sm}$  sehingga  $T_m$  sama dengan  $T_e$  sedangkan momen putar  $T_a$  sama dengan nol. Pada persamaan (2)  $\theta_m$  diukur terhadap sumbu yang diam dan untuk mengukurnya terhadap sumbu yang berputar dengan kecepatan sinkron adalah dengan persamaan

$$\theta_m = \omega_{sm}t + \delta_m \quad (3)$$

dengan :

$\omega_{sm}$  = Kecepatan sinkron mesin dalam radian mekanis per detik.

$\delta_m$  = Pergeseran sudut rotor dalam radian mekanis dari sumbu pedoman yang berputar dengan kecepatan sinkron.

Penurunan persamaan (3) terhadap waktu memberikan persamaan kecepatan sudut dari rotor  $\omega_m$  dalam bentuk :

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \quad (4)$$

dan percepatan rotor adalah :

$$\frac{d^2\theta_m}{dt^2} = \frac{d^2\delta_m}{dt^2} \quad (\text{rad/det}^2) \quad (5)$$

dengan :

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \text{Kecepatan sudut rotor dalam radian mekanis per detik.}$$

$$\frac{d\delta_m}{dt} = \text{Penyimpangan rotor dari keadaan rotor keadaan sinkron dan unit ukurannya adalah radian mekanis per detik.}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (5) ke dalam persamaan (2) diperoleh,

$$J \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \text{ (N-m)} \quad (6)$$

Kalikan persamaan (6) dengan kecepatan sudut dari rotor  $\omega_m$ , akan menghasilkan:

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = \omega_m T_a = \omega_m T_m - \omega_m T_e \quad (7)$$

Dari prinsip dinamika dasar, daya adalah sama dengan kecepatan sudut dikali momen putar maka persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan daya sebagai berikut :

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (\text{W}) \quad (8)$$

dengan :

$P_m$  = Masukan daya poros ke mesin dikurangi dengan rugi-rugi perputaran dalam Watt.

$P_e$  = Daya listrik pada celah udaranya dalam Watt.

$P_a$  = Daya percepatan yang memperjelas ketidakseimbangan antara kedua daya dalam Watt.



Koefisien  $J\omega_m$  adalah momentum sudut (anguler momentum) rotor pada kecepatan sinkron  $\omega_m$ . Momen ini dinyatakan dengan  $M$  dan disebut konstanta kelembanan (inertia constant) dari mesin tersebut.  $M$  yang dinyatakan dalam joule-detik per-radian dan persamaan (8) dapat dituliskan dengan,

$$M \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (W) \quad (9)$$

Generator sinkron yang berputar pada kecepatan sinkron tentunya akan menyimpan energi kinetik pada rotor. Hubungan energi kinetik dengan massa berputar adalah :

$$W_k = \frac{1}{2}J\omega_m^2 = \frac{1}{2}M\omega_m \quad (10)$$

atau,

$$M = \frac{2W_k}{\omega_m} \quad (11)$$

Apabila  $\omega_m$  tidak mengalami perubahan sebelum kehilangan stabilitas maka  $M$  dianalisa pada kecepatan sinkron, dengan :

$$M = \frac{2W_k}{\omega_{sm}} \quad (12)$$

Jika  $p$  adalah jumlah kutub dari generator sinkron maka daya listrik dalam  $\delta$  hubungannya dengan sudut mekanik  $\delta_m$  adalah :

$$\delta = \frac{p}{2} \delta_m \quad (13)$$

Sedangkan hubungan persamaan (9) dengan sudut daya listrik adalah :

$$M \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (W) \quad (14)$$

Besarnya nilai  $M$  pada persamaan (12) disubstitusikan ke persamaan (14) dan dibagi dengan besarnya daya dasar dari rating mesin  $S_b$  dalam MVA, persamaan (14) akan menjadi :

$$\frac{2W_k}{\omega_{sm} \cdot S_b} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{P_a}{S_b} = \frac{P_m}{S_b} - \frac{P_e}{S_b} \quad (15)$$

Data-data dinamis mesin yang diperlukan dalam studi kestabilan, suatu konstanta yang berhubungan dengan kelembanan akan diberikan, konstanta tersebut dinamakan kontanta H dan didefinisikan :

$$H = \frac{\text{Daya kinetis yang disimpan dalam mega joule pada kecepatan sinkron}}{\text{Rating dalam MVA}}$$

$$H = \frac{\frac{1}{2}J\omega_{sm}^2}{S_b} = \frac{\frac{1}{2}M\omega_{sm}}{S_b} = \frac{W_k}{S_b} \quad \text{MJ/MVA} \quad (16)$$

Subtitusi persamaan (16) ke persamaan (15), diperoleh,

$$\frac{2H}{\omega_{sm}} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (17)$$

Kecepatan sinkron pada persamaan (17) jika dituliskan dalam satuan-satuan listrik listrik maka diperoleh,

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad (18)$$

Penggunaan subkrib m pada  $\omega$ ,  $\omega_s$  dan  $\delta$  menunjukkan bahwa yang digunakan adalah satuan-satuan mekanis, jika tidak maka yang dimaksudkan adalah satuan-satuan listrik.

Sistem dengan frekuensi sebesar f Hz dan  $\delta$  dinyatakan dalam radian listrik, persamaan (18) menjadi,

$$\frac{H}{\pi \cdot f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad \text{per unit} \quad (19)$$

Bila  $\delta$  dinyatakan dalam derajat listrik,

$$\frac{H}{180 \cdot f} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_a = P_m - P_e \quad \text{per unit} \quad (20)$$

Persamaan (20) di atas disebut dengan persamaan ayunan (swing equation) mesin, merupakan persamaan dasar yang mengatur dinamika (gerak) putaran mesin sinkron dalam studi kestabilan.

Penggunaan konstanta kelembanan  $M$  jarang digunakan dalam praktek, sedangkan yang lebih sering digunakan adalah bentuk-bentuk persamaan ayunan yang menggunakan konstanta  $H$ . Hal tersebut dikarenakan nilai  $M$  banyak sekali berubah-ubah menurut besar dan jenis mesin, sedangkan nilai  $H$  sedikit sekali berubahnya. Adapun nilai-nilai konstanta  $H$  dari beberapa jenis mesin diperlihatkan dalam Tabel nilai momen inersia dari beberapa jenis mesin listrik terlampir pada lampiran 1.

## **2.5 Metode Mempertahankan Kestabilan Sudut Rotor [13]**

Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kemampuan sistem tenaga untuk bertahan dari gangguan yang mempengaruhi kestabilan transien sistem yang bersangkutan. Adapun metode tersebut adalah sebagai berikut :

### **a) Menaikkan Konstanta Inersia Generator**

Menaikkan konstanta inersia mesin akan mengurangi penambahan perubahan sudut  $\delta$  dalam interval waktu tertentu, sehingga circuit breaker mempunyai waktu yang lebih lama untuk memutuskan rangkaian sebelum mesin melampaui sudut kritisnya. Semakin besar konstanta inersia mesin, maka semakin stabil suatu sistem. Tetapi dengan memperbesar konstanta inersia mesin, ukuran-

ukuran mesin akan semakin besar pula, yang berarti memerlukan biaya yang besar sehingga tidak ekonomis dalam prakteknya.

b) Menaikkan Tegangan Generator

Apabila pada kondisi sebelum terjadi gangguan generator sedang mensuplai daya tertentu dengan sudut  $\delta O$ , dengan menaikkan nilai tegangan generator yang terhubung dengan sistem, maka akan memperbesar daya yang disalurkan generator, yang berarti akan memperkecil sudut  $\delta O$ . Dengan semakin kecilnya sudut  $\delta O$ , apabila terjadi gangguan, generator dapat berayun lebih lama sebelum sudut kritis kestabilan tercapai. Dengan menaikkan nilai tegangan generator, berarti harus memperhitungkan isolasi untuk generator, yang berarti penambahan biaya untuk instalasi generator tersebut, sehingga cara ini relatif kurang ekonomis dalam prakteknya.

c) Menggunakan Peralatan Pemutus Rangkaian Yang Cepat (High Speed Recloser)

Semakin cepat gangguan yang terjadi pada sistem diisolir, maka kestabilan sistem semakin baik. Sesuai kriteria luas sama, sistem hanya akan stabil jika luasan daerah peredaman (A2) lebih besar atau sama dengan luas daerah percepatan (A1), dan yang menentukan besarnya masing-masing luasan ini adalah waktu pemutusan saluran yang mengalami gangguan. Semakin cepat waktu pemutusan, maka luasan daerah A1 akan semakin kecil, sehingga syarat suatu sistem untuk tetap stabil setelah mengalami gangguan akan terpenuhi.

d) Menurunkan Reaktansi Seri Saluran

Dengan menurunkan reaktansi seri saluran, dapat memperbesar daya yang disalurkan oleh generator, sehingga dapat meningkatkan kestabilan transien sistem. Perbaikan kestabilan transien dengan menggunakan kompensasi seri, dalam hal ini kapasitor seri. Jika saluran terkompensasi 50 %, maka akan mengurangi reaktansi saluran sebesar setengah kali dari harga asalnya, dan akan menghasilkan transfer daya dua kali lipat dengan selisih sudut tegangan yang sama. Atau dengan kata lain, saluran mampu menghasilkan transfer daya yang sama dengan selisih sudut tegangan yang lebih kecil, sehingga akan mengurangi resiko terjadinya ketidakstabilan pada sistem jika terjadi gangguan. Dalam prakteknya kompensasi dari saluran tidak pernah lebih dari 80% dikarenakan semakin besar kompensasi dari saluran berakibat pada tingginya kemungkinan terjadi subsynchronous resonance. Nilai kompensasi yang sering digunakan adalah 20% sampai 70%. Pemilihan lokasi dari kompensasi seri biasanya berada pada tengah dari saluran, di kedua ujung saluran dan di  $1/3$  atau  $1/4$  dari saluran. Peletakan kompensasi seri ditengah saluran memiliki keuntungan dimana peralatan proteksi yang lebih sederhana dan arus short-circuit yang rendah, tetapi akses keamanan, monitoring dan maintenance yang sulit. Sedangkan peletakan kompensasi seri pada kedua ujung saluran memiliki keuntungan dimana akses keamanan, monitoring dan maintenance lebih mudah, tetapi arus short circuit lebih besar dan peralatan proteksi yang kompleks.

## **2.6 *DIgSILENT PowerFactory***

Pada penelitian ini, dilakukan analisis dan simulasi dari sistem kelistrikan sulselbar dalam Program *PowerFactory*. Program *PowerFactory* atau biasa disebut

DIgSILENT merupakan *engineering tool* untuk melakukan analisis jaringan tenaga listrik, transmisi, dan distribusi. Nama DIgSILENT merupakan kepanjangan “*DIGital SIMuLation and Electrical NeTwork calculation program*”.

Berikut merupakan simulasi yang terdapat pada PowerFactory:

- *Load Flow Analysis*
- *Short Circuit Analys*
- *Contingency Analysis*
- *Quasi-Dynamic Simulation*
- *RMS/EMT Simulation*
- *Modal Analysis*
- *Harmonics/Power Quality*
- *Realibility Analysis*
- *Optimal Power Restoration*
- *Generation Adequacy Analysis*
- *Distribution Network Tools*
- *Optimal Capacitor Placement*
- *Protection*

Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Load Flow Analysis* dan *RMS/EMT Simulation*. Metode yang digunakan pada *Load Flow Analysis* adalah Newton Rhapson. Ada dua pilihan yang bisa digunakan:

- a) *Classical Newton Rhapson* dengan *Power Equation*, pilihan ini digunakan untuk menganalisa sistem transmisi, terutama sistem dengan beban yang besar.
- b) *Newton Rhapson* dengan *Current Equation*, pilihan ini digunakan untuk menganalisa sistem distribusi yang tidak seimbang [14].

Sedangkan pada *RMS/EMT Simulation*, metode yang digunakan adalah metode trapezoidal.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Judul Penelitian**

Judul yang diangkat pada penelitian ini adalah “Analisis Kestabilan Sudut Rotor Sistem Sulbagsel Memperhatikan Lepasnya Salah Satu Pusat Pembangkit”.

#### **3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dari tugas akhir ini akan dimulai Oktober 2019 sampai bulan April 2020. Adapun penelitian dilakukan di PT. PLN (Persero) UP2B Wilayah Sulselrabar dan di *Laboratorium Energy and Power System*, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

#### **3.3 Teknik Pengambilan Data**

Jenis penelitian ini adalah analisis dan studi kasus sistem Sulbagsel, dimana dalam penelitian ini yang akan diteliti yaitu mengenai kestabilan sudut rotor sistem Sulbagsel ketika terjadi gangguan salah satu pusat pembangkit yang hilang. Dengan demikian penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan secara objektif tentang kestabilan sudut rotor sistem kelistrikan Sulbagsel ketika lepasnya salah satu pusat pembangkit. Data yang dianalisa berupa data sekunder yang bersumber dari PT. PLN (Persero) UP2B wilayah Sulselrabar. khususnya data yang berhubungan dengan penelitian. Adapun data yang akan dikumpulkan adalah data pembangkit, data transformator, data transmisi, single line diagram sistem Sulbagsel, data aliran daya sistem Sulbagsel, data reaktansi dan impedansi, beban daya aktif, dan beban daya reaktif pada tiap bus.

### **3.4 Metode Analisa Data**

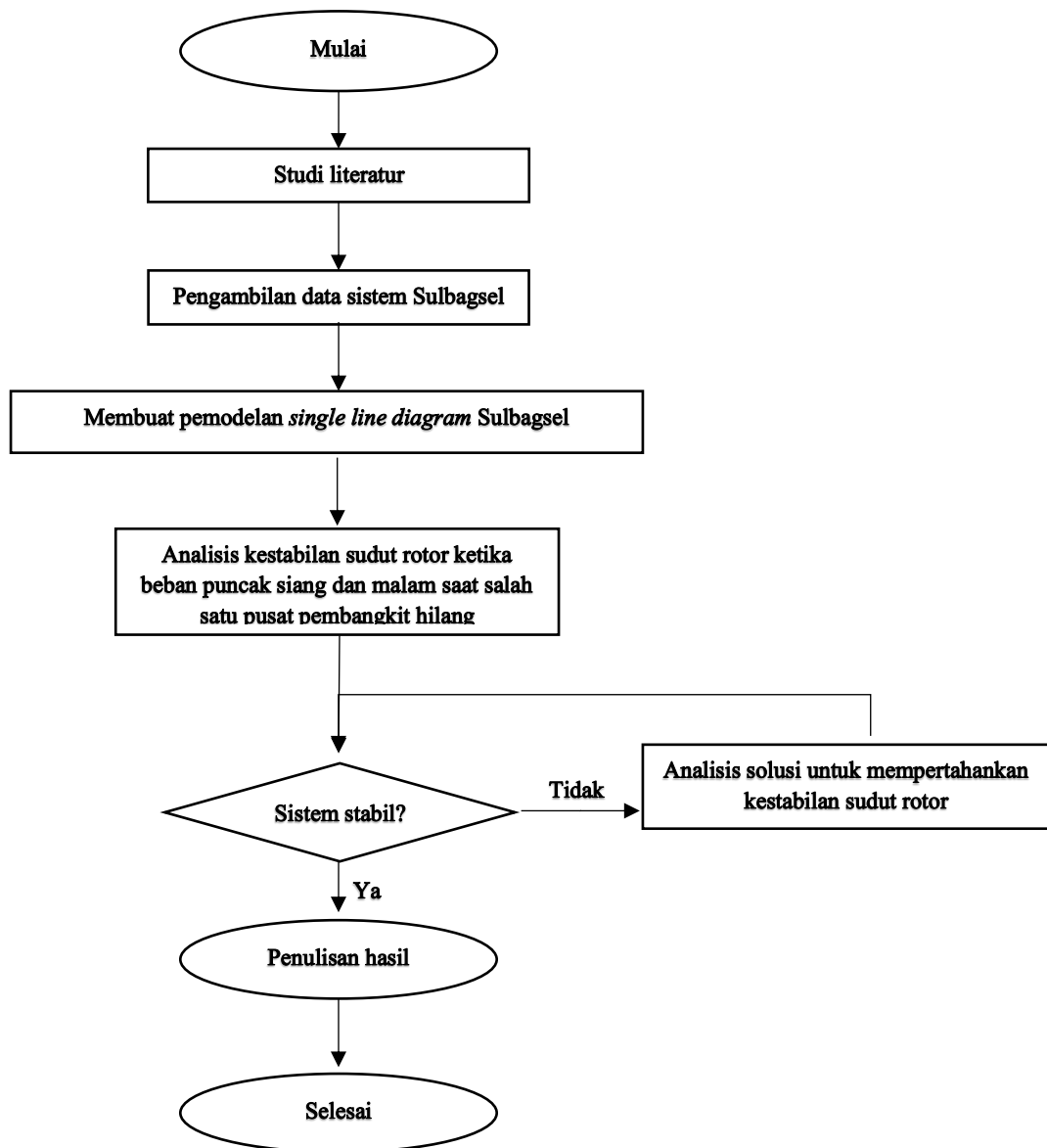
Berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari sistem interkoneksi Sulbagsel maka dapat dilakukan studi antara lain:

1. Studi aliran daya pada sistem Sulbagsel saat sistem stabil pada kondisi beban puncak siang dan beban puncak malam menggunakan software Digsilent, metode analisa aliran daya dari software DIgSILENT sendiri adalah metode *Newton Rhapson*.
2. Studi kestabilan sudut rotor sistem Sulbagsel ketika terjadi lepasnya salah satu pusat pembangkit dari sistem sulbagsel dalam hal ini lepasnya satu unit PLTU Jeneponto ekspansi, dua unit PLTU Jeneponto ekspansi, satu unit PLTA Poso dan dua unit PLTA Poso menggunakan software DIgSILENT. Metode analisa sudut rotor dari software DIgSILENT sendiri adalah analisis numerikal dengan metode trapezoidal.
3. Studi solusi untuk menjaga kestabilan sudut rotor sistem Sulbagsel jika terjadi ketidak stabilan setelah terjadinya gangguan pada sistem. Studi ini dilakukan menggunakan software DIgSILENT dengan metode trapezoidal untuk menganalisa sudut rotor.

### **3.5 Langkah Penelitian Tugas Akhir**

Penelitian ini merupakan penelitian untuk menganalisa kestabilan sudut rotor Sistem Sulbagsel. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui respon dari sistem dan solusi yang tersedia berdasarkan permasalahan yang diperoleh. Selengkapnya dapat dilihat diagram alir pada Gambar 3.1 dibawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Keterangan diagram alir penelitian:

### 3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan.

Referensi tersebut berisikan tentang:

- Kestabilan sistem tenaga listrik
- Klasifikasi kestabilan sudut rotor
- Dinamika rotor dan persamaan ayunan
- Metode mempertahankan kestabilan sudut rotor
- *DIgSILENT PowerFactory*

Referensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs-situs di internet. Output dari studi literatur ini adalah terkoleksinya referensi yang relevan dengan perumusan masalah. Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dan juga menjadi dasar untuk melakukan analisis dan pencarian solusi dalam dari permasalahan yang didapat.

### **3.5.2 Pengambilan Data Sistem Sulbagsel**

Data sekunder yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah:

- Single line sistem Sulbagsel
- Data pembangkit sistem sulbagsel
- Data transmisi sistem sulbagsel
- Data beban sistem sulbagsel

Data ini dapat diperoleh dari PT. PLN (Persero) UP2B wilayah Sulselrabar. Hasil dari pengumpulan data ini bisa dipakai sebagai bahan untuk membuat single line diagram sistem sulbagsel untuk disimulasikan.

### **3.5.3 Membuat pemodelan single line diagram Sulbagsel**

Pemodelan single line diagram ini menggunakan DIgSILENT PowerFactory. Data yang telah didapatkan sebelumnya digunakan dalam single line

diagram ini, lalu dilakukan analisis aliran daya dari sistem untuk melihat kondisi awal dari sistem pada beban puncak siang dan beban puncak malam sebelum diberikan gangguan.

#### **3.5.4 Analisis kestabilan sudut rotor ketika beban puncak siang dan malam saat salah satu pusat pembangkit hilang**

Single line diagram yang telah selesai kemudian diberikan gangguan berupa hilangnya salah satu pusat pembangkit pada kondisi beban puncak siang dan beban puncak malam. Seluruh pembangkit yang ada dan bekerja dicoba untuk dihilangkan satu persatu, lalu dilihat apakah kestabilan sudut rotor dari sistem dapat bertahan atau tidak. Jika sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya maka dilakukan analisis untuk mencari solusi mempertahankan kestabilan dari sistem. Jika sistem dapat mempertahankan kestabilannya selanjutnya dilakukan penulisan hasil dari penelitian tugas akhir ini.

#### **3.5.5 Analisis solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor**

Dari hasil analisis kestabilan sudut rotor saat salah satu pusat pembangkit hilang, akan dilakukan analisis untuk mencari solusi mempertahankan kestabilan sudut rotor bila sistem mengalami ketidak stabilan setelah terjadinya gangguan. Metode untuk mempertahankan kestabilan dari sistem adalah:

- Menaikkan Konstanta Inersia Generator
- Menaikkan Tegangan Generator
- Menggunakan Peralatan Pemutus Rangkaian Yang Cepat (High Speed Recloser)

- Menurunkan Reaktansi Seri Saluran

### **3.5.6 Penulisan Hasil**

Pada tahap ini merupakan proses untuk menulis, menarik kesimpulan dan saran atas apa yang dilakukan selama pengerjaan Tugas Akhir. Dasar pengambilan kesimpulan dan saran diantaranya adalah hasil analisa dan pembahasan. Dan bisa berisikan rekomendasi teknis yang berhubungan dengan pengembangan dari analisis ini.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Skenario Simulasi**

Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi aliran daya dan kestabilan transient untuk melihat respon sudut rotor pada sistem kelistrikan Sulbagsel ketika terjadi hilangnya salah satu pembangkit di sistem Sulbagsel.

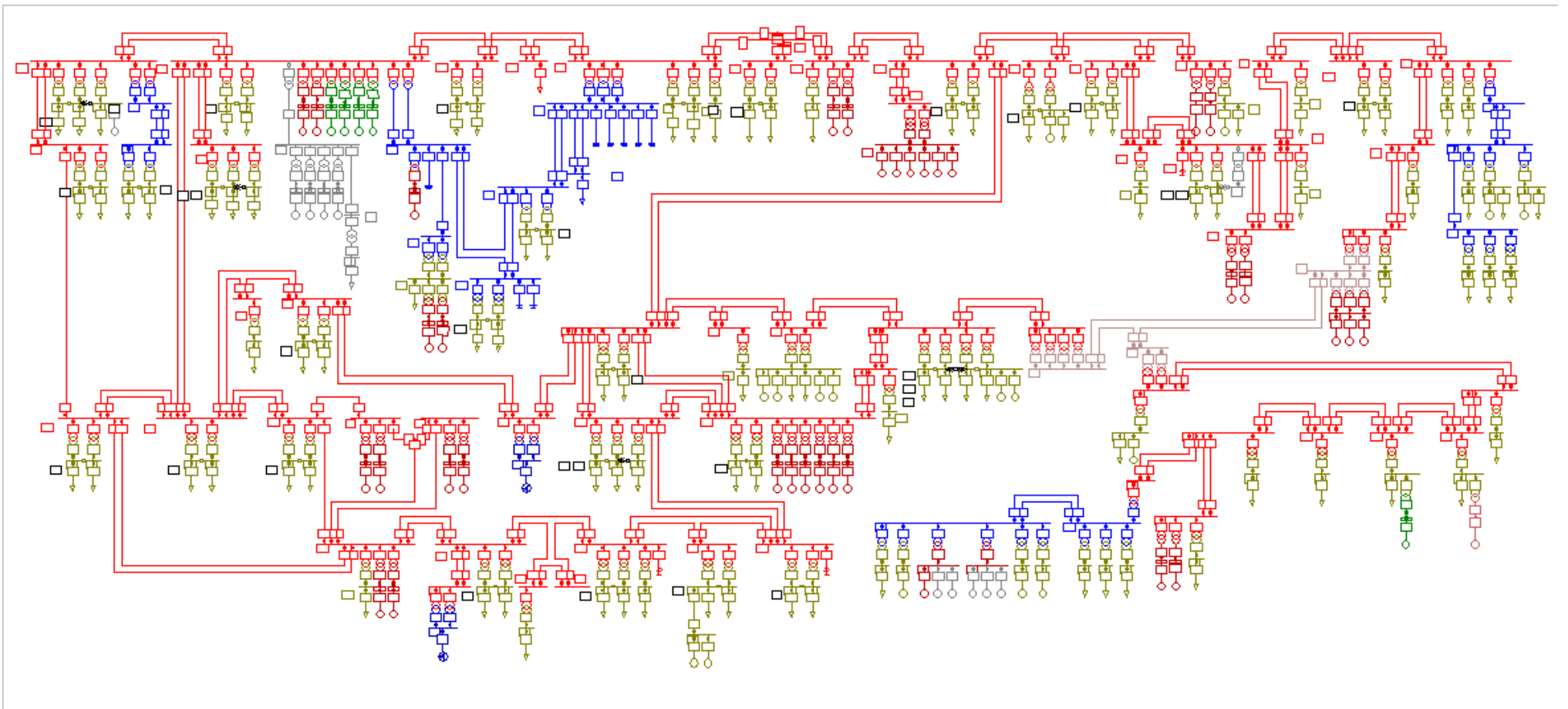
Ada beberapa skenario simulasi yang dilakukan, yaitu dimulai dari simulasi ketika salah satu pusat pembangkitan lepas dari sistem interkoneksi Sulbagsel pada saat kondisi beban puncak malam dan beban puncak siang menggunakan *Software DigSilent Power Factory 15.1.7*. simulasi juga dilakukan dengan sistem 14 bus dari IEEE untuk membandingkan respon sistem saat penggunaan PLTB.

#### **4.2 Data Sistem Sulbagsel**

Sistem Sulbagsel merupakan sistem kelistrikan interkoneksi Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara dimana terdiri dari pembangkit berbeda-beda yang tersebar disalurkan melalui Transmisi 275 kV, 150 kV, 70 kV hingga ke konsumen melalui distribusi 20 kV dan 11 kV.

Penelitian dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban Wilayah Sulsebar. Data dibatasi hanya pada sistem kelistrikan Sulbagsel. Adapun data-data yang diperoleh yaitu data pembangkit Sulbagsel, data transmisi sistem Sulbagsel (*single line*, beban, pembangkit), dan data beban puncak terlampir pada lampiran 2.

Data tersebut diambil pada tanggal 25 Juni 2019. Dari data terlampir pada lampiran 2 dapat diinputkan ke dalam *software Digsilent Power Factory 15*. Adapun single line diagram sistem subagsel dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Subbagsel

### **4.3 Hasil Simulasi**

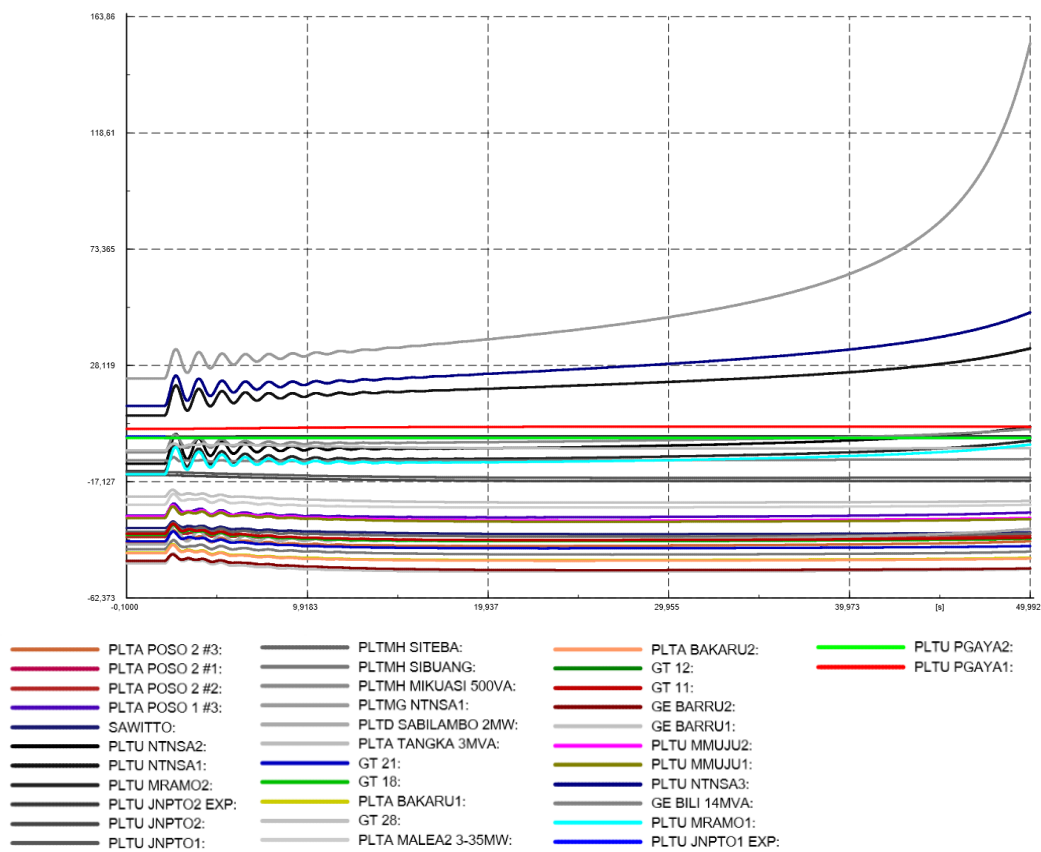
Simulasi dilakukan untuk melihat respon sudut rotor terhadap gangguan berupa lepasnya salah satu pusat pembangkit. Dalam simulasi, masing – masing pembangkit yang ada dalam sistem dilepaskan untuk melihat apakah respon sudut rotor dari masing – masing pembangkit dapat mempertahankan kestabilannya. Setelah simulasi tersebut dilakukan didapatkan pada kondisi beban puncak siang, terdapat 4 kondisi dimana respon sudut rotor dari sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya, yaitu kondisi saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas dari sistem baik 1 unit lepas maupun 2 unit serta PLTA Poso lepas dari sistem baik 1 unit lepas maupun 2 unit lepas. Sedangkan pada beban puncak malam, tidak terdapat gangguan apapun. Hal ini terjadi akibat adanya perbedaan dari jumlah pembangkit yang menyuplai, pada beban puncak malam terdapat dua pembangkit lagi yang menyuplai dan berada dekat dari gangguan yang terjadi pada kondisi beban puncak siang. Selain melihat respon sudut rotor dari sistem, tegangan dari tiap bus sebelum dan sesudah terjadinya gangguan juga dilihat untuk mengetahui bus mana yang mengalami pembebanan paling besar saat gangguan terjadi.

#### **4.3.1 Simulasi PLTU Jeneponto Ekspansi Lepas**

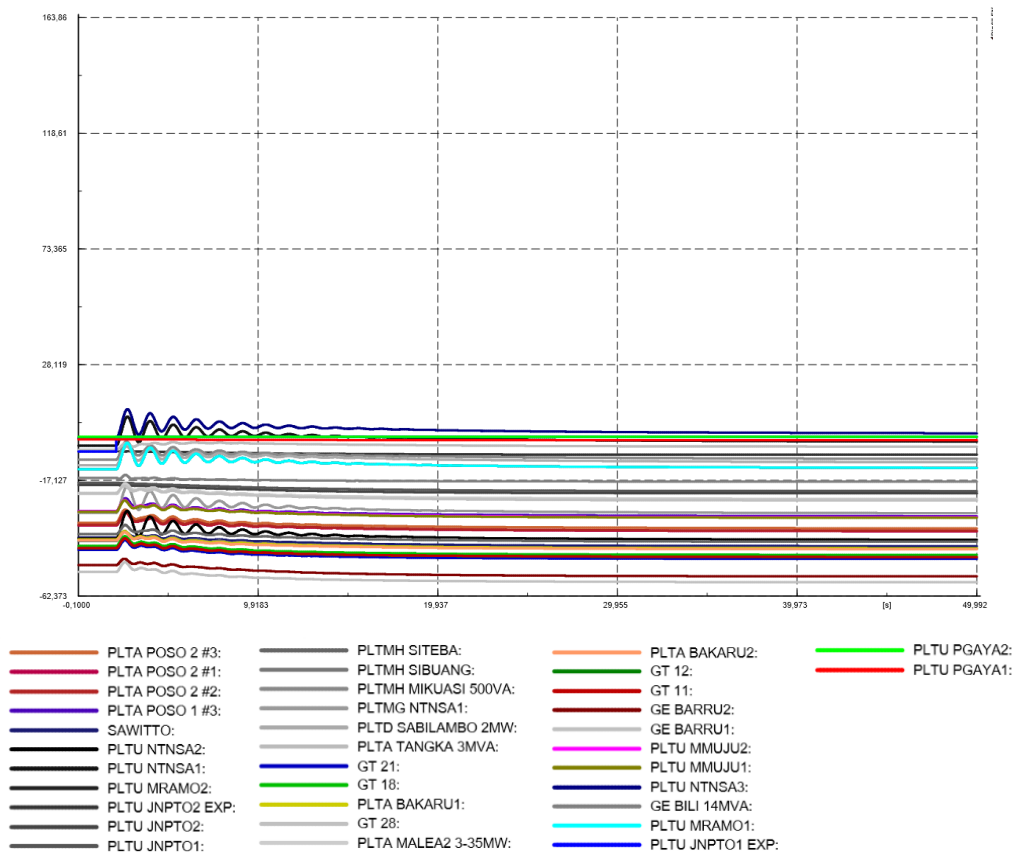
Pada simulasi ini terdapat dua gangguan yaitu satu unit PLTU Jeneponto ekspansi lepas dan dua unit PLTU Jeneponto ekspansi lepas. Dilakukan dua simulasi menggunakan DIgSILENT *PowerFactory* 15.1.7, yaitu simulasi salah satu unit PLTU Jeneponto ekspansi lepas dan simulasi dua unit PLTU Jeneponto ekspansi lepas. Dimana masing – masing dari kedua gangguan tersebut disimulasikan pada kondisi beban puncak siang dan beban puncak malam. Setelah



dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil tegangan pada tiap bus yang dapat dilihat pada tabel terlampir, serta respon sudut rotor pada masing-masing pembangkit saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.2 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas pada beban puncak siang

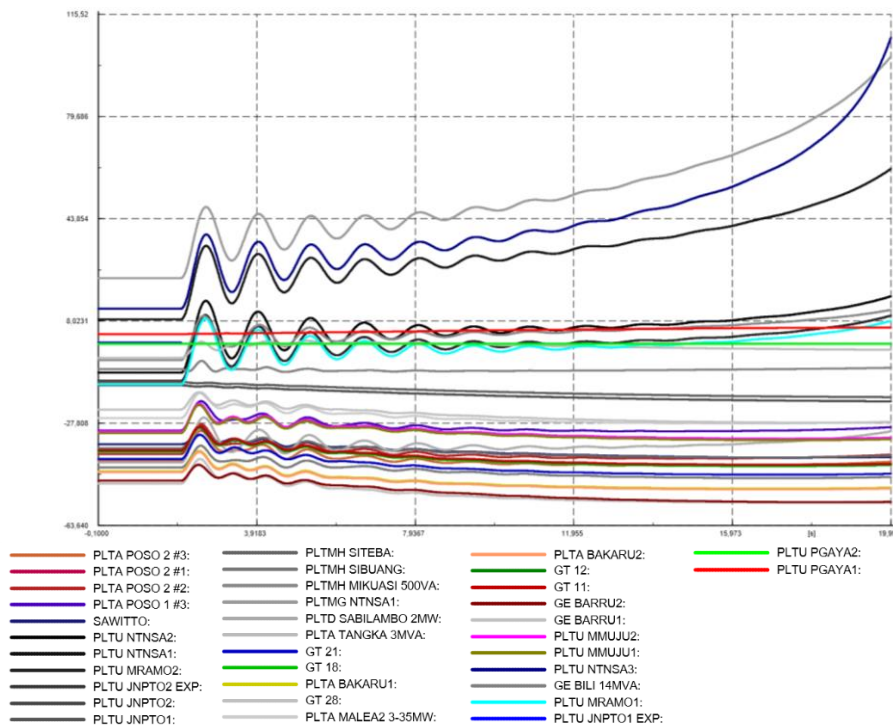


Gambar 4.3 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas pada beban puncak malam

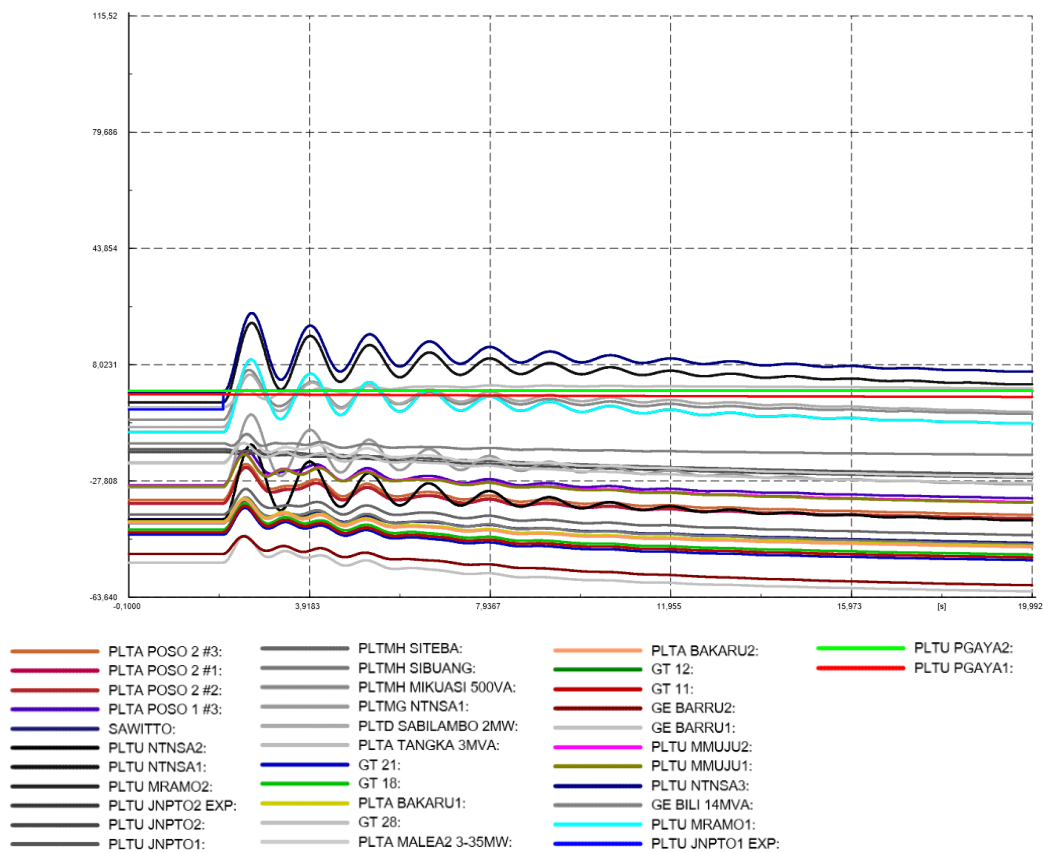
Pada Gambar 4.2, simulasi dilakukan selama 50 detik dimana PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas dari sistem pada detik ke-2. Terlihat respon sudut rotor pada kondisi beban puncak siang tidak mampu mempertahankan kestabilan sudut rotornya. Perubahan sudut rotor yang signifikan terjadi pada PLTMG Nitansa unit 1 yang berayun beberapa saat hingga perlahan naik menuju kondisi lepas sinkron dari sistem pada detik ke - 45,8. Terlihat pula respon sudut rotor dari PLTU Nitansa unit 1 dan 3 juga perlahan naik. Sedangkan pada Gambar 4.3, kondisi beban puncak malam terlihat respon sudut rotor hanya mengalami beberapa ayunan hingga akhirnya kembali stabil.

Rata – rata perubahan besar tegangan dari sebelum terjadinya gangguan hingga setelah terjadinya gangguan tiap bus saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas adalah -0,0498 pu. Perubahan tegangan terbesar terjadi pada Busbar Niitanasa 70 KV sebesar -0,1035 pu. dan juga Busbar Puwatu 70 KV sebesar -0,102013 pu. Ini menunjukkan bahwa setelah gangguan terjadi kedua bus ini mengalami pembebanan paling besar yang berakibat pada turunnya tegangan dari bus ini.

Selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat respon sudut rotor dari sistem jika dua unit pembangkit dari PLTU Jeneponto ekspansi lepas dari sistem. Setelah dilakukan simulasi selama 20 detik, maka didapatkan hasil tegangan pada tiap bus yang dapat dilihat pada tabel terlampir, serta respon sudut rotor pada masing-masing pembangkit saat PLTU lepas dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar 4.4 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas pada beban puncak siang



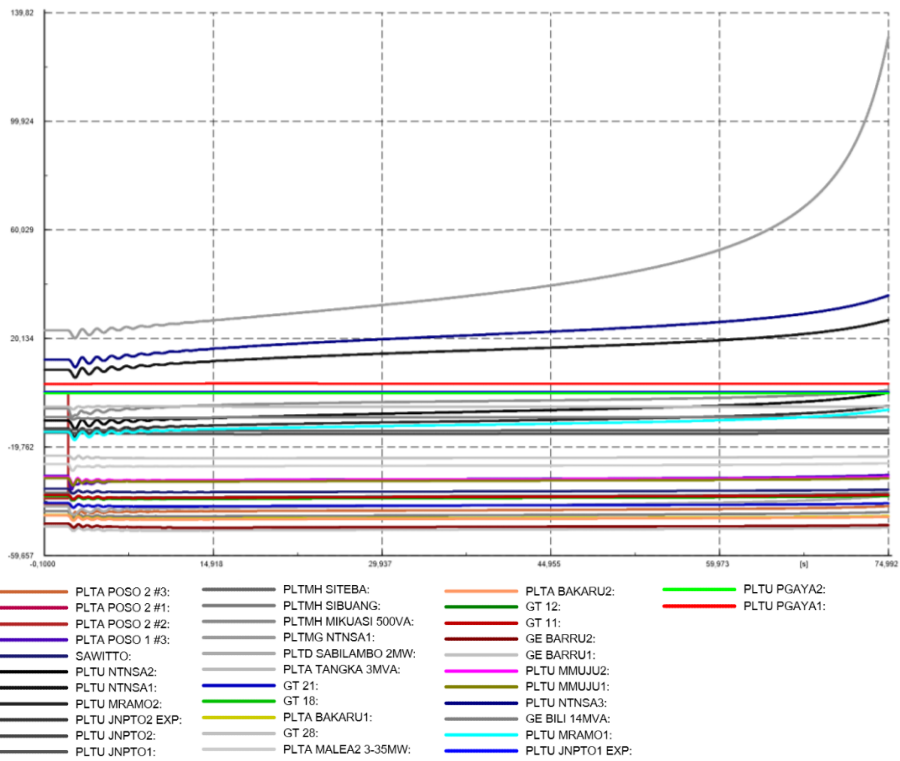
Gambar 4.5 Respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas pada beban puncak malam

Pada Gambar 4.4, PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas dari sistem pada detik ke-2. Terlihat respon sudut rotor pada kondisi beban puncak siang tidak mampu mempertahankan kestabilan sudut rotornya. Perubahan sudut rotor yang signifikan terjadi pada PLTMG Nitansa unit 1 yang berayun beberapa saat lalu naik dan lepas sinkron pada detik ke - 19,2. Terlihat pula respon sudut rotor dari PLTU Nitansa unit 3 yang berayun beberapa kali lalu naik hingga lepas sinkron pada detik ke - 19,4 dan PLTU Nitansa unit 1 yang mengalami kenaikan sudut rotor menuju kondisi lepas sinkron. Pada Gambar 4.5, kondisi beban puncak malam terlihat respon sudut rotor hanya mengalami beberapa ayunan hingga akhirnya kembali stabil.

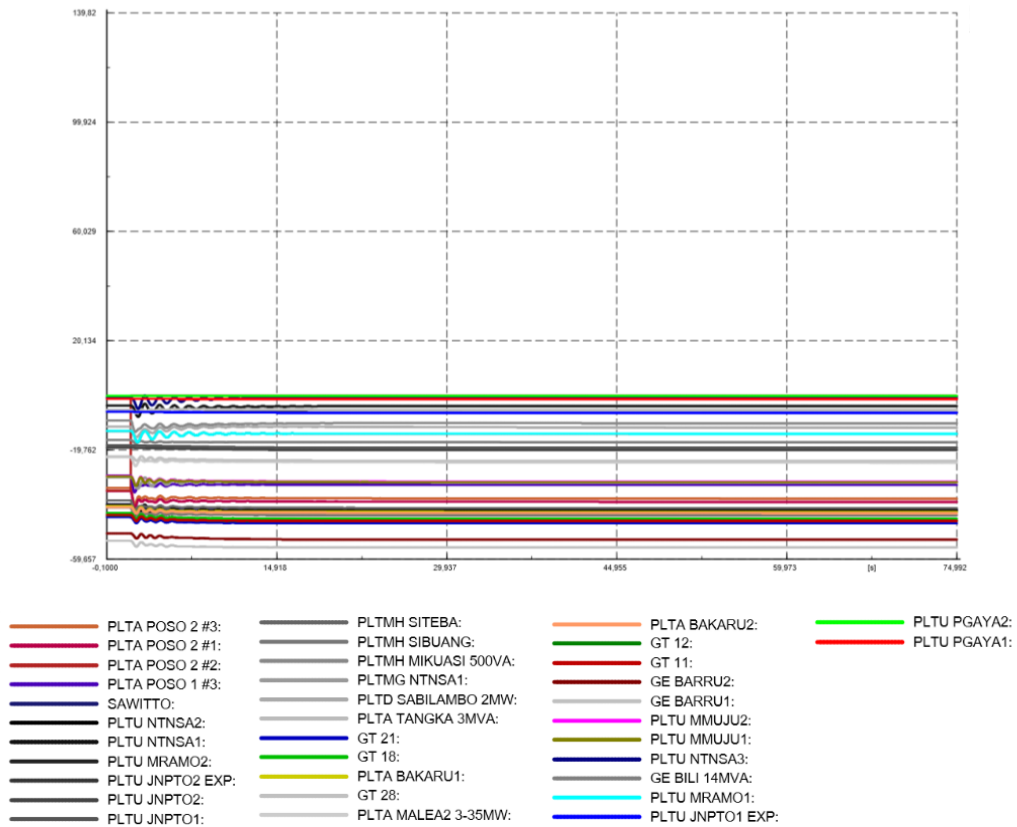
Rata – rata perubahan besar tegangan dari sebelum terjadinya gangguan hingga setelah terjadinya gangguan tiap bus saat PLTU Jenepono ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas adalah -0,1071 pu. Perubahan tegangan terbesar terjadi pada Busbar Niitanasa 70 KV sebesar -0,2122 pu. dan juga Busbar Puwatu 70 KV sebesar -0,2099 pu. Ini menunjukkan bahwa setelah gangguan terjadi kedua bus ini mengalami pembebanan paling besar yang berakibat pada turunnya tegangan dari bus ini.

#### **4.3.2 Simulasi PLTA Poso Lepas**

Pada simulasi ini terdapat dua gangguan yaitu satu unit PLTA Poso lepas dan dua unit PLTA Poso lepas. Dilakukan dua simulasi menggunakan *DIgSILENT PowerFactory* 15.1.7, yaitu simulasi salah satu unit PLTA Poso lepas dan simulasi dua unit PLTA Poso lepas. Dimana masing – masing dari kedua gangguan tersebut disimulasikan pada kondisi beban puncak siang dan beban puncak malam. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil tegangan pada tiap bus yang dapat dilihat pada tabel terlampir, serta respon sudut rotor pada masing-masing pembangkit saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dibawah ini:



Gambar 4.6 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas pada beban puncak siang

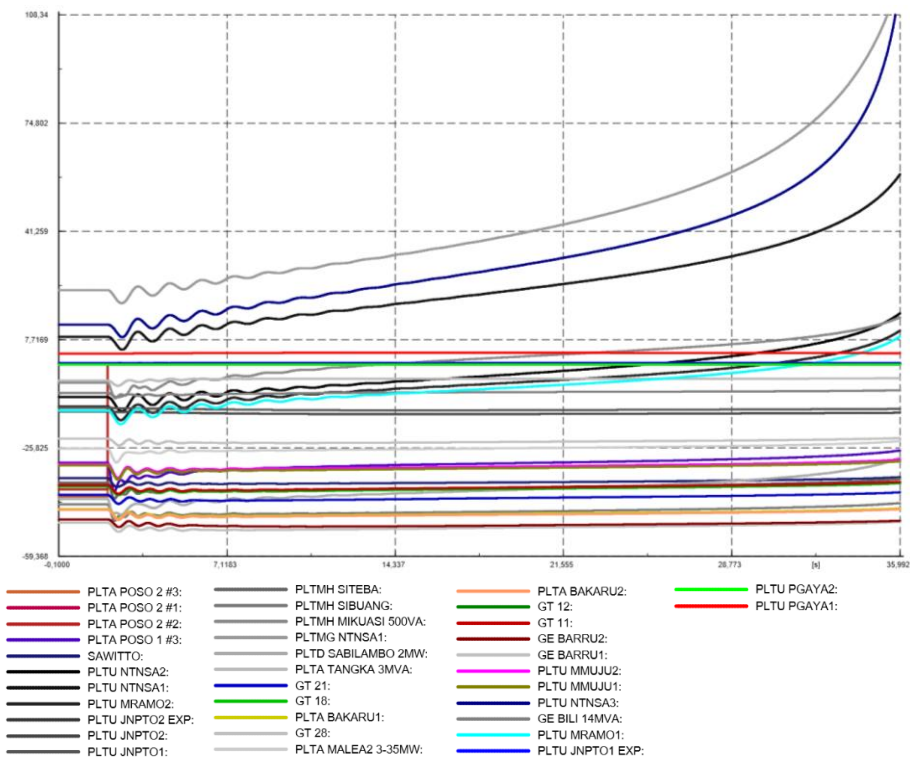


Gambar 4.7 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas pada beban puncak malam

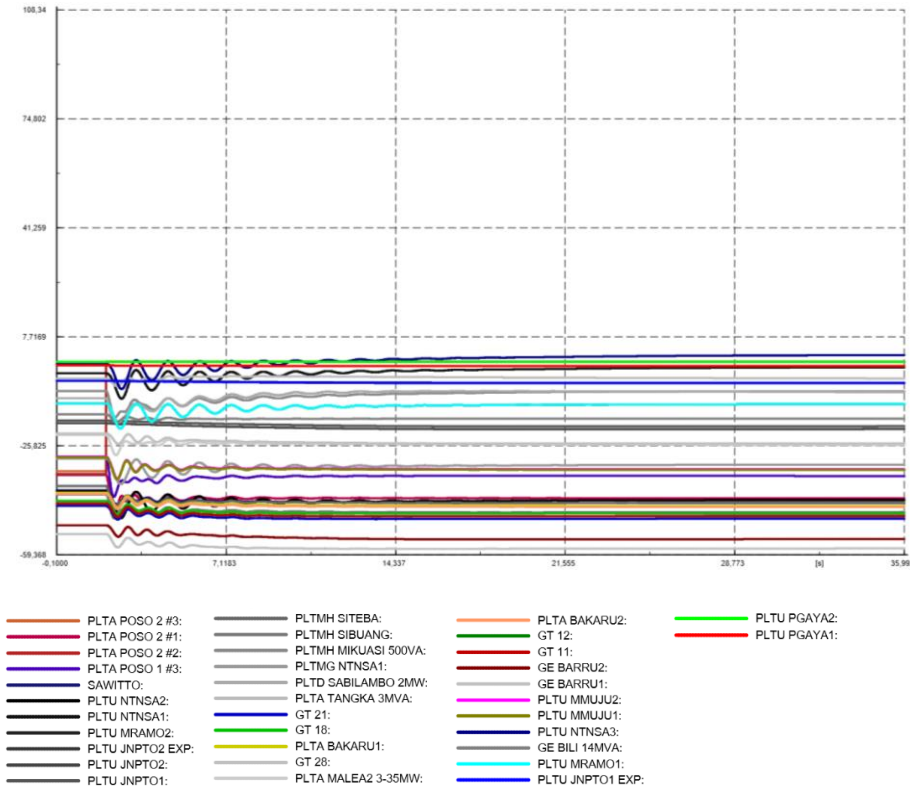
Pada Gambar 4.6, simulasi dilakukan selama 75 detik dimana PLTA Poso 2 unit 2 lepas dari sistem pada detik ke-2. Terlihat respon sudut rotor pada kondisi beban puncak siang tidak mampu mempertahankan kestabilan sudut rotornya. Perubahan sudut rotor yang signifikan terjadi pada PLTMG Nitanasas unit 1 yang berayun beberapa saat hingga perlahan naik menuju kondisi lepas sinkron dari sistem pada detik ke – 71,78. Terlihat pula respon sudut rotor dari PLTU Nitanasas unit 1 dan 3 juga perlahan naik. Sedangkan untuk Gambar 4.7, kondisi beban puncak malam terlihat respon sudut rotor hanya mengalami beberapa ayunan hingga akhirnya kembali stabil.

Rata – rata perubahan besar tegangan dari sebelum terjadinya gangguan hingga setelah terjadinya gangguan tiap bus saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas adalah -0,0278 pu. Perubahan tegangan terbesar terjadi pada Busbar Niitanasas 70 KV sebesar -0,0925 pu. dan juga Busbar Puwatu 70 KV sebesar -0,0912 pu. Ini menunjukkan bahwa setelah gangguan terjadi kedua bus ini mengalami pembebanan paling besar yang berakibat pada turunnya tegangan dari bus ini.

Selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat respon sudut rotor dari sistem jika dua unit pembangkit dari PLTA Poso lepas dari sistem, yaitu PLTA Poso 2 unit 3 dan PLTA Poso 2 unit 2. Setelah dilakukan simulasi selama 36 detik, maka didapatkan hasil tegangan pada tiap bus yang dapat dilihat pada tabel terlampir, serta respon sudut rotor pada masing-masing pembangkit saat PLTA Poso 2 unit 3 dan unit 2 lepas dari sistem dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.8 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 dan 3 lepas pada beban puncak siang



Gambar 4.9 Respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 dan 3 lepas pada beban puncak malam



Pada Gambar 4.8, PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas dari sistem pada detik ke-2. Terlihat respon sudut rotor pada kondisi beban puncak siang tidak mampu mempertahankan kestabilan sudut rotornya. Perubahan sudut rotor yang signifikan terjadi pada PLTMG Nitana unit 1 yang mengalami ayunan sudut rotor beberapa kali hingga lepas sinkron di sudut  $90^\circ$  pada detik ke – 34. Terlihat pula respon sudut rotor dari PLTU Nitana unit 3 yang lepas sinkron setelah berayun beberapa kali pada detik ke – 31,19 dan sudut rotor PLTU Nitana unit 1 yang terus naik menuju kondisi lepas sinkron. Pada Gambar 4.9, kondisi beban puncak malam terlihat respon sudut rotor hanya mengalami beberapa ayunan hingga akhirnya kembali stabil.

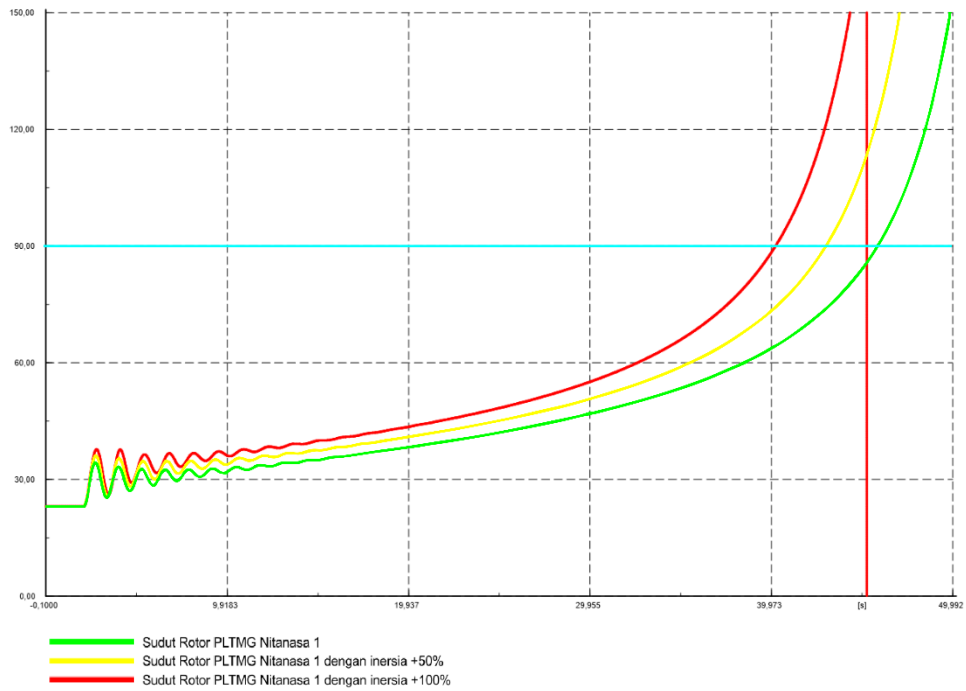
Rata – rata perubahan besar tegangan dari sebelum terjadinya gangguan hingga setelah terjadinya gangguan tiap bus saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas adalah -0,0611 pu. Perubahan tegangan terbesar terjadi pada Busbar Nitana 70 KV sebesar -0,1783 pu. dan juga Busbar Puwatu 70 KV sebesar -0,1769 pu. Ini menunjukkan bahwa setelah gangguan terjadi kedua bus ini mengalami pembebanan paling besar yang berakibat pada turunnya tegangan dari bus ini.

### **4.3.3 Simulasi Metode Mempertahankan Kestabilan Sudut Rotor**

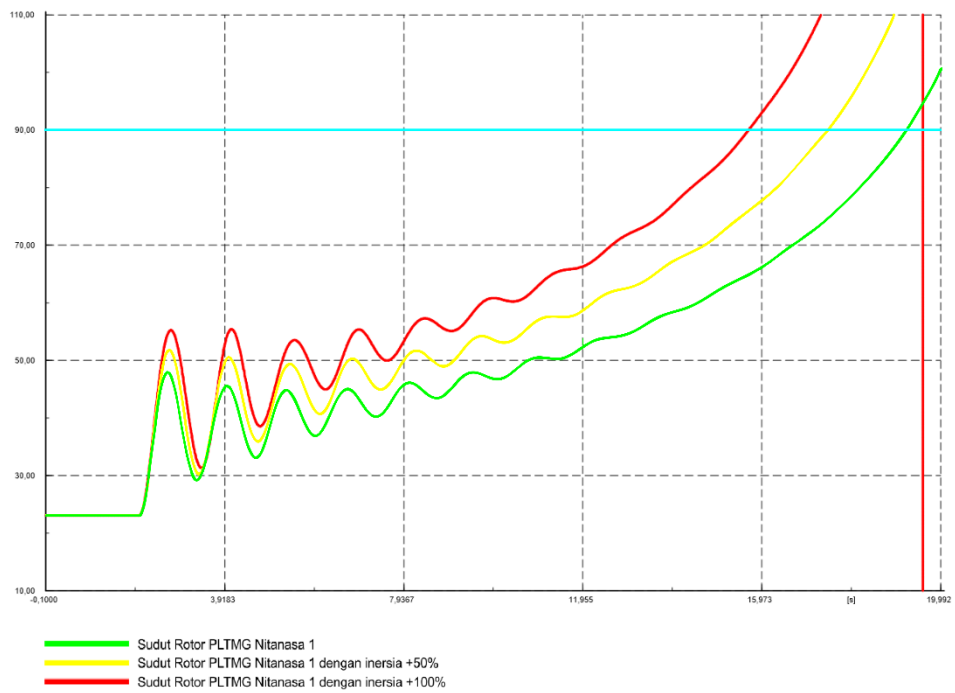
Simulasi ini bertujuan untuk melihat metode apa yang paling tepat dalam mempertahankan kestabilan sudut rotor dari sistem setelah terjadinya gangguan berupa lepasnya salah satu pembangkit. Dari dua simulasi sebelumnya terlihat bahwa sistem tidak dapat mempertahankan sudut rotor pada kondisi beban puncak siang, sehingga perlu dilakukan penanganan untuk mencegah terjadinya lepas sinkron dari pembangkit yang ada.

#### **4.3.3.1 Simulasi Menaikkan Konstanta Inersia Generator**

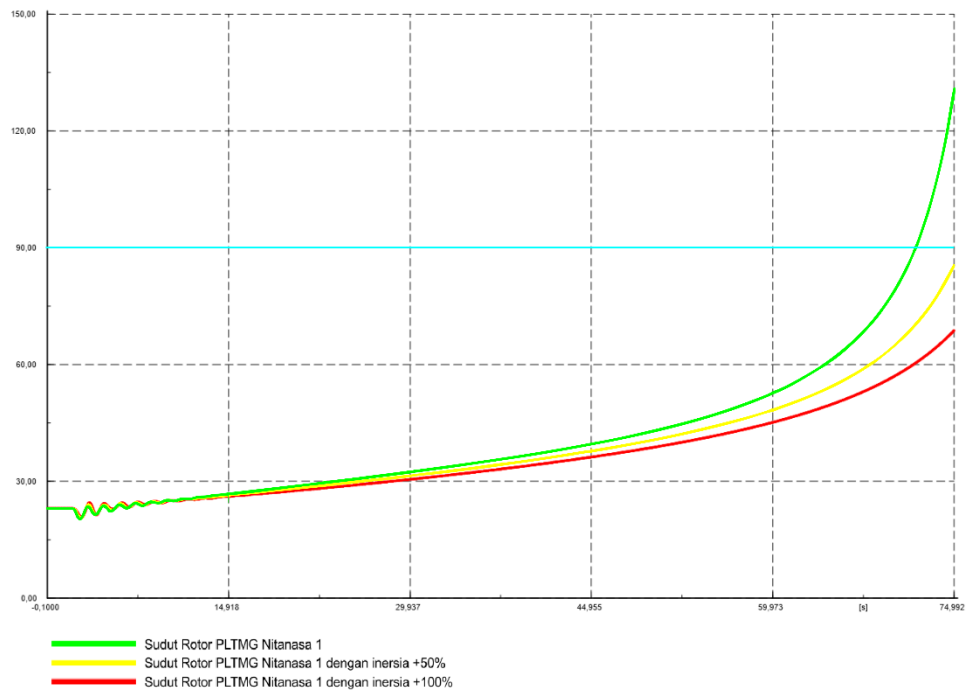
Pada simulasi sebelumnya, terlihat bahwa ketidak stabilan terjadi pada kondisi beban puncak siang. Pembangkit yang paling cepat mengalami kenaikan sudut rotor adalah PLTMG Nitansa unit satu. Sehingga kenaikan sudut rotor tersebut perlu diatasi agar tidak terjadi gangguan yang lebih lanjut pada sistem. Simulasi ini bertujuan untuk melihat respon sudut rotor dari PLTMG Nitansa 1 setelah menaikkan konstanta inersia dari pembangkit tersebut. Simulasi dilakukan dengan menaikkan nilai dari konstanta inersia pembangkit sebesar 50% dan 100%. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil respon sudut rotor dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 dibawah ini:



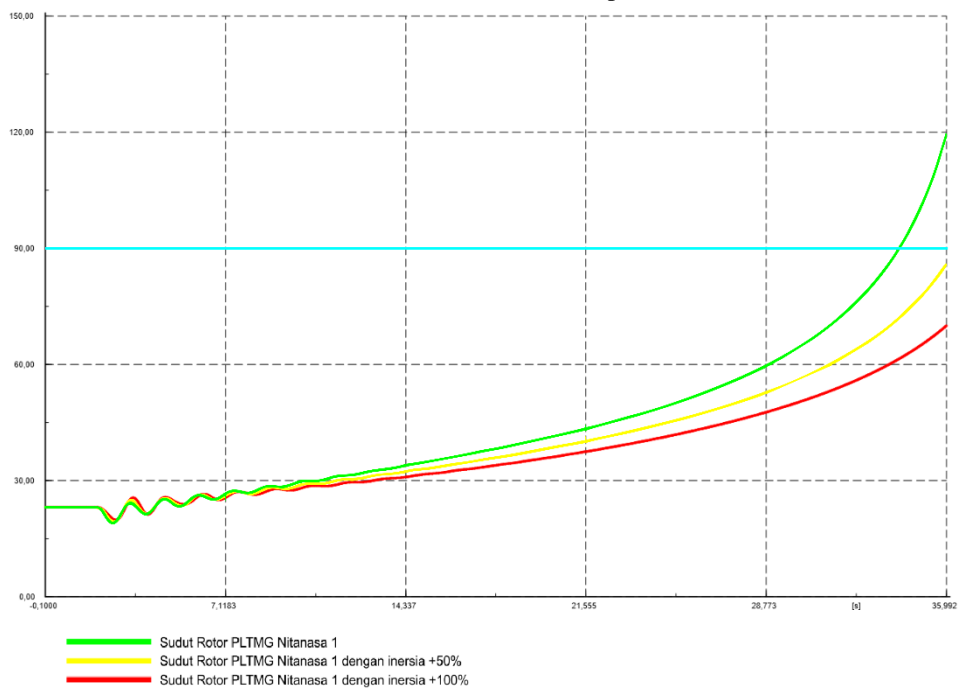
Gambar 4.10 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas



Gambar 4.11 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



Gambar 4.12 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas



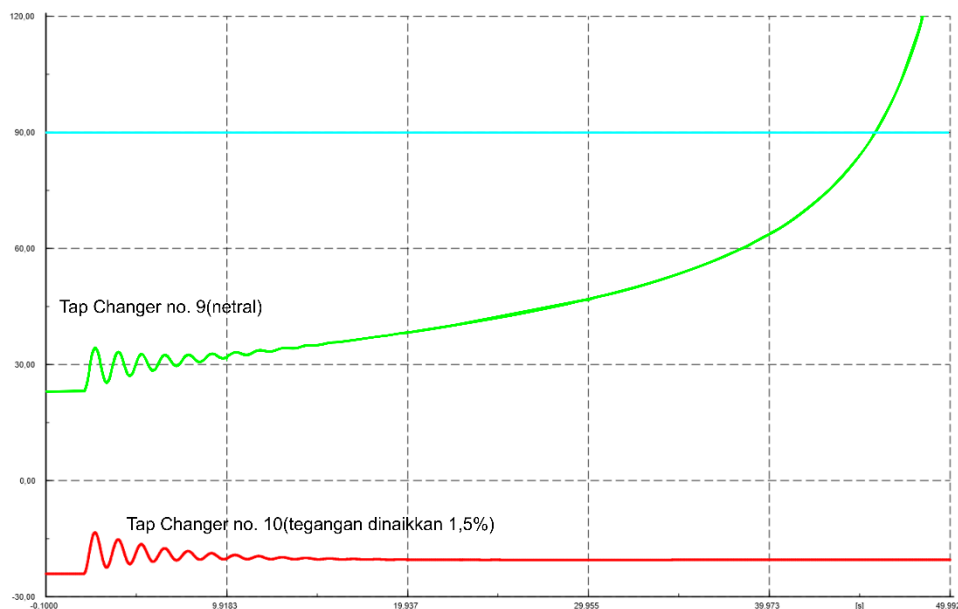
Gambar 4.13 Respon sudut rotor dengan nilai konstanta inersia yang berbeda: PLTMG Nitana 1 saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

Gambar diatas memperlihatkan respon sudut dengan momen inersia yang berbeda. Pada gangguan PLTU Jeneponto ekspansi lepas baik satu unit maupun dua

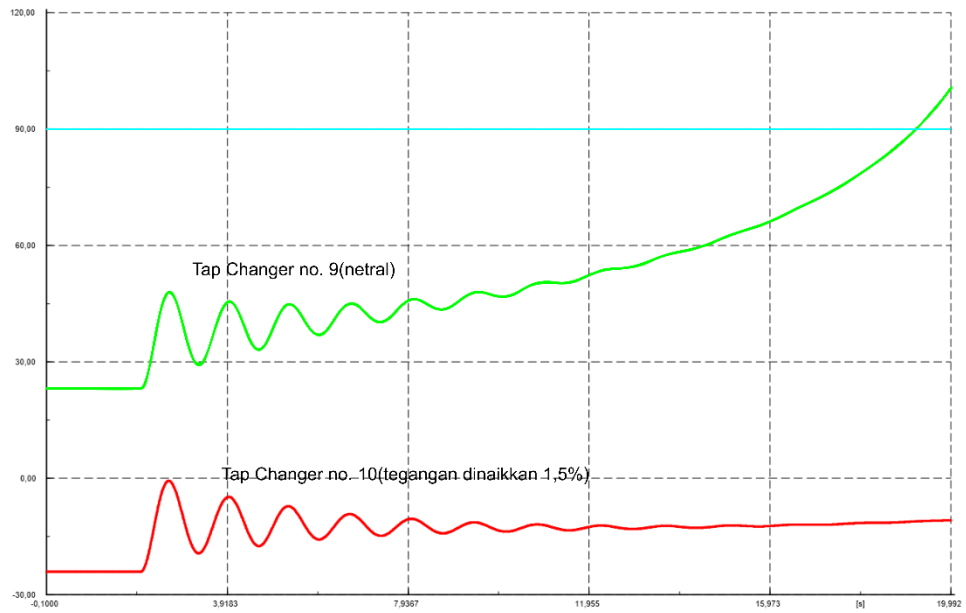
unit, sudut rotor berbanding terbalik terhadap waktu pemutusan kritis, terlihat makin besar momen inersia maka waktu pemutusan kritis makin cepat. Sedangkan pada gangguan PLTA Poso lepas baik satu unit maupun dua unit, sudut rotor berbanding lurus terhadap waktu pemutusan kritis, semakin besar inersia maka waktu pemutusan kritis makin lama.

#### 4.3.3.2 Simulasi Menaikkan Tegangan Generator

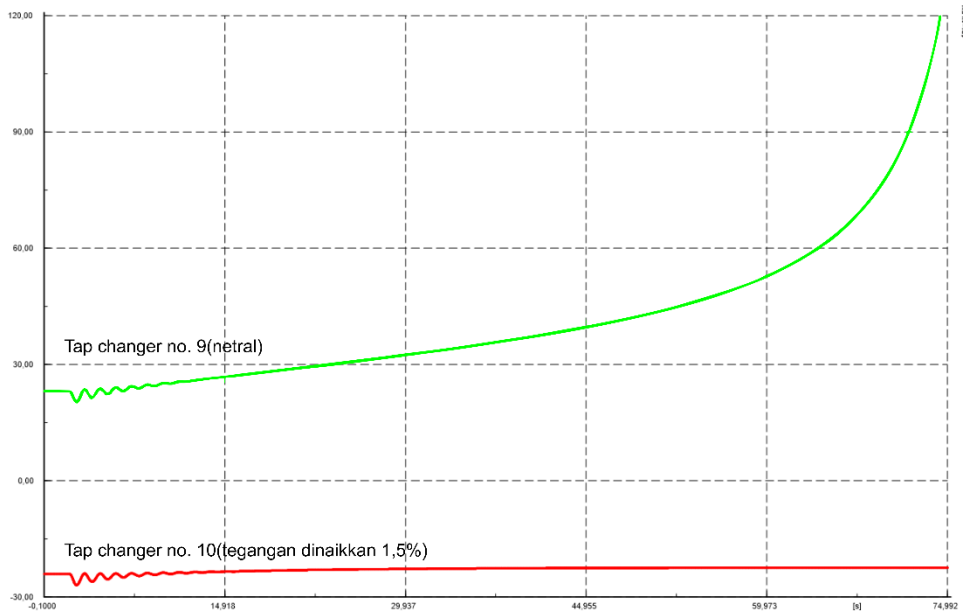
Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh kenaikan tegangan terhadap respon sudut rotor dari PLTMG Nitansasa 1. Simulasi dilakukan dengan menaikkan tegangan menggunakan tap changer pada trafo generator yang terhubung ke busbar. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil respon sudut rotor dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 dibawah ini:



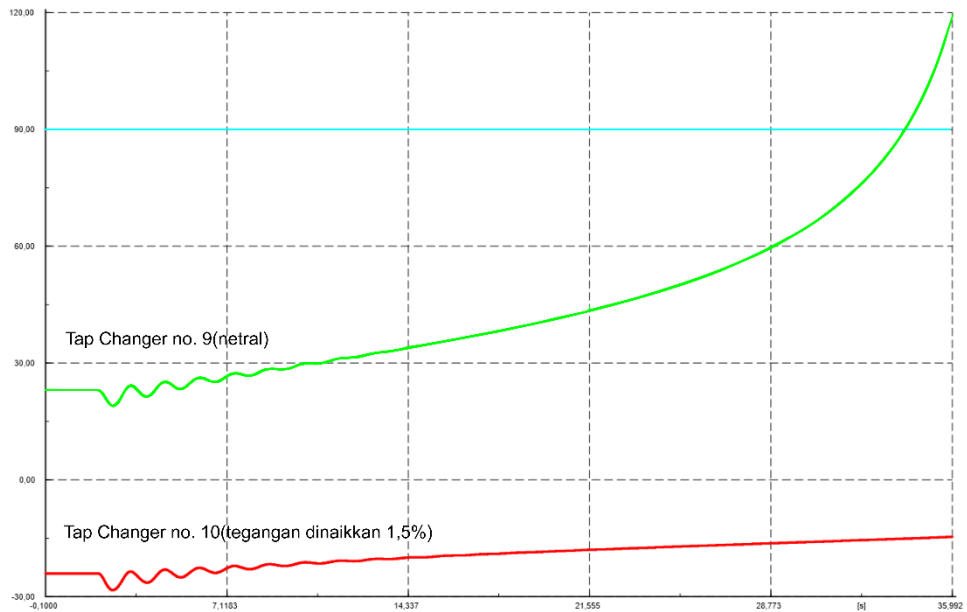
Gambar 4.14 Respon sudut rotor PLTMG Nitansasa 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas



Gambar 4.15 Respon sudut rotor PLTMG Nitana 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



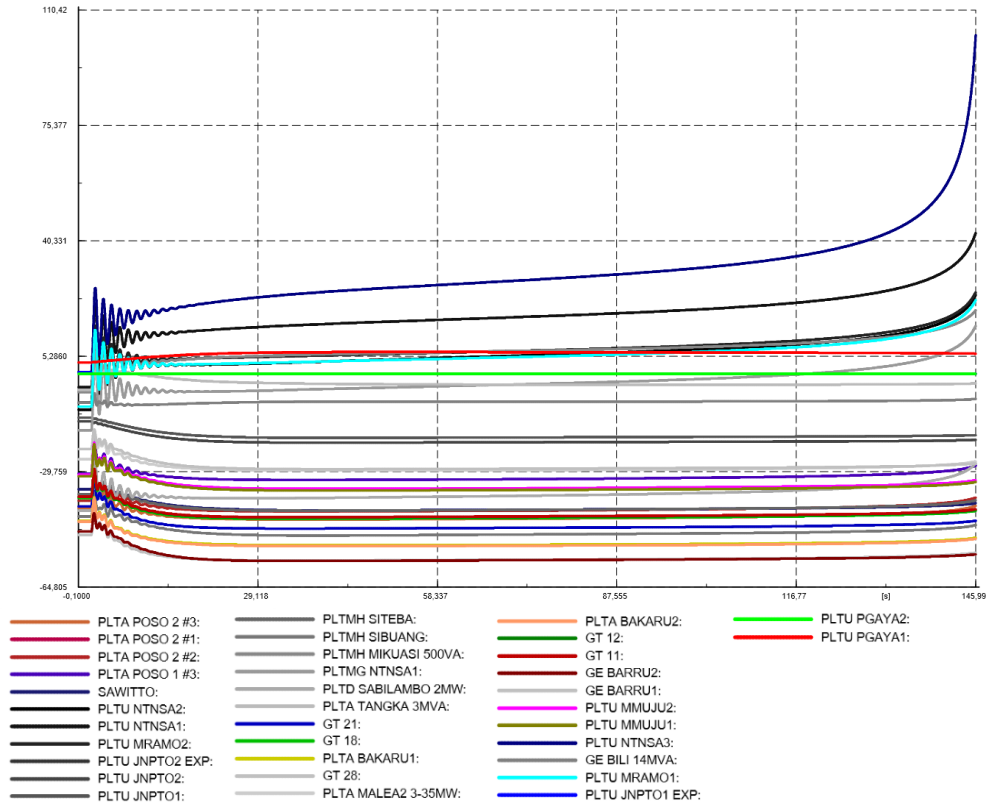
Gambar 4.16 Respon sudut rotor PLTMG Nitana 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 lepas



Gambar 4.17 Respon sudut rotor PLTMG Nitana 1 dengan penggunaan tap changer yang berbeda pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

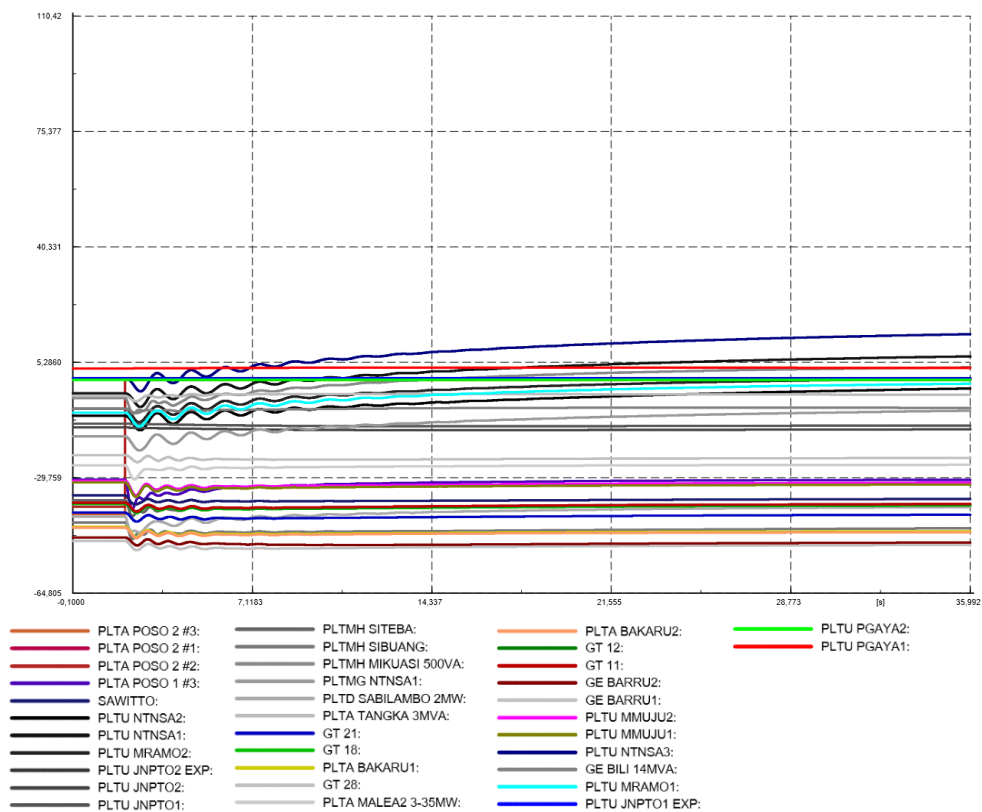
Gambar diatas memperlihatkan respon sudut dengan penggunaan tap changer yang berbeda. Tap changer yang digunakan memiliki 18 tap dengan posisi netral pada nomor 9, tiap satu tap memiliki perbedaan tegangan sebesar 1,5%. Setelah tap changer diubah untuk menaikkan tegangan, didapatkan respon sudut rotor yang lebih stabil dibandingkan sebelumnya. Pada simulasi pertama dan ketiga sistem dapat mempertahankan kestabilannya setelah tap changer dinaikkan. Pada simulasi kedua dan keempat sistem tidak dapat mempertahankan sudut rotor karena sudut rotor yang berubah hanyalah PLTMG Nitana 1 sedangkan PLTU Nitana unit 1 dan unit 3 tetap mengalami kenaikan tegangan yang menyebabkan sistem kehilangan kestabilan. Untuk meningkatkan kestabilan sistem maka tap changer pada trafo dari PLTU Nitana unit 1 dan 3 juga perlu dinaikkan. Tap Changer pada trafo generator PLTU Nitana memiliki perbedaan tap sebesar 2,5% dengan tap

netral pada nomor 9. Setelah dilakukan simulasi didapatkan respon sudut rotor dari sistem pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 sebagai berikut:



Gambar 4.18 Respon sudut rotor dengan posisi tap 10 dari trafo PLTMG Nitnasa 1, PLTU Nitnasa unit 1 dan unit 3 pada kondisi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan 2 lepas



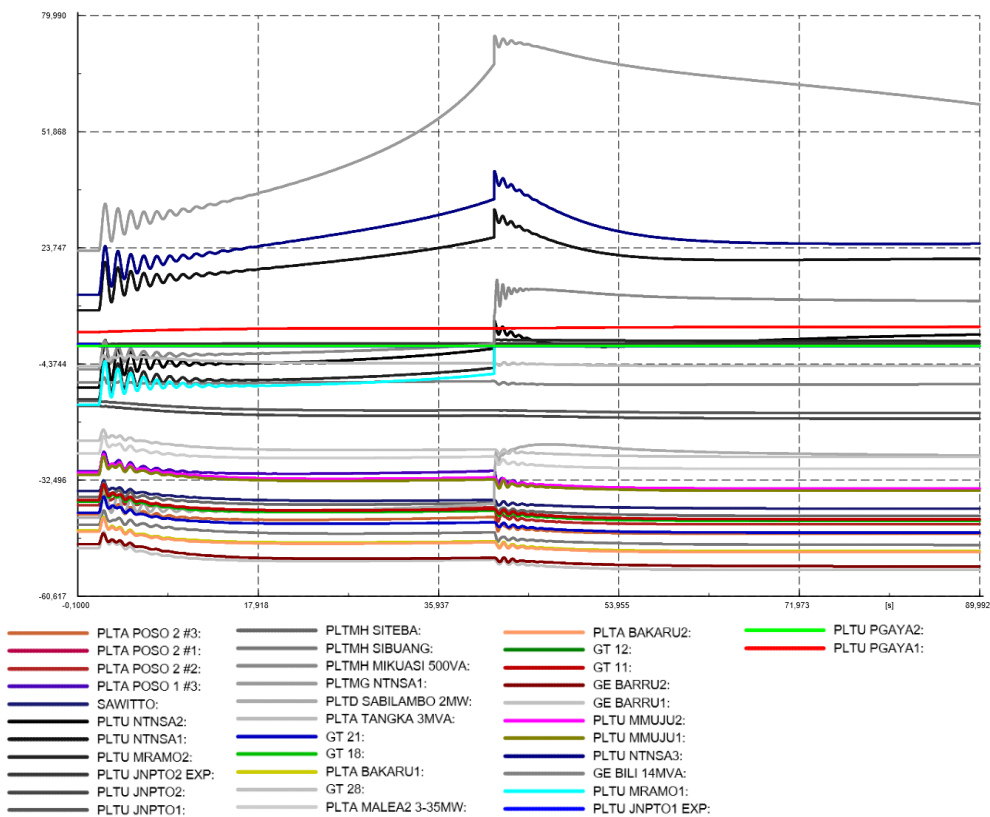


Gambar 4.19 Respon sudut rotor dengan posisi tap 10 dari trafo PLTMG Nitanasa 1, PLTU Nitanasa unit 1 dan unit 3 pada kondisi PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

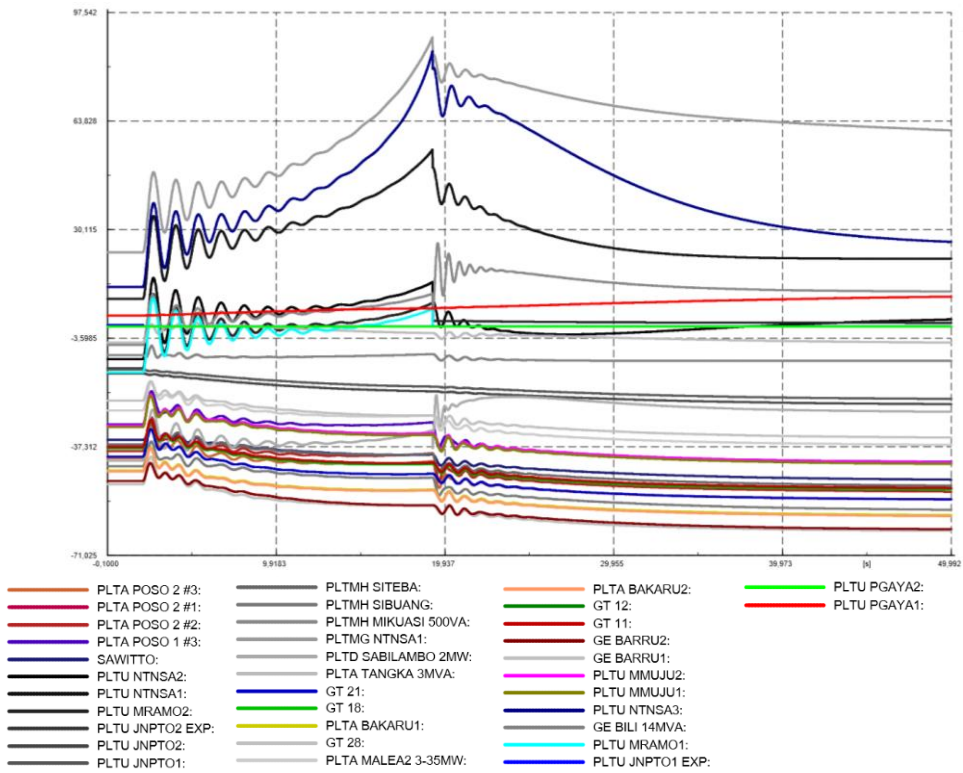
Dari simulasi terlihat bahwa saat kondisi gangguan PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas sistem tidak dapat mempertahankan kestabilannya walaupun tap changer pada trafo telah diganti, terlihat simulasi dilakukan selama 146 detik dan PLTU Nitanasa unit 3 mengalami kenaikan sudut rotor hingga mencapai sudut  $90^\circ$  di detik ke – 145,5. Sedangkan beberapa pembangkit yang lain seperti PLTU Nitanasa unit 1 dan unit 2, PLTU Moramo unit 1 dan 2, PLTMH Mikuasi, serta PLTMG Nitanasa 1 mengalami kenaikan sudut rotor pula. Pada kondisi gangguan PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas terlihat bahwa sistem tetap dapat mempertahankan kestabilannya.

### 4.3.3.3 Simulasi Penggunaan High Speed Recloser

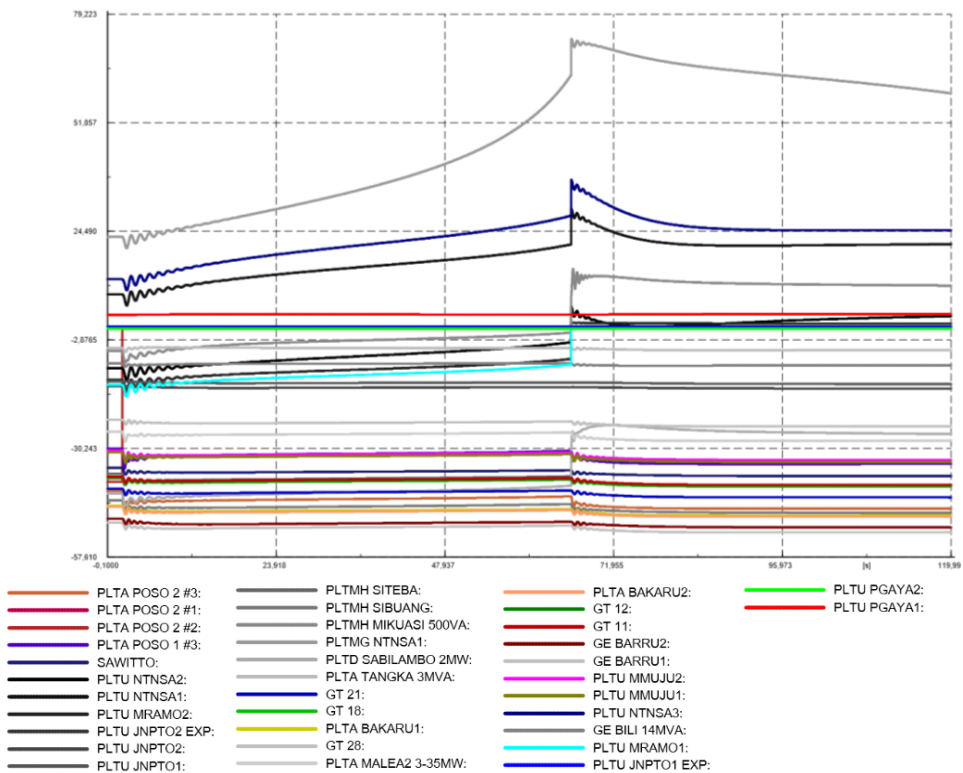
Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh penggunaan high speed recloser terhadap respon sudut rotor dari pembangkit yang berada pada daerah Sulawesi tenggara. Pada simulasi ini high speed recloser digunakan pada saluran transmisi wotu – malili. Penggunaan ini bertujuan untuk mencegah lepas sinkronnya PLTMG Nitansa 1 dari sistem saat terjadi lepasnya salah satu pembangkit dengan cara memisahkan sistem kelistrikan Sulawesi bagian tenggara agar dapat memperoleh kesetimbangan yang baru. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil respon sudut rotor dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 dibawah ini:



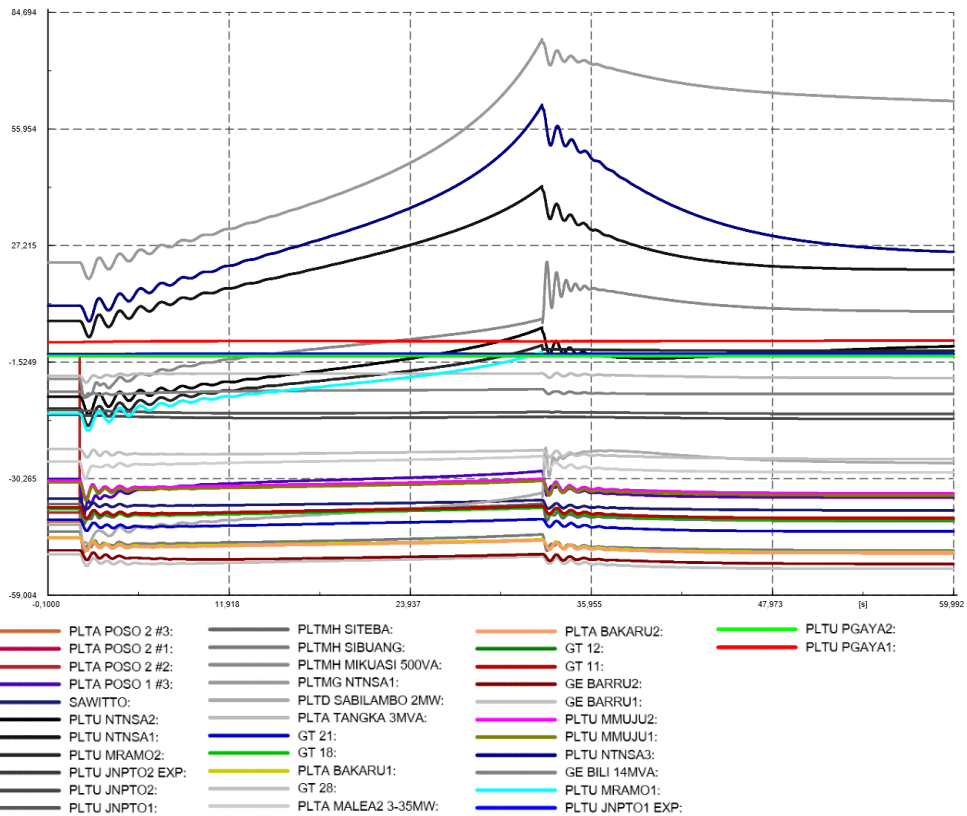
Gambar 4.20 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas



Gambar 4.21 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



Gambar 4.22 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas



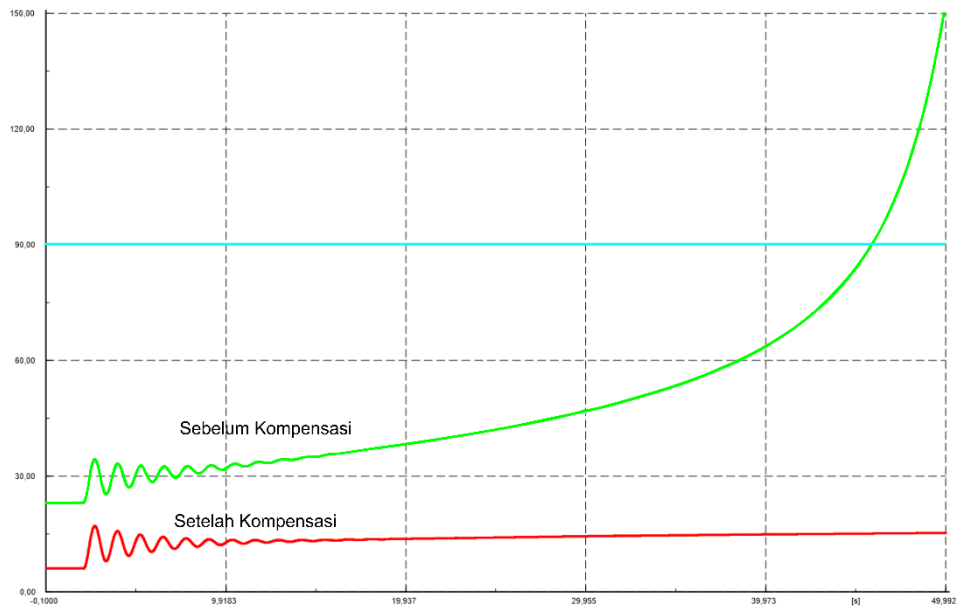
Gambar 4.23 Respon sudut rotor dengan penggunaan high speed recloser saat PLTA Poso 2 unit 3 dan unit 2 lepas

Pada gambar diatas diperlihatkan respon sudut rotor dari pembangkit daerah sulawesi bagian tenggara pada saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas dan PLTA Poso lepas. Waktu Pemutusan dari high speed recloser dilakukan dengan metode trial and error untuk menentukan waktu pemutusan kritis dari tiap kondisi gangguan. Simulasi pertama dilakukan selama 90 detik dengan waktu pemutusan dari high speed recloser di detik ke - 41,5, sudut rotor dari PLTMG Nitnasa 1 mencapai keadaan steady state di sekitar detik ke - 225. Pada simulasi kedua dilakukan selama 50 detik dengan waktu pemutusan dari high speed recloser di detik ke - 19,2, sudut rotor dari PLTMG Nitnasa 1 mencapai keadaan steady state di sekitar detik ke - 218. Simulasi ketiga dilakukan selama 120 detik dengan waktu pemutusan dari high speed recloser di detik ke - 65,9, sudut rotor dari PLTMG

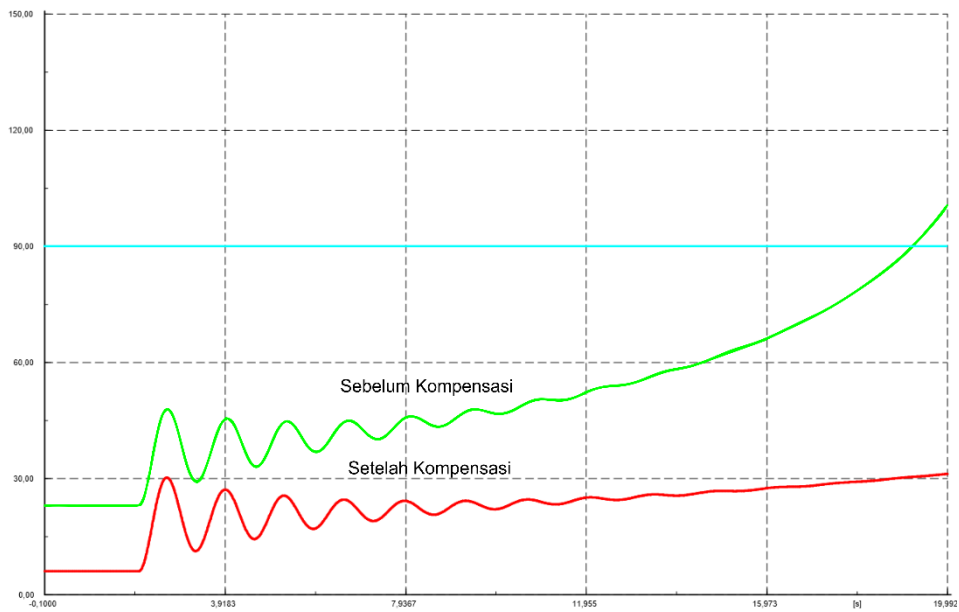
Nitanasa 1 mencapai keadaan steady state di sekitar detik ke – 280. Pada simulasi keempat dilakukan selama 60 detik dengan waktu pemutusan dari high speed recloser di detik ke – 32,7, sudut rotor dari PLTMG Nitanasa 1 mencapai keadaan steady state di sekitar detik ke – 250. Dari keempat simulasi terlihat setelah pemutusan transmisi wotu – malili respon sudut rotor berayun beberapa saat sebelum akhirnya menemukan keseimbangan baru. Jika waktu dari pemutusan lebih dari waktu pemutusan kritis maka sistem tidak akan mencapai keseimbangan yang baru.

#### **4.3.3.4 Simulasi Menurunkan Reaktansi Seri Saluran**

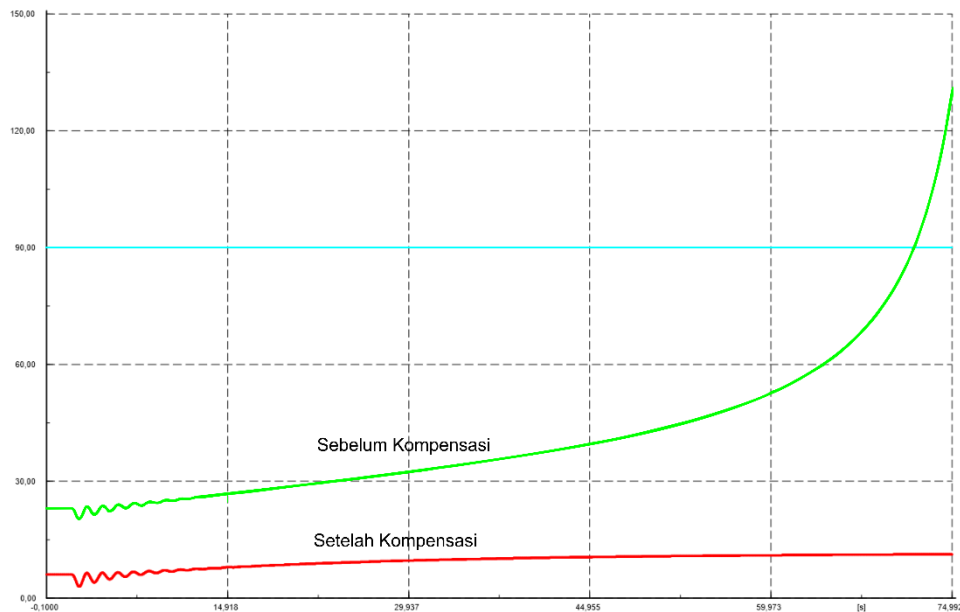
Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh penurunan reaktansi seri saluran terhadap respon sudut rotor pada PLTMG Nitanasa 1. Simulasi dilakukan dengan memasang kompensator seri di transmisi kendari – moramo. Pemilihan transmisi kendari – moramo sebagai lokasi dari kompensator seri dikarenakan PLTU Moramo merupakan pembangkit yang mempunyai kapasitas daya paling besar di sistem kelistrikan sulawesi tenggara. Pemasangan kompensator ini bertujuan untuk meningkatkan daya yang dapat disuplai oleh PLTU Moramo baik sebelum dan saat terjadi gangguan. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan hasil respon sudut rotor yang sama baik peletakan kompensator seri di kedua ujung saluran maupun di tengah saluran. Berikut respon sudut rotor dari PLTMG Nitanasa dapat dilihat pada Gambar 4.24, Gambar 4.25, Gambar 4.26 dan Gambar 4.27 dibawah ini:



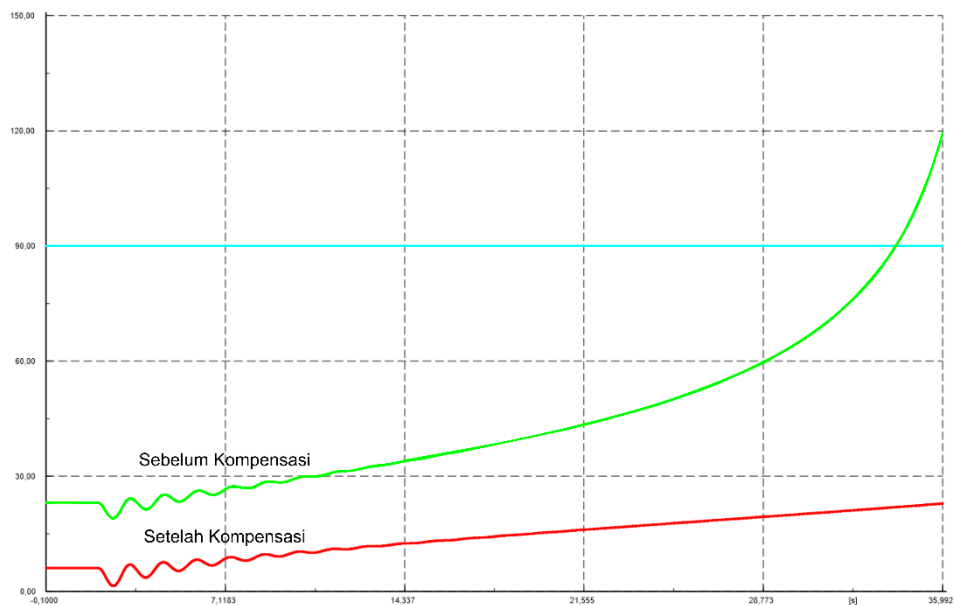
Gambar 4.24 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas



Gambar 4.25 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



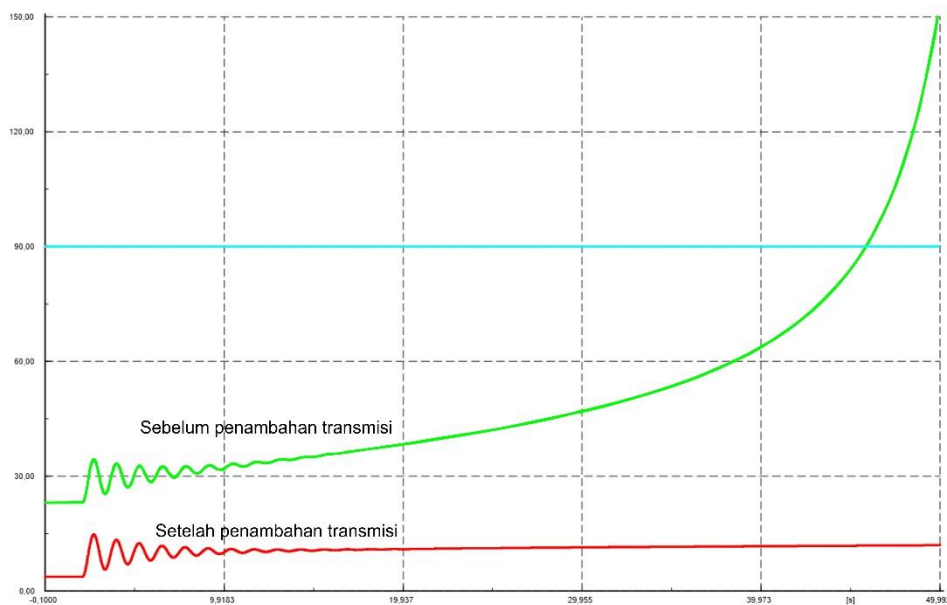
Gambar 4.26 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas



Gambar 4.27 Respon sudut rotor dengan kompensasi saluran sebesar 50% saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

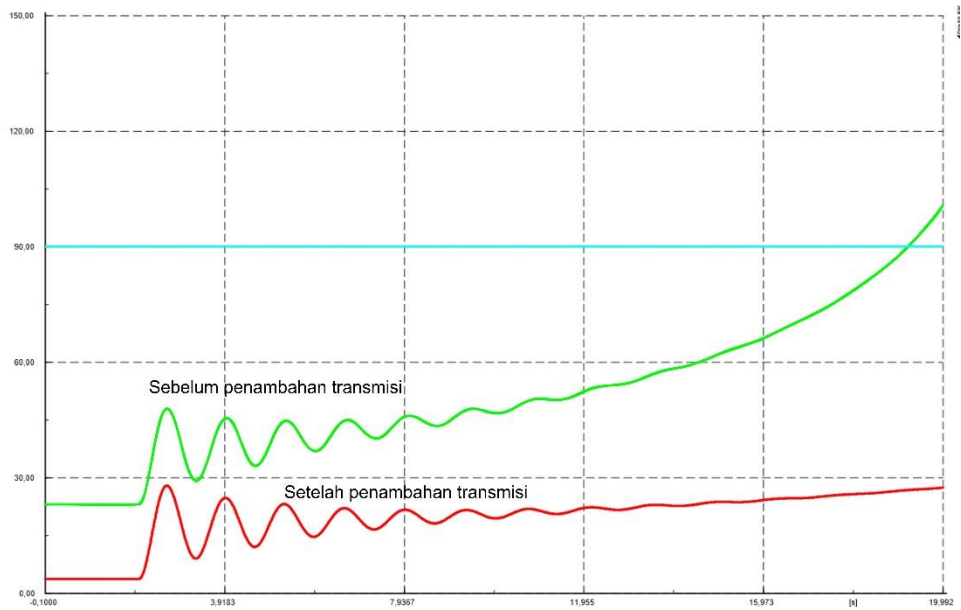
Pada gambar diatas terlihat respon sudut rotor setelah diberikan kompensasi menjadi lebih stabil. Pada kondisi gangguan satu unit pembangkit hilang dari sistem(baik PLTU Jenepono ekspansi maupun PLTA Poso), sistem dapat mempertahankan sinkronisasi dari sudut rotornya. Tetapi saat dua unit

pembangkit hilang dari sistem(baik PLTU Jeneponto ekspansi maupun PLTA Poso), sudut rotor dari sistem tetap mengalami kenaikan tetapi lebih lama dibandingkan sebelum penggunaan kompensator. Selain itu cara menurunkan reaktansi saluran dapat dilakukan dengan menambah jumlah saluran transmisi. Dengan memasang saluran tambahan yang jumlahnya dan jenisnya sama dengan saluran sebelumnya dapat menurunkan reaktansi hingga 50%. Respon sudut rotor saat terjadi lepasnya pembangkit, dengan jumlah saluran yang ditambahkan dapat dilihat pada Gambar 4.28, Gambar 2.29, Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 dibawah ini:

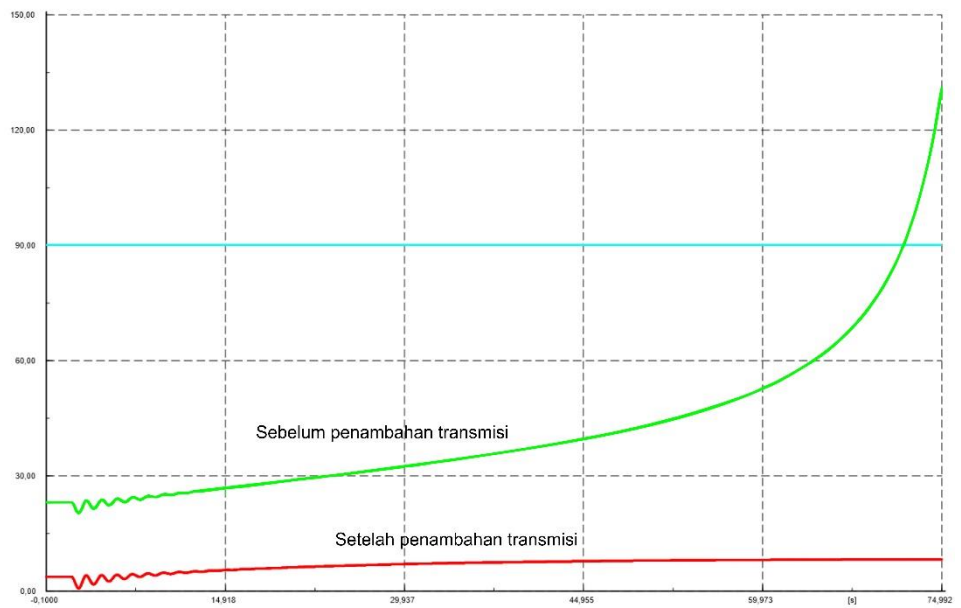


Gambar 4.28 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas

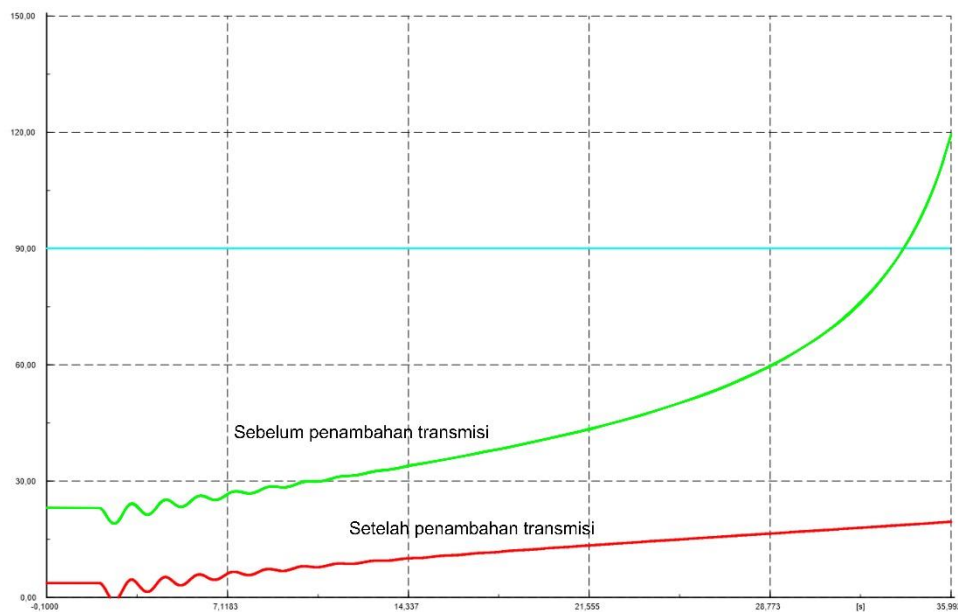




Gambar 4.29 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTU Jenepono ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



Gambar 4.30 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas

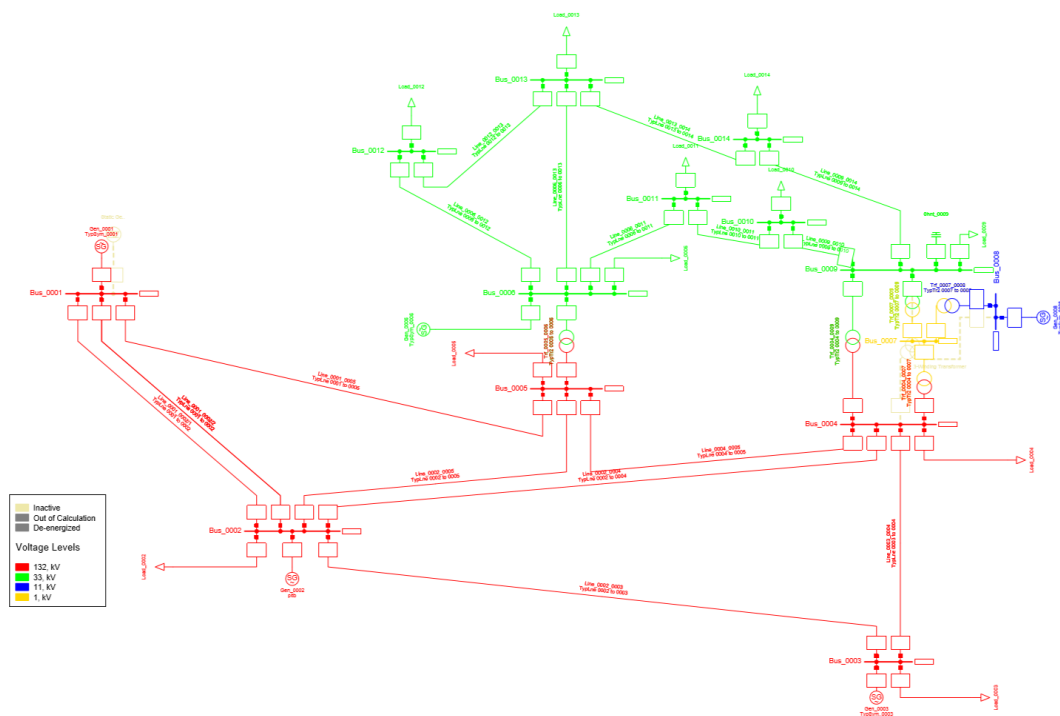


Gambar 4.31 Respon sudut rotor dengan penambahan jumlah saluran transmisi saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

Pada gambar diatas terlihat respon sudut rotor setelah diberikan tambahan saluran transmisi sebanyak dua saluran menjadi lebih stabil. Pada kondisi gangguan satu unit pembangkit hilang dari sistem(baik PLTU Jeneponto ekspansi maupun PLTA Poso), sistem dapat mempertahankan sinkronisasi dari sudut rotornya. Tetapi saat dua unit pembangkit hilang dari sistem(baik PLTU Jeneponto ekspansi maupun PLTA Poso), sudut rotor dari sistem tetap mengalami kenaikan tetapi lebih lama dibandingkan sebelum penggunaan kompensator. Terlihat respon sudut rotor setelah penambahan jumlah saluran transmisi memiliki respon sudut rotor yang hampir sama seperti menggunakan kompensasi reaktansi di simulasi sebelumnya.

#### 4.3.4 Simulasi Pengaruh penggunaan PLTB pada sistem 14 bus IEEE

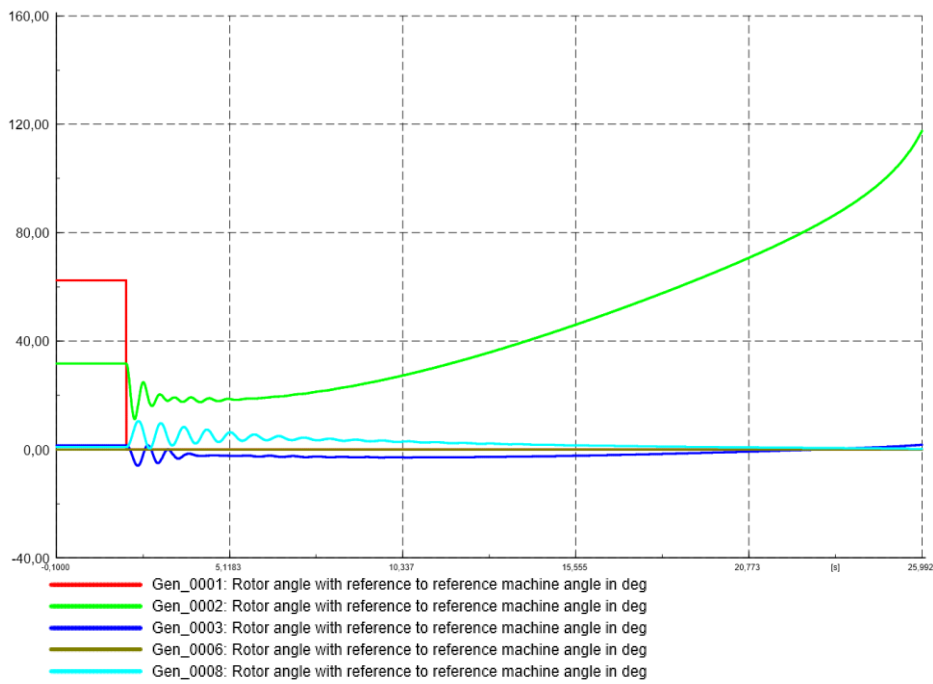
Simulasi ini bertujuan untuk melihat perubahan tegangan tiap busbar dan perbedaan respon sudut rotor dari sistem 14 bus IEEE terhadap penggunaan dari PLTB. Adapun Single line dari sistem 14 bus IEEE dapat dilihat pada Gambar 4.32 berikut:



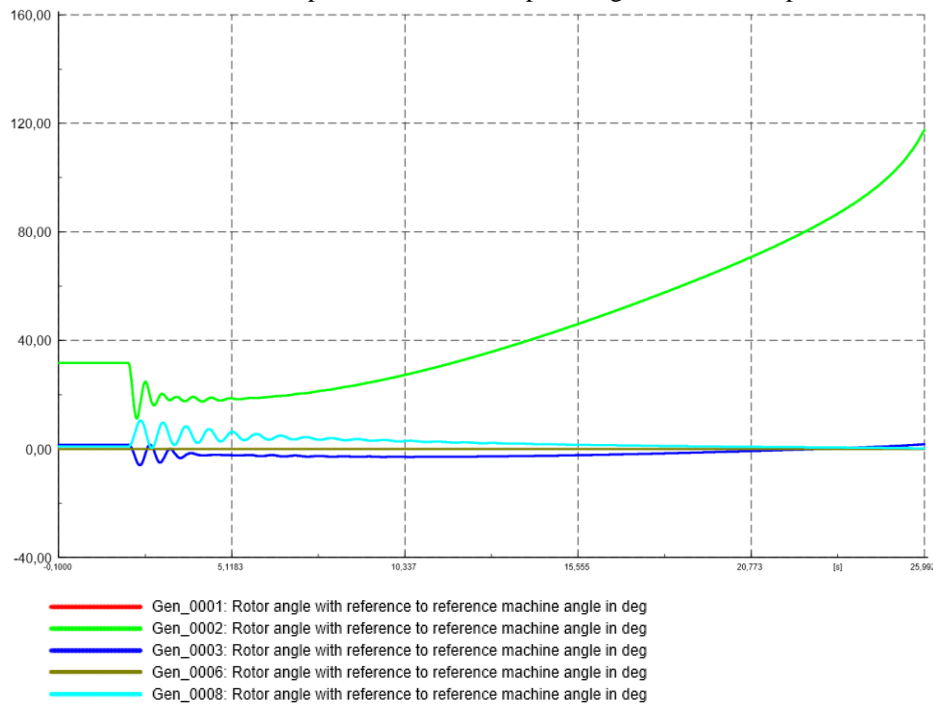
Gambar 4.32 Single line sistem 14 bus IEEE

Pada system ini dilakukan simulasi dengan melepas tiap pembangkit untuk melihat apakah ada gangguan yang terjadi saat pembangkit dilepas. Dari seluruh hasil simulasi yang dapat dilihat pada lampiran 8. Didapatkan bahwa pada saat pembangkit 1 lepas dari sistem, terjadi gangguan kestabilan sudut rotor pada sistem. Oleh karena itu dilakukan simulasi dengan skenario melihat respon sudut rotor saat pembangkit thermal 1 (Gen\_0001) dilepas, lalu mengganti pembangkit thermal 1 menjadi PLTB tanpa mengubah daya yang dibangkitkan untuk melihat respon sudut

rotor saat PLTB tersebut dilepas. Setelah simulasi dilakukan didapatkan respon sudut rotor pada gambar berikut:



Gambar 4.33 Respon sudut rotor saat pembangkit thermal 1 lepas



Gambar 4.34 Respon sudut rotor saat PLTB lepas

Simulasi dilakukan selama 26 detik dan pembangkit dilepas pada detik ke – 2. Respon sudut rotor dari kedua simulasi memiliki hasil yang hampir sama dimana pembangkit 2 mengalami kenaikan sudut rotor hingga mencapai sudut 90 derajat pada detik ke – 23,8.

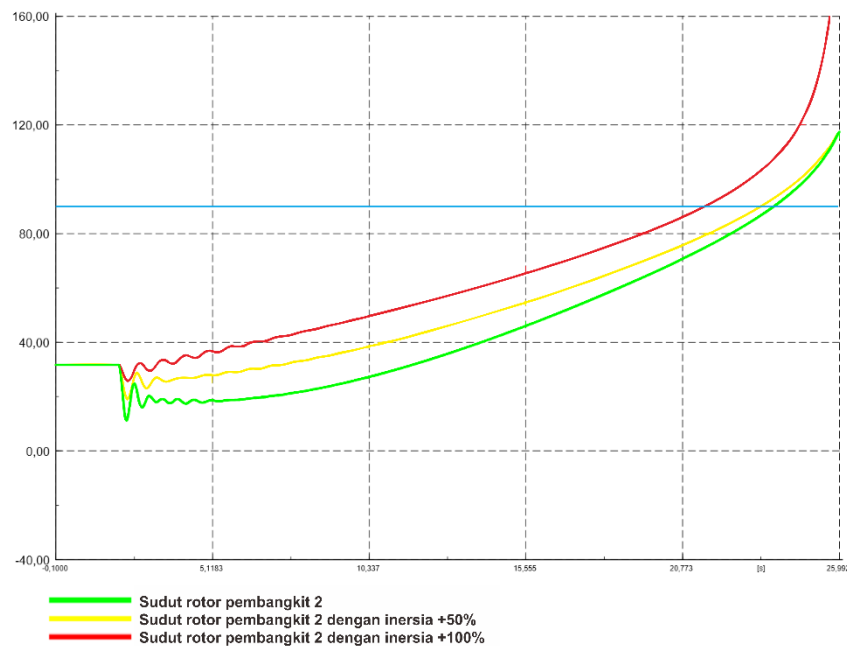
Perubahan tegangan dari bus juga dapat dilihat pada tabel terlampir pada lampiran 8. Dapat dilihat bahwa bus yang mengalami perubahan paling besar adalah bus 1 dan bus 2, hal ini menyebabkan pembebanan yang besar pada bus tersebut yang mempengaruhi generator yang terhubung pada bus tersebut, khususnya Gen\_0002 yang mengalami kenaikan sudut rotor.

Selanjutnya dilakukan pula simulasi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor dari sistem 14 bus IEEE, dengan menggunakan metode mempertahankan kestabilan sudut rotor seperti sebelumnya. Tetapi untuk metode penggunaan high speed recloser tidak dapat dilakukan karena pembangkit yang mengalami gangguan hanya satu, sehingga bila generator ini dilepas hanya akan membuat kestabilan sistem makin tidak stabil.

#### **4.3.4.1 Simulasi Menaikkan Konstanta Inersia Generator**

Pada simulasi sistem 14 bus IEEE, terlihat bahwa pembangkit yang paling cepat mengalami kenaikan sudut rotor adalah pembangkit 2. Kenaikan sudut rotor tersebut perlu diatasi agar tidak terjadi gangguan yang lebih lanjut pada sistem. Simulasi ini bertujuan untuk melihat respon sudut rotor dari pembangkit 2 setelah menaikkan konstanta inersia dari pembangkit tersebut. Simulasi dilakukan dengan menaikkan nilai dari konstanta inersia pembangkit sebesar 50% dan 100%. Setelah

dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil respon sudut rotor dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.35 dibawah ini:

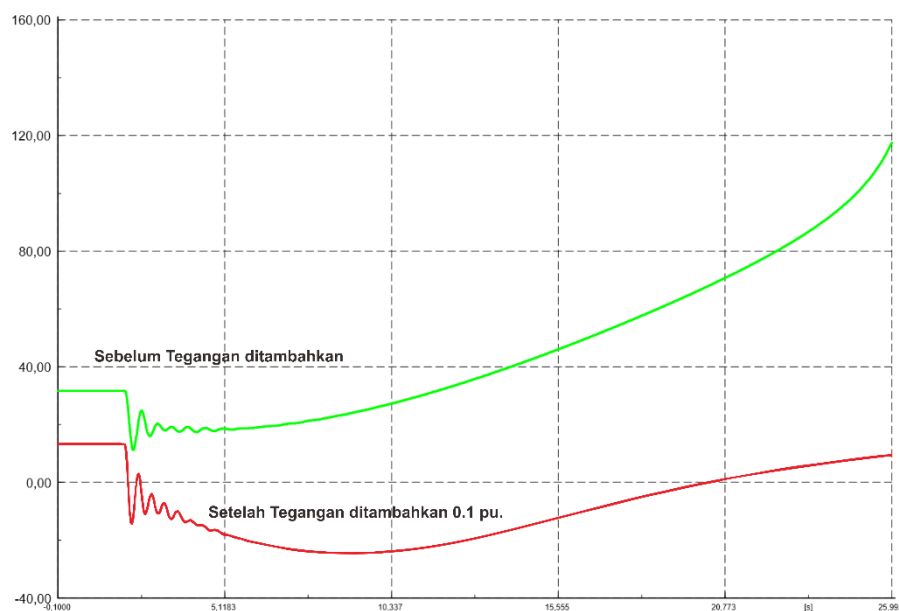


Gambar 4.35 Respon sudut rotor pembangkit 2 dengan nilai konstanta inersia yang berbeda

Gambar diatas memperlihatkan respon sudut dengan momen inersia yang berbeda. Terlihat makin besar momen inersia maka waktu pemutusan kritis makin cepat. Tetapi bila ayunan sudut rotor 2 setelah terjadinya gangguan diperhatikan, terlihat bahwa semakin besar momen inersia maka besar ayunan semakin kecil. Bila nilai sudut rotor hanya mengalami ayunan maka dapat dikatakan metode ini meningkatkan kestabilan, tetapi pada kasus ini terjadi kenaikan yang waktu kenaikannya berbanding terbalik dengan besar momen inersia sehingga pada kasus ini metode tersebut tidak dapat meningkatkan kestabilan dari sistem.

#### 4.3.4.2 Simulasi Menaikkan Tegangan Generator

Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh kenaikan tegangan terhadap respon sudut rotor dari pembangkit 2. Simulasi dilakukan dengan menaikkan tegangan pada generator yang terhubung ke busbar Sebesar 0,1 pu. Setelah dilakukan simulasi, maka didapatkan hasil respon sudut rotor dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.36 dibawah ini:



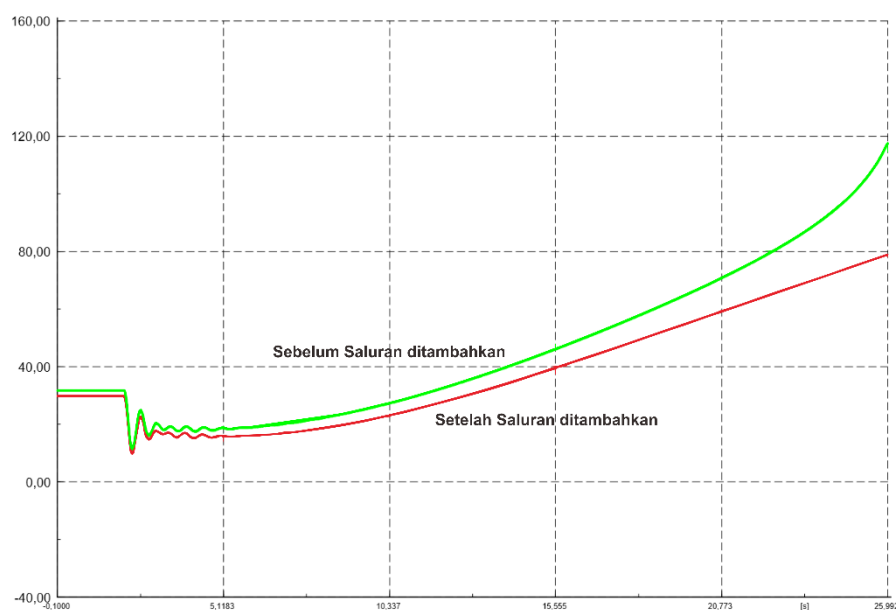
Gambar 4.36 Respon sudut rotor Pembangkit 2 dengan tegangan yang berbeda.

Gambar diatas memperlihatkan respon sudut dengan tegangan generator yang berbeda. Didapatkan respon sudut rotor yang lebih stabil dibandingkan sebelumnya dimana setelah tegangan dinaikkan respon sudut rotor mengalami penurunan beberapa saat hingga akhirnya kembali ke keadaan stabil.

#### 4.3.4.3 Simulasi Menurunkan Reaktansi Seri Saluran

Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh penurunan reaktansi seri saluran terhadap respon sudut rotor pada pembangkit 2, tetapi pada sistem ini

saluran tidak memiliki reaktansi. Oleh karena itu simulasi dilakukan untuk melihat respon sudut rotor dengan memasang saluran transmisi tambahan pada saluran bus 002 – 003. Pemasangan saluran ini tidak menurunkan reaktansi saluran tetapi menurunkan resistansi dari saluran sehingga tetap dapat meningkatkan kestabilan dari sudut rotor sistem. Pemilihan saluran transmisi bus 002 – 003 sebagai lokasi dari penambahan saluran dikarenakan saluran ini merupakan saluran yang paling besar dalam menyalurkan daya menuju bus 002. Pemasangan kompensator ini bertujuan untuk meningkatkan daya yang dapat masuk ke bus 002 untuk mengurangi beban dari bus 002. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan hasil respon sudut rotor dari pembangkit 2 pada Gambar 4.37 dibawah ini:



Gambar 4.37 Respon sudut rotor dengan jumlah saluran yang berbeda

Pada gambar diatas terlihat respon sudut rotor setelah saluran ditambahkan menjadi lebih stabil, walaupun metode ini hanya dapat memperpanjang waktu dari pemutusan kritis. Kestabilan sistem tetap tidak dapat dipertahankan dengan metode ini akibat lepasnya pembangkit 2 dari sistem.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada *software* DIgSILENT *PowerFactory* 15.1.7 maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi beban puncak malam respon sudut rotor dapat mempertahankan kestabilan setelah terjadinya gangguan. Tetapi pada kondisi beban puncak siang, respon sudut rotor mengalami hilang kestabilan pada saat PLTU Jenepono ekspansi lepas dan PLTA Poso lepas.
2. Solusi untuk mempertahankan kestabilan sudut rotor adalah dengan menggunakan Peralatan Pemutus Rangkaian Yang Cepat (High Speed Recloser), Menaikkan tegangan dan menurunkan reaktansi saluran. Untuk solusi menaikkan tegangan dan menurunkan reaktansi saluran tidak dapat bekerja jika daya yang hilang cukup besar.
3. Penggunaan PLTB untuk menggantikan pembangkit thermal tidak memberikan perubahan signifikan pada kestabilan dari sudut rotor. Perubahan sudut rotor baik sebelum dan sesudah penggunaan PLTB memiliki hasil yang cenderung sama.

#### **5.2 Saran**

1. Bagi peneliti yang ingin mengembangkan penelitian ini, diharapkan agar dapat menggunakan data sistem yang terus berkembang setiap saat yang dimiliki oleh PT. PLN (Persero), hal ini penting untuk lebih mendukung keakuratan kelanjutan penelitian ini.

2. Analisis analisis kestabilan sudut rotor sistem subbagel memperhatikan lepasnya salah satu pusat pembangkit ini masih dapat dikembangkan dengan melakukan analisis sistem yang menggunakan LFC ataupun kondisi gangguan yang berbeda.
3. Tetap memperhatikan kondisi tegangan yang terjadi agar masih dalam batas toleransi tegangan.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca untuk dijadikan perbendaharaan, *literature* dan perbandingan dalam menambah pengetahuan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *PERATURAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 22, 2007.*
- [2] A. H. Ibrahim, *General Check-Up Kelistrikan Indonesia*, Mediaplus Network, 2009.
- [3] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta: Erlangga.
- [4] KESDM, *Statistik Ketenagalistrikan 2018*, Jakarta: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2019.
- [5] ESDM, "Peresmian Proyek Infrastruktur Listrik Oleh Presiden RI: Pertama Kali, Indonesia Kini Punya Listrik Tenaga Angin, 30 Tower, Kapasitas 75 MW," 2019. [Online]. Available: [www.esdm.go.id](http://www.esdm.go.id). [Accessed September 2019].
- [6] ESDM, "PLTB Tolo Sukses Beroperasi Komersial Tahap II Siap Dikembangkan," 2019. [Online]. Available: [www.esdm.go.id](http://www.esdm.go.id). [Accessed September 2019].
- [7] Adriani, "Kestabilan Sudut Rotor Pada Sistem Kelistrikan Sul-Sel," *Universitas Hasanuddin*, 2012.
- [8] Rosalina, *Analisis Kestabilan Peralihan Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Lyapunov*, Universitas Indonesia: Depok, 2010.

- [9] C. Cekdin, *Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi Offset, 2007.
- [10] R. H. Miller, *Power System Operation*, United States of America: McGraw-Hill, 1970.
- [11] P. Kundur, *Power System and Stability Control*, New York: McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [12] d. Prabha Kundur, "Definition and Classification of Power System Stability," *IEEE Transactions On Power Systems*, vol. 19, no. 2, p. 1387, 2004.
- [13] P. P. Rezky, O. Penangsang and N. K. Aryani, *Studi Analisa Stabilitas Transien Sistem Jawa-Madura-Bali (Jamali) 500kV Setelah Masuknya Pembangkit Paiton 1000 MW Pada Tahun 2021*, surabaya: ITS, 2016.
- [14] M. Schmiegl, "DIgSILENT," PowerFactory 15.1.7, 1985. [Online]. Available: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>. [Accessed 17 June 2019].

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Nilai Momen Inersia Dari Beberapa Jenis Mesin Listrik

Berikut ini adalah nilai momen inersia dari beberapa jenis mesin listrik yang dapat dilihat pada dibawah ini:

Tabel Nilai momen inersia (H) dari beberapa jenis mesin listrik

Jenis Mesin	H (MJ/MVA)
1. Turbine generator :	
a. Full condensing steam turbine generator	4-9
b. Non-Condensing steam turbine generator	3 – 4
2. Waterwheel Generator :	
a. Slow-speed <200 rpm	2 – 3
b. High-speed >200 rpm	2 – 4
3. Synchronous condenser	2 – 5
a. Large	1,25
b. Small	1,00
4. Diesel generator	
a. Low-speed	1-3
b. With flywheel	4-5
4. Synchronous motor whit load varying from 1,0 to 5,00 and higher for heavy flywheels	2,00

## Lampiran 2 Data Sistem Sulbagsel

### 1) Rating tegangan, arus dan panjang saluran transmisi

Berikut ini adalah data rating tegangan, arus dan panjang saluran transmisi yang diinput ke dalam sistem sulbagsel yang dapat dilihat pada dibawah ini:

Tabel Rating tegangan, arus, dan panjang saluran transmisi Sulbagsel

Nama Saluran	Rating Tegangan (KV)	Rating Arus (KA)	Panjang(KM)
Barru - Balusu	150	0,638	22
Bakaru - Polmas	150	0,638	50,01
Bulukumba - Sinjai	150	0,638	63,866
Bolangi - Maros	150	1,836	31,9
Baru - Pare-pare	150	0,638	44,841
Bontoloa - Tanjung Bunga	150	0,6	6
Bone - Bulukumba	150	0,638	137,2
Bosowa - Pangkep	150	0,638	20,92
Enrekang - Makale	150	0,918	54,8
Jeneponto - Bulukumba	150	0,638	46,4
Jeneponto - Bantaeng New	150	0,638	23,02
Jeneponto - Tolo	150	0,638	30
Kima - Pangkep	150	0,638	43
Kolaka - Lasusu	150	1,276	90,2
Kolaka - Unaha	150	1,276	98,8
Kendari - Maramo	150	1,276	28,6
Kendari - Puwatu	150	1,276	7,2
Kendari - Unaha	150	1,276	66,7
Lasusu - Malili	150	1,276	118,797
Latupa - Palopo	150	1,276	26,43
Latupa - Pamona	275	1,836	212
Latupa - Wotu	275	1,836	97
Mandai - Daya	70	0,775	5
Maros - Sidrap	150	1,836	126,37
Majene - Mamuju	150	0,638	114,304
Makale - Palopo	150	0,638	37,4
Malili - Wotu	150	1,276	46,545
Mamuju - PLTU Mamuju	150	1,2	83,179
Mamuju - Topoyo	150	0,638	90,75
Nii Tanasa - Puwatu	70	0,775	7,3
Pare-pare - Polmas	150	0,638	90,27
Pare-pare - Pinrang	150	0,638	26,057
Pare - Suppa	150	0,638	7,5
Punagaya - Jeneponto	150	0,638	24,5
Polmas - Majene	150	0,638	50,16
Palopo - Siwa	150	1,276	89,711
Sidrap - PLTB Sidrap	150	1,836	13
Pamona - Poso	150	0,638	43,57
Pangkep - Barru	150	0,638	44,376
Pankep - Mandai	70	0,775	39,7
Pangkep - Tonasa III	70	0,409	3,7
Poso - Sidera	150	0,638	141,5
Pare - Sidrap	150	0,638	17,5

Nama Saluran	Rating Tegangan (KV)	Rating Arus (KA)	Panjang(KM)
Pinrang - Bakaru	150	0,638	58,65
Pasangkayu - Silae	150	0,638	87,96
Sidera - Silae	150	0,638	28,9
Sidera - Talise	70	0,775	20,2
Sidrap - Enrekang	150	0,918	53
Sidrap - Makale	150	0,918	105,5
Sidrap - Sengkang	150	1,836	62,33
Sidrap - Soppeng	150	0,638	53,078
Sungguminasa - Bolangi	150	1,836	9,79
Sungguminasa - Maros	150	1,836	41,69
Sungguminasa - Talasa	150	1,836	27,5
Sengkang - Siwa	150	1,276	66,52
Sengkang - soppeng	150	0,785	35,579
Sinjai - Bone	150	0,638	74,006
Sinjai - Tangka Manipi	20	0,6	40
Soppeng - Bone	150	0,638	43,322
Tanjung Bunga - Punagaya	150	1,836	59,39
Tanjung Bunga - Sungguminasa	150	1,836	11,9
Tello - Borongloe	70	0,409	12,4
Tello - Bosowa	150	0,638	34,42
Tello - Barawaja	30	0,409	3,4
Tello - Daya	70	0,775	7,3
Tello - Kima	150	0,638	6
Tello - Mandai	70	0,775	12,3
Tello - Panakukang	150	1,836	4,2
Tello - Sungguminasa	150	1,836	10,934
Tello Lama - Bontoala	150	0,6	10
Tello Lama - Bontoala 70kv	70	0,533	4,2
Tello Lama - Tello	150	1,129	6,4
Talasa - Jeneponto	150	1,836	22,06
Talasa - Punagaya	150	1,836	22,06
Talise - Parigi	70	0,775	17,6
Topoyo - Pasang Kayu	150	0,638	90,75
Wotu - Pamona	275	1,836	115

## 2) Impedansi saluran transmisi

Data Impedansi saluran transmisi pada sistem sulbagsel dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Data impedansi saluran transmisi pada sistem Sulbagsel

Nama Saluran	R'(AC,20°C) Ohm/km	X' Ohm/km	R0'(AC) Ohm/km	X0' Ohm/km
Barru - Balusu	0,123	0,404	0,266	0,923
Bakaru - Polmas	0,12	0,4	0,3	0,9
Bulukumba - Sinjai	0,134	0,44	0,317	1,089
Bolangi - Maros	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Barru - Pare-pare	0,123	0,404	0,266	0,923
Bontoloa - Tanjung Bunga	0,236	0,4333	0,268	1,272
Bone - Bulukumba	0,122	0,408	0,258	0,933
Bosowa - Pangkep	0,12	0,4	0,3	0,9



Nama Saluran	R'(AC,20°C)	X'	R0'(AC)	X0'
	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km
Enrekang - Makale	0,073	0,394	0,189	0,931
Jeneponto - Bulukumba	0,134	0,44	0,317	1,089
Jeneponto - Bantaeng New	0,134	0,44	0,317	1,089
Jeneponto - Tolo	0,134	0,44	0,317	1,089
Kima - Pangkep	0,12	0,4	0,3	0,9
Kolaka - Lasusu	0,084	0,346	0,262	0,809
Kolaka - Unaha	0,084	0,346	0,262	0,809
Kendari - Maramo	0,084	0,346	0,262	0,809
Kendari - Puwatu	0,084	0,346	0,262	0,809
Kendari - Unaha	0,084	0,346	0,262	0,809
Lasusu - Malili	0,084	0,346	0,262	0,809
Latupa - Palopo	0,084	0,346	0,262	0,809
Latupa - Pamona	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Latupa - Wotu	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Mandai - Daya	0,263	0,3	0,632	1,56
Maros - Sidrap	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Majene - Mamuju	0,129	0,396	0,28	0,953
Makale - Palopo	0,073	0,394	0,189	0,931
Malili - Wotu	0,084	0,346	0,262	0,809
Mamuju - PLTU Mamuju	0,084	0,346	0,262	0,809
Mamuju - Topoyo	0,12	0,4	0,3	0,9
Nii Tanasa - Puwatu	0,263	0,3	0,632	1,56
Pare-pare - Polmas	0,12	0,4	0,3	0,9
Pare-pare - Pinrang	0,123	0,404	0,313	0,993
Pare - Suppa	0,117	0,409	0,329	1,009
Punagaya - Jeneponto	0,134	0,44	0,317	1,089
Polmas - Majene	0,121	0,396	0,272	0,99
Palopo - Siwa	0,084	0,346	0,262	0,809
Sidrap - PLTB Sidrap	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Pamona - Poso	0,12	0,4	0,3	0,9
Pangkep - Barru	0,123	0,404	0,266	0,923
Pankep - Mandai	0,263	0,3	0,632	1,56
Pangkep - Tonasa III	0,236	0,433	0,268	1,272
Poso - Sidera	0,12	0,4	0,3	0,9
Pare - Sidrap	0,122	0,399	0,285	1,028
Pinrang - Bakaru	0,12	0,4	0,3	0,9
Pasangkayu - Silae	0,12	0,4	0,3	0,9
Sidera - Silae	0,12	0,4	0,3	0,9
Sidera - Talise	0,263	0,3	0,632	1,56
Sidrap - Enrekang	0,073	0,394	0,189	0,931
Sidrap - Makale	0,073	0,394	0,189	0,931
Sidrap - Sengkang	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Sidrap - Soppeng	0,121	0,4	0,233	0,861
Sungguminasa - Bolangi	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Sungguminasa - Maros	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Sungguminasa - Talasa	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Sengkang - Siwa	0,084	0,346	0,262	0,809
Sengkang - soppeng	0,072	0,372	0,151	0,502
Sinjai - Bone	0,116	0,391	0,286	0,915
Sinjai - Tangka Manipi	0,2344	0,3158	0,2824	1,6034
Soppeng - Bone	0,119	0,386	0,259	0,973
Tanjung Bunga - Punagaya	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Tanjung Bunga - Sungguminasa	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176

Nama Saluran	R'(AC,20°C)	X'	R0'(AC)	X0'
	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km
Tello - Borongloe	0,236	0,433	0,268	1,272
Tello - Bosowa	0,12	0,4	0,3	0,9
Tello - Barawaja	0,236	0,433	0,268	1,272
Tello - Daya	0,263	0,3	0,632	1,56
Tello - Kima	0,12	0,4	0,3	0,9
Tello - Mandai	0,263	0,3	0,632	1,56
Tello - Panakukang	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Tello - Sungguminasa	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Tello Lama - Bontoala	0,056	0,1147	0,056	0,1147
Tello Lama - Bontoala 70kv	0,236	0,4333	0,268	1,272
Tello Lama - Tello	0,084	0,346	0,262	0,809
Talasa - Jeneponto	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Talasa - Punagaya	0,0345	0,2875	0,2371	1,2176
Talise - Parigi	0,263	0,3	0,632	1,56
Topoyo - Pasang Kayu	0,12	0,4	0,3	0,9
Wotu - Pamona	0,12	0,4	0,3	0,9

### 3) Pembangkit sistem Sulbagsel

Data pembangkit sistem sulbagsel dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Data pembangkit sistem Sulbagsel pada beban puncak siang dan beban puncak malam

Nama Pembangkit	Beban Puncak Siang		Beban Puncak Malam		Inertia Constant H
	MW	MVar	MW	MVar	
PLTG GE 1	0	0	0	0	5,1
PLTG GE 2	0	0	0	0	5,1
PLTU BARRU 1	39,11	5,68	40,13	5,57	5
PLTU BARRU 2	11,43	4,98	11,4	2,06	5
PLTA BILI-BILI 14MVA	9	-2	9	-2	2,97
PLTA BILI-BILI 6MVA	0	0	0	0	2,97
PLTG ALSTHOM 1	0	0	0	0	5,5
PLTG ALSTHOM 2	0	0	0	0	5,5
PLTD MITSUBISHI 1	0	0	0	0	1,02
PLTD MITSUBISHI 2	0	0	0	0	1,02
PLTD SWD 1	0	0	0	0	1,02
PLTD SWD2	0	0	0	0	1,02
PLTG WESCAN	0	0	0	0	5
PLTG GT 11	29,76	0	26,09	0	5,56
PLTG GT 12	29,53	0	26,06	0	5,56
PLTGU GT 18	33,94	0	31,78	0	5,56
PLTG GT 21	34,52	5,95	34,32	5,4	5,56
PLTG GT 22	0	0	0	0,12	5,56
PLTGU GT 28	17,62	-2,99	17,58	-3,73	5,56
PLTA BAKARU1	30	0	45	0	2,97
PLTA BAKARU2	30	0	45	0	2,97
PLTA MALEA 1 3-35MW	2,155	0,575	2,64	0,52	2,97
PLTA POSO 1 #2	0	0	26,5	0	2,97
PLTA POSO 1 #3	28,6	0	26,4	0	2,97
PLTA POSO 2 #1	0	0	50	0	2,97
PLTA POSO 2 #2	43,7	2,56	50,5	0	2,97
PLTA POSO 2 #3	38,6	3,73	52,7	0	2,97
PLTA TANGKA 3MVA	2	0,18	2	0,22	2,97

Nama Pembangkit	Beban Puncak Siang		Beban Puncak Malam		Inertia Constant
	MW	MVar	MW	MVar	H
PLTA TANGKA 6MVA	0	0	0	0	2,97
PLTD ALTRAC	0	0	0	0	1,02
PLTD SABILAMBO 2MW	0,9	0	1,95	0	1,02
PLTD SILAE 1	0	0	0	0	1,02
PLTD SILAE 2	0	0	0	0	1,02
PLTD TELLO LAMA	0	0	0	0	1,02
PLTM BUNGIN	0	0	0	0	2,97
PLTMG NIITANASA 1	5,5	0	5,49	0	5,1
PLTMG NIITANASA 2	0	0	0	0	5,1
PLTMG NIITANASA 3	0	0	0	0	5,1
PLTMG NIITANASA 4	0	0	0	0	5,1
PLTMG NIITANASA 5	0	0	0	0	5,1
PLTMG NIITANASA 6	0	0	0	0	5,1
PLTMH MIKUASI 500VA	0,38	0	0,38	0	2,97
PLTMH SIBUANG	0,6	0,02	0,8	0,04	2,97
PLTMH SITEBA	2,25	1,23	2,33	1,21	2,97
PLTU JENEPONTO 1	57,57	23,67	57,59	23,82	5
PLTU JENEPONTO 1 EXP	100,29	18,23	95,39	16,16	5
PLTU JENEPONTO 2	55,35	25,44	55,97	25,65	5
PLTU JENEPONTO 2 EXP	100,52	17,9	95,76	16,96	5
PLTU MAMUJU 1	20,06	7,73	24,81	8,85	5
PLTU MAMUJU 2	20,44	8,33	25	9,5	5
PLTU MORAMO 1	39,81	0	50	0	5
PLTU MORAMO 2	41,47	0	50	0	5
PLTU NIITANASA 1	9,1	0	9,8	0	5
PLTU NIITANASA 2	4,7	0	4,6	0	5
PLTU NIITANASA 3	10,6	0	11,1	0	5
PLTU PUNAGAYA 1	99,34	10,6	100	10,6	5
PLTU PUNAGAYA 2	99,49	8,47	99,98	8,47	5
PLTU BARAWAJA 1	0	0	0	0	5
PLTU BARAWAJA 2	0	0	0	0	5
PLTM SAWITTO	0,81	0	0,81	0	2,97
PLTD SUPPA 1	0	0	0	0	1,02
PLTD SUPPA 2	0	0	0	0	1,02
PLTD SUPPA 3	0	0	0	0	1,02
PLTD SUPPA 4	0	0	0	0	1,02
PLTD SUPPA 5	0	0	0	0	1,02
PLTD SUPPA 6	0	0	0	0	1,02

#### 4) Transformator

Adapun data spesifikasi transformator yang ada pada sistem transmisi subbagsel dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel Data transformator sistem Subbagsel

Nama	rtd. Power MVA	Nominal Freq. Hz	HV-rtd. Volt. kV	LV-rtd. Volt. kV
DIS BARRU 20MVA	20	50	150	20
DIS BARRU 5MVA	5	50	150	20
DIS BKARU	20	50	150	20
DIS BKMBA1 20MVA	20	50	150	20
DIS BKMBA2 30MVA	30	50	150	20
DIS BKMBA3 60MVA	60	50	150	20
DIS BLNGI	60	50	150	20
DIS BLUSU 6MVA	6,3	50	150	20
DIS BNTNG NEW	30	50	150	20
DIS BONE 20MVA	20	50	150	20
DIS BONE 30MVA	30	50	150	20
DIS BRLOE 10MVA	10	50	70	20
DIS BRLOE 20MVA	20	50	70	20
DIS DAYA1 20MVA	20	50	70	20
DIS DAYA2 20MVA	20	50	70	20
DIS ERKNG 30MVA	30	50	150	20
DIS JNPTO 20MVA	20	50	150	20
DIS JNPTO 30MVA	30	50	150	20
DIS KLAKA 30MVA	30	50	150	20
DIS KNDRI 60MVA	60	50	150	20
DIS LSUSU 30MVA	30	50	150	20
DIS MAROS1	30	50	150	20
DIS MAROS2	30	50	150	20
DIS MJENE 20MVA	20	50	150	20
DIS MKALE 20MVA	20	50	150	20
DIS MKALE 30MVA	30	50	150	20
DIS MMUJU 16MVA	16	50	150	23.1
DIS MMUJU 20MVA	20	50	150	11
DIS MMUJU 30MVA	30	50	150	20
DIS MNDAI1 20MVA	20	50	70	20
DIS MNDAI2 20MVA	20	50	70	20
DIS MRAMO 60MVA	60	50	150	20
DIS NTNSA 1 10MVA	12	50	70	20
DIS NTNSA 2 10MVA	12	50	70	20
DIS NTNSA 3 10MVA	12	50	70	20
DIS NTNSA 4 10MVA	12	50	70	20
DIS PARE 16MVA	16	50	150	20
DIS PARE 30MVA	30	50	150	20
DIS PGAYA 30MVA	30	50	150	20
DIS PLMAS 20MVA	20	50	150	20
DIS PLMAS 30MVA	30	50	150	20
DIS PLOPO1 20MVA	20	50	150	20
DIS PLOPO1 30MVA	30	50	150	20
DIS PLOPO2 20MVA	20	50	150	20
DIS PLOPO2 30MVA	30	50	150	20
DIS PMONA 10MVA	10	50	150	20

Nama	rtd. Power MVA	Nominal Freq. Hz	HV-rtd. Volt. kV	LV-rtd. Volt. kV
DIS PNKEP 20MVA	20	50	150	20
DIS PNKEP 30MVA	30	50	150	20
DIS PNKEP2 30MVA	30	50	150	20
DIS POSO 30MVA	30	50	150	20
DIS PRANG 16MVA	16	50	150	20
DIS PRANG 30MVA	30	50	150	20
DIS PRIGI 10MVA	10	50	70	20
DIS PRIGI 20MVA	20	50	70	20
DIS PRIGI 30MVA	30	50	70	20
DIS PSKYU 30MVA	30	50	150	20
DIS PUWATU 20MVA	20	50	70	20
DIS PWATU1 30MVA	30	50	70	20
DIS PWATU2 30MVA	30	50	70	20
DIS SDERA 30MVA	30	50	150	20
DIS SDERA 60MVA	60	50	150	20
DIS SDRAP 20MVA	20	50	150	20
DIS SDRAP 30MVA	30	50	150	20
DIS SGMSA1	60	50	150	20
DIS SGMSA2	60	50	150	20
DIS SILAE 30MVA	30	50	150	20
DIS SILAE 60MVA	60	50	150	20
DIS SIWA 30MVA	30	50	150	20
DIS SKANG 20MVA	20	50	150	20
DIS SKANG 30MVA	30	50	150	20
DIS SNJAI 20MVA	20	50	150	20
DIS SNJAI 30MVA	30	50	150	20
DIS SPENG 20MVA	20	50	150	20
DIS SPENG1 30MVA	30	50	150	20
DIS SPENG2 60MVA	60	50	150	20
DIS TBNGA1	60	50	150	20
DIS TBNGA2	60	50	150	20
DIS TLASA 30MVA	30	50	150	20
DIS TLASA 60MVA	60	50	150	20
DIS TLISE 10MVA	12	50	70	20
DIS TPOYO 30MVA	30	50	150	20
DIS UNNHA 30MVA	30	50	150	20
DIS-BNTLA1-30MVA	30	50	70	20
DIS-BNTLA2-30MVA	30	50	70	20
DIS-BNTLA3-60MVA	60	50	150	20
DIS-BNTLA4-60MVA	60	50	150	20
DIS-BWAJA-10MVA	10	50	30	20
DIS-KIMA1-30MVA	30	50	150	20
DIS-KIMA2-60MVA	60	50	150	20
DIS-PKANG-30MVA	30	50	150	20
DIS-PKANG1-60MVA	60	50	150	20
DIS-PKANG2-60MVA	60	50	150	20
DIS-TELLO1-60MVA	60	50	150	20
DIS-TELLO2-60MVA	60	50	150	20
DIS-TLAMA1	30	50	150	20
DIS-TLAMA2	30	50	150	20
DIS-TLAMA3	60	50	150	20
HUADI 40MVA	40	50	150	33
IBT PNKEP1 31MVA	31,5	50	150	70

Nama	rtd. Power MVA	Nominal Freq. Hz	HV-rtd. Volt. kV	LV-rtd. Volt. kV
IBT PNKEP2 31MVA	31,5	50	150	70
IBT PNKEP3 31MVA	31,5	50	150	70
IBT PWATU 60MVA	60	50	150	70
IBT SDERA 30MVA	30	50	150	70
IBT-TELLO-20MVA	20	50	150	70
IBT-TELLO1-31.5MVA	31,5	50	150	70
IBT-TELLO2-31.5MVA	31,5	50	150	70
IBT-TLAMA1	31,5	50	150	70
IBT-TLAMA2	31,5	50	150	70
IBT1 LTUPA	90	50	275	150
IBT1 PMONA	90	50	275	150
IBT1 WOTU	90	50	275	150
IBT2 LTUPA	90	50	275	150
IBT2 PMONA	90	50	275	150
IBT2 WOTU	90	50	275	150
IBT3 LTUPA	90	50	275	150
IBT4 LTUPA	90	50	275	150
MLILI 30MVA	30	50	150	20
TG BARRU1 70MVA	70	50	150	11
TG BARRU2 70MVA	70	50	150	11
TG BILI1	20	50	20	11
TG BILI2	20	50	20	11
TG BKARU1 80MVA	80	50	150	11
TG BKARU2 80MVA	80	50	150	11
TG GT 11	70	50	150	11
TG GT 12	70	50	150	11
TG GT 18	80	50	150	11
TG GT 21	90	50	150	11
TG GT 22	90	50	150	11
TG GT 28	90	50	150	11
TG JNPTO1 125MVA	125	50	150	11
TG JNPTO2 125MVA	125	50	150	11
TG MKUSI 700VA	0,7	50	20	0.4
TG MMUJU1	31,25	50	150	11
TG MMUJU2	31,25	50	150	11
TG MRAMO1 75MVA	75	50	150	11
TG MRAMO2	75	50	150	11
TG NTNSA1 40MVA	40	50	70	11
TG NTNSA2 40MVA	40	50	70	11
TG PGAYA1	125	50	150	11
TG PGAYA2	125	50	150	11
TG PLTB SDRP1	50	50	150	33
TG PLTB SDRP2	50	50	150	33
TG PLTB TOLO2	45	50	150	33
TG PLTD TOLO1	45	50	150	33
TG PLTU EXP1 140MVA	140	50	150	11
TG PLTU EXP2 140MVA	140	50	150	11
TG POSO1	80	50	275	11
TG POSO2	80	50	275	11
TG POSO3	80	50	275	11
TG SBLMB 1MVA	3	50	20	6.3
TG SILAE1	30	50	70	20
TG SILAE2	30	50	70	20

Nama	rtd. Power	Nominal Freq.	HV-rtd. Volt.	LV-rtd. Volt.
	MVA		Hz	kV
TG SUPPA1 45MVA	45	50	150	11
TG SUPPA2 45MVA	45	50	150	11
TG WOTU	30	50	150	20
TG-ALSTOM1-30MVA	30	50	30	6.3
TG-ALSTOM2-27MVA	27	50	70	11
TG-GE1	70	50	150	11
TG-GE2	70	50	150	11
TG-MITS1	15	50	150	6.3
TG-MITS2	15	50	150	6.3
TG-PLTU1	15	50	30	6.3
TG-PLTU2	15	50	30	6.3
TG-SWD1	15	50	150	6.3
TG-SWD2	15	50	150	6.3
TG-WESCAN1-18MVA	18,5	50	30	6.3

### 5) Beban puncak siang dan malam

Selanjutnya adalah data beban puncak siang dan beban puncak malam pada sistem Sulbagsel yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Data beban puncak siang dan beban puncak malam sistem Sulbagsel

Transformator	Beban Puncak Siang		Beban Puncak Malam	
	MW	MVar	MW	MVar
BARRU1	0	0	0	0
BARRU2	7,2	2,5	9,3	1,7
BKARU	0	0	0,1	0
BKMBA1	8	3,8	12,3	3,3
BKMBA2	9,1	3,9	12,9	3,3
BKMBA3	5,9	1,9	6,2	1,5
BLNGI	21	7,6	23,6	6,4
BLUSU	2,5	0,9	3,3	0,6
BNTLA1	48,2	13,8	45,5	12,2
BNTLA2	0	0	0	0
BNTLA3	0	0	0	0
BNTLA4	0	0	0	0
BNTNG NEW	7,3	2,5	11,7	0,9
BONE1	12,9	4,6	15,6	3,5
BONE2	10,5	4,6	16,7	3,8
BRLOE	0	0	0,9	0
DAYA1	11	0	11,3	0
DAYA2	12,9	3,3	13,7	3,3
ERKNG	8,2	2,4	11,9	1,7
JNPTO1	5,7	1,9	8,8	1,7
JNPTO2	8,3	2,6	13,8	2,4
KIMA1	20,9	7,1	14,8	4,3
KIMA2	8,5	3,9	6,3	2,4
KLAKA	15,59	5	19,24	5
KNDRI	39,32	15,07	41,3	38,4
LSUSU	5,27	1,6	7,17	1,4

Transformator	Beban Puncak Siang		Beban Puncak Malam	
	MW	MVar	MW	MVar
MAROS1	9,6	3,6	12,3	2,3
MAROS2	8,4	2,5	9,2	2,2
MJENE	11,1	2,7	15,6	1,6
MKALE1	4,9	2,9	4,7	1,9
MKALE2	4,3	1,3	6,6	0,7
MLILI	4,52	1,32	5,37	1,01
MMUJU1	2,2	0,2	2,9	0,1
MMUJU2	12,8	3	12,8	2,6
MNDAI1	10,3	3,7	11,6	2,8
MNDAI2	13,1	0	15,6	0
MRAMO	11,02	0	12,05	3,34
NTNSA	4,3	0,2	6,2	0,4
PARE1	4,9	1,4	5,8	-0,5
PARE2	13,9	3,7	14,5	5,2
PGAYA	2,37	0,69	3,91	0,54
PKANG1	34,9	9,3	34,8	8,8
PKANG2	0	0	0	0
PKANG3	39,9	9,7	40	9,6
PLMAS1	8,4	3,1	10,8	3
PLMAS2	4,6	0,7	7,2	0,2
PLOPO1	11,1	3,3	11,9	3,3
PLOPO2	4,8	1,4	5,3	1,3
PLOPO3	11,2	5	15,1	5,8
PLOPO4	4,1	2	5,5	1,2
PMONA	0,6	0,38	1,61	-0,03
PNKEP1	8,9	3	10,4	2,2
PNKEP2	0	0	0	0
PNKEP3	10,6	4,8	10,2	2,2
POSO	9,69	3,1	12,55	2,79
PRANG1	7,9	2,3	9,5	0
PRANG2	16,4	9,2	20,1	0
PRIGI1	5,9	2,1	7,7	2,1
PRIGI2	5,3	1,8	8,4	2,4
PRIGI3	0	0	0	0
PSKYU	10,7	2,1	14	2,5
PWATU1	4,9	1,8	5,2	1,7
PWATU2	0	0	0	0
PWATU3	16,8	6,4	17,2	6,2
SDERA1	16,5	4,5	21,7	3,7
SDERA2	0	0	0	0
SDRAP 1	9,3	3	10	2,3
SDRAP 2	16,7	7,3	19,3	5,6
SGMSA1	20,2	6,2	27	7
SGMSA2	19,6	4,3	25,5	4,5
SILAE1	13,2	3,3	18,7	3,2
SILAE2	28,3	8,4	27,9	6,5
SINJAI1	6,1	4,3	10,8	1,5
SINJAI2	7,2	1,6	11,2	0,4
SIWA	6,1	2	8,6	1,3
SKANG1	7,3	2,4	8,5	2,1
SKANG2	13,8	5	18,9	4,1
SPENG1	0	0	0	0
SPENG2	9,8	2,4	9,7	1,9



Transformator	Beban Puncak Siang		Beban Puncak Malam	
	MW	MVar	MW	MVar
SPENG3	5,8	2,1	6,8	1,4
TALISE1	0	0	0	0
TALISE2	23,7	7,5	25,3	6,3
TALISE3	3,8	0,9	4,1	0,9
TBNGA1	23,2	6,2	28,3	7,4
TBNGA2	26,8	6,6	27,9	8,2
TELLO1	19,6	4,8	19,2	4,6
TELLO2	32,5	8,4	35,9	7,5
TLAMA 1	3,1	0	0	0
TLAMA 2	15,4	4	12	3,5
TLAMA3	29,7	10,1	29,6	7,8
TLASA1	9,5	3	14,6	2,8
TLASA2	6	2,4	4,8	0,8
TNASA	22,7	4,7	22,3	0
TPOYO	7,1	0,76	11,1	1,6
UNNHA	13,58	5,83	19,66	4,78
WOTU	12,59	4,92	16,57	3,46
BSOWA	6,1	6	9,9	0
BWAJA	0	0	0	0

### Lampiran 3 Hasil simulasi salah satu pusat pembangkit lepas

#### 1) Simulasi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut ini:

Tabel Respon sudut rotor Saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas dari sistem

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG		PLTU		PLTU		PLTU	
	NIITANASA 1		NIITANASA 1		NIITANASA 3		JENEPONTO EXP 1	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
0,900	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	0,434	-5,797
1,900	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	0,434	-5,797
2,900	30,793	-23,209	16,528	3,983	20,401	6,965	0,000	0,000
3,900	33,315	-21,392	19,018	6,097	22,965	9,110	0,000	0,000
4,900	30,402	-24,884	15,766	2,397	19,782	5,433	0,000	0,000
5,900	28,589	-27,506	13,622	-0,236	17,737	2,832	0,000	0,000
6,900	30,424	-26,617	15,320	0,992	19,572	4,106	0,000	0,000
7,900	32,462	-25,387	17,244	2,524	21,621	5,673	0,000	0,000
8,900	32,423	-26,135	16,961	1,833	21,445	5,004	0,000	0,000
9,900	31,920	-27,486	16,150	0,474	20,747	3,665	0,000	0,000
10,900	32,577	-27,762	16,539	0,288	21,264	3,502	0,000	0,000
11,900	33,691	-27,426	17,401	0,744	22,253	3,978	0,000	0,000
12,900	34,221	-27,556	17,633	0,655	22,601	3,903	0,000	0,000
13,900	34,444	-28,100	17,518	0,100	22,601	3,357	0,000	0,000
14,900	34,993	-28,422	17,725	-0,215	22,928	3,053	0,000	0,000
15,900	35,774	-28,426	18,162	-0,192	23,485	3,084	0,000	0,000
16,900	36,419	-28,471	18,437	-0,226	23,876	3,056	0,000	0,000
17,900	36,949	-28,683	18,568	-0,451	24,122	2,834	0,000	0,000
18,900	37,576	-28,883	18,781	-0,666	24,452	2,622	0,000	0,000
19,900	38,309	-28,963	19,083	-0,752	24,871	2,538	0,000	0,000
20,900	39,028	-29,009	19,348	-0,804	25,253	2,487	0,000	0,000
21,900	39,724	-29,102	19,564	-0,912	25,585	2,380	0,000	0,000
22,900	40,468	-29,211	19,801	-1,038	25,941	2,253	0,000	0,000
23,900	41,271	-29,284	20,073	-1,125	26,332	2,166	0,000	0,000
24,900	42,100	-29,329	20,340	-1,182	26,720	2,108	0,000	0,000
25,900	42,951	-29,380	20,594	-1,247	27,097	2,042	0,000	0,000
26,900	43,849	-29,440	20,859	-1,322	27,488	1,966	0,000	0,000
27,900	44,803	-29,491	21,140	-1,386	27,897	1,900	0,000	0,000
28,900	45,808	-29,527	21,426	-1,435	28,316	1,850	0,000	0,000
29,900	46,866	-29,561	21,715	-1,480	28,741	1,803	0,000	0,000
30,900	47,993	-29,596	22,014	-1,527	29,182	1,754	0,000	0,000
31,900	49,200	-29,630	22,328	-1,572	29,643	1,708	0,000	0,000
32,900	50,492	-29,657	22,654	-1,609	30,122	1,669	0,000	0,000
33,900	51,883	-29,680	22,992	-1,642	30,621	1,635	0,000	0,000
34,900	53,391	-29,703	23,346	-1,673	31,145	1,602	0,000	0,000
35,900	55,035	-29,725	23,720	-1,703	31,698	1,570	0,000	0,000
36,900	56,838	-29,744	24,115	-1,730	32,284	1,541	0,000	0,000

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG		PLTU		PLTU		PLTU	
	NIITANASA 1		NIITANASA 1		NIITANASA 3		JENEPONTO EXP 1	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
37,900	58,830	-29,761	24,534	-1,754	32,907	1,516	0,000	0,000
38,900	61,050	-29,777	24,981	-1,776	33,574	1,492	0,000	0,000
39,900	63,548	-29,792	25,462	-1,797	34,293	1,470	0,000	0,000
40,900	66,389	-29,805	25,981	-1,816	35,073	1,450	0,000	0,000
41,900	69,661	-29,817	26,547	-1,834	35,925	1,431	0,000	0,000
42,900	73,484	-29,829	27,169	-1,850	36,865	1,414	0,000	0,000
43,900	78,031	-29,839	27,859	-1,864	37,911	1,398	0,000	0,000
44,900	83,552	-29,849	28,632	-1,878	39,089	1,383	0,000	0,000
45,900	90,427	-29,857	29,508	-1,891	40,432	1,370	0,000	0,000
46,900	99,256	-29,866	30,515	-1,902	41,984	1,357	0,000	0,000
47,900	111,023	-29,873	31,685	-1,913	43,803	1,346	0,000	0,000
48,900	127,377	-29,880	33,053	-1,923	45,962	1,335	0,000	0,000
49,900	150,939	-29,887	34,629	-1,932	48,517	1,325	0,000	0,000

## 2) Tegangan bus saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas

Adapun Tegangan dari tiap busbar dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel tegangan tiap bus Saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas dari sistem

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		Perubahan
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	
BRLOE\BRLOE	Busbar 70 KV	1,00713	0,95453	-0,0526
DAYA\DAYA	Busbar 70 KV	0,997261	0,945158	-0,052103
MNDAI\MNDAI	Busbar 70 KV	0,994858	0,943121	-0,051737
NTNSA\NTNSA	Busbar 70 KV	1,010421	0,9069	-0,103521
PNKEP7\PNKEP-70KV	Busbar 70 KV	1,0031	0,95286	-0,05024
PRIGI\PRIGI	Busbar 70 KV	0,943098	0,908286	-0,034812
PWATU7\PWATU 70KV	Busbar 70 KV	1,007456	0,905443	-0,102013
SDERA7\SDERA 70KV	Busbar 70 KV	0,991263	0,954673	-0,03659
TLISE7\TALISE 70KV	Busbar 70 KV	0,959233	0,923826	-0,035407
TELLO7\TELLO-70KV	Busbar 70 KV	1,003605	0,950817	-0,052788
TNASA\TNASA	Busbar 70 KV	1,000304	0,950204	-0,0501
BAR PLTB TOLO	Busbar 150 KV	1,000636	0,941607	-0,059029
BAR PLTU MMUJU	Busbar 150 KV	0,983427	0,950757	-0,03267
BARRU\BARRU	Busbar 150 KV	0,997503	0,952752	-0,044751
BKARU\BKARU	Busbar 150 KV	1,003583	0,970577	-0,033006
BKMBA\BK MBA	Busbar 150 KV	0,963273	0,912833	-0,05044
BLNGI\BLNGI	Busbar 150 KV	0,974789	0,922648	-0,052141
BLUSU\BLUSU	Busbar 150 KV	1,002956	0,960179	-0,042777
BNTNGN\BNTNG NEW	Busbar 150 KV	0,99194	0,933045	-0,058895
BONE\BONE	Busbar 150 KV	0,971468	0,929115	-0,042353
BNTLA\BONTOALA	Busbar 150 KV	0,974788	0,922234	-0,052554
BSOWA\BSOWA	Busbar 150 KV	0,981316	0,931397	-0,049919
ERKNG\ERKNG	Busbar 150 KV	0,98307	0,942675	-0,040395
JENEPONTO EXPN	Busbar 150 KV	1,001311	0,939453	-0,061858
JNPTO\JNPTO	Busbar 150 KV	0,994199	0,93517	-0,059029
KIMA\KIMA	Busbar 150 KV	0,973596	0,921859	-0,051737

<i>Nama Busbar</i>	<i>Tipe Busbar</i>	<i>Tegangan per unit</i>		<i>Perubahan</i>
		<i>Sebelum Gangguan</i>	<i>Setelah Gangguan</i>	
<i>KLAKA\KLAKA</i>	Busbar 150 KV	0,984021	0,913856	-0,070165
<i>KNDRI\KNDRI</i>	Busbar 150 KV	0,990264	0,909604	-0,08066
<i>LSUSU\LSUSU</i>	Busbar 150 KV	0,989989	0,925656	-0,064333
<i>LTUPA1\LTUPA 150KV</i>	Busbar 150 KV	0,97556	0,936388	-0,039172
<i>MAROS\MAROS</i>	Busbar 150 KV	0,97696	0,926836	-0,050124
<i>MJENE\MJENE</i>	Busbar 150 KV	0,983042	0,949131	-0,033911
<i>MKALE\MKALE</i>	Busbar 150 KV	0,978997	0,939216	-0,039781
<i>MLILI\MLILI</i>	Busbar 150 KV	1,000522	0,944241	-0,056281
<i>MMUJU\MMUJU</i>	Busbar 150 KV	0,979189	0,946415	-0,032774
<i>PANAKUKANG</i>	Busbar 150 KV	0,972946	0,920693	-0,052253
<i>PARE\PARE</i>	Busbar 150 KV	0,991938	0,951426	-0,040512
<i>PGAYA\PGAYA</i>	Busbar 150 KV	1,000983	0,939305	-0,061678
<i>PLMAS\PLMAS</i>	Busbar 150 KV	0,987893	0,953328	-0,034565
<i>PLOPO\PLOPO</i>	Busbar 150 KV	0,976831	0,93745	-0,039381
<i>GSDRP\PLTB SDRP</i>	Busbar 150 KV	0,990964	0,948956	-0,042008
<i>PLTU JENEPONTO</i>	Busbar 150 KV	1,000833	0,939379	-0,061454
<i>PLTU MRAMO</i>	Busbar 150 KV	1,003303	0,922315	-0,080988
<i>PMONA\PMONA</i>	Busbar 150 KV	0,994272	0,955679	-0,038593
<i>PNKEP\PNKEP</i>	Busbar 150 KV	0,988815	0,940174	-0,048641
<i>POSO\POSO</i>	Busbar 150 KV	0,969545	0,932194	-0,037351
<i>PRANG\PRANG</i>	Busbar 150 KV	0,988833	0,950899	-0,037934
<i>PSGKYU\PSGKYU</i>	Busbar 150 KV	0,923356	0,890876	-0,03248
<i>PWATU\PWATU</i>	Busbar 150 KV	0,989238	0,90812	-0,081118
<i>SDERA\SDERA</i>	Busbar 150 KV	0,902315	0,869009	-0,033306
<i>SDRAP\SDRAP</i>	Busbar 150 KV	0,991015	0,94988	-0,041135
<i>SGMSA\SGMSA</i>	Busbar 150 KV	0,975563	0,922728	-0,052835
<i>SILAE\SILAE</i>	Busbar 150 KV	0,901699	0,868821	-0,032878
<i>SIWA\SIWA</i>	Busbar 150 KV	0,990166	0,950798	-0,039368
<i>SKANG\SKANG</i>	Busbar 150 KV	1,002059	0,962526	-0,039533
<i>SNJAI\SNJAI</i>	Busbar 150 KV	0,959777	0,913773	-0,046004
<i>SPENG\SPENG</i>	Busbar 150 KV	0,988492	0,947811	-0,040681
<i>TBNGA\TBNGA</i>	Busbar 150 KV	0,975439	0,922742	-0,052697
<i>TELLO\TELLO</i>	Busbar 150 KV	0,973902	0,921598	-0,052304
<i>TLAMA\TELLO LAMA</i>	Busbar 150 KV	0,974341	0,921901	-0,05244
<i>TLASA\TLASA</i>	Busbar 150 KV	0,986842	0,92966	-0,057182
<i>TPOYO\TPOYO</i>	Busbar 150 KV	0,951523	0,919102	-0,032421
<i>UNNHA\UNNHA</i>	Busbar 150 KV	0,984468	0,907958	-0,07651
<i>WOTU\WOTU</i>	Busbar 150 KV	1,005549	0,952502	-0,053047
<i>LTUPA2\LTUPA</i>	Busbar 275 KV	0,996757	0,955103	-0,041654
<i>PMONA 275KV</i>	Busbar 275 KV	0,998505	0,958832	-0,039673
<i>WOTU27\WOTU 275KV</i>	Busbar 275 KV	0,993245	0,950287	-0,042958

### 3) Simulasi PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Respon sudut rotor: Saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan 2 lepas dari sistem

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG		PLTU		PLTU		PLTU	
	Niitanasa 1		Niitanasa 1		Niitanasa 3		Jeneponto EXP 1	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
0,9	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	0,434	-5,797
1,9	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	0,434	-5,797
2,9	40,757	-15,171	26,866	13,210	30,973	16,305	0,000	0,000
3,9	45,254	-12,118	31,252	16,834	35,538	19,995	0,000	0,000
4,9	37,828	-20,617	22,975	7,813	27,440	11,026	0,000	0,000
5,9	37,019	-24,419	21,552	4,208	26,359	7,506	0,000	0,000
6,9	43,581	-20,880	28,004	8,709	33,293	12,143	0,000	0,000
7,9	45,569	-20,067	29,554	9,978	35,243	13,489	0,000	0,000
8,9	44,372	-23,463	27,581	6,564	33,703	10,127	0,000	0,000
9,9	46,912	-25,024	29,471	5,190	36,213	8,823	0,000	0,000
10,9	50,487	-24,212	32,374	6,378	39,804	10,084	0,000	0,000
11,9	52,074	-24,536	33,002	6,205	41,157	9,959	0,000	0,000
12,9	54,439	-26,026	34,269	4,713	43,353	8,500	0,000	0,000
13,9	58,226	-26,693	36,852	4,119	47,107	7,944	0,000	0,000
14,9	61,777	-26,699	38,905	4,216	50,575	8,074	0,000	0,000
15,9	65,862	-27,157	41,157	3,774	54,718	7,652	0,000	0,000
16,9	71,351	-27,884	44,426	3,020	60,673	6,913	0,000	0,000
17,9	77,956	-28,276	48,186	2,624	68,454	6,531	0,000	0,000
18,9	86,609	-28,493	53,077	2,405	80,377	6,321	0,000	0,000
19,9	99,217	-28,863	60,504	2,000	103,880	5,921	0,000	0,000

### 4) Tegangan bus saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas

Adapun Tegangan dari tiap busbar dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel tegangan tiap bus Saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas dari sistem

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
BRLOE\BRLOE	Busbar 70 KV	1,00713	0,894773	-0,11236
DAYA\DAYA	Busbar 70 KV	0,997261	0,886128	-0,11113
MNDAI\MNDAI	Busbar 70 KV	0,994858	0,884486	-0,11037
NTNSA\NTNSA	Busbar 70 KV	1,010421	0,798223	-0,2122
PNKEP7\PNKEP-70KV	Busbar 70 KV	1,0031	0,895768	-0,10733
PRIGI\PRIGI	Busbar 70 KV	0,943098	0,865704	-0,07739
PWATU7\PWATU 70KV	Busbar 70 KV	1,007456	0,797547	-0,20991
SDERA7\SDERA 70KV	Busbar 70 KV	0,991263	0,909916	-0,08135

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
TLISE7\TALISE 70KV	Busbar 70 KV	0,959233	0,880515	-0,07872
TELLO7\TELLO-70KV	Busbar 70 KV	1,003605	0,891041	-0,11256
TNASA\TNASA	Busbar 70 KV	1,000304	0,893272	-0,10703
TOLOB\BAR PLTB TOLO	Busbar 150 KV	1,000636	0,876888	-0,12375
BAR PLTU MMUJU	Busbar 150 KV	0,983427	0,911019	-0,07241
BARRU\BARRU	Busbar 150 KV	0,997503	0,901012	-0,09649
BKARU\BKARU	Busbar 150 KV	1,003583	0,931172	-0,07241
BK MBA\BK MBA	Busbar 150 KV	0,963273	0,856092	-0,10718
BLNGI\BLNGI	Busbar 150 KV	0,974789	0,864178	-0,11061
BLUSU\BLUSU	Busbar 150 KV	1,002956	0,910342	-0,09261
BNTNGN\BNTNG NEW	Busbar 150 KV	0,99194	0,868474	-0,12347
BONE\BONE	Busbar 150 KV	0,971468	0,879745	-0,09172
BNTLA\BONTOALA	Busbar 150 KV	0,974788	0,863401	-0,11139
BSOWA\BSOWA	Busbar 150 KV	0,981316	0,87489	-0,10643
ERKNG\ERKNG	Busbar 150 KV	0,98307	0,894554	-0,08852
JENEPONTO EXPN	Busbar 150 KV	1,001311	0,872162	-0,12915
JNPTO\JNPTO	Busbar 150 KV	0,994199	0,870451	-0,12375
KIMA\KIMA	Busbar 150 KV	0,973596	0,863773	-0,10982
KLAKA\KLAKA	Busbar 150 KV	0,984021	0,831349	-0,15267
KNDRI\KNDRI	Busbar 150 KV	0,990264	0,818718	-0,17155
LSUSU\LSUSU	Busbar 150 KV	0,989989	0,848778	-0,14121
LTUPAI\LTUPA 150KV	Busbar 150 KV	0,97556	0,888633	-0,08693
MAROS\MAROS	Busbar 150 KV	0,97696	0,870107	-0,10685
MJENE\MJENE	Busbar 150 KV	0,983042	0,90843	-0,07461
MKALE\MKALE	Busbar 150 KV	0,978997	0,891313	-0,08768
MLILI\MLILI	Busbar 150 KV	1,000522	0,876118	-0,1244
MMUJU\MMUJU	Busbar 150 KV	0,979189	0,90671	-0,07248
PKANG\PANAKUKANG	Busbar 150 KV	0,972946	0,862145	-0,1108
PARE\PARE	Busbar 150 KV	0,991938	0,903788	-0,08815
PGAYA\PGAYA	Busbar 150 KV	1,000983	0,872102	-0,12888
PLMAS\PLMAS	Busbar 150 KV	0,987893	0,912035	-0,07586
PLOPO\PLOPO	Busbar 150 KV	0,976831	0,889735	-0,0871
GSDRP\PLTB SDRP	Busbar 150 KV	0,990964	0,899704	-0,09126
PLTU JENEPONTO	Busbar 150 KV	1,000833	0,872401	-0,12843
MRAMO\PLTU MRAMO	Busbar 150 KV	1,003303	0,831054	-0,17225
PMONA\PMONA	Busbar 150 KV	0,994272	0,908413	-0,08586
PNKEP\PNKEP	Busbar 150 KV	0,988815	0,884771	-0,10404
POSO\POSO	Busbar 150 KV	0,969545	0,886469	-0,08308
PRANG\PRANG	Busbar 150 KV	0,988833	0,906101	-0,08273
PSGKYU\PSGKYU	Busbar 150 KV	0,923356	0,85118	-0,07218
PWATU\PWATU	Busbar 150 KV	0,989238	0,816927	-0,17231
SDERA\SDERA	Busbar 150 KV	0,902315	0,828268	-0,07405
SDRAP\SDRAP	Busbar 150 KV	0,991015	0,901477	-0,08954
SGMSA\SGMSA	Busbar 150 KV	0,975563	0,86365	-0,11191
SILAE\SILAE	Busbar 150 KV	0,901699	0,828608	-0,07309
SIWA\SIWA	Busbar 150 KV	0,990166	0,903632	-0,08653
SKANG\SKANG	Busbar 150 KV	1,002059	0,915669	-0,08639
SNJAI\SNJAI	Busbar 150 KV	0,959777	0,861038	-0,09874
SPENG\SPENG	Busbar 150 KV	0,988492	0,899926	-0,08857
TBNGA\TBNGA	Busbar 150 KV	0,975439	0,863769	-0,11167
TELLO\TELLO	Busbar 150 KV	0,973902	0,862993	-0,11091
TLAMA\TELLO LAMA	Busbar 150 KV	0,974341	0,863177	-0,11116

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
TLASA\TLASA	Busbar 150 KV	0,986842	0,866664	-0,12018
TPOYO\TPOYO	Busbar 150 KV	0,951523	0,879551	-0,07197
UNNHA\UNNHA	Busbar 150 KV	0,984468	0,820074	-0,16439
WOTU\WOTU	Busbar 150 KV	1,005549	0,888161	-0,11739
LTUPA2\LTUPA	Busbar 275 KV	0,996757	0,904217	-0,09254
PMON27\PMONA 275KV	Busbar 275 KV	0,998505	0,910278	-0,08823
WOTU27\WOTU 275KV	Busbar 275 KV	0,993245	0,897755	-0,09549

### 5) Simulasi PLTA Poso 2 unit 2 lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Poso 2 unit 2 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel data respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas dari sistem

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 3		PLTA Poso 2 #2	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
-0,10	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
0,90	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
1,90	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
2,90	21,602	-32,211	7,192	-5,921	11,000	-2,984	0,000	0,000
3,90	21,418	-32,970	7,022	-6,405	10,911	-3,428	0,000	0,000
4,90	22,933	-31,541	8,577	-4,693	12,538	-1,683	0,000	0,000
5,90	24,059	-30,534	9,734	-3,470	13,767	-0,432	0,000	0,000
6,90	23,952	-31,160	9,587	-4,053	13,684	-0,993	0,000	0,000
7,90	23,859	-31,854	9,423	-4,728	13,588	-1,647	0,000	0,000
8,90	24,485	-31,586	10,006	-4,342	14,241	-1,239	0,000	0,000
9,90	25,174	-31,131	10,653	-3,769	14,954	-0,647	0,000	0,000
10,90	25,434	-31,219	10,836	-3,812	15,199	-0,677	0,000	0,000
11,90	25,604	-31,510	10,911	-4,080	15,333	-0,932	0,000	0,000
12,90	26,013	-31,510	11,224	-4,031	15,706	-0,871	0,000	0,000
13,90	26,490	-31,344	11,600	-3,810	16,141	-0,639	0,000	0,000
14,90	26,831	-31,325	11,823	-3,759	16,418	-0,580	0,000	0,000
15,90	27,122	-31,426	11,982	-3,843	16,630	-0,658	0,000	0,000
16,90	27,489	-31,455	12,211	-3,852	16,911	-0,659	0,000	0,000
17,90	27,891	-31,402	12,467	-3,774	17,219	-0,576	0,000	0,000
18,90	28,253	-31,379	12,672	-3,733	17,472	-0,531	0,000	0,000
19,90	28,594	-31,408	12,847	-3,751	17,694	-0,546	0,000	0,000
20,90	28,961	-31,427	13,040	-3,759	17,934	-0,551	0,000	0,000
21,90	29,344	-31,412	13,241	-3,733	18,181	-0,522	0,000	0,000
22,90	29,717	-31,400	13,424	-3,711	18,408	-0,498	0,000	0,000
23,90	30,085	-31,407	13,592	-3,712	18,621	-0,497	0,000	0,000
24,90	30,464	-31,416	13,764	-3,715	18,836	-0,499	0,000	0,000
25,90	30,851	-31,414	13,937	-3,707	19,051	-0,489	0,000	0,000
26,90	31,239	-31,409	14,102	-3,697	19,258	-0,479	0,000	0,000
27,90	31,629	-31,411	14,261	-3,695	19,458	-0,476	0,000	0,000

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG		PLTU		PLTU		PLTA	
	Niitanasa 1		Niitanasa 1		Niitanasa 3		Poso 2 #2	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
28,90	32,026	-31,415	14,419	-3,696	19,657	-0,477	0,000	0,000
29,90	32,430	-31,416	14,576	-3,694	19,855	-0,474	0,000	0,000
30,90	32,839	-31,415	14,729	-3,690	20,049	-0,471	0,000	0,000
31,90	33,253	-31,416	14,879	-3,689	20,239	-0,469	0,000	0,000
32,90	33,676	-31,419	15,028	-3,690	20,428	-0,470	0,000	0,000
33,90	34,107	-31,420	15,176	-3,691	20,616	-0,471	0,000	0,000
34,90	34,545	-31,421	15,322	-3,690	20,802	-0,470	0,000	0,000
35,90	34,993	-31,423	15,467	-3,691	20,988	-0,471	0,000	0,000
36,90	35,451	-31,425	15,612	-3,692	21,172	-0,473	0,000	0,000
37,90	35,919	-31,427	15,756	-3,693	21,357	-0,474	0,000	0,000
38,90	36,399	-31,428	15,900	-3,694	21,541	-0,475	0,000	0,000
39,90	36,892	-31,430	16,044	-3,695	21,726	-0,477	0,000	0,000
40,90	37,399	-31,432	16,188	-3,697	21,911	-0,479	0,000	0,000
41,90	37,920	-31,434	16,333	-3,699	22,098	-0,481	0,000	0,000
42,90	38,458	-31,435	16,478	-3,700	22,286	-0,483	0,000	0,000
43,90	39,014	-31,437	16,625	-3,702	22,475	-0,485	0,000	0,000
44,90	39,589	-31,439	16,773	-3,704	22,667	-0,487	0,000	0,000
45,90	40,185	-31,441	16,923	-3,706	22,862	-0,489	0,000	0,000
46,90	40,805	-31,442	17,075	-3,708	23,059	-0,492	0,000	0,000
47,90	41,450	-31,444	17,230	-3,709	23,260	-0,494	0,000	0,000
48,90	42,123	-31,446	17,388	-3,711	23,464	-0,496	0,000	0,000
49,90	42,828	-31,447	17,548	-3,713	23,674	-0,498	0,000	0,000
50,90	43,566	-31,449	17,713	-3,715	23,888	-0,500	0,000	0,000
51,90	44,343	-31,450	17,882	-3,717	24,108	-0,503	0,000	0,000
52,90	45,162	-31,452	18,056	-3,719	24,335	-0,505	0,000	0,000
53,90	46,028	-31,453	18,235	-3,720	24,569	-0,507	0,000	0,000
54,90	46,948	-31,455	18,420	-3,722	24,811	-0,509	0,000	0,000
55,90	47,927	-31,456	18,612	-3,724	25,062	-0,511	0,000	0,000
56,90	48,974	-31,458	18,812	-3,726	25,323	-0,513	0,000	0,000
57,90	50,098	-31,459	19,020	-3,727	25,596	-0,515	0,000	0,000
58,90	51,310	-31,460	19,239	-3,729	25,883	-0,517	0,000	0,000
59,90	52,623	-31,461	19,469	-3,730	26,184	-0,518	0,000	0,000
60,90	54,054	-31,463	19,711	-3,732	26,501	-0,520	0,000	0,000
61,90	55,623	-31,464	19,968	-3,733	26,838	-0,522	0,000	0,000
62,90	57,354	-31,465	20,242	-3,735	27,197	-0,524	0,000	0,000
63,90	59,278	-31,466	20,535	-3,736	27,581	-0,525	0,000	0,000
64,90	61,436	-31,467	20,851	-3,737	27,995	-0,527	0,000	0,000
65,90	63,878	-31,468	21,192	-3,739	28,443	-0,528	0,000	0,000
66,90	66,673	-31,469	21,565	-3,740	28,931	-0,530	0,000	0,000
67,90	69,912	-31,470	21,975	-3,741	29,467	-0,531	0,000	0,000
68,90	73,722	-31,471	22,428	-3,742	30,061	-0,533	0,000	0,000
69,90	78,285	-31,472	22,936	-3,743	30,725	-0,534	0,000	0,000
70,90	83,865	-31,473	23,511	-3,745	31,475	-0,535	0,000	0,000
71,90	90,866	-31,473	24,168	-3,746	32,333	-0,536	0,000	0,000
72,90	99,926	-31,474	24,927	-3,747	33,324	-0,538	0,000	0,000
73,90	112,088	-31,475	25,813	-3,748	34,481	-0,539	0,000	0,000
74,90	129,078	-31,476	26,843	-3,749	35,833	-0,540	0,000	0,000



## 6) Tegangan bus saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas

Adapun Tegangan dari tiap busbar dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel tegangan tiap bus Saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas dari sistem

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
BRLOE\BRLOE	Busbar 70 KV	1,00713	0,995912	-0,011218
DAYA\DAYA	Busbar 70 KV	0,997261	0,985755	-0,011506
MNDAI\MNDAI	Busbar 70 KV	0,994858	0,983318	-0,01154
NTNSA\NTNSA	Busbar 70 KV	1,010421	0,917934	-0,092487
PNKEP7\PNKEP-70KV	Busbar 70 KV	1,0031	0,990968	-0,012132
PRIGI\PRIGI	Busbar 70 KV	0,943098	0,90584	-0,037258
PWATU7\PWATU 70KV	Busbar 70 KV	1,007456	0,916228	-0,091228
SDERA7\SDERA 70KV	Busbar 70 KV	0,991263	0,952102	-0,039161
TLISE7\TALISE 70KV	Busbar 70 KV	0,959233	0,921337	-0,037896
TELLO7\TELLO-70KV	Busbar 70 KV	1,003605	0,992116	-0,011489
TNASA\TNASA	Busbar 70 KV	1,000304	0,988207	-0,012097
TOLOB\BAR PLTB TOLO	Busbar 150 KV	1,000636	0,9906	-0,010036
MMUJUP\BAR PLTU	Busbar 150 KV	0,983427	0,960607	-0,02282
MMUJU				
BARRU\BARRU	Busbar 150 KV	0,997503	0,984556	-0,012947
BKARU\BKARU	Busbar 150 KV	1,003583	0,991619	-0,011964
BKMBA\BKMBA	Busbar 150 KV	0,963273	0,951183	-0,01209
BLNGI\BLNGI	Busbar 150 KV	0,974789	0,963279	-0,01151
BLUSU\BLUSU	Busbar 150 KV	1,002956	0,98958	-0,013376
BNTNGN\BNTNG NEW	Busbar 150 KV	0,99194	0,981927	-0,010013
BONE\BONE	Busbar 150 KV	0,971468	0,956094	-0,015374
BNTLA\BONTOALA	Busbar 150 KV	0,974788	0,963529	-0,011259
BSOWA\BSOWA	Busbar 150 KV	0,981316	0,969521	-0,011795
ERKNG\ERKNG	Busbar 150 KV	0,98307	0,961048	-0,022022
JENEPONTO EXPN	Busbar 150 KV	1,001311	0,991827	-0,009484
JNPTO\JNPTO	Busbar 150 KV	0,994199	0,984163	-0,010036
KIMA\KIMA	Busbar 150 KV	0,973596	0,962238	-0,011358
KLAKA\KLAKA	Busbar 150 KV	0,984021	0,917095	-0,066926
KNDRI\KNDRI	Busbar 150 KV	0,990264	0,917337	-0,072927
LSUSU\LSUSU	Busbar 150 KV	0,989989	0,926305	-0,063684
LTUPAI\LTUPA 150KV	Busbar 150 KV	0,97556	0,938921	-0,036639
MAROS\MAROS	Busbar 150 KV	0,97696	0,964504	-0,012456
MJENE\MJENE	Busbar 150 KV	0,983042	0,966269	-0,016773
MKALE\MKALE	Busbar 150 KV	0,978997	0,951408	-0,027589
MLILI\MLILI	Busbar 150 KV	1,000522	0,94137	-0,059152
MMUJU\MMUJU	Busbar 150 KV	0,979189	0,958706	-0,020483
PKANG\PANAKUKANG	Busbar 150 KV	0,972946	0,961681	-0,011265
PARE\PARE	Busbar 150 KV	0,991938	0,976481	-0,015457
PGAYA\PGAYA	Busbar 150 KV	1,000983	0,991477	-0,009506
PLMAS\PLMAS	Busbar 150 KV	0,987893	0,972699	-0,015194
PLOPO\PLOPO	Busbar 150 KV	0,976831	0,945306	-0,031525
GSDRP\PLTB SDRP	Busbar 150 KV	0,990964	0,974651	-0,016313
PLTU JENEPONTO	Busbar 150 KV	1,000833	0,991341	-0,009492
MRAMO\PLTU MRAMO	Busbar 150 KV	1,003303	0,93054	-0,072763

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
PMONA\PMONA	Busbar 150 KV	0,994272	0,94493	-0,049342
PNKEP\PNKEP	Busbar 150 KV	0,988815	0,976674	-0,012141
POSO\POSO	Busbar 150 KV	0,969545	0,923678	-0,045867
PRANG\PRANG	Busbar 150 KV	0,988833	0,974575	-0,014258
PSGKYU\PSGKYU	Busbar 150 KV	0,923356	0,89287	-0,030486
PWATU\PWATU	Busbar 150 KV	0,989238	0,915927	-0,073311
SDERA\SDERA	Busbar 150 KV	0,902315	0,866668	-0,035647
SDRAP\SDRAP	Busbar 150 KV	0,991015	0,974302	-0,016713
SGMSA\SGMSA	Busbar 150 KV	0,975563	0,964327	-0,011236
SILAE\SILAE	Busbar 150 KV	0,901699	0,867531	-0,034168
SIWA\SIWA	Busbar 150 KV	0,990166	0,966766	-0,0234
SKANG\SKANG	Busbar 150 KV	1,002059	0,984707	-0,017352
SNJAI\SNJAI	Busbar 150 KV	0,959777	0,946173	-0,013604
SPENG\SPENG	Busbar 150 KV	0,988492	0,971934	-0,016558
TBNGA\TBNGA	Busbar 150 KV	0,975439	0,964188	-0,011251
TELLO\TELLO	Busbar 150 KV	0,973902	0,962627	-0,011275
TLAMA\TELLO LAMA	Busbar 150 KV	0,974341	0,963075	-0,011266
TLASA\TLASA	Busbar 150 KV	0,986842	0,976543	-0,010299
TPOYO\TPOYO	Busbar 150 KV	0,951523	0,924827	-0,026696
UNNHA\UNNHA	Busbar 150 KV	0,984468	0,913914	-0,070554
WOTU\WOTU	Busbar 150 KV	1,005549	0,948225	-0,057324
LTUPA2\LTUPA	Busbar 275 KV	0,996757	0,951601	-0,045156
PMON27\PMONA 275KV	Busbar 275 KV	0,998505	0,945643	-0,052862
WOTU27\WOTU 275KV	Busbar 275 KV	0,993245	0,943224	-0,050021

## 7) Simulasi PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Poso 2 unit 2 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas dari sistem

WAKTU (s)	Sudut Rotor(Derajat)							
	PLTMG		PLTU		PLTU		PLTU	
	Niitanasa 1		Niitanasa 1		Niitanasa 3		Poso 2 #2	
	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam	bp. Siang	bp. Malam
-0,100	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
0,900	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
1,900	23,095	-29,772	8,641	-3,502	12,388	-0,588	-38,594	-34,532
2,900	21,042	-34,649	6,766	-8,165	10,666	-5,195	0,000	0,000
3,900	21,403	-35,565	7,175	-8,641	11,258	-5,577	0,000	0,000
4,900	24,589	-32,173	10,494	-4,532	14,747	-1,389	0,000	0,000
5,900	25,997	-31,084	11,957	-3,133	16,377	0,072	0,000	0,000
6,900	25,715	-32,992	11,601	-4,975	16,188	-1,718	0,000	0,000
7,900	26,846	-33,216	12,684	-4,979	17,460	-1,662	0,000	0,000
8,900	28,605	-31,873	14,413	-3,309	19,381	0,066	0,000	0,000
9,900	29,313	-31,822	15,006	-3,100	20,156	0,317	0,000	0,000
10,900	30,002	-32,509	15,536	-3,710	20,878	-0,255	0,000	0,000
11,900	31,335	-32,306	16,711	-3,345	22,258	0,151	0,000	0,000

12,900	32,463	-31,853	17,638	-2,735	23,390	0,796	0,000	0,000
13,900	33,349	-31,985	18,267	-2,788	24,230	0,770	0,000	0,000
14,900	34,517	-32,140	19,152	-2,872	25,340	0,711	0,000	0,000
15,900	35,769	-31,951	20,086	-2,586	26,510	1,022	0,000	0,000
16,900	36,908	-31,832	20,853	-2,391	27,523	1,237	0,000	0,000
17,900	38,156	-31,901	21,686	-2,412	28,620	1,232	0,000	0,000
18,900	39,532	-31,888	22,601	-2,346	29,821	1,314	0,000	0,000
19,900	40,917	-31,790	23,469	-2,192	30,994	1,482	0,000	0,000
20,900	42,388	-31,764	24,360	-2,126	32,220	1,560	0,000	0,000
21,900	43,995	-31,775	25,323	-2,103	33,552	1,594	0,000	0,000
22,900	45,698	-31,738	26,304	-2,031	34,942	1,676	0,000	0,000
23,900	47,532	-31,696	27,326	-1,957	36,423	1,757	0,000	0,000
24,900	49,548	-31,688	28,427	-1,923	38,045	1,798	0,000	0,000
25,900	51,757	-31,678	29,596	-1,889	39,813	1,838	0,000	0,000
26,900	54,203	-31,653	30,852	-1,841	41,767	1,891	0,000	0,000
27,900	56,958	-31,636	32,230	-1,805	43,975	1,932	0,000	0,000
28,900	60,090	-31,629	33,753	-1,782	46,501	1,960	0,000	0,000
29,900	63,709	-31,618	35,460	-1,755	49,456	1,990	0,000	0,000
30,900	67,981	-31,606	37,418	-1,727	53,015	2,020	0,000	0,000
31,900	73,142	-31,599	39,713	-1,708	57,449	2,042	0,000	0,000
32,900	79,578	-31,594	42,487	-1,692	63,259	2,060	0,000	0,000
33,900	87,957	-31,587	45,997	-1,675	71,468	2,079	0,000	0,000
34,900	99,562	-31,582	50,753	-1,661	84,661	2,094	0,000	0,000
35,900	117,335	-31,579	58,073	-1,650	112,719	2,106	0,000	0,000

### 8) Tegangan bus saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3

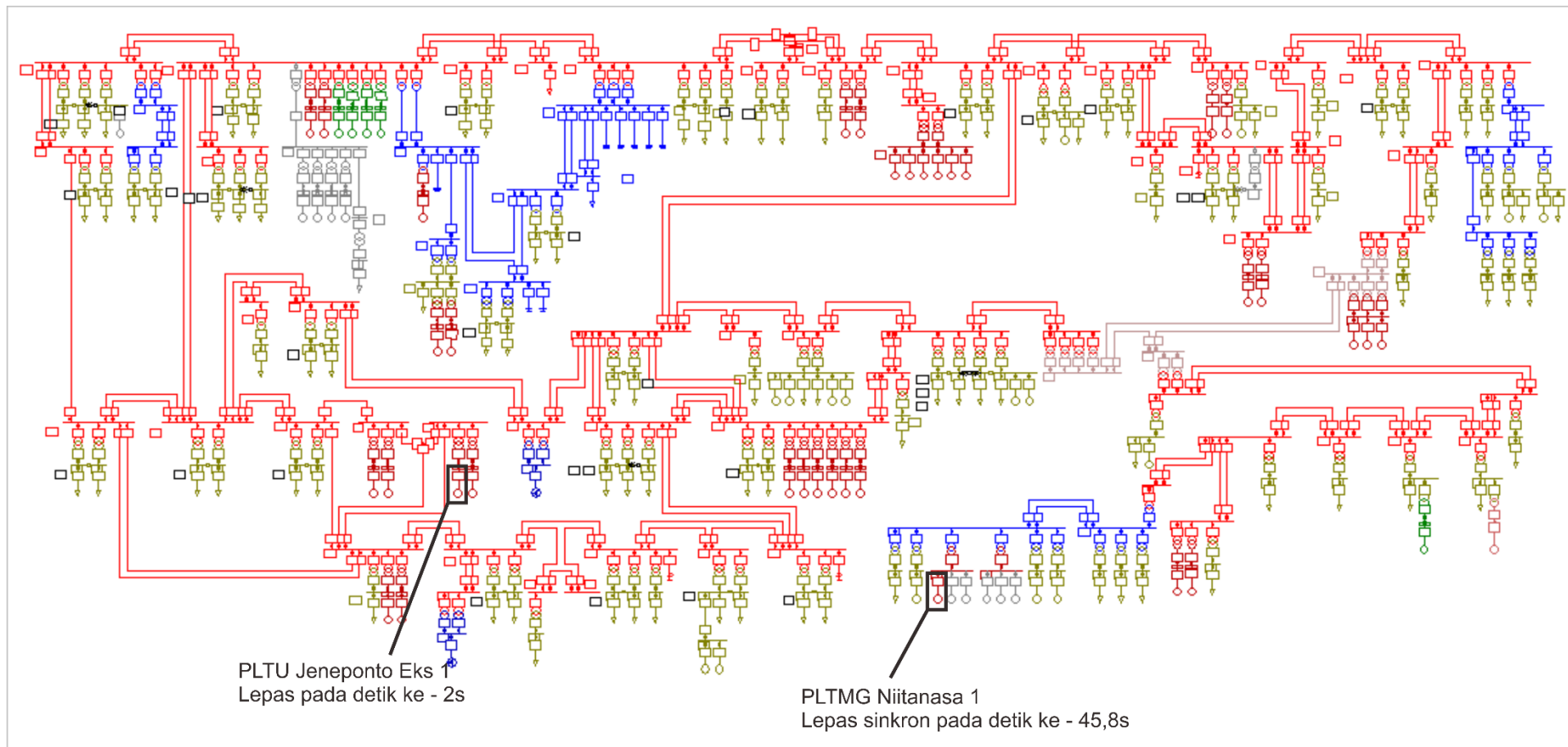
Adapun Tegangan dari tiap busbar dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel tegangan tiap bus Saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas dari sistem

Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
BRLOE\BRLOE	Busbar 70 KV	1,00713	0,982541	-0,024589
DAYA\DAYA	Busbar 70 KV	0,997261	0,972053	-0,025208
MNDAI\MNDAI	Busbar 70 KV	0,994858	0,96957	-0,025288
NTNSA\NTNSA	Busbar 70 KV	1,010421	0,832077	-0,178344
PNKEP7\PNKEP-70KV	Busbar 70 KV	1,0031	0,976474	-0,026626
PRIGI\PRIGI	Busbar 70 KV	0,943098	0,855987	-0,087111
PWATU7\PWATU 70KV	Busbar 70 KV	1,007456	0,830544	-0,176912
SDERA7\SDERA 70KV	Busbar 70 KV	0,991263	0,899703	-0,09156
TLISE7\TALISE 70KV	Busbar 70 KV	0,959233	0,870632	-0,088601
TELLO7\TELLO-70KV	Busbar 70 KV	1,003605	0,978443	-0,025162
TNASA\TNASA	Busbar 70 KV	1,000304	0,973753	-0,026551
TOLOB\BAR PLTB TOLO	Busbar 150 KV	1,000636	0,979639	-0,020997
MMUJUP\BAR PLTU MMUJU	Busbar 150 KV	0,983427	0,930374	-0,053053
BARRU\BARRU	Busbar 150 KV	0,997503	0,968386	-0,029117
BKARU\BKARU	Busbar 150 KV	1,003583	0,975505	-0,028078
BKMBA\BKMBA	Busbar 150 KV	0,963273	0,937044	-0,026229
BLNGI\BLNGI	Busbar 150 KV	0,974789	0,949846	-0,024943
BLUSU\BLUSU	Busbar 150 KV	1,002956	0,972662	-0,030294
BNTNGN\BNTNG NEW	Busbar 150 KV	0,99194	0,970991	-0,020949
BONE\BONE	Busbar 150 KV	0,971468	0,936833	-0,034635

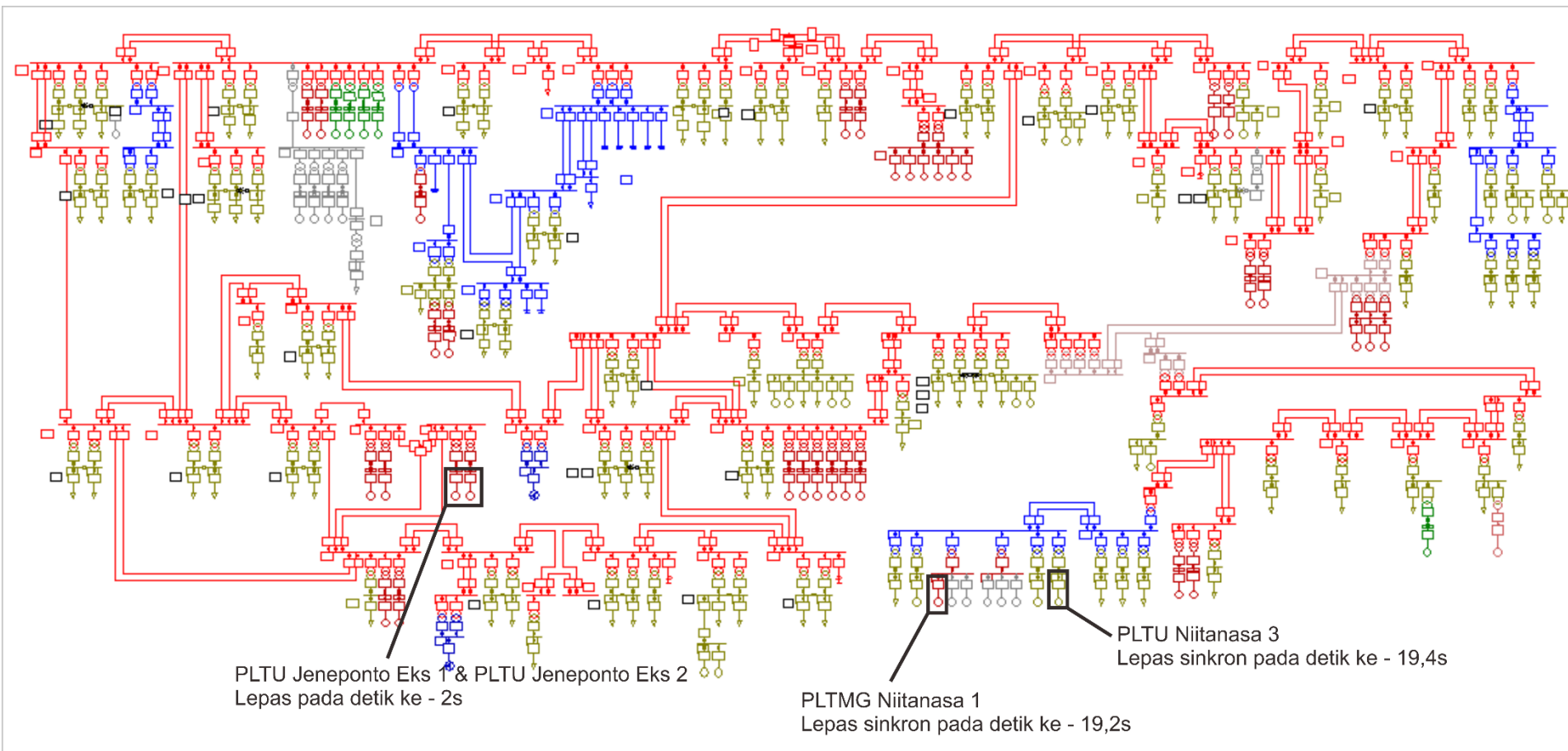
Nama Busbar	Tipe Busbar	Tegangan per unit		
		Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
BNTLA\BONTOALA	Busbar 150 KV	0,974788	0,950451	-0,024337
BSOWA\BSOWA	Busbar 150 KV	0,981316	0,955435	-0,025881
ERKNG\ERKNG	Busbar 150 KV	0,98307	0,932658	-0,050412
JNPTOE\JENEPONTO EXPN	Busbar 150 KV	1,001311	0,981702	-0,019609
JNPTO\JNPTO	Busbar 150 KV	0,994199	0,973202	-0,020997
KIMA\KIMA	Busbar 150 KV	0,973596	0,948944	-0,024652
KLAKA\KLAKA	Busbar 150 KV	0,984021	0,841359	-0,142662
KNDRI\KNDRI	Busbar 150 KV	0,990264	0,841013	-0,149251
LSUSU\LSUSU	Busbar 150 KV	0,989989	0,851381	-0,138608
LTUPAI\LTUPA 150KV	Busbar 150 KV	0,97556	0,891203	-0,084357
MAROS\MAROS	Busbar 150 KV	0,97696	0,949619	-0,027341
MJENE\MJENE	Busbar 150 KV	0,983042	0,944184	-0,038858
MKALE\MKALE	Busbar 150 KV	0,978997	0,915616	-0,063381
MLILI\MLILI	Busbar 150 KV	1,000522	0,86839	-0,132132
MMUJU\MMUJU	Busbar 150 KV	0,979189	0,931693	-0,047496
PKANG\PANAKUKANG	Busbar 150 KV	0,972946	0,948566	-0,02438
PARE\PARE	Busbar 150 KV	0,991938	0,956693	-0,035245
PGAYA\PGAYA	Busbar 150 KV	1,000983	0,981317	-0,019666
PLMAS\PLMAS	Busbar 150 KV	0,987893	0,952694	-0,035199
PLOPO\PLOPO	Busbar 150 KV	0,976831	0,904302	-0,072529
GSDRP\PLTB SDRP	Busbar 150 KV	0,990964	0,953916	-0,037048
GJNPTO\PLTU JENEPONTO	Busbar 150 KV	1,000833	0,981189	-0,019644
PRAMO\PLTU MRAMO	Busbar 150 KV	1,003303	0,854334	-0,148969
PMONA\PMONA	Busbar 150 KV	0,994272	0,878938	-0,115334
PNKEP\PNKEP	Busbar 150 KV	0,988815	0,961965	-0,02685
POSO\POSO	Busbar 150 KV	0,969545	0,86226	-0,107285
PRANG\PRANG	Busbar 150 KV	0,988833	0,956073	-0,03276
PSGKYU\PSGKYU	Busbar 150 KV	0,923356	0,852307	-0,071049
PWATU\PWATU	Busbar 150 KV	0,989238	0,839494	-0,149744
SDERA\SDERA	Busbar 150 KV	0,902315	0,818971	-0,083344
SDRAP\SDRAP	Busbar 150 KV	0,991015	0,952964	-0,038051
SGMSA\SGMSA	Busbar 150 KV	0,975563	0,95132	-0,024243
SILAE\SILAE	Busbar 150 KV	0,901699	0,821875	-0,079824
SIWA\SIWA	Busbar 150 KV	0,990166	0,936516	-0,05365
SKANG\SKANG	Busbar 150 KV	1,002059	0,962407	-0,039652
SNJAI\SNJAI	Busbar 150 KV	0,959777	0,92966	-0,030117
SPENG\SPENG	Busbar 150 KV	0,988492	0,950872	-0,03762
TBNGA\TBNGA	Busbar 150 KV	0,975439	0,951129	-0,02431
TELLO\TELLO	Busbar 150 KV	0,973902	0,949498	-0,024404
TLAMA\TELLO LAMA	Busbar 150 KV	0,974341	0,949978	-0,024363
TLASA\TLASA	Busbar 150 KV	0,986842	0,965135	-0,021707
TPOYO\TPOYO	Busbar 150 KV	0,951523	0,889423	-0,0621
UNNHA\UNNHA	Busbar 150 KV	0,984468	0,837627	-0,146841
WOTU\WOTU	Busbar 150 KV	1,005549	0,876233	-0,129316
LTUPA2\LTUPA	Busbar 275 KV	0,996757	0,892033	-0,104724
PMON27\PMONA 275KV	Busbar 275 KV	0,998505	0,874824	-0,123681
WOTU27\WOTU 275KV	Busbar 275 KV	0,993245	0,877514	-0,115731

9) Single line sistem saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 lepas



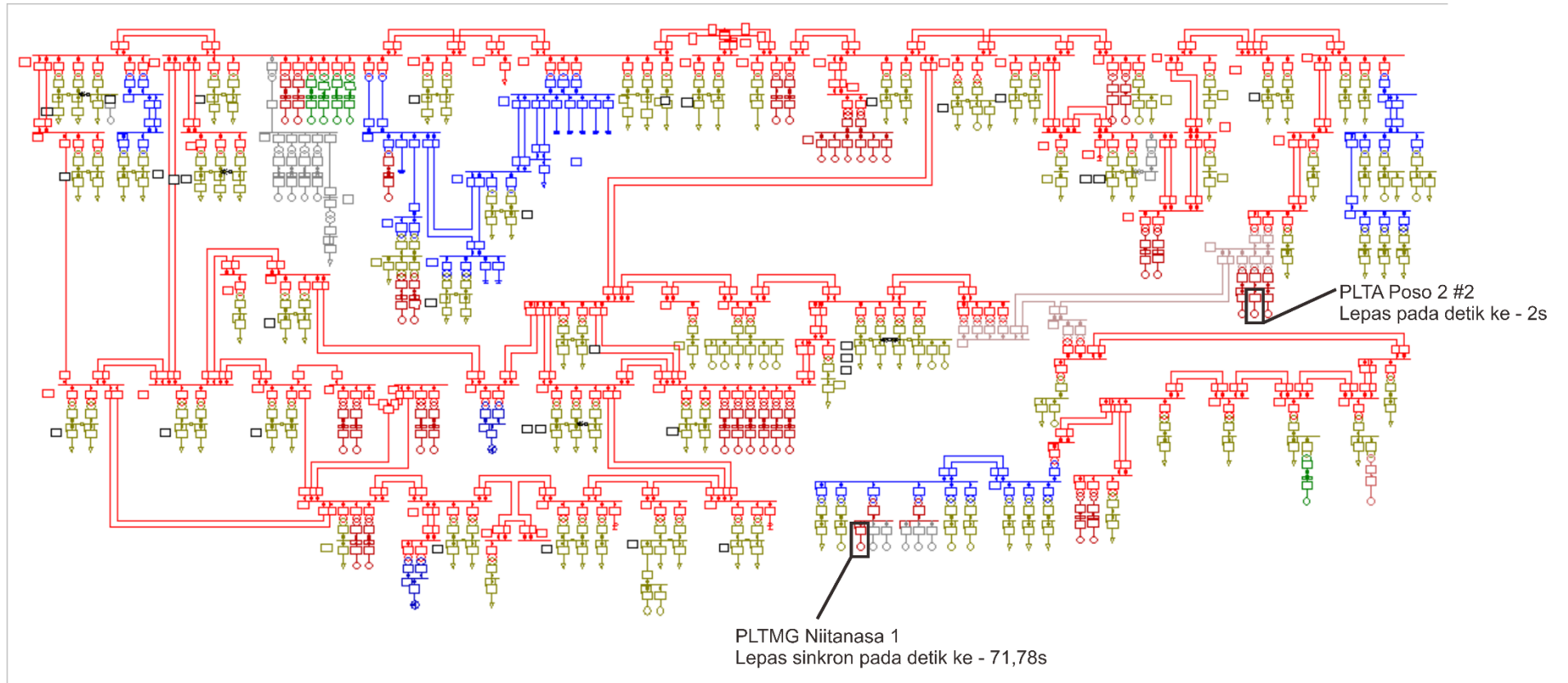
Gambar *Single Line* Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel saat PLTU Jeneponto Eks 1 lepas

### 10) Single line sistem saat PLTU Jeneponto ekspansi unit 1 dan unit 2 lepas



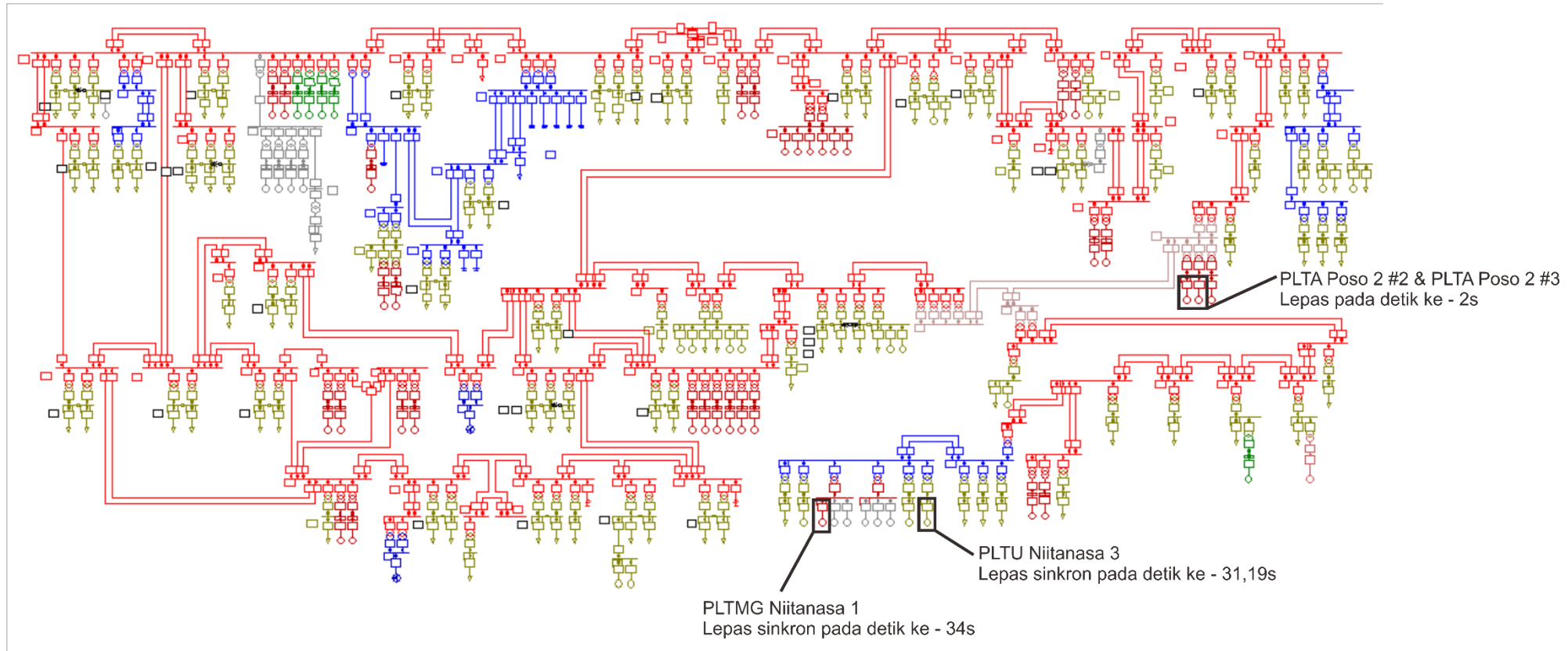
Gambar *Single Line* Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel saat PLTU Jeneponto Eks 1 dan 2 lepas

### 11) Single line sistem saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas



Gambar *Single Line* Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel saat PLTA Poso 2 unit 2 lepas

## 12) Single line sistem saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas



Gambar *Single Line* Diagram Sistem Kelistrikan Sulbagsel saat PLTA Poso 2 unit 2 dan unit 3 lepas



## Lampiran 4 Hasil simulasi menaikkan konstanta inersia generator

### 1) Simulasi PLTU Jeneponto ekspansi lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Jeneponto ekspansi dengan nilai konstanta inersia yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor Saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas dari sistem dengan konstanta inersia yang berbeda

WAKTU(s)	Sudut rotor PLTMG Niitanasa 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas					
	1 unit lepas			2 unit lepas		
	+0%	+50%	+100%	+0%	+50%	+100%
-0,100	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
0,900	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
1,900	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
2,900	30,793	33,065	35,407	40,757	45,782	50,945
3,900	33,315	35,408	36,957	45,254	49,386	52,078
4,900	30,402	31,189	31,637	37,828	39,676	41,130
5,900	28,589	29,994	32,086	37,019	41,727	47,991
6,900	30,424	33,076	36,039	43,581	49,751	55,347
7,900	32,462	34,774	36,386	45,569	49,608	52,803
8,900	32,423	33,934	35,180	44,372	49,080	55,276
9,900	31,920	33,812	36,201	46,912	53,717	60,801
10,900	32,577	35,162	37,749	50,487	56,751	62,560
11,900	33,691	36,112	37,997	52,074	58,387	66,168
12,900	34,221	36,245	38,206	54,439	62,439	71,628
13,900	34,444	36,641	39,144	58,226	66,842	76,472
14,900	34,993	37,511	39,978	61,777	71,149	83,296
15,900	35,774	38,242	40,474	65,862	77,280	92,242
16,900	36,419	38,746	41,139	71,351	84,913	103,814
17,900	36,949	39,376	41,994	77,956	94,760	121,057
18,900	37,576	40,164	42,766	86,609	109,222	148,426
19,900	38,309	40,915	43,517	99,217	132,411	-161,916
20,900	39,028	41,628	44,386			
21,900	39,724	42,418	45,311			
22,900	40,468	43,281	46,245			
23,900	41,271	44,160	47,242			
24,900	42,100	45,069	48,326			
25,900	42,951	46,047	49,474			
26,900	43,849	47,092	50,698			
27,900	44,803	48,192	52,024			
28,900	45,808	49,366	53,463			
29,900	46,866	50,631	55,026			
30,900	47,993	51,995	56,740			
31,900	49,200	53,469	58,633			
32,900	50,492	55,076	60,737			
33,900	51,883	56,841	63,097			
34,900	53,391	58,789	65,771			
35,900	55,035	60,957	68,836			
36,900	56,838	63,393	72,395			
37,900	58,830	66,160	76,596			
38,900	61,050	69,339	81,648			
39,900	63,548	73,045	87,860			

*Sudut rotor PLTMG Niitanasa 1 saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas*

WAKTU(s)	1 unit lepas			2 unit lepas		
	+0%	+50%	+100%	+0%	+50%	+100%
	40,900	66,389	77,436	95,711		
41,900	69,661	82,744	105,964			
42,900	73,484	89,315	119,874			
43,900	78,031	97,692	139,484			
44,900	83,552	108,751	167,595			
45,900	90,427	123,946	-154,842			
46,900	99,256	145,625	-115,967			
47,900	111,023	176,656	-86,864			
48,900	127,377	-143,801	-66,789			
49,900	150,939	-106,786	-52,274			

## 2) Simulasi PLTA Poso lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTA Poso dengan nilai konstanta inersia yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor PLTMG Niitanasa unit 1  
Saat PLTA Poso 2 lepas dari sistem

*Sudut rotor PLTMG Niitanasa 1 saat PLTA Poso lepas*

WAKTU(s)	1 unit lepas			2 unit lepas		
	+0%	+50%	+100%	+0%	+50%	+100%
-0,100	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
0,900	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
1,900	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095	23,095
2,900	21,602	21,378	21,272	21,042	20,768	20,619
3,900	21,418	21,439	21,530	21,403	21,450	21,672
4,900	22,933	23,394	23,699	24,589	25,070	25,345
5,900	24,059	24,296	24,222	25,997	25,844	25,336
6,900	23,952	23,857	23,674	25,715	25,332	25,052
7,900	23,859	23,905	24,103	26,846	26,821	26,864
8,900	24,485	24,695	24,894	28,605	28,212	27,586
9,900	25,174	25,165	25,001	29,313	28,416	27,627
10,900	25,434	25,192	24,990	30,002	29,204	28,641
11,900	25,604	25,413	25,369	31,335	30,413	29,438
12,900	26,013	25,879	25,732	32,463	31,108	29,856
13,900	26,490	26,220	25,882	33,349	31,878	30,686
14,900	26,831	26,427	26,091	34,517	32,960	31,511
15,900	27,122	26,718	26,413	35,769	33,893	32,183
16,900	27,489	27,082	26,683	36,908	34,817	33,046
17,900	27,891	27,398	26,911	38,156	35,921	33,944
18,900	28,253	27,680	27,186	39,532	37,024	34,811
19,900	28,594	27,998	27,482	40,917	38,144	35,789
20,900	28,961	28,338	27,755	42,388	39,387	36,818
21,900	29,344	28,661	28,032	43,995	40,690	37,878
22,900	29,717	28,979	28,329	45,698	42,057	39,031
23,900	30,085	29,314	28,628	47,532	43,546	40,254
24,900	30,464	29,657	28,925	49,548	45,144	41,553
25,900	30,851	29,997	29,230	51,757	46,867	42,960
26,900	31,239	30,340	29,543	54,203	48,756	44,475

Sudut rotor PLTMG Niitanasa 1 saat PLTA Poso lepas

WAKTU(s)	1 unit lepas			2 unit lepas		
	+0%	+50%	+100%	+0%	+50%	+100%
27,900	31,629	30,692	29,859	56,958	50,833	46,119
28,900	32,026	31,049	30,179	60,090	53,137	47,922
29,900	32,430	31,409	30,507	63,709	55,729	49,906
30,900	32,839	31,776	30,839	67,981	58,676	52,116
31,900	33,253	32,149	31,177	73,142	62,084	54,605
32,900	33,676	32,528	31,521	79,578	66,107	57,447
33,900	34,107	32,914	31,871	87,957	70,975	60,752
34,900	34,545	33,306	32,227	99,562	77,081	64,686
35,900	34,993	33,707	32,590	117,335	85,147	69,525
36,900	35,451	34,115	32,961			
37,900	35,919	34,533	33,338			
38,900	36,399	34,959	33,724			
39,900	36,892	35,396	34,117			
40,900	37,399	35,843	34,520			
41,900	37,920	36,302	34,932			
42,900	38,458	36,773	35,354			
43,900	39,014	37,258	35,786			
44,900	39,589	37,757	36,230			
45,900	40,185	38,272	36,686			
46,900	40,805	38,804	37,156			
47,900	41,450	39,354	37,639			
48,900	42,123	39,925	38,138			
49,900	42,828	40,517	38,653			
50,900	43,566	41,134	39,186			
51,900	44,343	41,777	39,738			
52,900	45,162	42,448	40,312			
53,900	46,028	43,152	40,908			
54,900	46,948	43,891	41,529			
55,900	47,927	44,669	42,178			
56,900	48,974	45,490	42,857			
57,900	50,098	46,359	43,569			
58,900	51,310	47,283	44,317			
59,900	52,623	48,268	45,107			
60,900	54,054	49,323	45,941			
61,900	55,623	50,456	46,826			
62,900	57,354	51,679	47,767			
63,900	59,278	53,006	48,773			
64,900	61,436	54,453	49,851			
65,900	63,878	56,042	51,011			
66,900	66,673	57,796	52,266			
67,900	69,912	59,750	53,630			
68,900	73,722	61,943	55,120			
69,900	78,285	64,428	56,760			
70,900	83,865	67,277	58,576			
71,900	90,866	70,585	60,603			
72,900	99,926	74,484	62,885			
73,900	112,088	79,163	65,481			
74,900	129,078	84,900	68,467			

## Lampiran 5 Hasil simulasi menaikkan tengangan generator

### 1) Simulasi dengan posisi tap changer dari trafo generator PLTMG

#### Niitanasa unit 1 berbeda

Adapun hasil simulasi dengan posisi tap changer dari trafo generator PLTMG Niitanasa unit 1 yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi dan PLTA Poso lepas dari sistem dengan posisi tap changer yang berbeda

WAKTU(s)	<i>Sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas</i>				<i>Sudut rotor saat PLTA Poso lepas</i>			
	<i>1 unit lepas</i>		<i>2 unit lepas</i>		<i>1 unit lepas</i>		<i>2 unit lepas</i>	
	<i>tap No. 9</i>	<i>tap No. 10</i>	<i>tap No. 9</i>	<i>tap No. 10</i>	<i>tap No. 9</i>	<i>tap No. 10</i>	<i>tap No. 9</i>	<i>tap No. 10</i>
-0,100	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007
0,900	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007
1,900	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007	23,095	-24,007
2,900	30,793	-17,227	40,757	-8,404	21,602	-25,625	21,042	-26,356
3,900	33,315	-15,189	45,254	-4,962	21,418	-26,003	21,403	-26,331
4,900	30,402	-18,431	37,828	-13,192	22,933	-24,807	24,589	-23,734
5,900	28,589	-20,809	37,019	-15,612	24,059	-23,909	25,997	-22,733
6,900	30,424	-19,725	43,581	-11,024	23,952	-24,207	25,715	-23,429
7,900	32,462	-18,374	45,569	-10,674	23,859	-24,524	26,846	-22,843
8,900	32,423	-18,995	44,372	-13,614	24,485	-24,161	28,605	-21,662
9,900	31,920	-20,108	46,912	-13,276	25,174	-23,732	29,313	-21,509
10,900	32,577	-20,128	50,487	-11,937	25,434	-23,719	30,002	-21,433
11,900	33,691	-19,679	52,074	-12,644	25,604	-23,805	31,335	-20,779
12,900	34,221	-19,771	54,439	-13,065	26,013	-23,670	32,463	-20,351
13,900	34,444	-20,181	58,226	-12,387	26,490	-23,471	33,349	-20,206
14,900	34,993	-20,298	61,777	-12,232	26,831	-23,408	34,517	-19,846
15,900	35,774	-20,183	65,862	-12,331	27,122	-23,401	35,769	-19,448
16,900	36,419	-20,192	71,351	-11,928	27,489	-23,328	36,908	-19,219
17,900	36,949	-20,334	77,956	-11,534	27,891	-23,225	38,156	-18,956
18,900	37,576	-20,404	86,609	-11,280	28,253	-23,166	39,532	-18,635
19,900	38,309	-20,383	99,217	-10,809	28,594	-23,134	40,917	-18,382
20,900	39,028	-20,382			28,961	-23,083	42,388	-18,145
21,900	39,724	-20,428			29,344	-23,023	43,995	-17,877
22,900	40,468	-20,459			29,717	-22,977	45,698	-17,631
23,900	41,271	-20,457			30,085	-22,944	47,532	-17,402
24,900	42,100	-20,454			30,464	-22,906	49,548	-17,163
25,900	42,951	-20,467			30,851	-22,866	51,757	-16,928
26,900	43,849	-20,477			31,239	-22,832	54,203	-16,704
27,900	44,803	-20,475			31,629	-22,804	56,958	-16,477
28,900	45,808	-20,472			32,026	-22,776	60,090	-16,250
29,900	46,866	-20,472			32,430	-22,748	63,709	-16,028
30,900	47,993	-20,473			32,839	-22,722	67,981	-15,804
31,900	49,200	-20,469			33,253	-22,700	73,142	-15,578
32,900	50,492	-20,465			33,676	-22,679	79,578	-15,352
33,900	51,883	-20,461			34,107	-22,658	87,957	-15,122
34,900	53,391	-20,458			34,545	-22,639	99,562	-14,889

WAKTU(s)	Sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas				Sudut rotor saat PLTA Poso lepas			
	1 unit lepas		2 unit lepas		1 unit lepas		2 unit lepas	
	tap No. 9	tap No. 10	tap No. 9	tap No. 10	tap No. 9	tap No. 10	tap No. 9	tap No. 10
35,900	55,035	-20,453			34,993	-22,622	117,335	-14,652
36,900	56,838	-20,448			35,451	-22,606		
37,900	58,830	-20,443			35,919	-22,591		
38,900	61,050	-20,438			36,399	-22,577		
39,900	63,548	-20,433			36,892	-22,564		
40,900	66,389	-20,428			37,399	-22,552		
41,900	69,661	-20,423			37,920	-22,541		
42,900	73,484	-20,418			38,458	-22,530		
43,900	78,031	-20,413			39,014	-22,520		
44,900	83,552	-20,409			39,589	-22,511		
45,900	90,427	-20,404			40,185	-22,503		
46,900	99,256	-20,399			40,805	-22,495		
47,900	111,023	-20,395			41,450	-22,487		
48,900	127,377	-20,391			42,123	-22,481		
49,900	150,939	-20,387			42,828	-22,474		
50,900					43,566	-22,468		
51,900					44,343	-22,463		
52,900					45,162	-22,458		
53,900					46,028	-22,453		
54,900					46,948	-22,448		
55,900					47,927	-22,444		
56,900					48,974	-22,440		
57,900					50,098	-22,437		
58,900					51,310	-22,433		
59,900					52,623	-22,430		
60,900					54,054	-22,427		
61,900					55,623	-22,425		
62,900					57,354	-22,422		
63,900					59,278	-22,420		
64,900					61,436	-22,418		
65,900					63,878	-22,416		
66,900					66,673	-22,414		
67,900					69,912	-22,412		
68,900					73,722	-22,411		
69,900					78,285	-22,409		
70,900					83,865	-22,408		
71,900					90,866	-22,407		
72,900					99,926	-22,406		
73,900					112,088	-22,405		
74,900					129,078	-22,404		

## 2) Simulasi dengan posisi tap changer dari trafo generator PLTMG

### Niitanasa unit 1, PLTU Niitanasa unit 1 dan 3 berbeda

Adapun hasil simulasi dengan posisi tap changer pada trafo generator PLTMG Niitanasa unit 1, PLTU Niitanasa unit 1 dan 3 yang berbeda dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor saat PLTU Jenepono ekspansi dan PLTA Poso lepas dari sistem dengan posisi tap 10 pada trafo generator PLTMG Niitanasa unit 1, PLTU Niitanasa unit 1 dan 3

Waktu(s)	Sudut Rotor saat 2 unit PLTU Jenepono Ekspansi lepas(Derajat)			Sudut Rotor saat 2 unit PLTA Poso lepas(Derajat)		
	PLTMG	PLTU	PLTU	PLTMG	PLTU	PLTU
	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3
-0,100	-17,167	-4,072	0,530	-17,167	-4,072	0,530
0,900	-17,167	-4,072	0,530	-17,167	-4,072	0,530
1,900	-17,167	-4,072	0,530	-17,167	-4,072	0,530
2,900	-1,231	13,380	18,298	-19,462	-6,011	-1,266
3,900	2,432	17,448	22,499	-19,425	-5,858	-0,965
4,900	-5,733	8,829	14,003	-16,748	-2,772	2,248
5,900	-8,192	6,528	11,913	-15,686	-1,495	3,649
6,900	-3,477	12,084	17,772	-16,382	-2,092	3,157
7,900	-2,902	13,049	18,940	-15,798	-1,323	4,043
8,900	-5,893	10,136	16,204	-14,581	0,121	5,598
9,900	-5,740	10,660	16,971	-14,407	0,425	5,993
10,900	-4,349	12,497	19,040	-14,358	0,590	6,247
11,900	-5,039	12,014	18,738	-13,715	1,389	7,135
12,900	-5,727	11,527	18,439	-13,276	1,956	7,780
13,900	-5,241	12,306	19,420	-13,156	2,170	8,065
14,900	-5,154	12,613	19,901	-12,836	2,596	8,560
15,900	-5,530	12,395	19,844	-12,455	3,080	9,108
16,900	-5,484	12,626	20,240	-12,253	3,363	9,449
17,900	-5,338	12,945	20,714	-12,042	3,652	9,793
18,900	-5,442	12,973	20,882	-11,764	4,009	10,203
19,900	-5,476	13,066	21,112	-11,552	4,289	10,531
20,900	-5,392	13,276	21,454	-11,376	4,527	10,815
21,900	-5,384	13,390	21,689	-11,170	4,794	11,125
22,900	-5,393	13,474	21,890	-10,984	5,037	11,409
23,900	-5,344	13,614	22,142	-10,827	5,245	11,655
24,900	-5,305	13,736	22,368	-10,666	5,455	11,901
25,900	-5,284	13,829	22,560	-10,511	5,657	12,137
26,900	-5,244	13,937	22,765	-10,374	5,837	12,350
27,900	-5,198	14,047	22,965	-10,242	6,009	12,553
28,900	-5,161	14,141	23,145	-10,114	6,176	12,749
29,900	-5,119	14,236	23,322	-9,997	6,329	12,930
30,900	-5,072	14,333	23,498	-9,887	6,473	13,100
31,900	-5,028	14,423	23,664	-9,781	6,612	13,264
32,900	-4,984	14,510	23,823	-9,681	6,741	13,417
33,900	-4,937	14,598	23,980	-9,588	6,863	13,561
34,900	-4,890	14,683	24,132	-9,499	6,979	13,699

Waktu(s)	Sudut Rotor saat 2 unit PLTU Jeneponto Ekspansi lepas(Derajat)			Sudut Rotor saat 2 unit PLTA Poso lepas(Derajat)		
	PLTMG	PLTU	PLTU	PLTMG	PLTU	PLTU
	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3
35,900	-4,844	14,765	24,278	-9,416	7,088	13,829
36,900	-4,797	14,846	24,420			
37,900	-4,750	14,925	24,559			
38,900	-4,704	15,003	24,694			
39,900	-4,657	15,079	24,826			
40,900	-4,610	15,155	24,956			
41,900	-4,564	15,228	25,082			
42,900	-4,517	15,301	25,205			
43,900	-4,471	15,373	25,327			
44,900	-4,425	15,444	25,446			
45,900	-4,379	15,514	25,563			
46,900	-4,334	15,583	25,679			
47,900	-4,288	15,652	25,792			
48,900	-4,243	15,720	25,904			
49,900	-4,198	15,787	26,015			
50,900	-4,153	15,854	26,125			
51,900	-4,108	15,920	26,234			
52,900	-4,063	15,986	26,341			
53,900	-4,019	16,052	26,448			
54,900	-3,975	16,117	26,554			
55,900	-3,930	16,182	26,659			
56,900	-3,886	16,247	26,764			
57,900	-3,842	16,312	26,868			
58,900	-3,797	16,376	26,972			
59,900	-3,753	16,440	27,076			
60,900	-3,709	16,505	27,179			
61,900	-3,665	16,569	27,283			
62,900	-3,620	16,634	27,386			
63,900	-3,576	16,698	27,489			
64,900	-3,531	16,763	27,593			
65,900	-3,487	16,827	27,696			
66,900	-3,442	16,892	27,800			
67,900	-3,397	16,957	27,905			
68,900	-3,352	17,023	28,010			
69,900	-3,306	17,088	28,115			
70,900	-3,261	17,154	28,221			
71,900	-3,215	17,221	28,327			
72,900	-3,169	17,287	28,434			
73,900	-3,122	17,355	28,542			
74,900	-3,075	17,422	28,651			
75,900	-3,028	17,490	28,761			
76,900	-2,980	17,559	28,872			
77,900	-2,932	17,629	28,983			
78,900	-2,884	17,699	29,097			
79,900	-2,835	17,769	29,211			
80,900	-2,785	17,841	29,327			
81,900	-2,735	17,913	29,444			
82,900	-2,685	17,986	29,562			

Waktu(s)	Sudut Rotor saat 2 unit PLTU Jeneponto Ekspansi lepas(Derajat)			Sudut Rotor saat 2 unit PLTA Poso lepas(Derajat)		
	PLTMG	PLTU	PLTU	PLTMG	PLTU	PLTU
	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3
83,900	-2,633	18,060	29,683			
84,900	-2,581	18,135	29,805			
85,900	-2,529	18,211	29,929			
86,900	-2,475	18,288	30,055			
87,900	-2,421	18,367	30,183			
88,900	-2,366	18,446	30,313			
89,900	-2,311	18,527	30,445			
90,900	-2,254	18,608	30,580			
91,900	-2,196	18,692	30,717			
92,900	-2,138	18,777	30,857			
93,900	-2,078	18,863	31,001			
94,900	-2,017	18,951	31,147			
95,900	-1,955	19,040	31,296			
96,900	-1,892	19,132	31,449			
97,900	-1,827	19,225	31,605			
98,900	-1,761	19,321	31,765			
99,900	-1,694	19,418	31,930			
100,900	-1,625	19,518	32,098			
101,900	-1,554	19,620	32,271			
102,900	-1,482	19,725	32,449			
103,900	-1,408	19,833	32,632			
104,900	-1,331	19,943	32,821			
105,900	-1,253	20,056	33,016			
106,900	-1,173	20,173	33,216			
107,900	-1,090	20,293	33,424			
108,900	-1,005	20,416	33,638			
109,900	-0,917	20,544	33,860			
110,900	-0,826	20,675	34,091			
111,900	-0,732	20,811	34,330			
112,900	-0,635	20,952	34,578			
113,900	-0,535	21,098	34,837			
114,900	-0,430	21,249	35,107			
115,900	-0,322	21,406	35,388			
116,900	-0,210	21,569	35,683			
117,900	-0,093	21,739	35,991			
118,900	0,029	21,917	36,315			
119,900	0,157	22,102	36,655			
120,900	0,290	22,296	37,013			
121,900	0,430	22,499	37,392			
122,900	0,577	22,712	37,792			
123,900	0,732	22,937	38,217			
124,900	0,895	23,174	38,669			
125,900	1,067	23,424	39,151			
126,900	1,250	23,690	39,667			
127,900	1,444	23,972	40,222			
128,900	1,651	24,274	40,820			
129,900	1,872	24,596	41,467			
130,900	2,110	24,941	42,172			



Waktu(s)	Sudut Rotor saat 2 unit PLTU Jeneponto Ekspansi lepas(Derajat)			Sudut Rotor saat 2 unit PLTA Poso lepas(Derajat)		
	PLTMG	PLTU	PLTU	PLTMG	PLTU	PLTU
	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3	Niitanasa 1	Niitanasa 1	Niitanasa 3
131,900	2,366	25,314	42,942			
132,900	2,643	25,718	43,789			
133,900	2,946	26,157	44,727			
134,900	3,276	26,638	45,774			
135,900	3,641	27,168	46,953			
136,900	4,046	27,757	48,294			
137,900	4,500	28,417	49,838			
138,900	5,015	29,163	51,644			
139,900	5,606	30,021	53,796			
140,900	6,298	31,021	56,422			
141,900	7,124	32,213	59,733			
142,900	8,143	33,678	64,097			
143,900	9,456	35,556	70,258			
144,900	11,276	38,139	80,024			
145,900	14,160	42,192	99,744			

## Lampiran 6 Hasil simulasi penggunaan high speed recloser

### 1) Simulasi PLTU Jeneponto ekspansi lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTU Jeneponto ekspansi dengan penggunaan high speed recloser dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas dengan penggunaan high speed recloser

WAKTU(s)	<i>Sudut Rotor saat PLTU Jeneponto Ekspansi lepas(Derajat)</i>					
	PLTMG Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 3	
	1 unit lepas	2 unit lepas	1 unit lepas	2 unit lepas	1 unit lepas	2 unit lepas
-0,100	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
0,900	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
1,900	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
2,900	30,793	40,757	16,528	26,866	20,401	30,973
3,900	33,315	45,254	19,018	31,252	22,965	35,538
4,900	30,402	37,828	15,766	22,975	19,782	27,440
5,900	28,589	37,019	13,622	21,552	17,737	26,359
6,900	30,424	43,581	15,320	28,004	19,572	33,293
7,900	32,462	45,569	17,244	29,554	21,621	35,243
8,900	32,423	44,372	16,961	27,581	21,445	33,703
9,900	31,920	46,912	16,150	29,471	20,747	36,213
10,900	32,577	50,487	16,539	32,374	21,264	39,804
11,900	33,691	52,074	17,401	33,002	22,253	41,157
12,900	34,221	54,439	17,633	34,269	22,601	43,353
13,900	34,444	58,226	17,518	36,852	22,601	47,107
14,900	34,993	61,777	17,725	38,905	22,928	50,575
15,900	35,774	65,862	18,162	41,157	23,485	54,718
16,900	36,419	71,351	18,437	44,426	23,876	60,673
17,900	36,949	77,956	18,568	48,186	24,122	68,454
18,900	37,576	86,609	18,781	53,077	24,452	80,377
19,900	38,309	77,597	19,083	40,080	24,871	66,293
20,900	39,028	78,521	19,348	39,017	25,253	68,491
21,900	39,724	78,043	19,564	37,125	25,585	68,307
22,900	40,468	76,924	19,801	34,854	25,941	66,605
23,900	41,271	75,551	20,073	32,545	26,332	64,132
24,900	42,100	74,152	20,340	30,480	26,720	61,302
25,900	42,951	72,834	20,594	28,777	27,097	58,336
26,900	43,849	71,627	20,859	27,386	27,488	55,364
27,900	44,803	70,528	21,140	26,218	27,897	52,471
28,900	45,808	69,532	21,426	25,230	28,316	49,707
29,900	46,866	68,634	21,715	24,406	28,741	47,106
30,900	47,993	67,832	22,014	23,730	29,182	44,687
31,900	49,200	67,117	22,328	23,176	29,643	42,462
32,900	50,492	66,478	22,654	22,726	30,122	40,433
33,900	51,883	65,908	22,992	22,361	30,621	38,596
34,900	53,391	65,396	23,346	22,068	31,145	36,942
35,900	55,035	64,935	23,720	21,834	31,698	35,462
36,900	56,838	64,517	24,115	21,648	32,284	34,144
37,900	58,830	64,136	24,534	21,503	32,907	32,975
38,900	61,050	63,787	24,981	21,391	33,574	31,941

39,900	63,548	63,464	25,462	21,306	34,293	31,030
40,900	66,389	63,163	25,981	21,242	35,073	30,229
41,900	72,512	62,880	29,924	21,196	39,054	29,528
42,900	73,166	62,612	29,532	21,163	38,446	28,914
43,900	73,428	62,357	28,998	21,142	37,716	28,377
44,900	73,068	62,111	27,940	21,130	36,451	27,910
45,900	72,455	61,873	26,779	21,125	34,972	27,503
46,900	71,826	61,641	25,802	21,125	33,629	27,149
47,900	71,234	61,413	24,997	21,130	32,478	26,842
48,900	70,661	61,188	24,290	21,138	31,447	26,575
49,900	70,104	60,965	23,668	21,148	30,509	26,344
50,900	69,576		23,135		29,679	
51,900	69,086		22,687		28,955	
52,900	68,633		22,313		28,328	
53,900	68,214		22,002		27,785	
54,900	67,825		21,745		27,317	
55,900	67,462		21,534		26,915	
56,900	67,123		21,363		26,571	
57,900	66,804		21,225		26,277	
58,900	66,502		21,115		26,026	
59,900	66,214		21,028		25,813	
60,900	65,938		20,961		25,632	
61,900	65,673		20,909		25,478	
62,900	65,415		20,871		25,348	
63,900	65,164		20,844		25,239	
64,900	64,918		20,826		25,146	
65,900	64,677		20,816		25,069	
66,900	64,438		20,812		25,003	
67,900	64,202		20,812		24,949	
68,900	63,968		20,817		24,904	
69,900	63,734		20,825		24,867	
70,900	63,501		20,836		24,837	
71,900	63,267		20,849		24,812	
72,900	63,032		20,863		24,792	
73,900	62,796		20,879		24,776	
74,900	62,558		20,895		24,764	
75,900	62,318		20,913		24,755	
76,900	62,075		20,930		24,748	
77,900	61,829		20,948		24,744	
78,900	61,580		20,967		24,741	
79,900	61,328		20,985		24,739	
80,900	61,071		21,003		24,739	
81,900	60,810		21,021		24,740	
82,900	60,545		21,039		24,742	
83,900	60,275		21,056		24,744	
84,900	60,000		21,073		24,747	
85,900	59,720		21,090		24,751	
86,900	59,435		21,107		24,755	
87,900	59,144		21,123		24,759	
88,900	58,848		21,138		24,763	
89,900	58,547		21,154		24,767	

## 2) Simulasi PLTA Poso lepas

Adapun hasil simulasi dari lepasnya PLTA Poso dengan penggunaan high speed recloser dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor saat PLTA Poso lepas dengan penggunaan high speed recloser

WAKTU(s)	<i>Sudut Rotor saat PLTA Poso lepas(Derajat)</i>					
	<i>PLTMG Niitanasa 1</i>		<i>PLTU Niitanasa 1</i>		<i>PLTU Niitanasa 3</i>	
	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>
-0,100	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
0,900	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
1,900	23,095	23,095	8,641	8,641	12,388	12,388
2,900	21,602	21,042	7,192	6,766	11,000	10,666
3,900	21,418	21,403	7,022	7,175	10,911	11,258
4,900	22,933	24,589	8,577	10,494	12,538	14,747
5,900	24,059	25,997	9,734	11,957	13,767	16,377
6,900	23,952	25,715	9,587	11,601	13,684	16,188
7,900	23,859	26,846	9,423	12,684	13,588	17,460
8,900	24,485	28,605	10,006	14,413	14,241	19,381
9,900	25,174	29,313	10,653	15,006	14,954	20,156
10,900	25,434	30,002	10,836	15,536	15,199	20,878
11,900	25,604	31,335	10,911	16,711	15,333	22,258
12,900	26,013	32,463	11,224	17,638	15,706	23,390
13,900	26,490	33,349	11,600	18,267	16,141	24,230
14,900	26,831	34,517	11,823	19,152	16,418	25,340
15,900	27,122	35,769	11,982	20,086	16,630	26,510
16,900	27,489	36,908	12,211	20,853	16,911	27,523
17,900	27,891	38,156	12,467	21,686	17,219	28,620
18,900	28,253	39,532	12,672	22,601	17,472	29,821
19,900	28,594	40,917	12,847	23,469	17,694	30,994
20,900	28,961	42,388	13,040	24,360	17,934	32,220
21,900	29,344	43,995	13,241	25,323	18,181	33,552
22,900	29,717	45,698	13,424	26,304	18,408	34,942
23,900	30,085	47,532	13,592	27,326	18,621	36,423
24,900	30,464	49,548	13,764	28,427	18,836	38,045
25,900	30,851	51,757	13,937	29,596	19,051	39,813
26,900	31,239	54,203	14,102	30,852	19,258	41,767
27,900	31,629	56,958	14,261	32,230	19,458	43,975
28,900	32,026	60,090	14,419	33,753	19,657	46,501
29,900	32,430	63,709	14,576	35,460	19,855	49,456
30,900	32,839	67,981	14,729	37,418	20,049	53,015
31,900	33,253	73,142	14,879	39,713	20,239	57,449
32,900	33,676	75,861	15,028	38,541	20,428	58,602
33,900	34,107	74,032	15,176	35,298	20,616	55,083
34,900	34,545	72,935	15,322	32,940	20,802	51,917
35,900	34,993	72,032	15,467	31,181	20,988	49,024
36,900	35,451	71,165	15,612	29,752	21,172	46,414
37,900	35,919	70,297	15,756	28,448	21,357	44,039
38,900	36,399	69,443	15,900	27,238	21,541	41,831
39,900	36,892	68,644	16,044	26,177	21,726	39,769
40,900	37,399	67,924	16,188	25,285	21,911	37,884
41,900	37,920	67,292	16,333	24,542	22,098	36,203
42,900	38,458	66,742	16,478	23,926	22,286	34,724

WAKTU(s)	Sudut Rotor saat PLTA Poso lepas(Derajat)					
	PLTMG Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 1		PLTU Niitanasa 3	
	1 unit lepas	2 unit lepas	1 unit lepas	2 unit lepas	1 unit lepas	2 unit lepas
43,900	39,014	66,264	16,625	23,417	22,475	33,424
44,900	39,589	65,847	16,773	22,999	22,667	32,285
45,900	40,185	65,484	16,923	22,655	22,862	31,290
46,900	40,805	65,165	17,075	22,375	23,059	30,423
47,900	41,450	64,883	17,230	22,146	23,260	29,669
48,900	42,123	64,632	17,388	21,961	23,464	29,015
49,900	42,828	64,407	17,548	21,811	23,674	28,447
50,900	43,566	64,203	17,713	21,690	23,888	27,956
51,900	44,343	64,017	17,882	21,593	24,108	27,531
52,900	45,162	63,844	18,056	21,515	24,335	27,163
53,900	46,028	63,684	18,235	21,454	24,569	26,845
54,900	46,948	63,532	18,420	21,406	24,811	26,570
55,900	47,927	63,389	18,612	21,369	25,062	26,333
56,900	48,974	63,252	18,812	21,341	25,323	26,129
57,900	50,098	63,120	19,020	21,319	25,596	25,953
58,900	51,310	62,992	19,239	21,304	25,883	25,801
59,900	52,623	62,867	19,469	21,294	26,184	25,670
60,900	54,054		19,711		26,501	
61,900	55,623		19,968		26,838	
62,900	57,354		20,242		27,197	
63,900	59,278		20,535		27,581	
64,900	61,436		20,851		27,995	
65,900	63,878		21,192		28,443	
66,900	72,282		28,617		35,832	
67,900	71,694		27,226		34,283	
68,900	71,408		26,406		33,239	
69,900	71,112		25,740		32,378	
70,900	70,690		25,020		31,463	
71,900	70,199		24,321		30,548	
72,900	69,713		23,720		29,732	
73,900	69,257		23,215		29,023	
74,900	68,829		22,784		28,400	
75,900	68,427		22,417		27,852	
76,900	68,054		22,108		27,377	
77,900	67,710		21,852		26,968	
78,900	67,391		21,641		26,617	
79,900	67,096		21,469		26,317	
80,900	66,820		21,329		26,061	
81,900	66,563		21,216		25,843	
82,900	66,320		21,127		25,659	
83,900	66,091		21,056		25,502	
84,900	65,872		21,002		25,370	
85,900	65,663		20,961		25,259	
86,900	65,462		20,931		25,166	
87,900	65,268		20,911		25,087	
88,900	65,079		20,898		25,022	
89,900	64,895		20,890		24,967	
90,900	64,715		20,888		24,922	
91,900	64,539		20,891		24,884	
92,900	64,365		20,896		24,854	
93,900	64,193		20,904		24,829	

WAKTU(s)	<i>Sudut Rotor saat PLTA Poso lepas(Derajat)</i>					
	<i>PLTMG Niitanasa 1</i>		<i>PLTU Niitanasa 1</i>		<i>PLTU Niitanasa 3</i>	
	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>	<i>1 unit lepas</i>	<i>2 unit lepas</i>
94,900	64,023		20,915		24,809	
95,900	63,854		20,927		24,794	
96,900	63,686		20,940		24,781	
97,900	63,518		20,954		24,772	
98,900	63,351		20,969		24,765	
99,900	63,183		20,985		24,761	
100,900	63,014		21,001		24,758	
101,900	62,844		21,017		24,757	
102,900	62,673		21,033		24,756	
103,900	62,500		21,050		24,757	
104,900	62,326		21,066		24,759	
105,900	62,149		21,082		24,762	
106,900	61,970		21,098		24,765	
107,900	61,788		21,113		24,768	
108,900	61,603		21,129		24,772	
109,900	61,414		21,144		24,776	
110,900	61,222		21,158		24,780	
111,900	61,027		21,172		24,785	
112,900	60,827		21,186		24,789	
113,900	60,624		21,200		24,794	
114,900	60,415		21,213		24,798	
115,900	60,202		21,226		24,803	
116,900	59,985		21,238		24,808	
117,900	59,762		21,251		24,812	
118,900	59,534		21,262		24,817	
119,900	59,301		21,274		24,821	

## Lampiran 7 Hasil simulasi menurunkan reaktansi seri saluran

### 1) Simulasi dengan menggunakan kompensator seri

Adapun hasil simulasi dengan penggunaan kompensator seri dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor PLTMG Niitanasa unit 1 Saat PLTU Jeneponto ekspansi dan PLTA Poso lepas dengan kompensasi reaktansi yang berbeda

Waktu(s)	Sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas				Sudut rotor saat PLTA Poso lepas			
	1 unit lepas		2 unit lepas		1 unit lepas		2 unit lepas	
	0%	50%	0%	50%	0%	50%	0%	50%
-0,100	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108
0,900	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108
1,900	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108	23,095	6,108
2,900	30,793	13,158	40,757	22,196	21,602	4,513	21,042	3,748
3,900	33,315	15,753	45,254	27,145	21,418	4,091	21,403	3,654
4,900	30,402	13,198	37,828	20,345	22,933	5,405	24,589	6,609
5,900	28,589	10,772	37,019	17,073	24,059	6,607	25,997	8,227
6,900	30,424	11,560	43,581	21,594	23,952	6,557	25,715	7,683
7,900	32,462	13,366	45,569	24,278	23,859	6,210	26,846	8,056
8,900	32,423	13,595	44,372	22,468	24,485	6,502	28,605	9,546
9,900	31,920	12,753	46,912	22,117	25,174	7,092	29,313	10,224
10,900	32,577	12,526	50,487	24,167	25,434	7,349	30,002	10,340
11,900	33,691	13,076	52,074	25,042	25,604	7,340	31,335	11,011
12,900	34,221	13,463	54,439	24,878	26,013	7,454	32,463	11,836
13,900	34,444	13,363	58,226	25,656	26,490	7,734	33,349	12,263
14,900	34,993	13,236	61,777	26,821	26,831	7,961	34,517	12,683
15,900	35,774	13,377	65,862	27,440	27,122	8,069	35,769	13,310
16,900	36,419	13,592	71,351	28,109	27,489	8,176	36,908	13,855
17,900	36,949	13,668	77,956	29,156	27,891	8,340	38,156	14,289
18,900	37,576	13,669	86,609	30,165	28,253	8,508	39,532	14,790
19,900	38,309	13,730	99,217	31,141	28,594	8,632	40,917	15,316
20,900	39,028	13,844			28,961	8,740	42,388	15,782
21,900	39,724	13,933			29,344	8,861	43,995	16,244
22,900	40,468	13,984			29,717	8,987	45,698	16,732
23,900	41,271	14,038			30,085	9,099	47,532	17,203
24,900	42,100	14,113			30,464	9,198	49,548	17,660
25,900	42,951	14,187			30,851	9,298	51,757	18,127
26,900	43,849	14,247			31,239	9,398	54,203	18,594
27,900	44,803	14,303			31,629	9,492	56,958	19,053
28,900	45,808	14,363			32,026	9,578	60,090	19,516
29,900	46,866	14,424			32,430	9,662	63,709	19,982
30,900	47,993	14,481			32,839	9,744	67,981	20,449
31,900	49,200	14,534			33,253	9,822	73,142	20,918
32,900	50,492	14,587			33,676	9,896	79,578	21,394
33,900	51,883	14,639			34,107	9,967	87,957	21,876
34,900	53,391	14,690			34,545	10,035	99,562	22,363
35,900	55,035	14,738			34,993	10,101	117,335	22,861
36,900	56,838	14,785			35,451	10,163		
37,900	58,830	14,831			35,919	10,222		
38,900	61,050	14,875			36,399	10,279		
39,900	63,548	14,919			36,892	10,334		

Waktu(s)	Sudut rotor saat PLTU Jenepono ekspansi lepas				Sudut rotor saat PLTA Poso lepas			
	1 unit lepas		2 unit lepas		1 unit lepas		2 unit lepas	
	0%	50%	0%	50%	0%	50%	0%	50%
40,900	66,389	14,960			37,399	10,386		
41,900	69,661	15,001			37,920	10,436		
42,900	73,484	15,040			38,458	10,484		
43,900	78,031	15,078			39,014	10,530		
44,900	83,552	15,115			39,589	10,573		
45,900	90,427	15,151			40,185	10,615		
46,900	99,256	15,186			40,805	10,655		
47,900	111,023	15,220			41,450	10,694		
48,900	127,377	15,252			42,123	10,730		
49,900	150,939	15,284			42,828	10,765		
50,900					43,566	10,799		
51,900					44,343	10,831		
52,900					45,162	10,862		
53,900					46,028	10,891		
54,900					46,948	10,919		
55,900					47,927	10,946		
56,900					48,974	10,972		
57,900					50,098	10,997		
58,900					51,310	11,020		
59,900					52,623	11,043		
60,900					54,054	11,065		
61,900					55,623	11,085		
62,900					57,354	11,105		
63,900					59,278	11,124		
64,900					61,436	11,142		
65,900					63,878	11,159		
66,900					66,673	11,176		
67,900					69,912	11,192		
68,900					73,722	11,207		
69,900					78,285	11,222		
70,900					83,865	11,236		
71,900					90,866	11,249		
72,900					99,926	11,262		
73,900					112,088	11,274		
74,900					129,078	11,286		



## 2) Simulasi dengan menggunakan tambahan saluran transmisi

Adapun hasil simulasi dengan penggunaan tambahan saluran transmisi dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel respon sudut rotor PLTMG Niitanasa unit 1 Saat PLTU Jeneponto ekspansi dan PLTA Poso lepas dengan penambahan jumlah jaringan transmisi

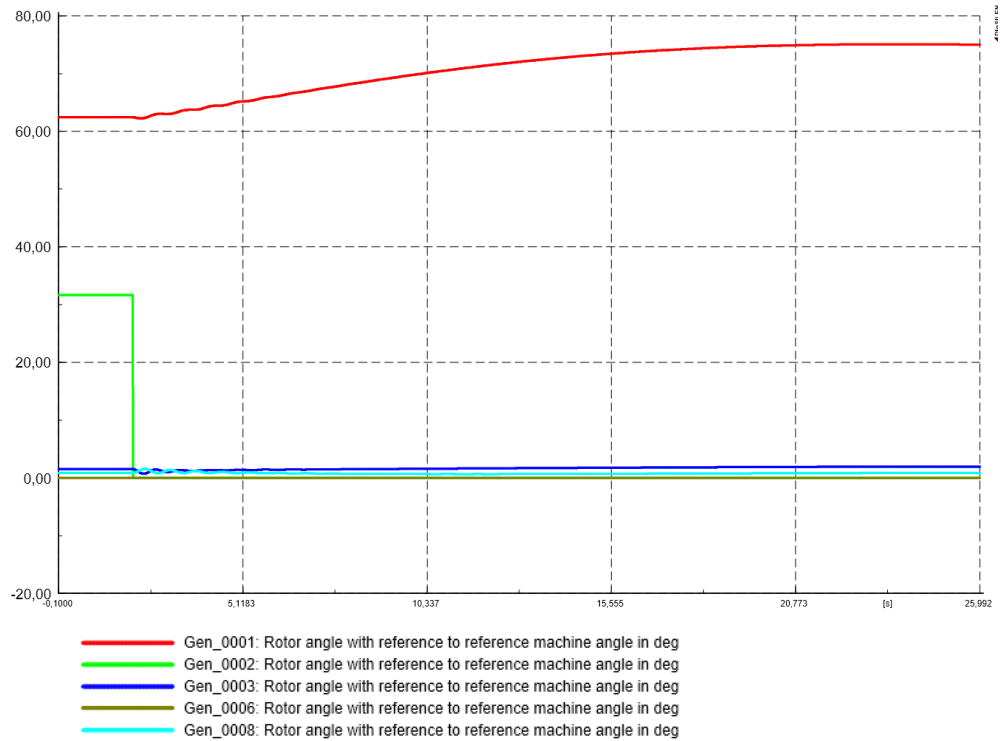
Waktu(s)	Sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas				Sudut rotor saat PLTA Poso lepas			
	1 unit lepas		2 unit lepas		1 unit lepas		2 unit lepas	
	0%	50%	0%	50%	0%	50%	0%	50%
-0,100	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757
0,900	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757
1,900	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757	23,095	3,757
2,900	30,793	10,903	40,757	20,112	21,602	2,182	21,042	1,473
3,900	33,315	13,392	45,254	24,713	21,418	1,812	21,403	1,485
4,900	30,402	10,619	37,828	17,437	22,933	3,142	24,589	4,410
5,900	28,589	8,273	37,019	14,694	24,059	4,268	25,997	5,851
6,900	30,424	9,295	43,581	19,626	23,952	4,145	25,715	5,291
7,900	32,462	11,061	45,569	21,681	23,859	3,830	26,846	5,820
8,900	32,423	11,036	44,372	19,490	24,485	4,186	28,605	7,283
9,900	31,920	10,112	46,912	19,572	25,174	4,756	29,313	7,814
10,900	32,577	10,013	50,487	21,663	25,434	4,945	30,002	7,952
11,900	33,691	10,612	52,074	22,071	25,604	4,919	31,335	8,695
12,900	34,221	10,878	54,439	21,847	26,013	5,064	32,463	9,445
13,900	34,444	10,673	58,226	22,778	26,490	5,346	33,349	9,802
14,900	34,993	10,563	61,777	23,741	26,831	5,536	34,517	10,252
15,900	35,774	10,737	65,862	24,134	27,122	5,618	35,769	10,867
16,900	36,419	10,907	71,351	24,795	27,489	5,728	36,908	11,344
17,900	36,949	10,913	77,956	25,745	27,891	5,893	38,156	11,755
18,900	37,576	10,889	86,609	26,541	28,253	6,040	39,532	12,250
19,900	38,309	10,952	99,217	27,385	28,594	6,143	40,917	12,730
20,900	39,028	11,045			28,961	6,242	42,388	13,152
21,900	39,724	11,092			29,344	6,358	43,995	13,591
22,900	40,468	11,113			29,717	6,470	45,698	14,043
23,900	41,271	11,153			30,085	6,564	47,532	14,467
24,900	42,100	11,211			30,464	6,652	49,548	14,886
25,900	42,951	11,258			30,851	6,742	51,757	15,314
26,900	43,849	11,292			31,239	6,830	54,203	15,734
27,900	44,803	11,329			31,629	6,910	56,958	16,146
28,900	45,808	11,371			32,026	6,984	60,090	16,563
29,900	46,866	11,411			32,430	7,057	63,709	16,979
30,900	47,993	11,447			32,839	7,127	67,981	17,392
31,900	49,200	11,481			33,253	7,193	73,142	17,808
32,900	50,492	11,516			33,676	7,255	79,578	18,227
33,900	51,883	11,551			34,107	7,315	87,957	18,648
34,900	53,391	11,583			34,545	7,372	99,562	19,073
35,900	55,035	11,614			34,993	7,426	117,335	19,505
36,900	56,838	11,645			35,451	7,478		
37,900	58,830	11,675			35,919	7,526		
38,900	61,050	11,703			36,399	7,573		
39,900	63,548	11,731			36,892	7,618		
40,900	66,389	11,758			37,399	7,660		
41,900	69,661	11,784			37,920	7,700		
42,900	73,484	11,809			38,458	7,738		

Waktu(s)	Sudut rotor saat PLTU Jeneponto ekspansi lepas				Sudut rotor saat PLTA Poso lepas			
	1 unit lepas		2 unit lepas		1 unit lepas		2 unit lepas	
	0%	50%	0%	50%	0%	50%	0%	50%
43,900	78,031	11,833			39,014	7,774		
44,900	83,552	11,857			39,589	7,809		
45,900	90,427	11,879			40,185	7,842		
46,900	99,256	11,901			40,805	7,873		
47,900	111,023	11,923			41,450	7,903		
48,900	127,377	11,943			42,123	7,931		
49,900	150,939	11,963			42,828	7,958		
50,900					43,566	7,984		
51,900					44,343	8,009		
52,900					45,162	8,032		
53,900					46,028	8,054		
54,900					46,948	8,075		
55,900					47,927	8,095		
56,900					48,974	8,114		
57,900					50,098	8,133		
58,900					51,310	8,150		
59,900					52,623	8,166		
60,900					54,054	8,182		
61,900					55,623	8,197		
62,900					57,354	8,211		
63,900					59,278	8,225		
64,900					61,436	8,238		
65,900					63,878	8,250		
66,900					66,673	8,262		
67,900					69,912	8,273		
68,900					73,722	8,284		
69,900					78,285	8,294		
70,900					83,865	8,303		
71,900					90,866	8,312		
72,900					99,926	8,321		
73,900					112,088	8,330		
74,900					129,078	8,337		

## Lampiran 8 Hasil simulasi pada sistem 14 bus IEEE

### 1) Respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 2

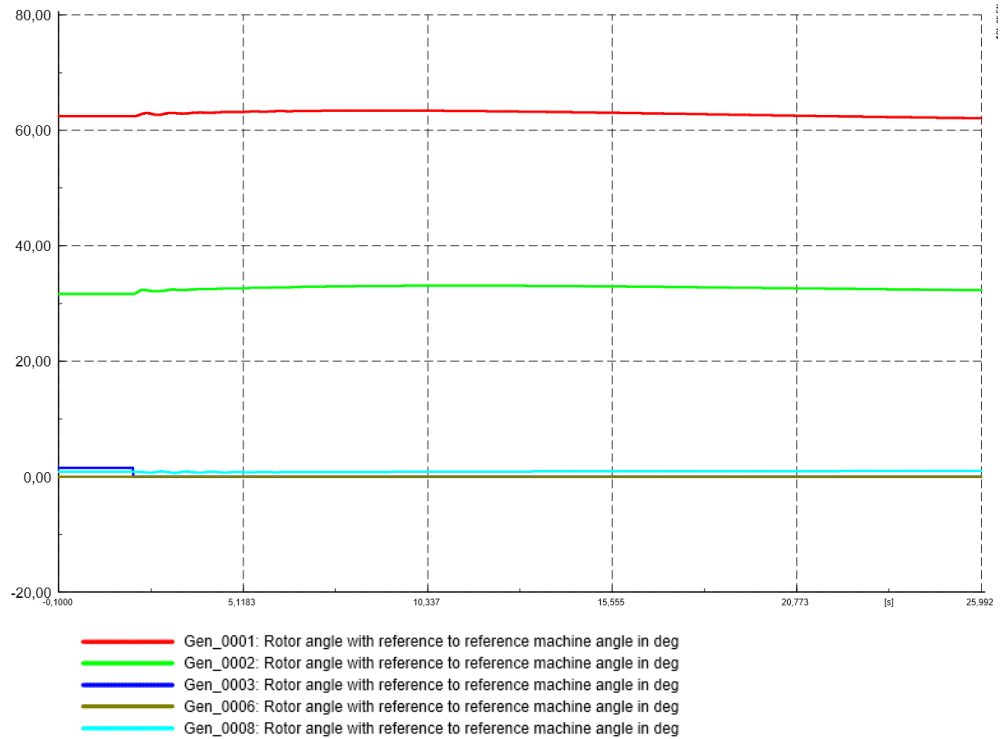
Adapun respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 2 dapat dilihat pada tabel berikut ini:



Gambar Respon sudut rotor saat pembangkit 2 lepas

## 2) Respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 3

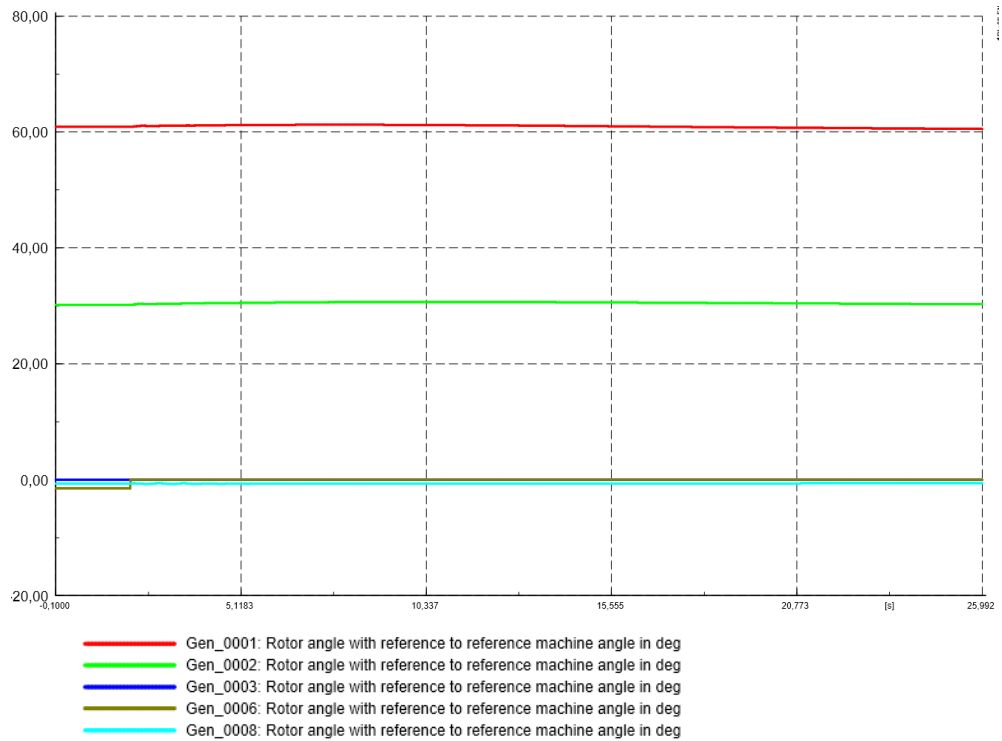
Adapun respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 3 dapat dilihat pada tabel berikut ini:



Gambar Respon sudut rotor saat pembangkit 3 lepas

### 3) Respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 6

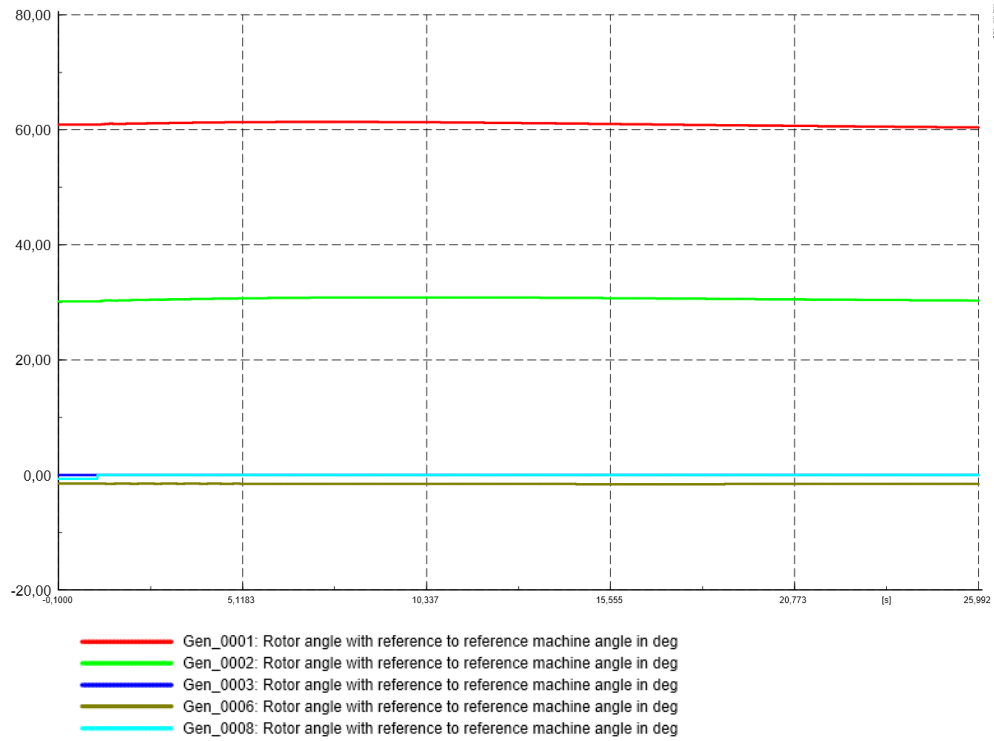
Adapun respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 6 dapat dilihat pada tabel berikut ini:



Gambar Respon sudut rotor saat pembangkit 6 lepas

#### 4) Respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 8

Adapun respon sudut rotor saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 8 dapat dilihat pada tabel berikut ini:



Gambar Respon sudut rotor saat pembangkit 8 lepas

## 5) Tegangan tiap bus saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 1

Adapun tegangan tiap bus saat melepaskan pembangkit thermal pada bus 1 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Tegangan tiap bus saat Pembangkit thermal 1 lepas

Nama Busbar	Tegangan per unit		
	Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
Bus_0001	1,06	0,373296	-0,686704
Bus_0002	1,045	0,372265	-0,672735
Bus_0003	1,01	0,387499	-0,622501
Bus_0004	1,018622	0,38063	-0,637992
Bus_0005	1,020262	0,37813	-0,642132
Bus_0006	1,07	0,423824	-0,646176
Bus_0007	1,061951	0,418069	-0,643882
Bus_0008	1,09	0,449853	-0,640147
Bus_0009	1,056347	0,413902	-0,642445
Bus_0010	1,051329	0,412751	-0,638578
Bus_0011	1,057082	0,416857	-0,640225
Bus_0012	1,05522	0,417634	-0,637586
Bus_0013	1,050443	0,41547	-0,634973
Bus_0014	1,035795	0,407516	-0,628279

## 6) Tegangan tiap bus saat melepaskan PLTB pada bus 1

Adapun tegangan tiap bus saat melepaskan PLTB pada bus 1 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel Tegangan tiap bus saat PLTB lepas

Nama Busbar	Tegangan per unit		
	Sebelum Gangguan	Setelah Gangguan	Perubahan
Bus_0001	1,06	0,373296	-0,6867
Bus_0002	1,045	0,372265	-0,67274
Bus_0003	1,01	0,387499	-0,6225
Bus_0004	1,018622	0,38063	-0,63799
Bus_0005	1,020262	0,37813	-0,64213
Bus_0006	1,07	0,423824	-0,64618
Bus_0007	1,061951	0,418069	-0,64388
Bus_0008	1,09	0,449853	-0,64015
Bus_0009	1,056347	0,413902	-0,64245
Bus_0010	1,051329	0,412751	-0,63858
Bus_0011	1,057082	0,416857	-0,64023
Bus_0012	1,05522	0,417634	-0,63759
Bus_0013	1,050443	0,41547	-0,63497
Bus_0014	1,035795	0,407516	-0,62828