



TESIS- TE142599

**PENEMPATAN *POWER SISTEM STABILIZER (PSS)*  
*MENGGUNAKAN CUCKOO SEARCH ALGORITHM*  
*(CSA)* PADA SISTEM KELISTRIKAN INTERKONEKSI  
150 kV SULAWESI SELATAN, TENGGARA, DAN  
BARAT (SULSELBAR)**

MUHAMMAD RUSWANDI DJALAL  
2213201008

DOSEN PEMBIMBING  
Prof.Dr.(Eng).Ir. Imam Robandi, M.T.

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



THESES- TE142599

**POWER SISTEM STABILIZER (PSS) PLACEMENT  
USING CUCKOO SEARCH ALGORITHM (CSA) IN  
INTERCONNECTED 150 kV SOUTH, SOUTH EAST  
AND EAST OF SULAWESI (SULSELRABAR)  
ELECTRICAL SYSTEM**

MUHAMMAD RUSWANDI DJALAL  
2213201008

ADVISOR  
Prof.Dr.(Eng).Ir. Imam Robandi, M.T.

**MAGISTER PROGRAM  
POWER SYSTEM ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
Di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
Muhammad Ruswandi Djalal  
NRP. 2213201008

Tanggal Ujian : 16 Juni 2015  
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui Oleh :

1. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, M.T.  
NIP. 196308171990031001

(Pembimbing)

2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
NIP. 195809161986011001

(Penguji)

3. Dr. I. Made Yulistya Negara, S.T., M.Sc.  
NIP. 197007121998021001

(Penguji)

4. Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.  
NIP. 197309271998031004

(Penguji)

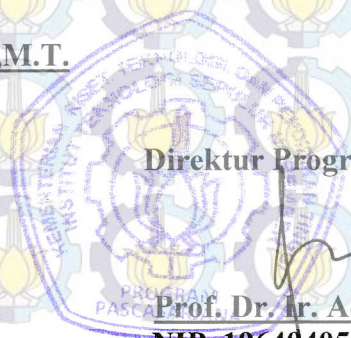
5. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197311192000031001

(Penguji)

6. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T.  
NIP. 198109052005011002

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana



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



**PENEMPATAN *POWER SISTEM STABILIZER (PSS)* MENGGUNAKAN  
*CUCKOO SEARCH ALGORITHM (CSA)* PADA SISTEM KELISTRIKAN  
INTERKONEKSI 150 kV SULAWESI SELATAN, TENGGARA DAN  
BARAT (SULSELRABAR)**

Nama : Muhammad Ruswandi Djalal

NRP : 2213201008

Dosen Pembimbing : Prof. Dr.(Eng). Ir. Imam Robandi, M.T.

**ABSTRAK**

Perubahan beban pada sebuah sistem tenaga listrik yang terjadi secara tiba-tiba maupun periodik dapat menyebabkan gangguan dinamik pada sebuah sistem tenaga listrik. Gangguan ini pada sistem tidak dapat direspon dengan baik oleh generator, sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem, seperti terjadinya osilasi kecepatan dan sudut rotor. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan kontroler tambahan *Power Sistem Stabilizer (PSS)*. Dalam masalah penggunaan PSS ini, ada beberapa masalah yang sering muncul, yaitu penempatan dan penalaan parameter PSS yang tepat. Untuk mengatasi masalah desain PSS tersebut penulis menggunakan metode komputasi cerdas (*Computational Intelligence*) dalam hal ini kecerdasan burung cuckoo, *Cuckoo Search Algorithm (CSA)*, untuk memperoleh kinerja optimal dari PSS yang tepat dalam mengatasi permasalahan kestabilan di sistem 150 kV Sulselrabar.

Dalam penelitian ini ada dua studi kasus yang digunakan untuk meninjau kinerja dari sistem yaitu : kondisi sistem normal dan kondisi kontingensi N-1 (*Contingency N-1*) pada saluran Sidrap - Maros. *CSA* merupakan salah satu metode cerdas yang mengadopsi perilaku atau kebiasaan hidup sehari-hari burung cuckoo yang sangat parasit menempatkan telurnya. Kebiasaan parasit ini diadopsi dan digunakan untuk menyelesaikan sebuah permasalahan optimisasi. Selain itu metode ini merupakan algoritma heuristik baru yang berdasarkan hasil studi awalnya menunjukkan performansi pencarian yang lebih bagus dari algoritma



heuristik lain seperti *Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)* maupun *Algoritma Genetik (GA)*.

Dari hasil simulasi untuk dua studi kasus yang digunakan, didapatkan penempatan optimal PSS yang sama pada 14 Generator, yaitu pada generator Bakaru, Pinrang, Pare-Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello Lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, dan Palopo berdasarkan nilai damping minimum. Di mana untuk nilai damping minimum dengan 14 PSS pada studi kasus pertama sebesar 0,6033 dan 0,6114 untuk studi kasus kedua. Selain itu didapatkan, peningkatan eigenvalue dan penurunan overshoot osilasi kecepatan dan sudut rotor generator.

Kata Kunci : *Penalaan PSS, Peletakan PSS, Artificial Intelligent (AI) Contingency Analysis (N-1), Cuckoo Search Algorithm (CSA), Frekuensi, Overshoot, Damping, Eigenvalue.*



**POWER SISTEM STABILIZER (PSS) PLACEMENT USING CUCKOO  
SEARCH ALGORITHM (CSA) IN INTERCONNECTED 150 kV SOUTH,  
SOUTH EAST AND EAST OF SULAWESI (SULSELBAR)  
ELECTRICAL SYSTEM**

Student Name : Muhammad Ruswandi Djalal  
NRP : 2213201008  
Advisor : Prof. Dr.(Eng). Ir. Imam Robandi, M.T.

**ABSTRACT**

The load changing in electrical power system that occurs suddenly or periodic, can cause dynamics disturbance in a power system. The disturbances in the system can't respond by generator, so it can affect dynamic stability of system, such as speed and rotor angle oscillation. To solving this problems, we need additional controllers using Power System Stabilizer (PSS). There are some problems the application of PSS that often arise, those are the placement and tuning parameters of PSS. To solving the problems of PSS designs here, the authors use Computational Intelligence method, in this case the intelligence cuckoo, Cuckoo Search Algorithm (CSA), to obtain the optimal performance of the PSS for solving stability problems in 150 kV Sulselrabar system.

In this study, there are two case studies that used to review the performance of the system, namely: normal conditions and contingency N-1 condition in Sidrap-Maros lines. CSA is one of the intelligent methods that inspired from behaviors or habits of daily living cuckoo's that very parasite to lay their eggs. The parasitic habits adopted and used to solve optimization problems.

Moreover this method is a new heuristic algorithm based on the results of initial studies show a better search performance than other heuristic algorithms like Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA).

From the simulation results of the two case studies that used, obtained the same optimum placement of PSS at 14 Generator, which is in the Bakaru,



Pinrang, Pare-Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello Lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, and Palopo generator based on the minimum damping. Where the values of minimum damping with 14 PSS are 0.6033 for the first case study and 0.6114 for the second case study. In addition from the simulation results, get improvement of the eigenvalues, decreased speed and rotor angle oscillation of generators.

**Key Words :** *PSS Tuning, PSS Placement, Artificial Intelligent (AI) Contingency Analysis (N-1), Cuckoo Search Algorithm (CSA), Frequency, Overshoot, Damping, Eigenvalue.*



## KATA PENGANTAR

Assalamulaikum wr wb.

Alhamdulillah, puji syukur tak terhingga dipanjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul :

### **PENEMPATAN *POWER SYSTEM STABILIZER (PSS)* MENGGUNAKAN *CUCKOO SEARCH ALGORITHM (CSA)* PADA SISTEM KELISTRIKAN INTERKONEKSI 150 kV SULAWESI SELATAN, TENGGARA DAN BARAT (SULSELRABAR)**

Penyusunan tesis ini merupakan salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga, Program Studi Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis menerima saran dan kritik untuk kesempurnaan tesis ini. Semoga buku tesis ini memberi manfaat kepada mahasiswa teknik elektro dan semua pihak khususnya dibidang kestabilan sistem tenaga listrik.

Akhir kata pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sedalamnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Djafar Djalal dan Ibu Herlina, adik-adik tercinta Dian dan Aldi, serta semua keluarga besar yang selalu memberikan doa dan motivasi selama mengikuti proses perkuliahan di Surabaya hingga mengerjakan tesis.
2. Prof. Dr.(Eng). Ir. Imam Robandi, M.T, selaku dosen pembimbing yang telah banyak meberikan arahan dan bimbingan selama proses pembuatan tesis dan selama perkuliahan di bidang Teknik Sistem Tenaga.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, S.T., M.T, selaku dosen wali dan seluruh dosen pengajar Magister Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Sistem



Tenaga yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya bidang kelistrikan.

4. Pemerintah dalam hal ini DIKTI yang telah memberikan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri Calon Dosen (BPP-DN) 2013 kepada penulis selama perkuliahan.

5. Direktur, Staff dan Dosen penulis di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan rekomendasi dan homebase untuk penulis.

6. PT. PLN (Persero) Wilayah Sulselrabar Area Penyaluran dan Pengatur Beban (AP2B) yang telah memberi izin penelitian dan bantuan data sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

7. Teman-teman seperjuangan S2 angkatan tahun 2013 seperti Dhani, Yanuar, Ancil, Along, Agil, Abil, Ribka, Rini, Ratih, Leli, Nita, Echa, Aji, Farid, Ciptian, Aryo, Andikta, Kiki, Dimas, Mei, Yonny, Dapis, Teguh, Koko, Pak Hilman, Pak Rahmat, Bu Nur, Pak Machrus, Pak Jony, Pak Anjang dan teman-teman angkatan 2014 yang tidak dapat disebutkan yang telah memberikan kenangan dan pelajaran berharga saat kuliah di Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga ITS.

8. Seluruh member Lab. PSOC baik mahasiswa S3, S2 dan S1 yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan Semoga Allah SWT, Tuhan yang maha kuasa membalas semua kebaikan semua pihak yang membantu terselesainya tesis ini.

Surabaya, Juni 2015

Muhammad Ruswandi Djalal



## DAFTAR ISI

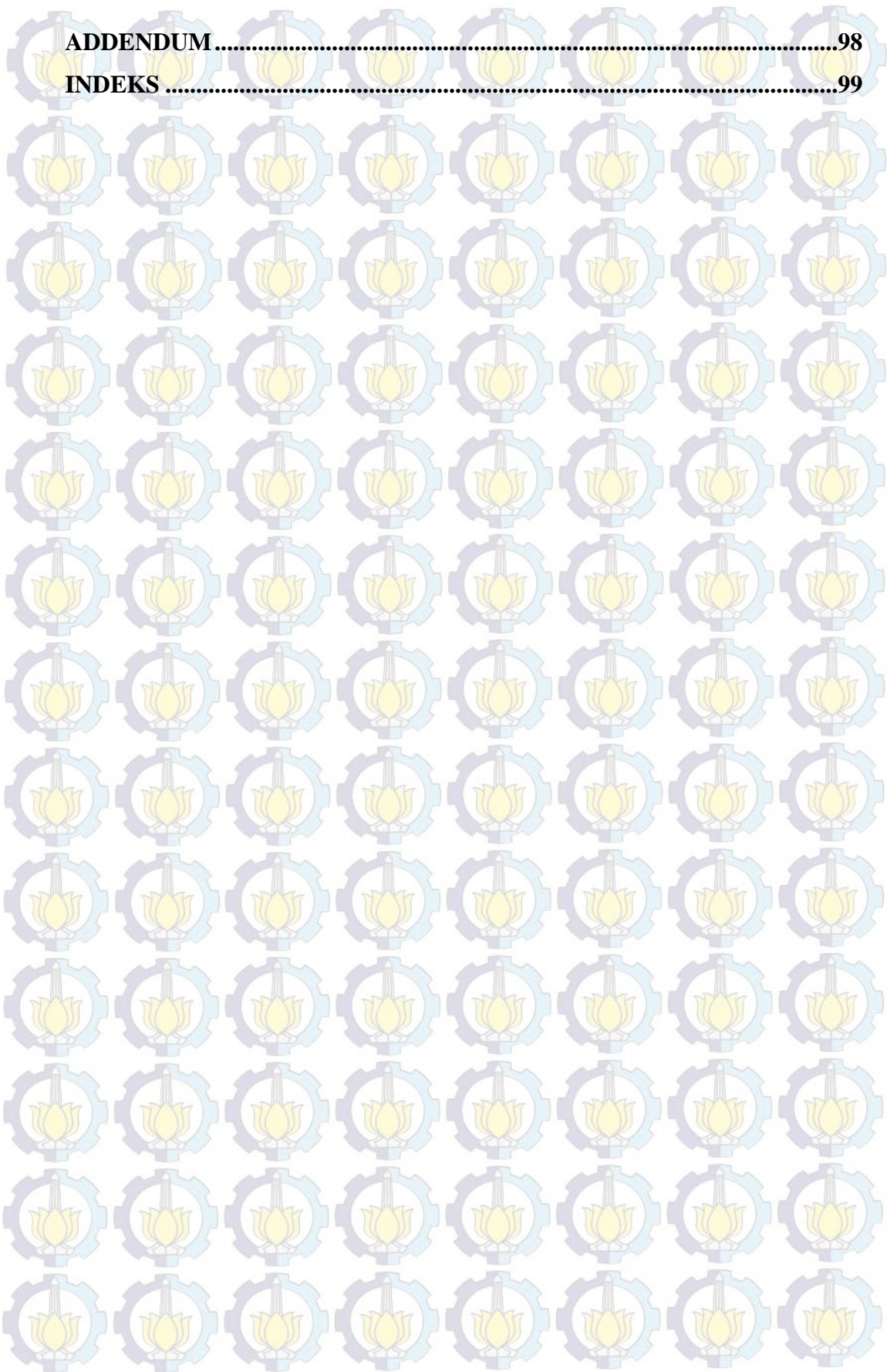
	<b>Halaman</b>
<b>JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Kontribusi Penelitian .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Road Map Penelitian.....	5
2.2 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.3 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik .....	7
2.4 Pemodelan Linier Generator Sinkron .....	8
2.5 Pemodelan Eksitasi .....	11
2.6 Pemodelan Governor .....	11
2.7 Power System Stabilizer .....	12
2.8 Pemodelan Power System Stabilizer .....	13
2.8.1. Blok Gain .....	15
2.8.2. Blok Washot Filter .....	15
2.8.3. Blok Lead-lag.....	15
2.8.4. Limiter .....	15
2.9 Reduksi Matrik Addmintansi Jaring.....	16
2.10 Konversi Koordinat Mesin ke Referensi sistem .....	19



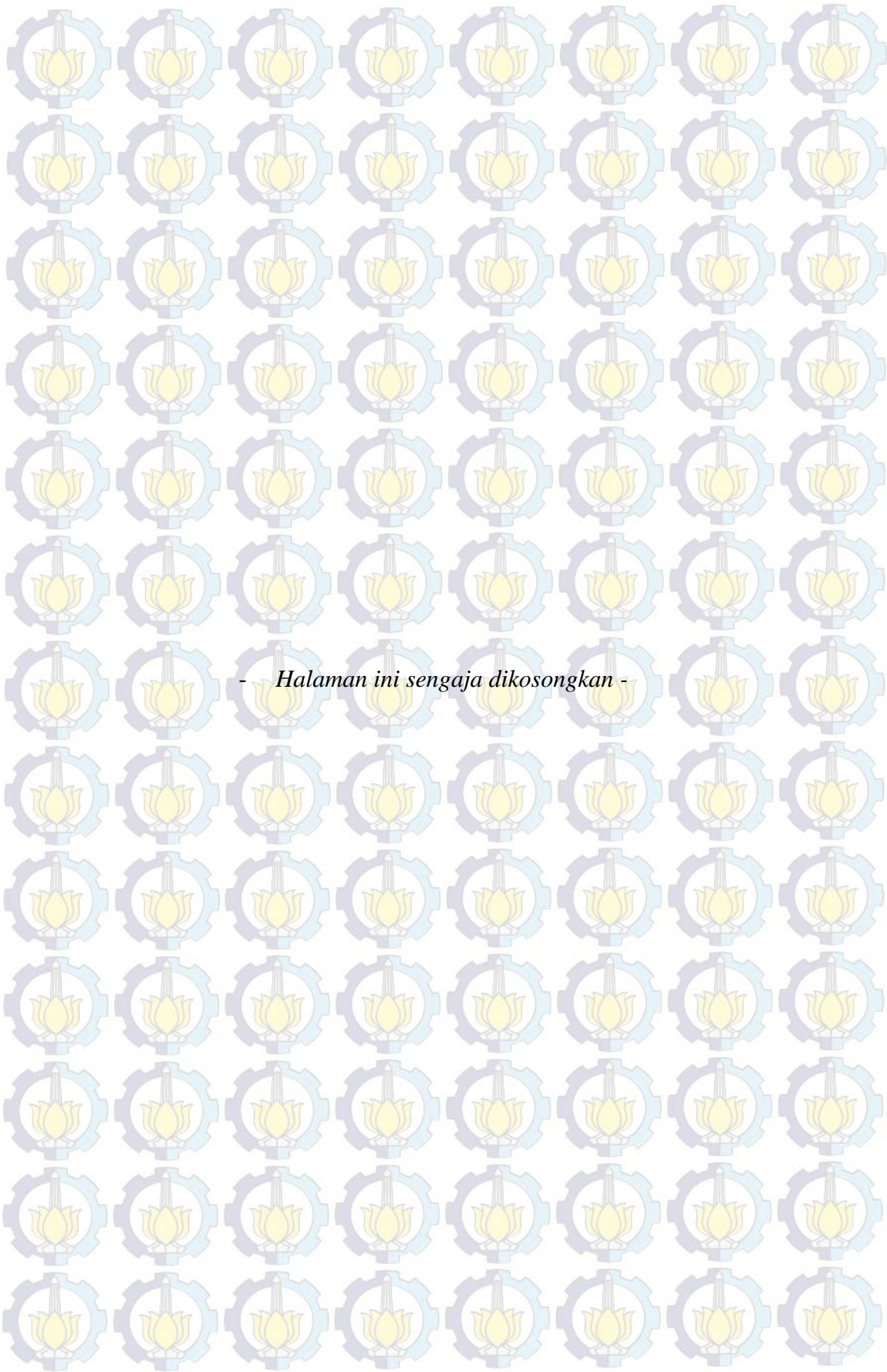
2.11 Stabilitas .....	20
2.12 Controlability dan Observability .....	22
<b>BAB 3 CUCKOO SEARCH ALGORITHM.....</b>	<b>23</b>
3.1 Cuckoo Search Algorithm .....	24
3.2 Random Walks dan Levy Flights .....	24
3.2.1. Random Walks .....	24
3.2.2. Levy Flight .....	25
3.3 Prosedur Desain Penalaan dan Penempatan PSS .....	29
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Data Sistem Kelistrikan Sulselrabar .....	33
4.1.1. Data Saluran Transmisi .....	33
4.1.2. Data Parameter Generator .....	34
4.1.3. Data Beban dan Pembangkitan .....	35
4.2 Hasil Simulasi dan Analisis.....	36
4.2.1. Analisis Data .....	37
4.2.1.1. Studi Aliran Daya .....	38
4.2.1.2. Pemodelan Sistem.....	38
4.2.1.3. Reduksi Matriks Admitansi Jaring .....	38
4.2.2. Analisis Kondisi Normal.....	38
4.2.2.1. Penempatan dan Penalaan Power System Stabilizer .....	38
4.2.2.2. Analisis dan Pembahasan.....	46
4.2.3. Analisis Kondisi Kontingensi N-1 .....	58
4.2.2.1. Penempatan dan Penalaan Power System Stabilizer .....	58
4.2.2.2. Analisis dan Pembahasan.....	64
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Penelitian Selanjutnya .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>83</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>97</b>



<b>ADDENDUM</b> .....	<b>98</b>
<b>INDEKS</b> .....	<b>99</b>

The background of the page is a repeating pattern of a light blue gear with a yellow lotus flower inside it, arranged in a grid.







## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Road Map Penelitian .....	5
Tabel 3.1	Location Index ( $P_{loc}$ ) untuk m-PSS .....	29
Tabel 4.1	Data Saluran Transmisi Sistem Sulselrabar .....	33
Tabel 4.2	Data Parameter Dinamik Generator Sistem Sulselrabar .....	34
Tabel 4.3	Data Parameter Eksitasi Sistem Sulselrabar.....	35
Tabel 4.4	Data Parameter Turbin Sistem Sulselrabar .....	35
Tabel 4.5	Data Beban Puncak Sistem Sulselrabar .....	36
Tabel 4.6	Damping Eigen Masing-Masing Generator (Kasus I).....	40
Tabel 4.7	Placement Index PSS (Kasus I).....	42
Tabel 4.8	Besar Magnitude Tegangan dan Sudut Tegangan (Kasus I).....	43
Tabel 4.9	Parameter Algoritma CSA (Kasus I) .....	44
Tabel 4.10	Batasan Nilai Parameter PSS (Kasus I).....	44
Tabel 4.11	Parameter PSS dengan Metode <i>Trial &amp; Error</i> (Kasus I) .....	45
Tabel 4.12	Hasil Penalaan Parameter PSS dengan CSA (Kasus I).....	45
Tabel 4.13	Eigenvalue Kritis (Kasus I).....	46
Tabel 4.14	Eigenvalue pada Mode Osilasi Inter-Area dan Local-Area (Kasus I).....	46
Tabel 4.15	<i>Overshoot</i> Frekuensi masing-masing Generator (Kasus I) .....	47
Tabel 4.16	<i>Damping Eigen</i> masing-masing Generator (Kasus II) .....	58
Tabel 4.17	Placement Index PSS (Kasus II) .....	60
Tabel 4.18	Besar <i>Magnitude</i> Tegangan dan Sudut Tegangan (Kasus II).....	61
Tabel 4.19	Parameter Algoritma CSA (Kasus II).....	62
Tabel 4.20	Batasan Nilai Parameter PSS (Kasus II) .....	62
Tabel 4.21	Parameter PSS dengan Metode <i>Trial &amp; Error</i> (Kasus II) .....	63
Tabel 4.22	Hasil Penalaan Parameter PSS dengan CSA (Kasus II).....	63
Tabel 4.23	Eigenvalue Kritis (Kasus II).....	64
Tabel 4.24	Eigenvalue pada Mode Osilasi Inter-Area dan Local-Area (Kasus II).....	64
Tabel 4.25	<i>Overshoot</i> Frekuensi masing-masing Generator (Kasus II).....	64



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva Hubungan Sudut Deviasi Rotor ( $\delta$ ) dan Daya ( $P$ ).....	6
Gambar 2.2	Transformasi Park .....	7
Gambar 2.3	Blok Diagram <i>Fast Exciter</i> .....	11
Gambar 2.4	Blok Diagram Governor .....	11
Gambar 2.5	Sistem Dua Area.....	13
Gambar 2.6	Blok Diagram Mesin Dengan PSS dan AVR.....	14
Gambar 2.7	Blok Diagram PSS.....	14
Gambar 2.8	Sebuah Sistem PSS pada Generator Ke- $i$ .....	16
Gambar 2.9	Matriks $Y_{BUS}$ dan Modifikasi $Y_{BUS}$ .....	18
Gambar 2.10	Matriks $Y_{red}$ .....	19
Gambar 2.11	Nilai Tegangan $V_i$ dalam Referensi Dua Frame .....	19
Gambar 2.12	Diagram Alur Persiapan Pemasangan Kontrol.....	22
Gambar 3.1	Brownian Motion.....	26
Gambar 3.2	Levy flight berturut-turut 50 step .....	26
Gambar 3.3	Diagram Alir CSA .....	28
Gambar 3.4	Representasi Prosedur Optimasi.....	30
Gambar 3.5	Diagram Alir Penyelesaian Tesis .....	31
Gambar 4.1	Single Line Sistem 150 kV Sulselrabar Kondisi Normal.....	39
Gambar 4.2	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bakar (Kasus I).....	48
Gambar 4.3	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pinrang (Kasus I).....	49
Gambar 4.4	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pare-Pare (Kasus I).....	49
Gambar 4.5	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Suppa (Kasus I) .....	49
Gambar 4.6	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Barru (Kasus I) .....	49
Gambar 4.7	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello (Kasus I).....	50
Gambar 4.8	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello Lama (Kasus I).....	50
Gambar 4.9	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sungguminasa (Kasus I).....	50
Gambar 4.10	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Jenepono (Kasus I) .....	50
Gambar 4.11	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bulukumba (Kasus I).....	51
Gambar 4.12	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sinjai (Kasus I).....	51



Gambar 4.13	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Soppeng (Kasus I).....	51
Gambar 4.14	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sengkang (Kasus I).....	51
Gambar 4.15	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Makale (Kasus I).....	52
Gambar 4.16	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Palopo (Kasus I).....	52
Gambar 4.17	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Borongloe (Kasus I).....	52
Gambar 4.18	Variasi Sudut Rotor Generator Bakarlu (Kasus I) .....	52
Gambar 4.19	Variasi Sudut Rotor Generator Pinrang (Kasus I) .....	53
Gambar 4.20	Variasi Sudut Rotor Generator Pare (Kasus I).....	53
Gambar 4.21	Variasi Sudut Rotor Generator Suppa (Kasus I).....	53
Gambar 4.22	Variasi Sudut Rotor Generator Barru (Kasus I).....	53
Gambar 4.23	Variasi Sudut Rotor Generator Tello (Kasus I) .....	54
Gambar 4.24	Variasi Sudut Rotor Generator Tello Lama (Kasus I) .....	54
Gambar 4.25	Variasi Sudut Rotor Generator Sungguminasa (Kasus I) .....	54
Gambar 4.26	Variasi Sudut Rotor Generator Jeneponto (Kasus I).....	54
Gambar 4.27	Variasi Sudut Rotor Generator Bulukumba (Kasus I) .....	55
Gambar 4.28	Variasi Sudut Rotor Generator Sinjai (Kasus I) .....	55
Gambar 4.29	Variasi Sudut Rotor Generator Soppeng (Kasus I).....	55
Gambar 4.30	Variasi Sudut Rotor Generator Sengkang (Kasus I).....	55
Gambar 4.31	Variasi Sudut Rotor Generator Makale (Kasus I).....	56
Gambar 4.32	Variasi Sudut Rotor Generator Palopo (Kasus I).....	56
Gambar 4.33	Variasi Sudut Rotor Generator Borongloe (Kasus I).....	56
Gambar 4.34	Single Line Sistem 150 kV Sulselrabar Kasus Kontingensi N-1 pada Saluran Maros-Sidrap (Kasus II) .....	57
Gambar 4.35	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bakarlu (Kasus II).....	65
Gambar 4.36	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pinrang (Kasus II).....	66
Gambar 4.37	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pare-Pare (Kasus II).....	66
Gambar 4.38	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Suppa (Kasus II) .....	66
Gambar 4.39	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Barru (Kasus II) .....	66
Gambar 4.40	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello (Kasus II).....	67
Gambar 4.41	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello Lama (Kasus II).....	67
Gambar 4.42	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sungguminasa (Kasus II)...	67



Gambar 4.43	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Jeneponto (Kasus II).....	67
Gambar 4.44	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bulukumba (Kasus II) .....	68
Gambar 4.45	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sinjai (Kasus II).....	68
Gambar 4.46	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Soppeng (Kasus II) .....	68
Gambar 4.47	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sengkang (Kasus II) .....	68
Gambar 4.48	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Makale (Kasus II) .....	69
Gambar 4.49	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Palopo (Kasus II).....	69
Gambar 4.50	Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Borongloe (Kasus II) .....	69
Gambar 4.51	Variasi Sudut Rotor Generator Bakar (Kasus II) .....	69
Gambar 4.52	Variasi Sudut Rotor Generator Pinrang (Kasus II).....	70
Gambar 4.53	Variasi Sudut Rotor Generator Pare (Kasus II).....	70
Gambar 4.54	Variasi Sudut Rotor Generator Suppa (Kasus II).....	70
Gambar 4.55	Variasi Sudut Rotor Generator Barru (Kasus II).....	70
Gambar 4.56	Variasi Sudut Rotor Generator Tello (Kasus II).....	71
Gambar 4.57	Variasi Sudut Rotor Generator Tello Lama (Kasus II) .....	71
Gambar 4.58	Variasi Sudut Rotor Generator Sungguminasa (Kasus II) .....	71
Gambar 4.59	Variasi Sudut Rotor Generator Jeneponto (Kasus II).....	71
Gambar 4.60	Variasi Sudut Rotor Generator Bulukumba (Kasus II) .....	72
Gambar 4.61	Variasi Sudut Rotor Generator Sinjai (Kasus II).....	72
Gambar 4.62	Variasi Sudut Rotor Generator Soppeng (Kasus II).....	72
Gambar 4.63	Variasi Sudut Rotor Generator Sengkang (Kasus II) .....	72
Gambar 4.64	Variasi Sudut Rotor Generator Makale (Kasus II).....	73
Gambar 4.65	Variasi Sudut Rotor Generator Palopo (Kasus II).....	73
Gambar 4.66	Variasi Sudut Rotor Generator Borongloe (Kasus II).....	73



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

$CSA$  = *Cuckoo Search Algorithm*

$ITAE$  = *Integral Time Absolute Error*

$PSS$  = *Power System Stabilizer*

$AVR$  = *Automatic Voltage Regulator*

$AI$  = *Artificial Intelligent*

$PSO$  = *Particle Swarm Optimization*

$GA$  = *Genetic Algorithm*

$P_m$  = *Daya Mekanik*

$P_e$  = *Daya Elektrik*

$GSC$  = *Governor Speed Changer*

$Y_{bus}$  = *Admitansi Bus*

$CDI$  = *Comprehensive Damping Index*

$SA$  = *Simulated Annealing*

$BA$  = *Bee Algorithm*

$P_{pla}$  = *PSS Placement Index*

$PLTU$  = *Pembangkit Listrik Tenaga Uap*

$PLTA$  = *Pembangkit Listrik Tenaga Air*

$PLTGU$  = *Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap*

$PLTD$  = *Pembangkit Listrik Tenaga Diesel*

$AP2B$  = *Area Pengatur & Penyaluran Beban*

$T_m$  = *Torka Mekanik*

$i$  = *Damping Ratio*

$Y_N$  = *Random Walks*

$L(s, x, \mu)$  = *Levy Flight*

$n$  = *Banyaknya Sarang Yang Tersedia*

$nd$  = *Banyak Variabel*

$N_{iter}$  = *Batas Iterasi Maksimum*

$tol$  = *Batas Toleransi (Stopping Criteria)*

$fitness$  = *Nilai Kualitas (F)*



$p_a$  = Peluang Burung Pemilik Sarang Menemukan Telur Cuckoo

$f(x)$  = Fungsi Objektif, dengan  $x \in \mathbb{R}^n$

$C_m^N$  = Jumlah Kemungkinan Penempatan PSS

$\zeta_{min}$  = Damping Minimum

$V_d$  = Tegangan stator sumbu  $d$

$V_F$  = Tegangan medan rotor

$V_D$  = Tegangan kumparan  $D$  rotor

$V_q$  = Tegangan stator sumbu  $q$

$V_Q$  = Tegangan kumparan  $Q$  rotor

$K$  =  $3/2$

$M_Q$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $Q$  rotor

$M_D$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $D$  rotor

$M_F$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $F$  rotor

$M_R$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $R$  dan  $D$

$L_D$  = Induktansi kumparan ekuivalen sumbu  $d$

$L_F$  = Induktansi rotor (kumparan medan)

$L_D$  = Induktansi rotor (kumparan redaman  $D$ )

$L_q$  = Induktansi kumparan ekuivalen sumbu  $q$

$L_Q$  = Induktansi rotor (kumparan redaman  $Q$ )

$(\theta_0)$  = kecepatan

$\delta$  = sudut daya

$j$  = konstanta waktu mesin

$D$  = konstanta redaman mesin

$r$  = Tahanan stator

$r_F$  = tahanan medan rotor

$r_D$  = Tahanan kumparan  $D$  rotor

$r_Q$  = Tahanan kumparan  $Q$  rotor

$i_d$  = arus stator sumbu  $d$

$i_F$  = Arus medan rotor

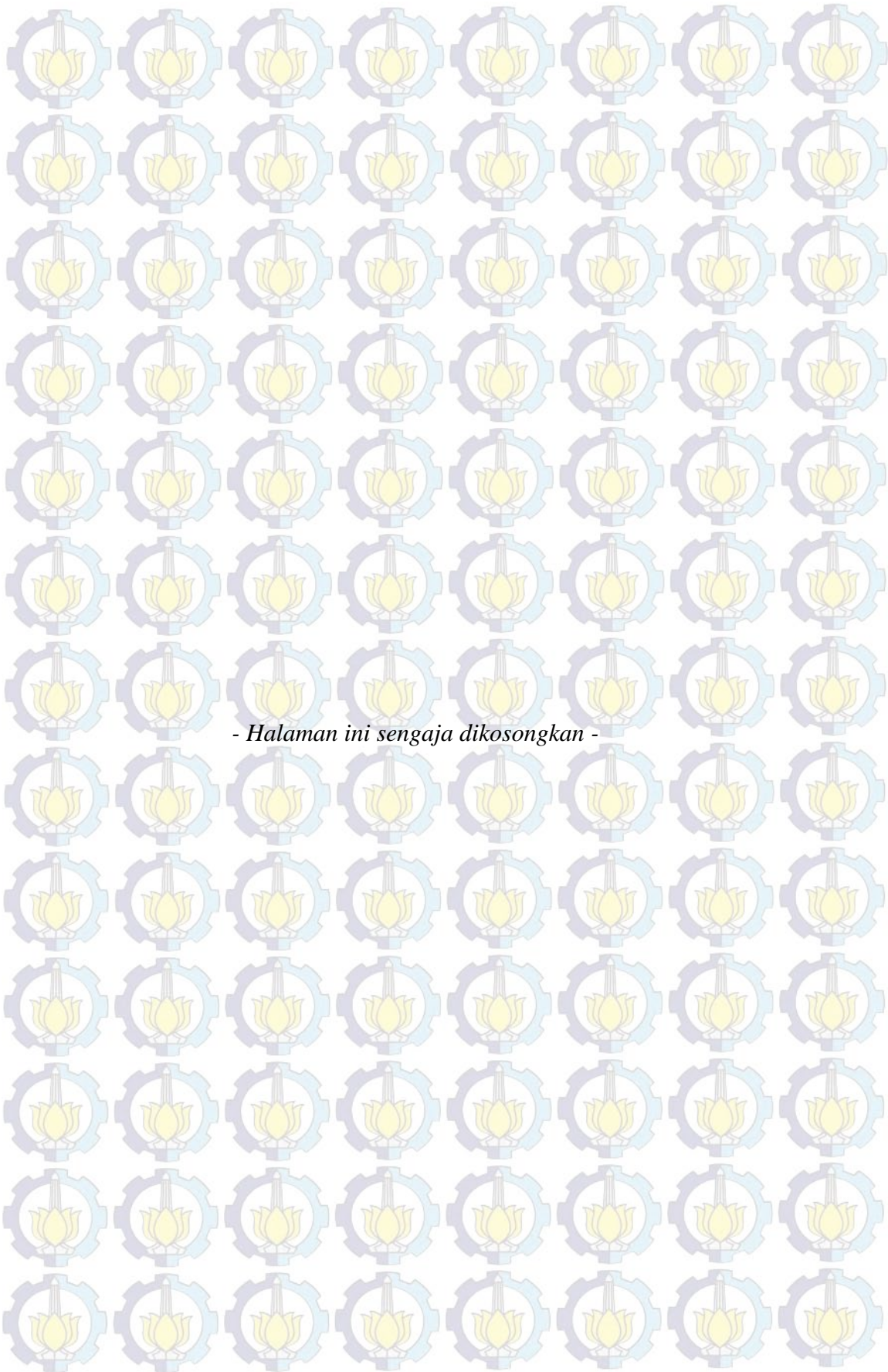
$i_D$  = arus kumparan  $D$  rotor

$i_q$  = arus stator sumbu  $q$



$i_Q$	= arus kumparaan Q rotor
$d_0$	= cakupan fluk inisial (sumbu d)
$q_0$	= cakupan fluk inisial (sumbu q)
$A$	= Matriks sistem ( $n \times n$ )
$B$	= Matriks input ( $n \times r$ )
$C$	= Matriks pengukuran ( $m \times n$ )
$D$	= Matriks input untuk output ( $m \times r$ )
$K_A$	= Gain AVR
$T_A$	= time konstran AVR
$V_t$	= Tegangan Terminal
$E_{fd}$	= Tegangan exciter
$T_w$	= Waktu konstan PSS
$K_{pss}$	= Gain PSS
$K_g$	= Konstanta Gain=1/R
$T_g$	= Governor time konstan
$R$	= Konstanta droop governor





- Halaman ini sengaja dikosongkan -

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

CSA = Cuckoo Search Algorithm  
ITAE = Integral Time Absolute Error

PSS = Power System Stabilizer  
AVR = Automatic Voltage Regulator

AI = Artificial Intelligent

PSO = Particle Swarm Optimization  
GA = Genetic Algorithm

$P_m$  = Daya Mekanik

$P_e$  = Daya Elektrik

GSC = Governor Speed Changer

$Y_{bus}$  = Admitansi Bus

CDI = Comprehensive Damping Index

SA = Simulated Annealing

BA = Bee Algorithm

$P_{pla}$  = PSS Placement Index

PLTU = Pembangkit Listrik Tenaga Uap

PLTA = Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTGU = Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap

PLTD = Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

AP2B = Area Pengatur & Penyaluran Beban

$T_m$  = Torka Mekanik

$\delta_i$  = Damping Ratio

$Y_N$  = Random Walks

$L(s, \alpha, \mu)$  = Levy Flight

$n$  = Banyaknya Sarang Yang Tersedia

$nd$  = Banyak Variabel

$N_{iter}$  = Batas Iterasi Maksimum

$tol$  = Batas Toleransi (Stopping Criteria)

$fitness$  = Nilai Kualitas ( $F$ )



$p_a$  = Peluang Burung Pemilik Sarang Menemukan Telur Cuckoo

$f(x)$  = Fungsi Objektif, dengan  $x \in \mathbb{R}^n$

$C_m^N$  = Jumlah Kemungkinan Penempatan PSS

$\zeta_{min}$  = Damping Minimum

$V_d$  = Tegangan stator sumbu  $d$

$V_F$  = Tegangan medan rotor

$V_D$  = Tegangan kumparan  $D$  rotor

$V_q$  = Tegangan stator sumbu  $q$

$V_Q$  = Tegangan kumparan  $Q$  rotor

$K$  =  $3/2$

$M_Q$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $Q$  rotor

$M_D$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $D$  rotor

$M_F$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $F$  rotor

$M_R$  = Induktansi mutual antara stator dan kumparan  $R$  dan  $D$

$L_D$  = Induktansi kumparan ekuivalen sumbu  $d$

$L_F$  = Induktansi rotor (kumparan medan)

$L_D$  = Induktansi rotor (kumparan redaman  $D$ )

$L_q$  = Induktansi kumparan ekuivalen sumbu  $q$

$L_Q$  = Induktansi rotor (kumparan redaman  $Q$ )

$(\theta_0)$  = kecepatan

$\delta$  = sudut daya

$j$  = konstanta waktu mesin

$D$  = konstanta redaman mesin

$r$  = Tahanan stator

$r_F$  = tahanan medan rotor

$r_D$  = Tahanan kumparan  $D$  rotor

$r_Q$  = Tahanan kumparan  $Q$  rotor

$i_d$  = arus stator sumbu  $d$

$i_F$  = Arus medan rotor

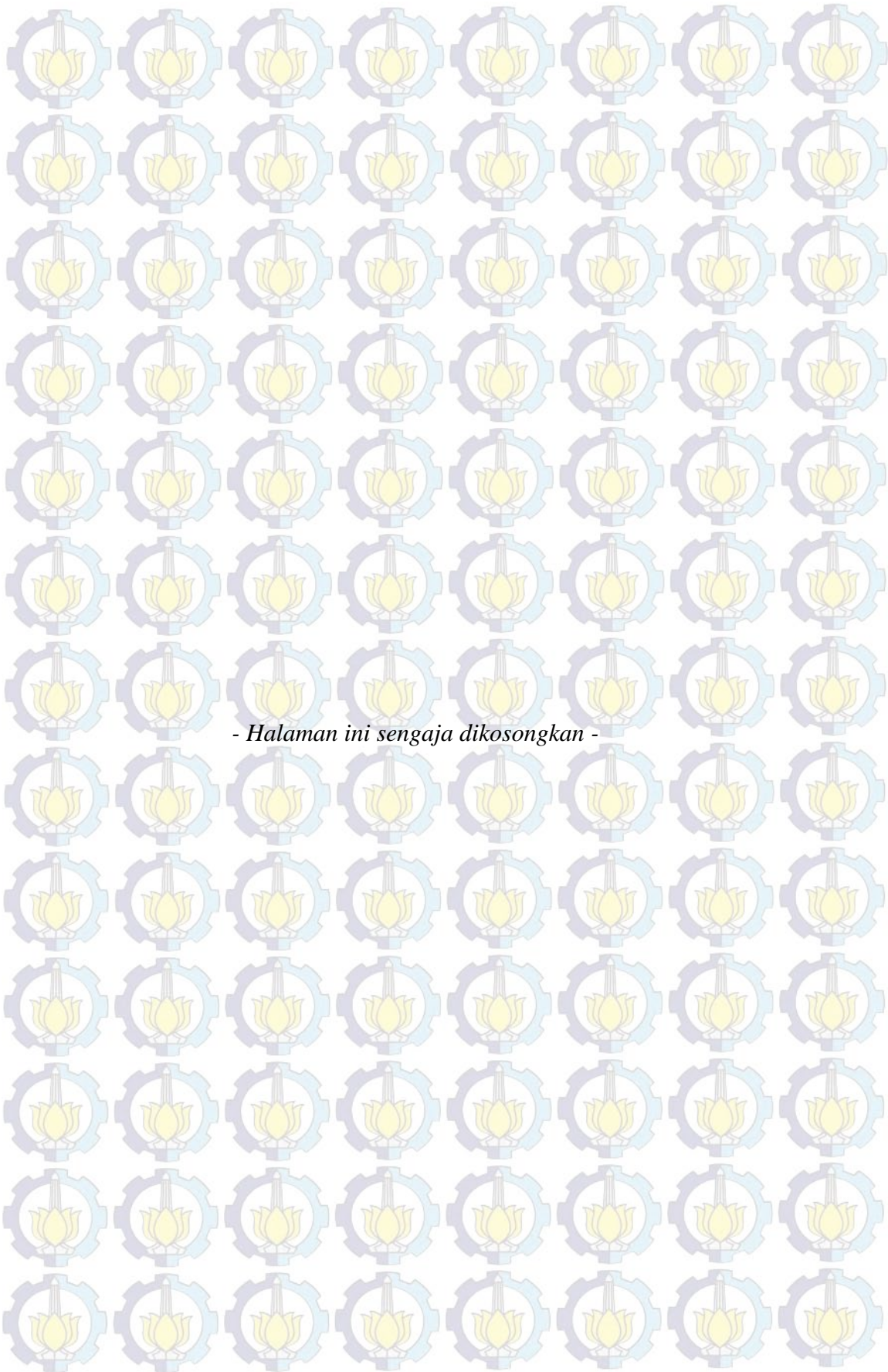
$i_D$  = arus kumparan  $D$  rotor

$i_q$  = arus stator sumbu  $q$



$i_Q$	= arus kumparaan Q rotor
$d_0$	= cakupan fluk inisial (sumbu d)
$q_0$	= cakupan fluk inisial (sumbu q)
$A$	= Matriks sistem ( $n \times n$ )
$B$	= Matriks input ( $n \times r$ )
$C$	= Matriks pengukuran ( $m \times n$ )
$D$	= Matriks input untuk output ( $m \times r$ )
$K_A$	= Gain AVR
$T_A$	= time konstran AVR
$V_t$	= Tegangan Terminal
$E_{fd}$	= Tegangan exciter
$T_w$	= Waktu konstan PSS
$K_{pss}$	= Gain PSS
$K_g$	= Konstanta Gain=1/R
$T_g$	= Governor time konstan
$R$	= Konstanta droop governor





- Halaman ini sengaja dikosongkan -



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Sebagian besar sistem tenaga listrik fungsi pengontrolannya ada pada governor dan eksiter, yang dipasang sebagai bagian dari setiap turbin generator dan peralatan eksitasi. *Power System Stabilizer (PSS)* controller tambahan juga ditambahkan pada pengatur tegangan otomatis (AVR) (Robandi,2006), fungsi dari eksiter, governor dan PSS adalah mengatur frekuensi dan tegangan terminal secara lokal atau global pada masing-masing generator. Perubahan beban yang terjadi secara tiba-tiba dan periodik tidak dapat direspon dengan baik oleh generator sehingga dapat mempengaruhi kestabilan dinamik sistem. Respon yang kurang baik dapat menimbulkan osilasi frekuensi dalam periode yang lama. Hal itu dapat mengakibatkan pengurangan kekuatan transfer daya yang dapat diatasi menggunakan peralatan tambahan yang disebut PSS (Robandi,2006).

Kestabilan dari sistem tenaga listrik yang ada, umumnya terdiri dari kestabilan steady state dan kestabilan transient. Kestabilan transient dikaitkan dengan gangguan besar yang tiba-tiba terjadi, misalkan seperti gangguan hubung singkat, pemutusan saluran, pemindahan atau pemutusan beban pada sistem. Sedangkan untuk kestabilan steady state berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali pada operating point-nya setelah gangguan kecil terjadi. Parameter sistem dikatakan stabil apabila seluruh variable keadaannya stabil, frekuensi sistem, tegangan bus, atau sudut generator. Sedangkan parameter untuk ketidakstabilan pada sistem seperti tegangan pada beberapa bus turun drastis jauh dari kondisi normal sehingga memungkinkan terjadi gagal tegangan.

Untuk mengatasi hal ini, diperlukan kontroler tambahan PSS. Dalam masalah penggunaan PSS ini, ada beberapa masalah yang sering muncul, yaitu penempatan dan penalaan parameter PSS yang tepat. Untuk mengatasi masalah desain PSS tersebut, penulis menggunakan metode komputasi cerdas (*Computational Intelligence*) burung cuckoo, *Cuckoo Search Algorithm (CSA)*,



untuk memperoleh kinerja dari PSS yang tepat dalam mengatasi permasalahan kestabilan di sistem 150 kV Sulselrabar.

Dalam penelitian ini ada dua studi kasus yang digunakan untuk meninjau kinerja dari sistem yaitu : kondisi sistem normal dan kondisi kontingensi N-1 (*Contingency N-1*) pada saluran jalur tengah Sidrap - Maros. Metode yang digunakan di sini menggunakan metode komputasi cerdas *CSA*. *CSA* merupakan salah satu metode cerdas yang mengadopsi perilaku atau kebiasaan hidup sehari-hari burung cuckoo yang sangat parasit dalam menempatkan telurnya. Kebiasaan parasit ini diadopsi dan digunakan untuk menyelesaikan sebuah permasalahan optimisasi. Selain itu metode ini merupakan algoritma heuristik baru di mana berdasarkan hasil studi awalnya menunjukkan performansi pencarian yang lebih bagus dari algoritma heuristik lain seperti *Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)* maupun *Algoritma Genetik (GA)* (Hardy,2013). Oleh karena itu, pada penelitian ini, metode *CSA* diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan Penempatan dan Penalaan PSS pada Sistem kelistrikan 150 kV Sulawesi Selatan, Tenggara dan Barat (Sulselrabar).

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti yaitu :

1. Bagaimana metode *Computational Intelligence* pada penelitian ini dengan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* dapat digunakan untuk optimisasi Penempatan dan Penalaan PSS pada sistem Sulselrabar.
2. Bagaimana menganalisis kestabilan sistem Sulselrabar dengan dua studi kasus yang digunakan yaitu, kondisi sistem normal dan kondisi kontingensi N-1 pada saluran jalur tengah Maros-Sidrap.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

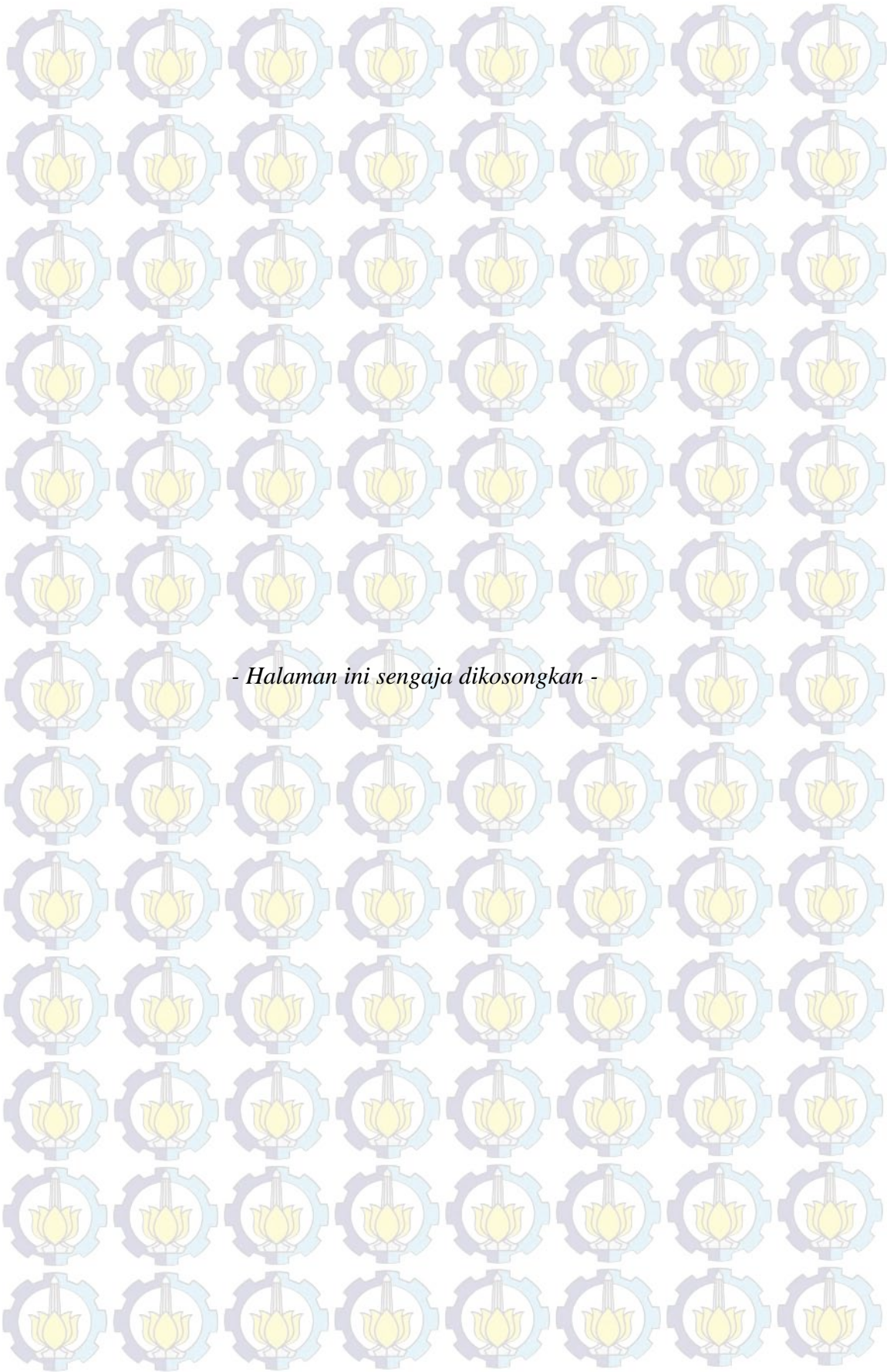
1. Menggunakan metode *Cuckoo Search Algorithm* sebagai metode optimisasi Penempatan dan Penalaan PSS.
2. Mencari Penempatan dan Penalaan PSS yang optimal dengan dua studi kasus yang digunakan.



#### **1.4. Kontribusi penelitian**

Akhir dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap sistem kelistrikan di Sulselrabar dalam hal meninjau masalah kestabilan sistem, sehingga dapat juga digunakan untuk perencanaan sistem untuk yang akan datang. Selain itu, tentu diharapkan tesis ini menambah pengetahuan tentang penggunaan metode cerdas untuk menyelesaikan masalah optimisasi, baik itu untuk bidang operasi sistem tenaga listrik, maupun bidang lain.





*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Road Map Penelitian

Sebelumnya sudah ada penelitian yang membahas tentang optimisasi *PSS*, baik metode konvensional maupun dengan kecerdasan buatan (*Computational Intelligence*). Table 2.1 berikut menunjukkan Road Map penelitian.

Tabel 2.1 Road Map Penelitian

Metode	Pengarang
Probabilistic Analysis	(Wang,1998)
Participation Factor	(Yuan,1988; Ostojic,1988; Hardiansyah,1996; Devandra,2011; Ragavendiran,2012; Hassan,2014)
Eigenvalue Analysis	(Liu,2004; Chun,2006; Yeu,2009; Devandra,2011)
Eigensolution	(Qisheng,2005)
Participation Factor And Residue	(Razali,2006; Yuan,2008)
Normal Form Theory	(Shu,2006)
Genetic Algorithm (GA)	(Khan,2008; Alkhatib,2008)
Honey Bee Mating Optimization (HBMO)	(Ghasemi,2011; Shayeghi,2013)
Particle Swarm Optimization (PSO)	(Eslami,2011; Mostafa,2012; (Stativ,2012; Eslami,2012)
Probabilistic Eigenanalysis & Mean Variance Mapping Optimization (MVMO)	(Rueda,2012)
Optimum Placement Location Index (OPLI)	(Debasish,2010; Ariyo,2012)
Sensitivitas Theory	(Mahabuba,2013)
Principal Component Analysis	(Kamalasadan,2013)
Fuzzy Takagi–Sugeno (TS)	(Keumarsi,2014)
Cuckoo Search Algorithm	Belum Ada

### 2.2. Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

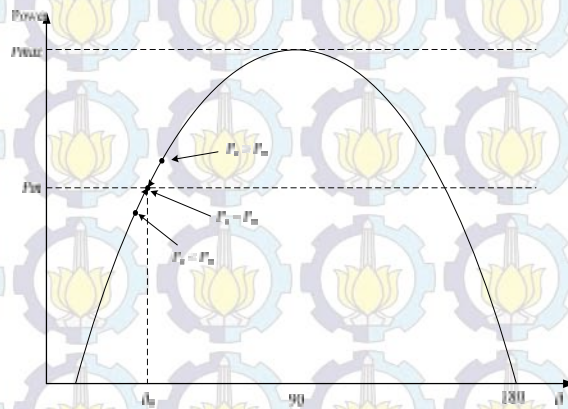
Secara umum kestabilan sistem tenaga dapat dibedakan menjadi tiga kondisi, yaitu kestabilan *steady-state*, *transient*, dan dinamik (Robandi,2006).

Secara konsep kestabilan dinamik dan kestabilan *steady-state* adalah sama, yang membedakan keduanya adalah hanya berbeda dalam rincian yang digunakan untuk membuat model mesin. Teknik penyelesaian masalah kestabilan *transient*



dan dinamis adalah dengan menyelidiki kestabilan sistem itu terhadap perubahan kecil (*incremental*) di sekitar titik kesetimbangan. Pada Gambar 2.1 hubungan antara sudut deviasi rotor dari titik operasi *steady state* ( $\delta$ ) dan daya ( $P$ ).

- Bila  $P_e < P_m$  ( $\delta > \delta_0$ ) maka rotor akan mengalami perlambatan
- Bila  $P_e > P_m$  ( $\delta < \delta_0$ ) maka rotor akan mengalami percepatan



Gambar 2.1 Kurva Hubungan Sudut Deviasi Rotor ( $\delta$ ) dan Daya ( $P$ )

Dari Gambar 2.1 dapat ditulis dalam Persamaan 2.1 sebagai berikut,

$$P_e = \frac{E'_g E_0}{X} \sin \delta_0 \quad (2.1)$$

dengan,

$P_e$  = Daya aktif yang disalurkan

$X$  = Reaktansi transmisi dari terminal generator sampai *infinite bus*

$E'_g$  = Tegangan internal generator

$E_0$  = Tegangan *infinite bus*

$\delta_0$  = Sudut antara tegangan internal generator dengan *infinite bus*

Jika terjadi perubahan disisi beban, akan menyebabkan perubahan frekuensi dan tegangan sistem. Hal ini sesuai (Kundur,2003),

$$P_m - P_e = M \frac{d\delta}{dt} \quad (2.2)$$

bila  $P_m > P_e \Rightarrow \frac{d\delta}{dt} > 0$ , sehingga  $\omega$  akan naik dan  $f$  juga naik

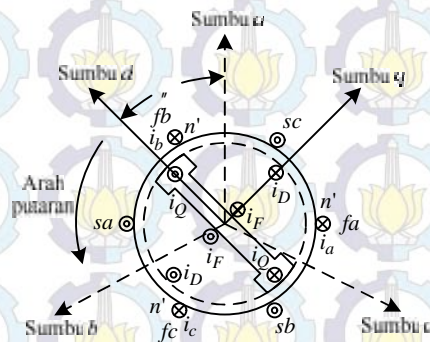
bila  $P_m < P_e \Rightarrow \frac{d\delta}{dt} < 0$ , sehingga  $\omega$  akan turun dan  $f$  juga turun

bila  $P_m = P_e \Rightarrow \frac{d\delta}{dt} = 0$ , sehingga  $\omega$  akan konstan dan  $f$  juga konstan



### 2.3. Pemodelan Sistem Tenaga Listrik (Anderson,2003)

Terdapat dua macam pemodelan sistem, yaitu pemodelan nonlinier, untuk sistem yang akan dianalisis berdasarkan responnya terhadap gangguan *transient* dan pemodelan Linier untuk menganalisis pengaruh sistem terhadap gangguan dinamik yang terjadi. Untuk memodelkan generator sinkron dalam persamaan matematis dapat melalui Transformasi Park. Model tersebut dibuat dengan asumsi sebagai berikut, seperti tahanan stator diabaikan, sistem dianggap seimbang dan kejenuhan inti pada generator diabaikan, serta beban diasumsi beban statik. Mesin sinkron dapat direpresentasikan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Transformasi Park

Dari Gambar 2.1 dapat diperoleh Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4,

$$P_e = \frac{E'_s E_0}{X} \sin \delta_0$$

$$i_{qaxis} = \left(\frac{2}{3}\right) \left[ i_a \sin \delta + i_b \sin \left( \delta - \frac{2f}{3} \right) + i_c \sin \left( \delta + \frac{2f}{3} \right) \right] \quad (2.3)$$

$$i_{daxis} = \left(\frac{2}{3}\right) \left[ i_a \cos \delta + i_b \cos \left( \delta - \frac{2f}{3} \right) + i_c \cos \left( \delta + \frac{2f}{3} \right) \right] \quad (2.4)$$

Efek dari penggunaan Transformasi Park dapat menyederhanakan transformasi semua nilai besaran stator dari fasa *a, b, c*, ke dalam suatu besaran baru yang berada dalam lingkup sama dengan nilai yang berubah berubah mengikuti perubahan rotor. Perlu dipahami bahwa disebabkan pada besaran yang baru hanya terdiri dari komponen *d* dan *q*, sedangkan untuk besaran yang sebelumnya terdapat komponen *a, b*, dan *c*. Maka untuk melakukan suatu transformasi arus



misalnya dari  $i_a$ ,  $i_b$ , dan  $i_c$  diperlukan suatu komponen baru yang kita definisikan dengan komponen urutan nol pada besaran yang baru ini. Sehingga,

$$i_{0dq} = P i_{abc} \quad (2.5)$$

Dengan  $i_{0dq}$  dan  $i_{abc}$  merupakan suatu besaran vektor

$$i_{0dq} = \begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} \text{ dan } i_{abc} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Besaran  $P$  merupakan suatu konstanta yang dinyatakan dalam Persamaan 2.7

$$P = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos \theta & \cos \left( \theta - \frac{2f}{3} \right) & \cos \left( \theta + \frac{2f}{3} \right) \\ \sin \theta & \sin \left( \theta - \frac{2f}{3} \right) & \sin \left( \theta + \frac{2f}{3} \right) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

#### 2.4. Pemodelan Linier Generator Sinkron (Anderson,2003)

Untuk memperoleh model linier dari mesin sinkron, perlu dipahami terlebih dahulu bentuk persamaan nonlinier yang terdapat pada mesin sinkron. Terdapat dua macam model persamaan nonlinier pada mesin sinkron yaitu perkalian nonlinear dan fungsi trigonometri. Dalam proses melakukan linearisasi pada suatu model kita memerlukan nilai inialisasi awal. Misalkan untuk memodelkan generator digunakan vektor state space  $x$  maka untuk inialisasi awal kita menggunakan variabel  $x_0$  pada waktu  $t = t_0$ . Misalkan model arus :

$$x_0^t = [i_{d0} i_{F0} i_{D0} i_{q0} i_{Q0} \check{S}_0 u_0] \quad (2.8)$$

Ketika terjadi gangguan yang kecil pada  $t = t_0^+$  maka titik kerja akan bergeser dari kondisi awal sesuai dengan Persamaan 2.9,

$$x = x_0 + x_\Delta \quad (2.9)$$

Nilai dari  $x_0$  tidak harus konstan, tetapi besarnya harus diketahui. Berdasarkan pada model dari *state space* maka dapat dituliskan dalam bentuk Persamaan 2.10,

$$\dot{x} = f(x, t) \quad (2.10)$$

Dengan mengubah nilai  $x$  pada Persamaan 2.10 maka,



$$\dot{x}_0 + \dot{x}_\Delta = f(x_0 + x_\Delta, t) \quad (2.11)$$

Apabila Persamaan 2.11 tersebut dijabarkan, dengan menghilangkan bagian orde kedua yang dianggap bernilai kecil, misalnya nilai  $x_i$   $x_j$  yang sangat kecil. Maka,

$$\dot{x}_0 + \dot{x}_\Delta \cong f(x_0, t) + A(x_0)x_\Delta + B(x_0)u \quad (2.12)$$

Kemudian dilakukan linierisasi sehingga menghasilkan Persamaan 2.13.

$$\dot{x}_\Delta = A(x_0)x_\Delta + B(x_0)u \quad (2.13)$$

Nilai dari elemen matriks A bergantung dari nilai awal dari vektor  $x_0$ . Untuk studi dinamik, maka nilai ini dipertimbangkan konstan. Unsur-unsur dinamik sistem digambarkan sesuai dengan Persamaan (2.13) yang dihitung dari eigenvalue natural dari matrik A. State space akan berada dalam suatu n-dimensi. Model linear dari generator sinkron dinyatakan dalam persamaan sumbu  $d$  (dalam pu).

$$v_d = -ri_d - \check{S}L_q i_q - k\check{S}M_Q i_Q - L_d i_d - kM_F i_F - M_D i_D \quad (2.14)$$

Dengan  $r = r_a = r_b = r_c$  adalah tahanan stator,  $L_d$  dan  $L_q$  adalah induktansi rotor,  $M_d$  dan  $M_q$  adalah *mutual inductance*. Selanjutnya proses linearisasi dituliskan :

$$(v_{d0} + v_{d\Delta}) = -r(i_{d0} + i_{d\Delta}) - (\check{S}_0 + \check{S}_\Delta)L_q(i_{q0} + i_{q\Delta}) - k(\check{S}_0 + \check{S}_\Delta)M_Q(i_{Q0} + i_{Q\Delta}) - L_d(i_{d0} + i_{d\Delta}) - kM_F(i_{F0} + i_{F\Delta}) - kM_D(i_{D0} + i_{D\Delta}) \quad (2.15)$$

Apabila persamaan di atas diuraikan maka akan terbentuk Persamaan 2.16.

$$(v_{d0} + v_{d\Delta}) = (-ri_{d0} - \check{S}_0 L_q i_{q0} - k\check{S}_0 M_Q i_{Q0} - L_d i_{d0} - kM_F i_{F0} - kM_D i_{D0}) - (ri_{d\Delta} - \check{S}_0 L_q i_{q\Delta} - i_{q0} L_q \check{S}_\Delta - \check{S}_0 kM_Q i_{Q\Delta} - i_{Q0} kM_Q \check{S}_\Delta - L_d i_{d\Delta} - kM_F i_{F\Delta} - kM_D i_{D\Delta}) \quad (2.16)$$

Bagian pada sisi kanan yang dikurung merupakan komponen  $v_{d0}$  sedangkan untuk komponen  $v_{d\Delta}$  dapat disederhanakan sebagai berikut,

$$v_{d\Delta} = -ri_{d\Delta} - \check{S}_0 L_q i_{q\Delta} - \check{S}_0 kM_Q i_{Q\Delta} - (i_{q0} L_q + i_{Q0} kM_Q) \check{S}_\Delta - L_d i_{d\Delta} - kM_F i_{F\Delta} - kM_D i_{D\Delta} \quad (2.17)$$

Sehingga persamaan di 2.17 menjadi,

$$v_{d\Delta} = -ri_{d\Delta} - \check{S}_0 L_q i_{q\Delta} - \check{S}_0 kM_Q i_{Q\Delta} - \check{S}_\Delta (i_{q0} L_q + i_{Q0} kM_Q) - L_d i_{d\Delta} - kM_F i_{F\Delta} - kM_D i_{D\Delta} \quad (2.18)$$

Maka, dapat dilakukan proses linierisasi pada persamaan di sumbu  $q$ .

$$v_{q\Delta} = \check{S}_0 L_d i_{d\Delta} + \check{S}_0 kM_F i_{F\Delta} + \check{S}_0 kM_D i_{D\Delta} + (i_{d0} L_d + i_{F0} kM_F + i_{D0} kM_D) \check{S}_\Delta - (ri_{q\Delta} - L_q i_{q\Delta} - kM_Q i_Q) \quad (2.19)$$



Sehingga dapat disederhanakan menjadi,

$$v_{q\Delta} = \check{S}_0 L_d i_{d\Delta} + \check{S}_0 k M_F i_{F\Delta} + \check{S}_0 k M_D i_{D\Delta} + \check{S}_{d0} \check{S}_\Delta - r i_{q\Delta} - L_q i_{q\Delta} - k M_Q i_{Q\Delta} \quad (2.20)$$

Linearisasi persamaan medan dan damper winding sebagai berikut,

$$-v_{F\Delta} = -r_F i_{F\Delta} - k M_F i_{d\Delta} - L_F i_{F\Delta} - M_R i_{D\Delta} \quad (2.21)$$

$$0 = -r_D i_{D\Delta} - k M_D i_{d\Delta} - M_R i_{F\Delta} - L_D i_{D\Delta} \quad (2.22)$$

$$0 = -r_Q i_{Q\Delta} - k M_Q i_{q\Delta} - L_Q i_{Q\Delta} \quad (2.23)$$

Linearisasi persamaan torka,

$$\begin{aligned} \dagger_j \check{S}_\Delta = & \left( \frac{1}{3} \right) (-L_d i_{q0} i_{d\Delta} - L_d i_{d0} i_{q\Delta} - k M_F i_{q0} i_{F\Delta} - k M_F i_{F0} i_{q\Delta} - k M_D i_{q0} i_{D\Delta} - \\ & k M_D i_{D0} i_{q\Delta} + L_q i_{d0} i_{q\Delta} + L_q i_{q0} i_{d\Delta} + L_q i_{q0} i_{d\Delta} + k M_Q i_{d0} i_{Q\Delta} + k M_Q i_{Q0} i_{d\Delta}) - \\ & D \check{S}_\Delta + T_{m\Delta} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Dapat juga dituliskan sebagai,

$$\begin{aligned} \dagger_j \check{S}_\Delta = & T_{m\Delta} - \left( \frac{1}{3} \right) ((L_d i_{q0} - \check{S}_{q0}) i_{d\Delta} + (\check{S}_{d0} - L_q i_{d0}) i_{q\Delta} - k M_F i_{q0} i_{F\Delta} - \\ & k M_D i_{q0} i_{D\Delta} + k M_Q i_{d0} i_{Q\Delta}) - D \check{S}_\Delta \end{aligned} \quad (2.25)$$

Dengan persamaan perubahan sudut rotor generator diberikan pada 2.26,

$$\dot{u}_\Delta = \check{S}_\Delta \quad (2.26)$$

Persamaan linear generator sinkron diatas dapat ditulis dalam model matriks :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta v_d \\ -\Delta v_F \\ 0 \\ \Delta v_q \\ 0 \\ \Delta T_m \\ 0 \end{bmatrix} = & - \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & \check{S}_0 L_q & \check{S}_0 k M_Q & \check{S}_{q0} & 0 \\ 0 & r_F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\check{S}_0 L_d & -\check{S}_0 k M_F & -\check{S}_0 k M_D & r & 0 & -\check{S}_{d0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q & 0 & 0 \\ \check{S}_{q0} - L_d i_{q0} & -k M_F i_{q0} & -k M_D i_{q0} & -k M_Q i_{d0} & k M_Q i_{d0} & -D & 0 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_F \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \check{S} \\ \Delta u \end{bmatrix} \\ - & \begin{bmatrix} L_d & k M_F & k M_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k M_F & L_F & M_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k M_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & k M_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k M_Q & L_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\dagger_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_d \\ \Delta i_F \\ \Delta i_D \\ \Delta i_q \\ \Delta i_Q \\ \Delta \check{S} \\ \Delta u \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.27)$$

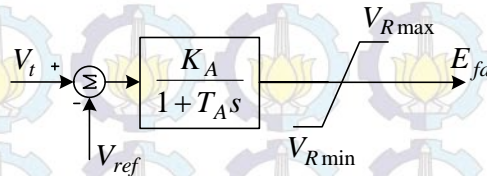


## 2.5. Pemodelan Eksitasi (Anderson,2003; Robandi,2006)

Sistem eksitasi merupakan peralatan yang digunakan untuk mengatur variabel output generator, seperti tegangan, arus dan faktor daya. Variabel itu diatur melalui pengaturan fluks medan pada generator. Dalam penelitian ini jenis eksitasi yang digunakan adalah jenis *fast exciter* yang mempunyai respon cepat.

$$E_{fd} = K_A (V_t - V_{ref}) / (1 - T_A s) \quad (2.28)$$

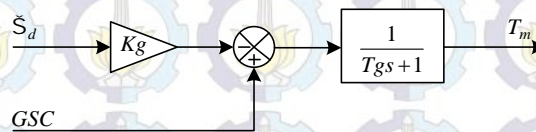
$K_A$  merupakan parameter penguatan dan  $T_A$  merupakan nilai konstanta waktu. Nilai output dari exciter dibatasi menggunakan blok saturasi,  $V_{Rmin} < E_{fd} < V_{Rmax}$ . Model exciter dalam bentuk blok diagram dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blok Diagram *Fast Exciter*

## 2.6. Pemodelan Governor (Anderson,2003; Robandi,2006)

Besar perubahan torka mekanik  $T_m$  tergantung pada konstanta *speed drop*, *transfer function* governor, dan sumber energi. Perubahan nilai  $T_m$  dihasilkan oleh perubahan kecepatan, perubahan beban dan *speed reference* (*Governor Speed Changer-GSC*). Apabila terjadi perubahan putaran rotor generator, maka governor akan memberikan umpan balik untuk mencapai keseimbangan baru. Bentuk diagram blok dari Governor ditampilkan pada Gambar 2.4. Terlihat pada Gambar bahwa perubahan dari  $\dot{S}_d$  dapat menghasilkan perubahan torsi mekanik mesin  $T_m$ .



Gambar 2.4 Blok Diagram Governor

Dalam model ini, diasumsikan nilai GSC adalah nol ( $GSC=0$ ) dan efek penggabungan sistem turbin dengan speed governor menghasilkan daya mekanik  $P_m$  yang dapat dirumuskan pada Persamaan 2.29 berikut,

$$P_m = - \left[ \frac{K_g}{(1 + T_g s)} \right] \dot{S}_d \quad (2.29)$$



Dengan,

$K_g$  = Konstanta Gain= $1/R$

$T_g$  = Governor time konstan

$R$  = Konstanta droop governor

## 2.7. Power System Stabilizer (Robandi,2006)

Berikut ini tinjauan singkat dari konsep dasar tentang kestabilan. Sistem daya secara umum dapat digambarkan sebagai sebuah persamaan aljabar dan persamaan diferensial nonlinear sebagai berikut,

$$d \frac{x}{dt} = \dot{x} = f(x, z) \quad (2.30)$$

$$y = h(x, z) \quad (2.31)$$

$$0 = y(y, z) \quad (2.32)$$

$x$  adalah variabel keadaan,  $y$  adalah injeksi daya aktif dan reaktif, dan  $z$  adalah besaran tegangan dan sudut rotor. Ketidakstabilan osilatori dapat dilihat sebagai posisi ketidakstabilan pada titik operasi sistem tenaga akibat gangguan kecil dan random. Analisis dapat dilakukan dengan melinearakan sistem persamaan di sekitar titik operasi dengan kondisi  $x=x(0)$ ,  $y=y(0)$ , dan  $z=z(0)$ , yang dinyatakan dengan,

$$x = x(0) + \Delta x \quad (2.33)$$

$$y = y(0) + \Delta y \quad (2.34)$$

$$z = z(0) + \Delta z \quad (2.35)$$

sehingga diperoleh persamaan state space berikut,

$$\Delta \dot{x} = \mathbf{A} \Delta x \quad (2.36)$$

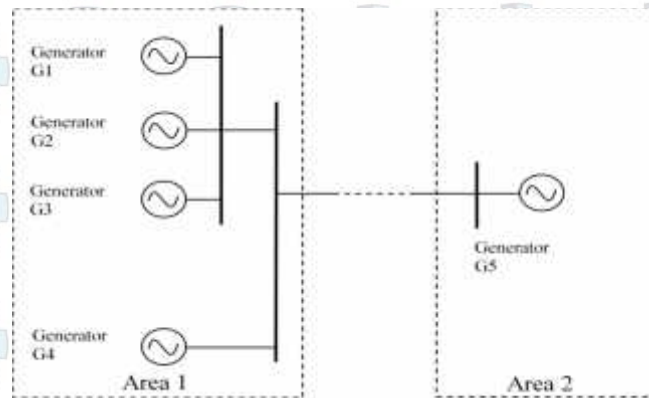
$\Delta x$  adalah variabel sistem berdimensi  $n \times 1$  dan  $\mathbf{A}$  adalah matriks sistem.

Kestabilan titik operasi dapat ditentukan dari lokasi eigenvalue matriks  $\mathbf{A}$ . Jika seluruh bagian nyata dari eigenvalue tersebut negatif maka sistem dinyatakan stabil. Jika eigenvalue mempunyai satu atau lebih bagian nyata yang positif, maka sistem dinyatakan tidak stabil. Berikut variasi mode dikelompokkan dalam 3 kategori (Robandi,2006),

- a. Mode Intra-plant bertempat hanya pada sebuah generator dalam sebuah plant yang berpartisipasi. Frekuensi osilasi mode ini, antara 1,5 - 3,0 Hz.



- b. Mode Lokal tempat beberapa generator dalam area tersebut yang berpartisipasi. Frekuensi osilasi pada mode ini adalah antara 0,8 - 1,8 Hz.
- c. Mode Interarea tempat banyak generator dalam area yang luas yang berpartisipasi. Frekuensi osilasi pada mode ini adalah kisaran 0,2 - 0,5 Hz.



Gambar 2.5 Sistem Dua Area

Area 2 menggambarkan generator tunggal  $G_5$ . Area 1 mempunyai 4 generator  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ , dan  $G_4$ . Generator  $G_1$ ,  $G_2$ , dan  $G_3$  dihubungkan secara paralel dan berpartisipasi dalam osilator intra-plant yang mempunyai frekuensi lebih tinggi, dan hasil reaksi lebih rendah diantara 3 mesin dan juga inersi yang lebih kecil. Ketidakstabilan timbul pada torque redaman negatif yang disebabkan oleh *exciter* aksi cepat di bawah kondisi operasi konstanta  $K_5 < 0$  (berharga negatif). Oleh sebab hal itu, tujuan pemasangan PSS di sini adalah memberikan torque redaman tambahan tanpa mempengaruhi torque sinkron.

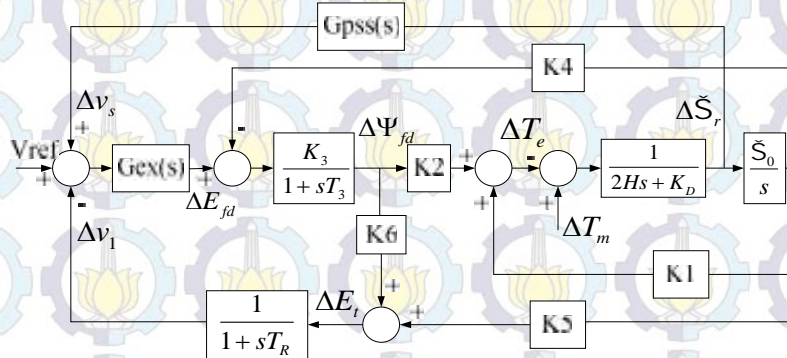
## 2.8. Pemodelan Power System Stabilizer (Robandi,2006; Kundur,1994)

PSS banyak digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk memperbaiki kestabilan dinamik. PSS digunakan sebagai kontroler sistem eksitasi untuk menambahkan redaman pada osilasi rotor. Untuk menghasilkan komponen redaman PSS memproduksi komponen torsi elektris yang sesuai dengan deviasi pada kecepatan rotor. PSS harus ditala dengan tepat, untuk membantu *exciter* dalam meredam osilasi dapat digambarkan dalam Gambar 2.6.

PSS menerima input berupa perubahan kecepatan rotor untuk menghasilkan sinyal tambahan sebagai kontroler *exciter*. *Exciter* mempengaruhi



besar tegangan medan yang dihasilkan pada sisi rotor dan mempengaruhi besar fluks magnetik yang dibangkitkan. Fluks magnetik berbanding lurus dengan besar torka elektrik yang dihasilkan pada mesin. Torka elektrik melawan besar torka mekanik mesin untuk meredam osilasi frekuensi yang terjadi pada mesin (Kundur,1994).

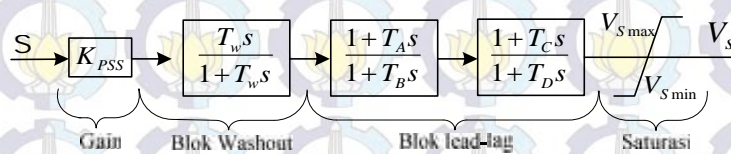


Gambar 2.6 Blok Diagram Mesin Dengan PSS dan AVR

Agar dapat berfungsi dengan baik, PSS harus ditala dengan tepat. Metode desain PSS secara umum melibatkan frekuensi respon yang berdasarkan pada konsep peningkatan redaman torsi. Transfer function PSS ditala untuk menyediakan karakteristik *phase-lead* yang tepat untuk mengkompensasi *phase-lag* antara referensi input automatic voltage regulator  $U_v$ , dan torsi elektrik (Kundur,1994). Sehingga, komponen torsi elektrik sephasa dengan variasi kecepatan untuk memperbaiki redaman. Dengan menggunakan model matematika PSS, yang sederhana, sehingga model matematika PSS dapat ditulis.

$$V_s = K_{pss} \frac{T_w s}{1 + T_w s} \left[ \frac{(1 + sT_A)(1 + sT_C)}{(1 + sT_B)(1 + sT_D)} \right] \xi \quad (2.37)$$

Dengan mengasumsikan bahwa output dari PSS adalah  $V_s$  dengan input  $\xi$ , maka Persamaan 2.37 dapat ditulis dalam diagram blok pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Blok Diagram PSS



### 2.8.1. Blok *Gain*

Sinyal input untuk PSS dapat diambil dari berbagai macam sinyal seperti perubahan rotor, keluaran daya elektrik, atau frekuensi terminal bus. Salah satunya adalah blok gain, sinyal input akan melewati blok gain ini. *Gain* berfungsi untuk mengatur besar penguatan agar diperoleh besaran torsi sesuai dengan yang diinginkan. Blok ini merupakan penguat yang menentukan besarnya redaman yang diberikan oleh PSS.

### 2.8.2. Blok *Washot Filter*

*Washout filter* berfungsi untuk menyediakan bias *steady state* output PSS yang akan memodifikasi tegangan terminal generator. PSS diharapkan hanya dapat merespon variasi *transient* dari sinyal kecepatan rotor generator dan tidak untuk sinyal DC offset. *Washout filter* bekerja sebagai *high pass filter* yang akan melewatkan semua frekuensi yang diinginkan. Apabila hanya mode lokal yang diinginkan, nilai  $T_w$  dapat dipilih dalam range 1 - 2. Tetapi, jika mode interarea juga ingin diredam, maka nilai  $T_w$  harus dipilih dalam interval 10 - 20. Nilai  $T_w$  yang lebih tinggi dapat memperbaiki respon tegangan sistem selama *island operation*.

### 2.8.3. Blok *Lead-Lag*

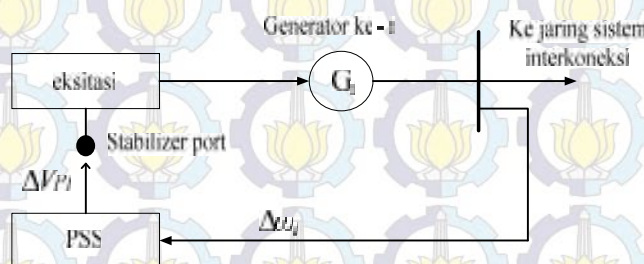
Untuk meredam osilasi di rotor, maka PSS harus menghasilkan komponen torka yang sefasa dengan perubahan kecepatan rotor. Oleh karena itu, blok ini digunakan untuk mengkompensasi fasa lag yang dihasilkan oleh AVR dan rangkaian medan generator. Agar dapat diperoleh kontribusi berupa redaman murni dari PSS, maka kompensator fasa harus dapat menghilangkan fasa lag tersebut. Namun, dalam praktiknya sangat sulit untuk mendapatkan blok fasa lead murni, sehingga pada umumnya digunakan blok fasa lead-lag. Agar dapat diperoleh respon PSS pada berbagai rentang frekuensi yang cukup lebar.

### 2.8.4. *Limiter*

Output PSS dibatasi agar aksi PSS pada AVR sesuai dengan yang diharapkan. Sebagai contoh, pada saat terjadi pelepasan beban, AVR beraksi



untuk mengurangi tegangan terminal generator pada saat PSS menghasilkan sinyal kontrol untuk menaikkan tegangan (karena kecepatan rotor generator bertambah besar pada saat terjadi pelepasan beban). Pada kondisi ini sangat diperlukan untuk menonaktifkan PSS. Hal ini menunjukkan pentingnya pembatasan nilai sinyal output PSS yang dapat dilakukan oleh blok *limiter*. Perlu diperhatikan bahwa, nilai batasan negatif yang tinggi dapat mengganggu kestabilan swing yang pertama. Implementasi sebuah PSS pada sistem daya yang disambungkan melalui  $V_p$  ke *port stabilizer* adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sebuah Sistem PSS pada Generator Ke- $i$

## 2.9. Reduksi Matriks Admitansi Jaring (Anderson,2003)

Reduksi matriks admitansi jaring adalah metode yang digunakan untuk mereduksi bus-bus selain bus generator. Metode tersebut dapat memudahkan dalam analisis sistem tenaga listrik dan dapat mengetahui “kedekatan hubungan” antar generator. Untuk mempelajari reduksi jaring, diasumsikan bahwa jaring transmisi memiliki  $n+m$  bus. Variabel  $n$  adalah jumlah bus generator dan  $m$  adalah jumlah bus non generator. Sehingga, matriks  $Y_{BUS}$  sistem tenaga adalah (Anderson,2003).

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} y_{1,1} & \cdots & y_{1,n+m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n+m,1} & \cdots & y_{n+m,n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_3 \\ Y_2 & Y_4 \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ m \end{matrix} \quad (2.38)$$

Jika masing-masing generator direpresentasi sebagai sumber tegangan  $E_i = |E_i| \angle \delta_i$  yang seri dengan reaktansi *transient*  $x_d'$ , maka  $x_d'$  dapat direpresentasikan sebagai admitansi  $y_i$ . Representasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.9. Node bagian dalam generator diberi notasi  $1, 2, \dots, n$  dan nomor bus jaring sistem tenaga listrik diberi notasi  $n+1, \dots, 2n+m$ , sehingga matriks admitansi jaring,



$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} n & n & m \\ Y & -Y & 0 \\ -Y & Y_1+Y & Y_2 \\ 0 & Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ n \\ m \end{matrix} \quad (2.39)$$

Beban direpresentasikan sebagai admitansi konstan pada bus dengan notasi  $(n+1)$ , ...,  $(2n+m)$ . Nilai admitansi dari representasi beban dirumuskan,

$$Y_{Li} = \frac{P_{Li} - jQ_{Li}}{|V_i|^2}, \quad i = n+1, \dots, 2n+m \quad (2.40)$$

$|V_i|$  adalah magnitudo dari phasor tegangan pada bus ke- $i$  dan  $P_{Li} + jQ_{Li}$  adalah beban pada bus ke- $i$ . Sehingga, keseluruhan matriks  $Y_{BUS}$  dapat dituliskan,

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} n & n & m \\ Y & -Y & 0 \\ -Y & Y_1+Y+Y_{Lg} & Y_2 \\ 0 & Y_3 & Y_4+Y_{Ll} \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ n \\ m \end{matrix} \quad (2.41)$$

Dengan matriks admitansi beban dituliskan sebagai berikut.

$$Diag(Y_{Li}) = \begin{bmatrix} n & m \\ Y_{Lg} & 0 \\ 0 & Y_{Ll} \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ m \end{matrix}, \quad i = n+1, \dots, 2n+m \quad (2.42)$$

$Y_{Lg}$  adalah admitansi beban pada bus generator dan  $Y_{Ll}$  adalah admitansi beban pada bus beban. Sehingga, hubungan tegangan jangkar generator  $E$  dengan arus,

$$I = Y_{BUS}E \quad (2.43)$$

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_n \\ i_{n+1} \\ \vdots \\ i_{2n+m} \end{bmatrix} = Y_{BUS} \begin{bmatrix} E_1 \\ \vdots \\ E_n \\ E_{n+1} \\ \vdots \\ E_{2n+m} \end{bmatrix} \quad (2.44)$$

Nilai  $i$  yang masuk pada bus beban bernilai nol, sehingga :

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_n \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = Y_{BUS} \begin{bmatrix} E_1 \\ \vdots \\ E_n \\ E_{n+1} \\ \vdots \\ E_{2n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_A & Y_B \\ Y_C & Y_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ \vdots \\ E_n \\ E_{n+1} \\ \vdots \\ E_{2n+m} \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} n & n+m \\ Y_A & Y_B \\ Y_C & Y_D \end{bmatrix} \begin{matrix} n \\ n+m \end{matrix} \quad (2.46)$$



Dengan,  $Y_A$  berukuran  $n \times n$ ,  $Y_B$  berukuran  $n \times (n+m)$ ,  $Y_C$  berukuran  $(n+m) \times n$  dan  $Y_D$  berukuran  $(n+m) \times (n+m)$ . Dari Persamaan (2.45) dan (2.46), persamaan matriks admitansi jaringan dapat dituliskan dalam bentuk Persamaan :

$$\begin{bmatrix} I_A \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_A & Y_B \\ Y_C & Y_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_A \\ E_D \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

$$I_A = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{bmatrix}, E_A = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix} \text{ dan } E_B = \begin{bmatrix} E_{n+1} \\ E_{n+2} \\ \vdots \\ E_{2n+m} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Sehingga,

$$I_A = Y_A E_A + Y_B E_D \quad (2.49)$$

$$0 = Y_C E_A + Y_D E_D \quad (2.50)$$

$$E_D = -Y_D^{-1} Y_C E_A \quad (2.51)$$

Dengan mensubstitusikan maka diperoleh,

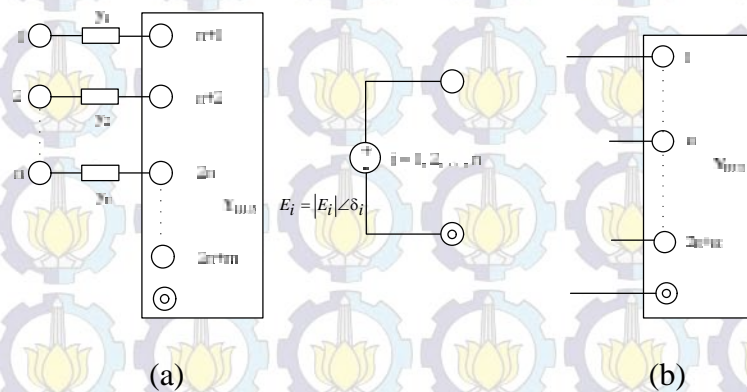
$$I_A = Y_A E_A + Y_B (-Y_D^{-1} Y_C E_A) \quad (2.52)$$

$$I_A = [Y_A - Y_B Y_D^{-1} Y_C] E_A \quad (2.53)$$

Untuk  $I_A = [Y_{red}] E_A$ , maka

$$Y_{red} = [Y_A - Y_B Y_D^{-1} Y_C] \quad (2.54)$$

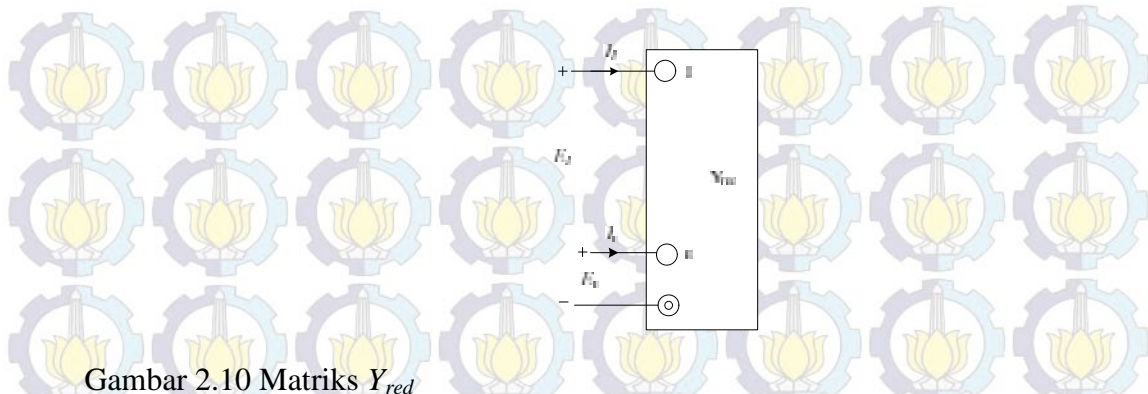
Dengan mereduksi matriks  $Y_{bus}$  menjadi matriks  $Y_{red}$ , topologi jaringan yang sebenarnya tidak tampak. Tetapi, analisis sistem tenaga menjadi lebih sederhana.



Gambar 2.9 (a) Matriks  $Y_{BUS}$ , (b) Modifikasi  $Y_{BUS}$

Dari sistem transmisi dan representasi generator dengan internal node 1, 2, ..., n. Dengan beban direpresentasikan sebagai impedansi konstan dan rektansi *transient* generator masuk ke dalam  $y_{bus}$  (Persamaan 2.54).

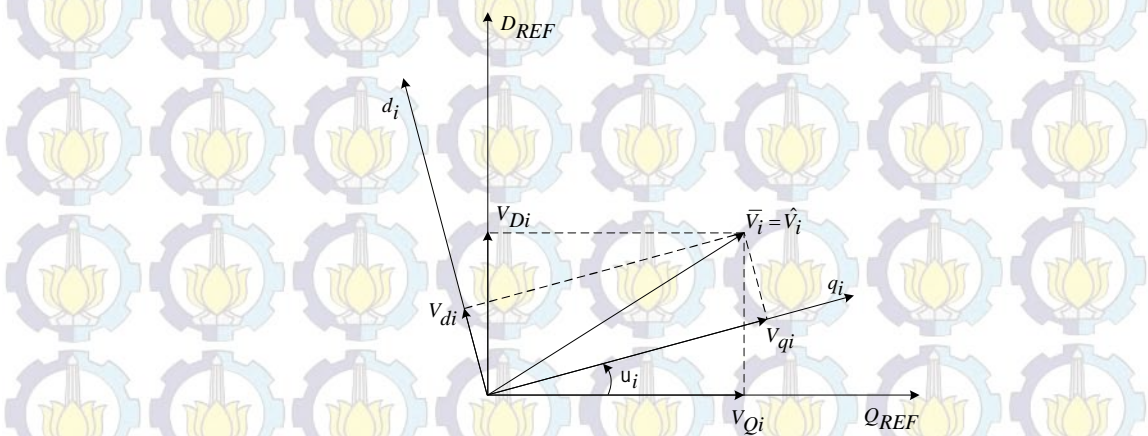




Gambar 2.10 Matriks  $Y_{red}$

## 2.10. Konversi Koordinat Mesin ke Referensi Sistem [34]

Dalam model  $D-Q$ , dikenal dua istilah, yaitu referensi mesin yang ditulis dengan notasi  $d-q$  kecil dan referensi sistem yang dinotasikan dengan  $D-Q$  besar. Untuk memahami dan mengkonversi dua referensi yang berbeda ini, diberikan Gambar 2.12 untuk memudahkan dalam pemaparan.



Gambar 2.11 Nilai Tegangan  $V_i$  Dalam Referensi Dua Frame

Gambar 2.12 dapat dirumuskan suatu hubungan antara tegangan pada referensi mesin dan tegangan pada referensi jaring dalam Persamaan 2.58.

$$v_{Qi} + jv_{Di} = (v_{qi} \cos u_i - v_{di} \sin u_i) + j(v_{qi} \sin u_i + v_{di} \cos u_i) \quad (2.55)$$

$$\hat{v}_i = \hat{v}_i e^{ju_i} \quad (2.56)$$

Beberapa besaran sistem tenaga listrik dalam koordinat  $a, b,$  dan  $c$ , misal tegangan pada titik  $i$  adalah  $\mathbf{v}_{abc}$ . Dengan menggunakan Transformasi Park, koordinat  $\mathbf{v}_{abc}$  dapat diubah ke dalam koordinat  $\mathbf{v}_{dq}$ . Tegangan dalam koordinat  $d-q$  dapat dinotasikan dalam phasor  $\hat{V}_i$ , dengan rotor mesin ke- $i$  sebagai referensi. Referensi rotor mesin ke- $i$  dapat dinyatakan dalam referensi sistem  $D-Q$  (dengan



notasi tegangan  $\hat{V}_i$ ) menggunakan persamaan 2.56. Persamaan tersebut digunakan untuk mengubah besaran-besaran yang semula dalam referensi rotor mesin ke- $i$  ke dalam satu referensi sistem yang sama. Persamaan 2.56 dapat diperluas untuk setiap titik melalui Persamaan 2.57 berikut.

$$T = \begin{bmatrix} e^{j\mu_i} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{j\mu_i} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & e^{j\mu_i} \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

$$\hat{v} = \begin{bmatrix} V_{Q1} + jV_{D1} \\ V_{Q2} + jV_{D2} \\ \vdots \\ V_{Qn} + jV_{Dn} \end{bmatrix}, \quad \bar{v} = \begin{bmatrix} V_{q1} + jV_{d1} \\ V_{q2} + jV_{d2} \\ \vdots \\ V_{qn} + jV_{dn} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

Sehingga,

$$\hat{v}_i = T\hat{V}_i \quad (2.59)$$

Untuk  $T^{-1} = T^*$  maka

$$\hat{V}_i = T\bar{V}_i \quad (2.60)$$

Dengan cara yang sama, konversi untuk besaran arus sebagai berikut,

$$\hat{i} = T\bar{i} \text{ dan } I = T\hat{I} \quad (2.61)$$

## 2.11. Stability (Kundur,1994; Robandi,2006)

Kestabilan dapat dianalisis menggunakan beberapa cara, yaitu analisis *eigenvalue*, analisis Routh Hurwith dan lain-lain. Berikut ini, dipaparkan secara singkat mengenai analisis kestabilan menggunakan *eigenvalue*. Untuk analisis tersebut, diperlukan model matematik dari sistem yang dianalisis. Dari model matematik yang diperoleh diubah ke dalam bentuk persamaan matriks keadaan, seperti pada Persamaan 2.62 dan 2.63.

$$\Delta\dot{x} = A\Delta x + B\Delta u \quad (2.62)$$

$$\Delta y = C\Delta x + D\Delta u \quad (2.63)$$

Dengan,

$\Delta x$  = Matriks keadaan ( $n \times 1$ )

$\Delta y$  = Matriks variabel output ( $m \times 1$ )

$u$  = Matriks variabel input ( $r \times 1$ )



A = Matriks sistem ( $n \times n$ )

B = Matriks input ( $n \times r$ )

C = Matriks pengukuran ( $m \times n$ )

D = Matriks input untuk output ( $m \times r$ )

Melalui matriks sistem A, kondisi kestabilan sistem dapat dipantau :

$$\det(sI-A)=0 \quad (2.64)$$

Dengan  $I$  adalah matriks identitas dan  $s$  adalah *eigenvalue* dari matriks A.

Matriks A berukuran  $n \times n$ , sehingga banyaknya *eigenvalue* yang diperoleh sebanyak  $n$ ,  $= 1, 2, 3, \dots, n$ .

$$\lambda_i = \sigma_i + j\tilde{\omega}_i \quad (2.65)$$

Frekuensi osilasi dalam Hz adalah

$$f = \frac{\tilde{\omega}}{2\pi} \quad (2.66)$$

Dengan,

$\lambda_i$  = *Eigenvalue* ke- $i$

$\sigma_i$  = Komponen riil dari *eigenvalue* ke- $i$

$\omega_i$  = Komponen imajiner dari *eigenvalue* ke- $i$

Berdasarkan nilai *eigenvalue* matriks A, kestabilan sistem dapat diketahui.

Sistem dikatakan stabil jika bagian real dari *eigenvalue* bernilai negatif.

Pengecekan kestabilan ini sangat penting dilakukan pada saat memasang peralatan kontrol pada suatu sistem. Dengan kata lain, sebelum memberikan kontrol pada suatu sistem, sistem yang akan dikontrol harus stabil. Setelah stabil, baru dipasang kontrol. Bagian riil *eigenvalue* merupakan komponen redaman, sedangkan bagian imajiner merupakan komponen osilasi. Nilai redaman dapat diketahui menggunakan nilai *damping ratio* (Persamaan 2.67). Sedangkan redaman sistem secara keseluruhan dapat diketahui dari nilai *Comprehensive Damping Index* (CDI) yang dirumuskan pada Persamaan 2.68 (Cai,2003).

$$\zeta_i = \frac{-\sigma_i}{\sqrt{\sigma_i^2 + \tilde{\omega}_i^2}} \quad (2.67)$$

$$CDI = \sum_{i=1}^n (1 - \zeta_i) \quad (2.68)$$

Dengan,



$\zeta_i$  = Damping ratio ke-i  
 $n$  = jumlah eigenvalue

## 2.12. Controllability dan Observability (Robandi,2006)

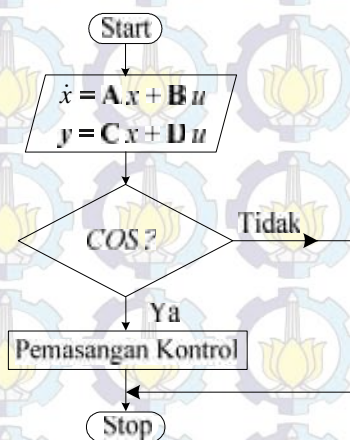
Sebelum melakukan langkah kontrol pada suatu sistem, penting untuk diketahui terlebih dahulu apakah sistem tersebut dapat dikontrol atau tidak. Apabila sistem telah memenuhi syarat *controllability* artinya sistem tersebut dapat dikontrol. Apabila sistem dinyatakan sesuai dengan Persamaan 2.62 dan 2.63, maka untuk mengetahui syarat *controllability* terpenuhi atau tidak dapat menggunakan Persamaan 2.69 berikut,

$$P = [CB : CAB : CA^2B : \dots : CA^{(n-1)}B : D] \quad (2.69)$$

Apabila matriks **P** diatas memiliki rank=n, maka sistem tersebut bersifat *controllable* atau dapat dikontrol. Sedangkan *observability* digunakan untuk melihat apakah suatu sistem dapat terukur atau tidak. Untuk syarat observability sistem dapat diketahui dengan Persamaan 2.70 berikut,

$$P = [C^T : A^T C^T : (A^T)^2 C^T : \dots : (A^T)^{(n-1)} C^T] \quad (2.70)$$

Apabila matriks **P** diatas memiliki rank=n, maka sistem tersebut bersifat *observable*. Penting untuk diperhatikan bahwa, untuk melakukan pemasangan kontrol pada suatu sistem, harus dipenuhi terlebih dahulu 3 syarat, yaitu sistem yang belum dikontrol harus *Controllable, Observable* dan *Stability (COS)*.



Gambar 2.12 Diagram Alur Persiapan Pemasangan Kontrol



## BAB 3

### CUCKOO SEARCH ALGORITHM

#### 3.1. Cuckoo Search Algorithm (Yang,2013; Dewi,2014; Rosie,2015)

Algoritma Burung Cuckoo (*Cuckoo Search*) adalah sebuah metode metaheuristik yang diinspirasi dari perilaku/kebiasaan hidup sehari-hari burung cuckoo dalam berkembang biak. Metode ini dikembangkan oleh Xin-She Yang dan Deb tahun 2009 dan dapat digunakan sebagai optimisasi suatu permasalahan untuk menentukan nilai optimum global baik minimum maupun maksimum.

Terinspirasi dari perilaku burung cuckoo ini, sehingga menjadi inspirasi bagi Xin-She Yang dan Deb dalam menemukan metode baru dalam dunia optimisasi.

Selain itu, karena burung tersebut memiliki keunikan yang tidak dimiliki oleh burung lain. Keunikan-keunikan tersebut antara lain :

1. Spesies cuckoo seperti Ani dan Guira meletakkan telurnya pada sarang burung lain,
2. Cuckoo betina mampu membuat bentuk dan warna telurnya mirip dengan telur pemilik sarang burung lain,
3. Cuckoo parasit memilih sarang yang pemiliknya baru saja meletakkan telurnya,
4. Telur cuckoo memiliki kecenderungan menetas lebih cepat dari telur pemilik sarang,
5. *Instinct* anak cuckoo yang baru menetas adalah membuang apa saja yang ada di sekitarnya,
6. Selain itu anak cuckoo juga mampu menirukan suara anak burung inangnya.

Metode *Cuckoo Search* termasuk algoritma metaheuristik. Algoritma metaheuristik merupakan salah satu tipe dari algoritma stokastik yang memiliki ciri khusus intensifikasi (eksploitasi) dan diversifikasi atau eksplorasi. Intensifikasi adalah mencari di sekitar solusi terbaik dan memilih kandidat atau calon solusi terbaik. Sedangkan diversifikasi (eksplorasi) : memastikan bahwa algoritma dapat mengeksplor daerah pencarian lebih efisien. Contoh dari



algoritma metaheuristik adalah : *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Simulated Annealing (SA)*, *Genetic Algorithm (GA)*, *Bee Algorithm (BA)* dan *Cuckoo Search (CS)*. Dalam optimisasi dengan menggunakan Cuckoo Search ini ada beberapa asumsi yang digunakan, yaitu :

1. Masing-masing cuckoo meletakkan satu telur pada satu waktu disebarkan sarang yang terpilih.
2. Masing-masing telur (termasuk telur burung pemilik sarang) yang ada di sarang merepresentasikan solusi, sedangkan telur burung cuckoo merepresentasikan solusi baru. Tujuannya adalah menggunakan solusi baru yang lebih baik untuk mengganti solusi yang kurang baik. Jika dalam satu sarang terdapat lebih dari satu telur burung cuckoo, algoritma ini akan terlalu luas dan lebih sulit. Sehingga agar sederhana, masing-masing induk cuckoo hanya menitipkan satu butir telurnya kepada pemilik sarang.
3. Sarang terbaik dengan kualitas telur yang terbaik (solusi) akan selamat sampai generasi selanjutnya masing-masing sarang merepresentasikan himpunan dari solusi.
4. Banyaknya sasaran sarang telah ditentukan (fix), dan pemilik sarang dapat mendeteksi telur asing dengan kemungkinan  $p_a \in [0,1]$ . Dalam hal ini, pemilik sarang dapat membuang telur asing atau meninggalkan sarang dan membuat sarang baru .

### 3.2. Random Walks dan Levy Flight

#### 3.2.1. Random Walks

Random walks adalah suatu proses acak yang terdiri dari serangkaian langkah acak yang berurutan. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut, di mana jika  $K_i$  adalah random walk yang merupakan suatu jumlah dari setiap yang merupakan serangkaian langkah acak yang berurutan, maka :

$$Y_N = \sum_{i=1}^N K_i = K_1 + \dots + K_N = \sum_{i=1}^{N-1} K_i + K_N = Y_{N-1} + K_N \quad (3.1)$$

Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa keadaan selanjutnya dari  $Y_N$  dipengaruhi oleh keadaan dari  $Y_{N-1}$  dan  $K_N$  gerakan dari posisi sekarang ke posisi selanjutnya. Random walks banyak dimanfaatkan pada bidang fisika, ekonomi,



statistika, *computer science*, dan *engineering*. Selain itu, masing-masing panjang langkah tidak harus tetap. Pada kenyataannya, panjang langkah dapat berubah sesuai distribusi. Jika panjang langkah memenuhi distribusi Gaussian, random walk akan menjadi Brownian motion. Namun jika panjang langkah memenuhi distribusi Levy, random walk disebut Levy flight atau Levy walk.

Levy flight lebih efisien dari pada Brownian random walk karena memiliki kemampuan lebih dalam mengeksplor daerah eksplorasi karena variansi Levy flight yang lebih cepat membesar. Variansi Levy flight :

$$\dagger^2(t) \sim t^{3-s}, 1 \leq s \leq 2 \quad (3.2)$$

merupakan indeks kestabilan. Sedangkan variansi dari *Brownian random walks* berupa Pembangkitan bilangan acak dengan menggunakan *Levy flight* terdiri dari dua tahap: pemilihan arah secara acak dan menentukan langkah yang memenuhi distribusi Levy. Untuk menentukan dua tahap ini algoritma yang sering digunakan adalah algoritma Mantegna. Pada algoritma Mantegna, panjang langkahnya dapat dirumuskan sebagai :

$$s = \frac{u}{|v|^{1/s}} \quad (3.3)$$

Dengan u dan v berdistribusi normal ,

$$u \sim N(0, \dagger_u^2), v \sim N(0, \dagger_v^2) \text{ dengan } \dagger_u = \left\{ \begin{array}{l} r(1+s) \sin\left(\frac{s}{2}\right) \\ r\left(\frac{1+s}{2}\right) s^{\frac{s-1}{2}} \end{array} \right\}^{1/s}, \dagger_v = 1 \quad (3.4)$$

### 3.2.2. Levy Flight

*Levy flight* adalah *random walk* yang panjang langkahnya memenuhi distribusi Levy. Distribusi Levy sendiri memiliki fungsi densitas sebagai berikut :

$$L(s, x, \sim) = \begin{cases} \sqrt{\frac{x}{2f}} \exp\left[-\frac{x}{2(s-\sim)^{3/2}}\right] \frac{1}{(s-\sim)^{3/2}}, & 0 < \sim < s < \infty \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (3.5)$$

$\mu > 0$  adalah langkah minimum dan  $\gamma$  adalah parameter skala.

Secara umum, cara mencari makan dari seekor binatang adalah perjalanan acak secara efektif (effectively a random walk) karena perjalanan selanjutnya ditentukan oleh perjalanan sebelumnya. Arah dari perjalanan tersebut tergantung



pada kemungkinan yang ada, dan dapat dimodelkan secara matematika. Hal yang paling utama dari Levy flight adalah panjang langkah yang memenuhi distribusi Levy. Distribusi ini memiliki variansi dan mean yang tidak berhingga sehingga membuatnya memiliki langkah yang lebih lebar dari distribusi lain. Distribusi ini juga memiliki ekor yang tebal sehingga peluang untuk mendapatkan nilai yang jauh dari mean lebih besar. Berikut adalah gambar dari Brownian motion dan Levy Flight pada ruang 2D dengan lima puluh langkah. Langkah awal ditandai dengan •.



Gambar 3.1. Brownian motion



Gambar 3.2. Levy flight berturut-turut 50 step mulai pada permulaan

Dari gambar di atas terlihat bahwa *Levy flight* memiliki langkah yang lebih lebar dari *Brownian motion*, sehingga dapat mengeksplor daerah pencarian dengan lebih baik.

Algoritma Cuckoo Search, dapat diringkas sebagai berikut :

**1. Masukan**

- n = banyaknya sarang yang tersedia
- nd = banyak variabel



$N_{iter}$  = batas iterasi maksimum

tol = batas toleransi (stopping criteria)

fitness = nilai kualitas (F)

$p_a, 0 \leq p \leq 1$  = peluang burung pemilik sarang menemukan telur cuckoo

$f(x)$  = fungsi objektif, dengan  $x \in \mathbb{R}^n$

## 2. Proses

- Pembentukan fungsi objektif  $f(x)$ ,  $x=(x_1, x_2, \dots, x_{nd})^T$ , nd banyak variabel
- Pembentukan populasi sebanyak n sarang untuk  $x_p$  ( $p=1, 2, \dots, n$ )
- Hitung *fitness* dan bandingkan dengan *fitness* masukan
- Looping* untuk menentukan solusi

**While** ( maksimum iterasi) atau (*stopping criterion*)

➤ Pembentukan generasi baru (*i*) secara acak dengan *Levy flights*

➤ Hitung nilai kualitas / *fitness*  $F_i$

➤ Pilih sarang (*j*) di antara n sarang secara acak

➤ Hitung

**if** ( $F_j < F_i$ )\*

ganti *i* dengan solusi baru (*j*)

**end**

➤ Abaikan sarang yang memiliki peluang  $< p_a$  dan ganti sarang tersebut dengan membangun sarang baru (*r*) pada lokasi yang lain dengan menggunakan *Levy flights*

➤ Hitung nilai *fitness* dan bandingkan dengan nilai *fitness* sebelumnya

➤ Simpan solusi terbaik

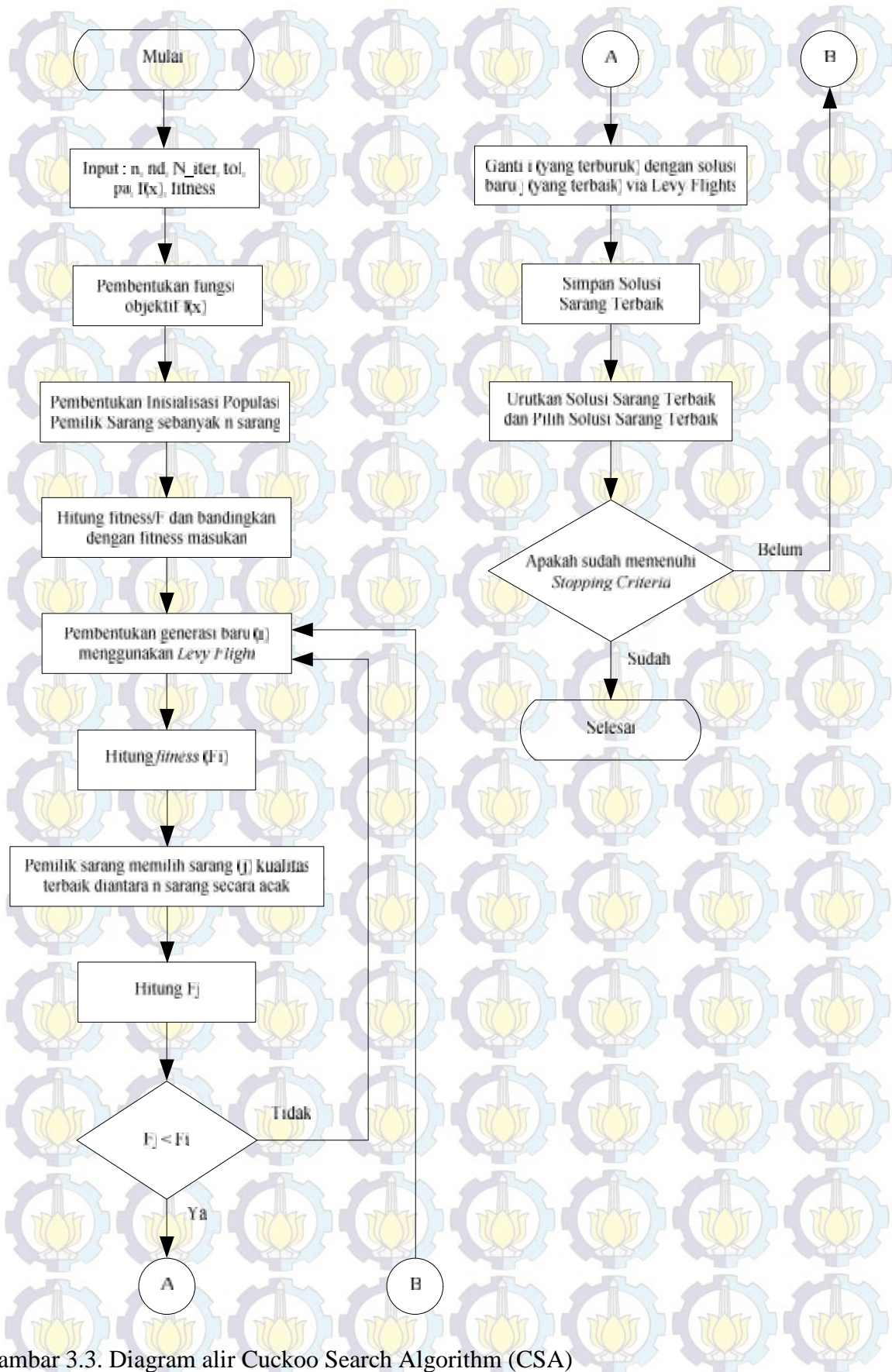
➤ Urutkan solusi, dan pilih solusi yang terbaik

**end while**

## 3. Keluaran

Nilai optimum  $f(x)$ , Sarang Terbaik (*Bestnest*), serta banyak iterasi.





Gambar 3.3. Diagram alir Cuckoo Search Algorithm (CSA)



### 3.3. Prosedur Desain Penalaan dan Penempatan PSS (Sebaa,2009; Eslami,2012)

Secara umum, jumlah PSS yang dipasang pada sistem tenaga adalah tidak sama dengan jumlah generator dan jumlah minimum PSS adalah setengah dari jumlah generator. Selain itu, mengingat interaksi antar PSS, sangat penting untuk memilih penempatan dan penalaan yang tepat dari PSS. Misalkan,  $m$  PSS harus dipasang pada generator- $N$ . Maka, akan ada 8-15 PSS yang akan dipasang pada masing-masing generator. Dengan menggunakan tabel placement index, semua kemungkinan penempatan PSS akan ditampilkan pada tabel. Dengan demikian, batasan placement index berdasarkan persamaan berikut. Tabel 3.1 menunjukkan Placement Index yang digunakan.

$$1 \leq P_{pla} \leq C_m^N \quad (3.6)$$

Di mana,  $P_{pla}$  adalah placement index, yang menggambarkan pembagian dari  $m$ -PSS pada  $N$ -generator, dan  $C_m^N$  adalah jumlah semua kemungkinan berdasarkan [24],

$$C_m^N = \frac{N!}{m!(N-m)!} \quad (3.7)$$

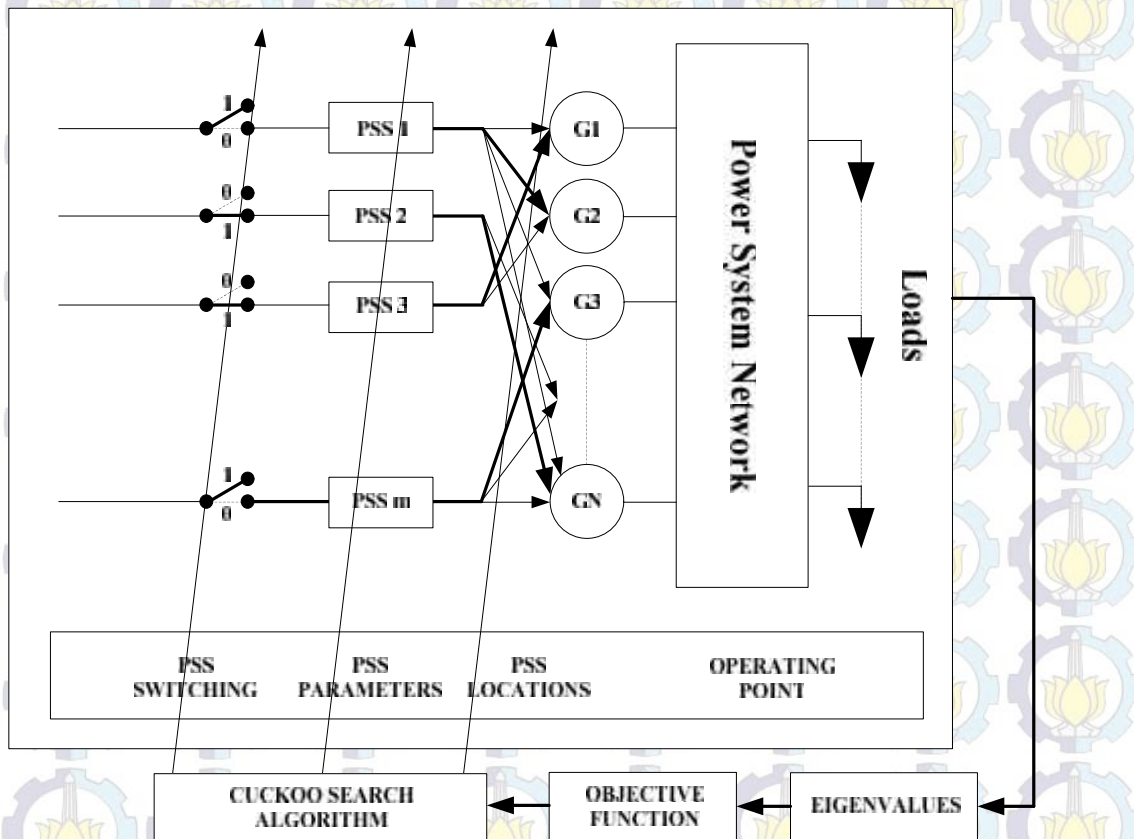
Tabel 3.1. Location Index ( $P_{loc}$ ) untuk  $m$ -PSS (Eslami,2012)

Placement Index PSS ( $P_{pla}$ )	Generator di mana PSS Harus Dipasang					
1	1	2	3	...	m-1	m
2	1	2	3	...	m-1	m+1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N-1+2	2	3	4	...	m	m+1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$C_N^l$	N - m+1	N - m+2	N - m+2	...	N-1	N

Fungsi tujuan (*Objective Function*) yang digunakan adalah memaksimalkan damping minimum ( $\zeta_{min}$ ), pada semua kombinasi penempatan PSS. Untuk setiap Placement Index, nilai minimum damping ratio akan dievaluasi



oleh metode cerdas yang diusulkan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*. Kemudian, penempatan terbaik PSS didasarkan pada nilai maksimum  $\lambda_{min}$  yang lebih besar dari  $\lambda_0$ . Gambar 3.4 berikut, menunjukkan prosedur optimisasi penalaan parameter PSS dan penempatannya. Juga gambar 3.5, menunjukkan flowchart dari optimisasi penalaan dan penempatan PSS.

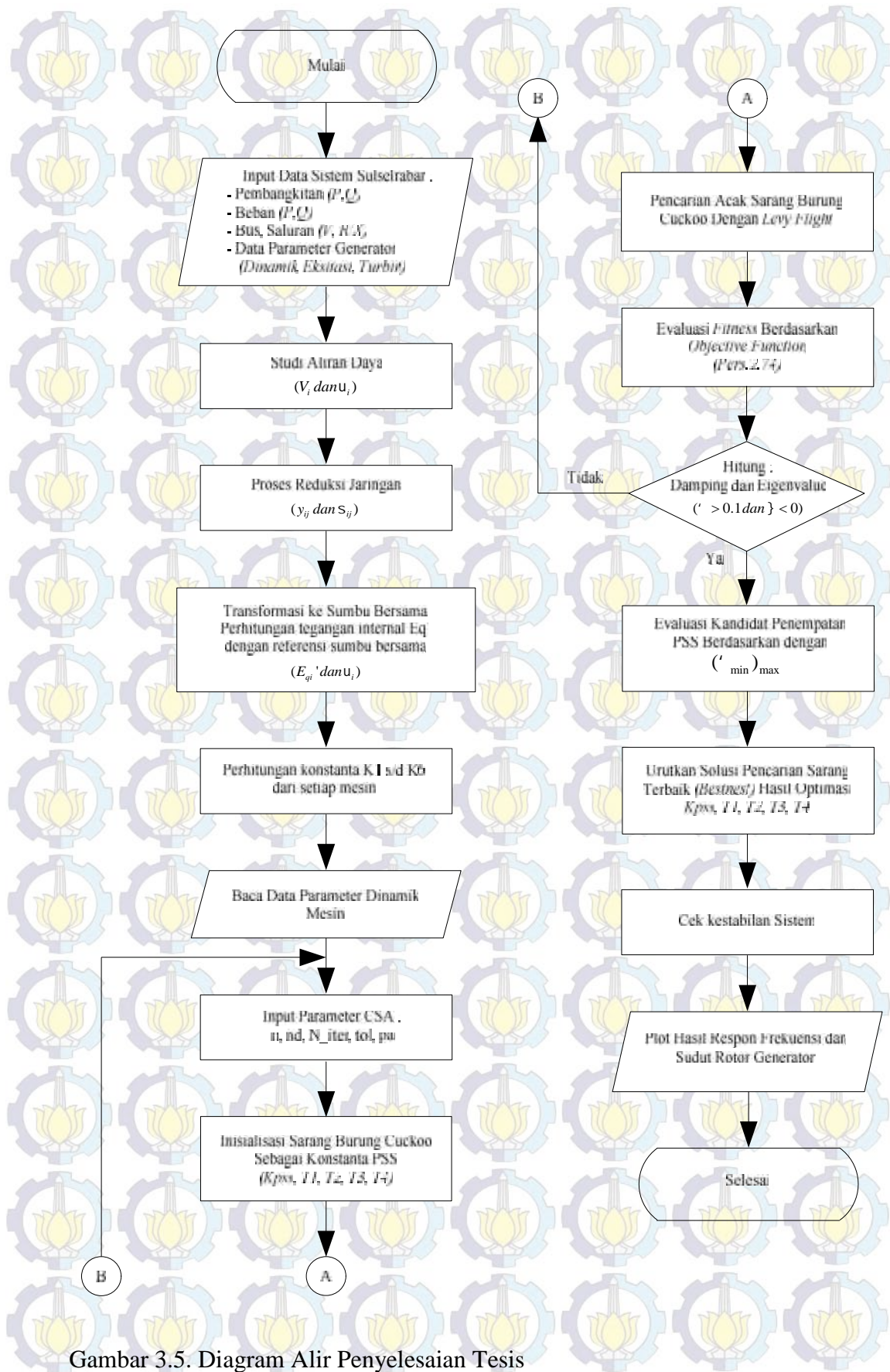


Gambar 3.4. Representasi Prosedur Optimisasi (Sebaa,2009; Eslami,2012)

Sedangkan untuk inequality constraints diberikan pada persamaan berikut (Eslami,2012).

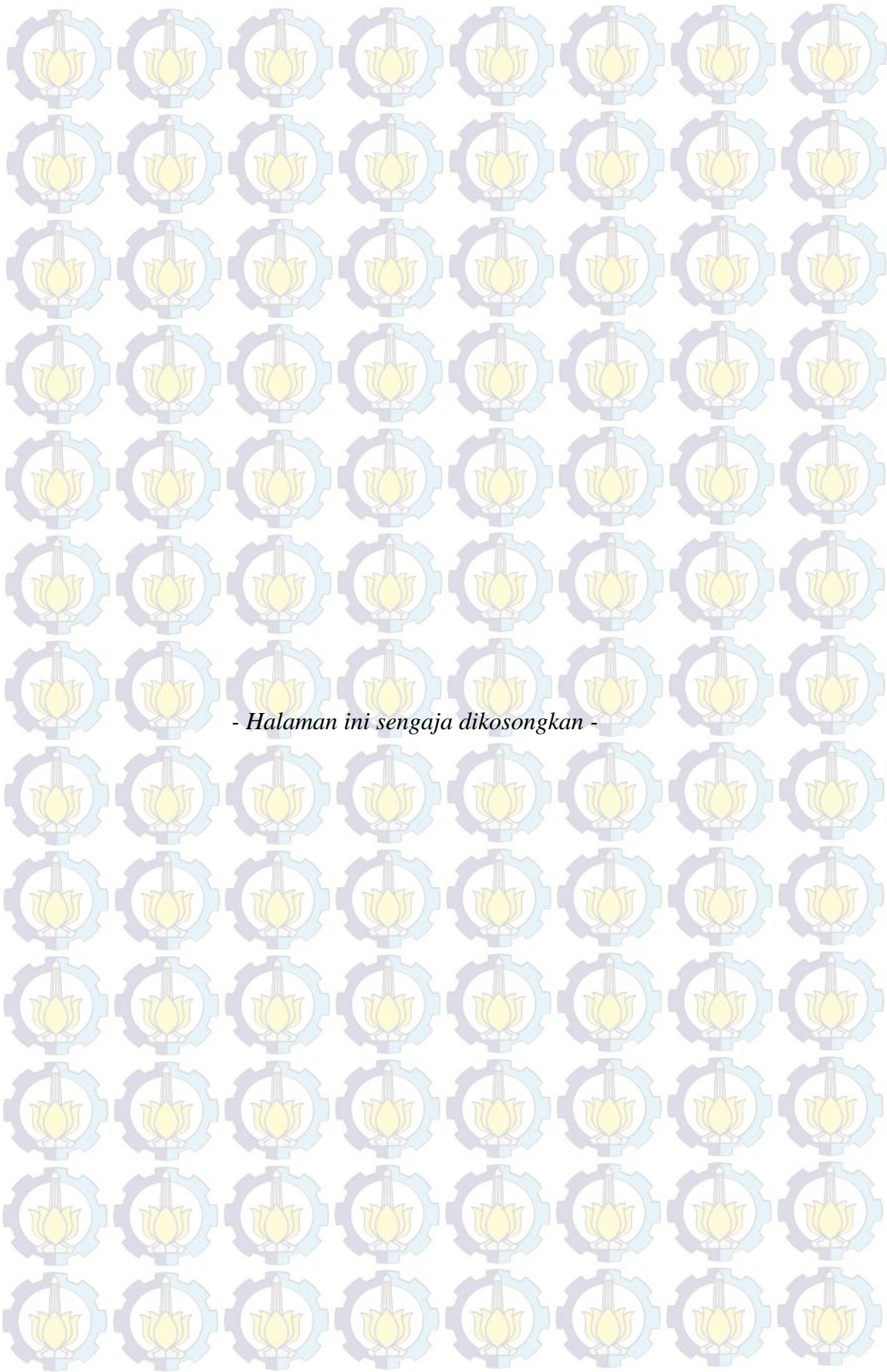
$$\begin{cases} K_{pss \min} \leq K_{pss} \leq K_{pss \max} \\ T_{1 \min} \leq T_1 \leq T_{1 \max} \\ T_{2 \min} \leq T_2 \leq T_{2 \max} \\ T_{3 \min} \leq T_3 \leq T_{3 \max} \\ T_{4 \min} \leq T_4 \leq T_{4 \max} \end{cases} \quad (3.8)$$





Gambar 3.5. Diagram Alir Penyelesaian Tesis





- Halaman ini sengaja dikosongkan -



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Data Sistem Kelistrikan Sulselrabar

Sistem kelistrikan Sulselrabar terdiri dari 16 unit pembangkit, yang beroperasi pada tegangan 150 kV, serta terdiri dari 37 Bus dan 46 saluran yang menghubungkan pusat-pusat beban besar seperti, Makassar, Pangkep, Maros, Barru, Pare-Pare, Pinrang, Polmas, Majene dan Mamuju (Djalal,2012). Gambar 4.1 memperlihatkan sistem kelistrikan Sulselrabar.

#### 4.1.1. Data Saluran Transmisi

Saluran transmisi pada sistem Sulselrabar terdiri dari 46 saluran transmisi yang menghubungkan pusat-pusat beban sistem kelistrikan Sulselrabar. Data saluran transmisi sistem kelistrikan Sulselrabar pada Tabel 4.1 di bawah ini :

Tabel 4.1. Data Saluran Transmisi Sistem Sulselrabar

Saluran		Urutan Positif (pu)		Y/2	Jarak
From	To	R	jX		
BARRU	PNKEP	0,02419	0,08667	0,01167	46
BKARU	PRANG	0,03076	0,11023	0,01012	58,5
BKARU	PWALI	0,02627	0,09440	0,00743	50,1
BKARU	BKRU PH	0,00105	0,00377	0,00007	1
BSOWA	TELLO	0,01683	0,06049	0,00761	32,1
PNKEP	BSOWA	0,01090	0,03919	0,00493	20,8
PNKEP	TELLO	0,04764	0,17071	0,00575	45,3
PPARE	BARRU	0,02314	0,08290	0,01116	44
PPARE	PNKEP	0,09464	0,33916	0,01141	90
PPARE	SUPPA	0,00787	0,02826	0,00056	7,5
PRANG	PPARE	0,01388	0,04974	0,00670	26,4
PWALI	MJENE	0,05261	0,18902	0,00372	50,16
PWALI	PPARE	0,03663	0,13159	0,01819	91,9
SDRAP	PPARE	0,02003	0,07198	0,00142	19,1
SGMSA	TLLSA	0,00970	0,06649	0,00314	27,5
SKANG	SPENG	0,02106	0,12670	0,00404	35,4
SPENG	BONE	0,04578	0,16306	0,00402	43,27
SPENG	SDARP	0,05643	0,20275	0,00482	53,8
TELLO	SGMSA	0,00385	0,02635	0,00124	10,9
TELLO	TLAMA	0,00726	0,02600	0,00088	6,9
BLKMB	JNPTO	0,04861	0,17466	0,00344	46,35
BONE	BLKMB	0,14390	0,51703	0,01017	137,2
BONE	SNJAI	0,04064	0,14603	0,01149	77,5
DYBAR	SGMSA	0,05433	0,37234	0,01756	154
JNPTO	TIP 57/58	0,02568	0,09228	0,00182	24,49



Saluran		Urutan Positif (pu)		Y/2	Jarak
From	To	R	jX		
MALEA	MKALE	0,01058	0,07253	0,00342	30
MKALE	PLOPO	0,03917	0,14076	0,00277	37,35
SDRAP	DYBAR	0,01235	0,08462	0,00399	35
SDRAP	MKALE	0,06274	0,37753	0,01203	105,48
SGMSA	TBNGA	0,00707	0,04256	0,00136	11,89
SNJAI	BLKMB	0,03120	0,11211	0,00882	59,5
TLLSA	TIP 57/58	0,00673	0,04609	0,00217	19,06
DAYA	TELLO	0,02408	0,04421	0,00013	5
MNDAI	DAYA	0,03420	0,06278	0,00019	7,1
MNDAI	TELLO	0,05828	0,10699	0,00032	12,1
PNKEP	MNDAI	0,36318	0,66671	0,00050	37,7
PNKEP	TNSA3	0,03275	0,06013	0,00005	3,4
TELLO	BRLOE	0,06069	0,11141	0,00034	12,6
TELLO	BWAJA	0,12292	0,17508	0,00002	3,7
TELLO	PKANG	0,04334	0,07958	0,00006	4,5
TLAMA	BNTLA	0,04046	0,07428	0,00006	4,2

\*Sumber : Area Pengatur & Penyaluran Beban (AP2B) PT.PLN Wilayah Sulselrabar, Makassar (Data Operasi AP2B Sistem Sulselrabar)

#### 4.1.2. Data Parameter Generator

Data parameter dinamik generator untuk setiap pembangkit ditunjukkan pada tabel 4.2, 4.3, dan 4.4, yang meliputi data dinamik generator, data eksitasi, dan data governor.

Tabel 4.2. Data Parameter Dinamik Generator Sistem Sulselrabar

Pembangkit	$X_d$ (pu)	$X_d'$ (pu)	$X_d''$ (pu)	$X_q$ (pu)	$X_q'$ (pu)	$X_q''$ (pu)
PLTA Bakar	0,924	0,268	0,27	0,553	0	0,27
PLTA Teppo	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTD Pare-Pare	0,924	0,268	0,27	0,553	0	0,27
PLTD Suppa	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTU Barru	2,363	0,199	0,204	2,182	0,395	0,204
PLTU Tello	1,1815	0,0995	0,102	1,091	0,1975	0,102
PLTD Agrekko	2,363	0,199	0,204	2,182	0,395	0,204
PLTD Sgmnsa	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTD Arena	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTD Matekko	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTA Tmatipi	1,924	0,268	0,27	1,553	0	0,27
PLTD Pajelasang	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTGU Sengkang	2,31	0,2	0,12	0,553	0,6	0,12
PLTD Malea	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTD Palopo	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261
PLTA Bili-Bili	2,08	0,385	0,261	1,12	0	0,261

\*Sumber : (Taslim,2009; Todingan,2010; Muhris,2011; Kitta,2011)



Tabel 4.3. Data Parameter Eksitasi Sistem Sulsebar

No	Nama Pembangkit	$K_A$ (pu)	$T_A$	$V_{A_{max}}$	$V_{A_{min}}$
1	PLTA Bakaru	400	0,04	0,710	-0,710
2	PLTA Teppo	1	0,02	1	-1
3	PLTD Pare-Pare	1	0,02	1	-1
4	PLTD Suppa	1	0,02	1	-1
5	PLTU Barru	1	0,02	1	-1
6	PLTU Tello	100	0,04	1	-1
7	PLTD Agrekko	100	0,04	1	-1
8	PLTD Sgmnsa	10	0,02	18,3	-18,3
9	PLTD Arena	10	0,02	18,3	-18,3
10	PLTD Matekko	10	0,02	18,3	-18,3
11	PLTA Tmatipi	4	0,02	5,99	-5,99
12	PLTD Pajelasang	10	0,02	18,3	-18,3
13	PLTGU Sengkang	300	0,04	1	-1
14	PLTD Malea	10	0,02	18,3	-18,3
15	PLTD Palopo	4	0,02	5,99	-5,99
16	PLTA Bili-Bili	4	0,02	5,99	-5,99

\*Sumber : (Taslim,2009; Todingan,2010; Muhris,2011; Kitta,2011)

Tabel 4.4. Data Parameter Turbin Sistem Sulsebar

No	Nama Pembangkit	$K_G$ (pu)	$T_G$
1	PLTA Bakaru	20	1
2	PLTA Teppo	20	1
3	PLTD Pare-Pare	20	1
4	PLTD Suppa	20	1
5	PLTU Barru	20	1
6	PLTU Tello	20	1
7	PLTD Agrekko	20	1
8	PLTD Sgmnsa	20	1
9	PLTD Arena	20	1
10	PLTD Matekko	20	1
11	PLTA Tmatipi	20	1
12	PLTD Pajelasang	20	1
13	PLTGU Sengkang	20	1
14	PLTD Malea	20	1
15	PLTD Palopo	20	1
16	PLTA Bili-Bili	20	1

\*Sumber : (Taslim,2009; Todingan,2010; Muhris,2011; Kitta,2011)

#### 4.1.3. Data Beban dan Pembangkitan

Data beban dan pembangkitan yang digunakan adalah data operasi harian sistem Sulsebar, di mana yang dipakai adalah data beban puncak hari Kamis 12 April 2012 pada malam hari pukul 19.00, seperti pada tabel 4.5 berikut ini :



Tabel 4.5. Data Beban Puncak Sistem Sulselrabar

No Bus	Nama Bus	Jenis Bus	Beban		Pembangkitan	
			P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)
1	Bakaru	Slack	4,4	0,2	-	-
2	Pinrang	Generator	15,6	-5,6	0,3	0,0
3	Pare-Pare	Generator	6,0	-0,5	20,1	5,0
4	Suppa	Generator	-	-	62,2	19,7
5	Barru	Generator	6,8	1,7	44,7	0,0
6	Tello	Generator	39,6	15,3	29,7	18,6
7	Tello Lama	Generator	14,0	0,4	19,3	0,0
8	Sgmnsa	Generator	9,4	2,5	12,3	3,8
9	Jnpnto	Generator	10,8	3,1	19,6	-0,9
10	Blkmba	Generator	11,0	1,6	9,0	2,2
11	Sinjai	Generator	13,0	4,4	3,5	-0,6
12	Soppeng	Generator	3,4	9,1	15,1	0,9
13	Sengkang	Generator	18,1	7,2	192,9	-3,7
14	Makale	Generator	9,8	1,8	3,5	0,0
15	Palopo	Generator	29,9	5,9	6,9	1,0
16	Borongloe	Generator	7,2	0,0	7,1	0,9
17	Polmas	Beban	10,2	2,9	-	-
18	Majene	Beban	9,4	2,2	-	-
19	Mamuju	Beban	10,6	2,0	-	-
20	Pangkep	Beban	15,0	5,8	-	-
21	Bosowa	Beban	20,2	10,0	-	-
22	Tel. Lama	Beban	-	-	-	-
23	Panakkukang	Beban	56,4	17	-	-
24	Tanjung Bunga	Beban	31,8	11,3	-	-
25	Talasa	Beban	20,2	5,8	-	-
26	TIP	Beban	-	-	-	-
27	Bone	Beban	21,5	6,1	-	-
28	Sidrap	Beban	18,6	7,1	-	-
29	Maros	Beban	8,9	2,2	-	-
30	Pangkep D	Beban	-	-	-	-
31	Tonasa	Beban	37,8	20,8	-	-
32	Mandai	Beban	22,5	2,1	-	-
33	Daya	Beban	20,8	1,6	-	-
34	TelloA	Beban	-	-	-	-
35	TelloB	Beban	-	-	-	-
36	Barawaja	Beban	-	-	-	-
37	Bontoala	Beban	29,4	0,0	-	-

\*Sumber : Area Pengatur & Penyaluran Beban (AP2B) PT.PLN Wilayah Sulselrabar, Makassar (Data Operasi AP2B Sistem Sulselrabar)

#### 4.2. Hasil Simulasi dan Analisis

Berdasarkan (Sebaa,2009; Eslami,2012), tidak semua generator pada sebuah sistem dipasang PSS, akan tetapi jumlah minimum yang dapat dipasang adalah setengah dari jumlah generator pada sistem tersebut yang dipasang PSS. Pada penelitian ini digunakan dua studi kasus yang digunakan untuk meninjau



kestabilan sistem, yaitu keadaan normal dan keadaan kontingensi  $N-1$ . Untuk kondisi  $N-1$  studi kasus yang digunakan adalah pada saluran tengah atau jalur tengah Sidrap-Maros. Pengolahan data diolah di *Matlab*, di mana untuk pemodelan sistem dilakukan di *Simulink* dan untuk pengolahan data hasil simulasi juga digunakan program *Excel*. Proses pengerjaan pertama dilakukan adalah studi aliran daya pada system, untuk mengetahui magnitudo tegangan, kemudian matriks admitansi jaringan direduksi, dan hasilnya digunakan untuk simulasi sistem. Simulasi ini dilakukan dengan beberapa model, diantaranya adalah sistem tanpa PSS, PSS konvensional (*trial and error*) dan *PSS Cuckoo*. Simulasi tanpa control (*Open Loop*) dilakukan untuk mengetahui nilai *eigenvalue* sistem, setelah itu akan dilihat besar *damping* sistem.

Fungsi tujuan (*Objective Function*) yang digunakan adalah memaksimalkan *damping* minimum ( $\zeta_{\min}$ ), pada semua kombinasi penempatan PSS. Untuk setiap *Placement Index*, nilai minimum *damping* minimum akan dievaluasi oleh metode cerdas yang diusulkan menggunakan *Cuckoo Search Algorithm*. Kemudian, penempatan terbaik PSS didasarkan pada nilai maksimum  $\zeta_{\min}$  yang lebih besar dari  $\zeta_0$ . Setelah diketahui penempatan PSS yang optimal berdasarkan nilai *damping* masing-masing *probability* penempatan PSS, selanjutnya dapat dilihat dan dianalisa respon sistem yaitu Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan sudut rotor masing-masing generator. Selain itu juga akan dianalisis nilai eigen serta besar overshoot dari masing-masing metode pembanding yang digunakan. Pemodelan linier sistem diberikan input gangguan perubahan permintaan beban sebesar 0.05 pu pada Generator Slack PLTA Bakaru. Karena perubahan beban ini, mengakibatkan perubahan di sisi beban menyebabkan  $P_m < P_e$ , sehingga  $\omega$  generator akan turun.

$$M\dot{\omega} = P_m - P_e - D\dot{\delta}$$

#### 4.2.1. Analisis Data

Penyelesaian tesis ini ditunjang oleh beberapa perangkat Hardware dan Software untuk pengolahan dan analisa, diantaranya :

- Laptop Asus A450L/500GB/RAM 4GB/Corei5



- Software Matlab 2013, Word 2010, Excel 2010 & Visio 2003
- Lokasi Penelitian Lab. PSOC ITS dan AP2B PLN Sulselrabar,

Ada beberapa tahap pengerjaan analisis, diantaranya studi aliran daya, pemodelan sistem dan reduksi matriks admitansi. Pembuatan algoritma diselesaikan di m.file Matlab dan hasilnya diintegrasikan dengan Simulink Matlab untuk menganalisis performansi sistem berdasarkan metode yang digunakan.

#### **4.2.1.1. Studi Aliran daya**

Pengerjaan Penelitian diawali dengan melakukan simulasi loadflow sistem terlebih dahulu untuk mendapatkan parameter tegangan dan sudut. Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai data untuk pemodelan linier sistem.

#### **4.2.1.2. Pemodelan Sistem**

Setelah studi aliran daya dilakukan selanjutnya, sistem tenaga listrik dimodelkan ke dalam model linier multimesin dalam bentuk model d-q. Model sistem ditampilkan menggunakan program simulink pada Matlab dan dianalisis dengan penggunaan m.file Matlab 2013.

#### **4.2.1.3. Reduksi Matriks Admitansi Jaring**

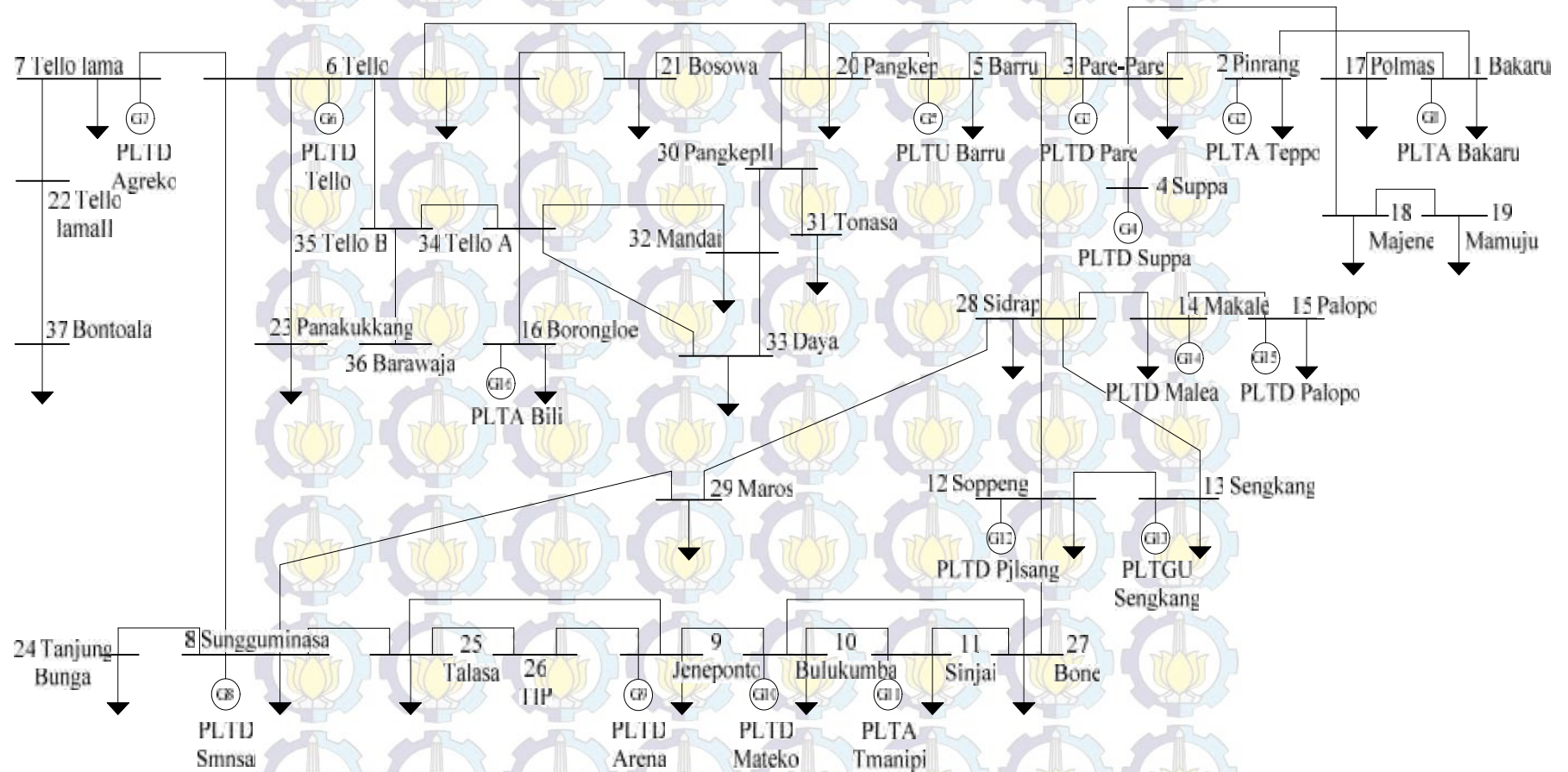
Reduksi jaring sistem tenaga listrik digunakan untuk menyederhanakan matriks admitansi jaringan sistem. Tujuannya adalah untuk mereduksi matriks admitansi atau untuk mengeliminasi bus beban, sehingga nantinya ukuran matriks ini sama dengan jumlah generator. Matriks reduksi ini digunakan dalam pemodelan jaring sistem tenaga listrik multimesin. Matriks yang berukuran 37x37 (jumlah 37 bus) direduksi menjadi matrik 16x16 (jumlah 16 pembangkit).

### **4.2.2. Analisis Kondisi Normal (Kasus I)**

#### **4.2.2.1. Penempatan dan Penalaan Power System Stabilizer**

Berdasarkan acuan paper yang digunakan (Sebaa,2009; Eslami,2012), bahwa tidak semua generator pada sistem dipasang Power System Stabilizer, akan tetapi jumlah minimum yang dapat dipasang adalah setengah dari jumlah generator pada sistem tersebut yang dipasang PSS, maka range pemasangan PSS yang digunakan pada penelitian ini adalah antara 8 - 15 jumlah PSS.





Gambar 4.1. Single Line Sistem 150 kV Sulselrabar Kondisi Normal (Kasus I)

\*Sumber : (Data Operasi Area Pengatur & Penyaluran Beban (AP2B) PT.PLN Wilayah Sulselrabar, Makassar)



Pemasangan PSS berdasarkan nilai *damping* eigen masing-masing generator, nilai *damping* yang minimum adalah lokasi prioritas pemasangan PSS, dengan jumlah PSS 8-15 PSS dan dengan menggunakan metode yang diusulkan (*Cuckoo Search Algorithm*), maka *damping* minimum dapat diketahui. Berikut tabel 4.6 menunjukkan *damping* eigen sistem tanpa PSS (*open loop*) untuk kondisi normal. Gambar 4.1 di atas adalah single line sistem Sulselrabar kondisi normal (Kasus I) atau studi kasus pertama yang akan ditinjau kestabilannya, di mana terdapat masing-masing mode mekanik mesin pada setiap 144 nilai eigen.

Tabel 4.6. *Damping* Eigen Masing-Masing Generator (Kasus I)

Gen	Mode	Damping <	Gen	Mode	Damping <
1	1	0,2956	9	73	1
	2	0,2956		74	1
	3	0,1994		75	1
	4	0,1994		76	1
	5	0,1317		77	1
	6	0,1317		78	1
	7	0,1873		79	1
	8	0,1873		80	1
	9	0,0786		81	1
2	10	0,0786	10	82	1
	11	0,2333		83	1
	12	0,2333		84	1
	13	0,0832		85	1
	14	0,0832		86	1
	15	0,0816		87	1
	16	0,0816		88	0,6656
	17	0,065		89	0,6656
	18	0,065		90	1
3	19	0,069	11	91	1
	20	0,069		92	1
	21	0,441		93	1
	22	0,0441		94	1
	23	0,0292		95	1
	24	0,0292		96	0,1125
	25	0,0205		97	0,1125
	26	0,0205		98	1
	27	0,0455		99	0,1128
4	28	0,0455	12	100	0,1128
	29	0,0618		101	0,1486
	30	0,0618		102	0,1486
	31	0,0106		103	0,1216
	32	0,0106		104	0,1216
	33	0,0204		105	0,2297
	34	0,0204		106	0,2297
	35	0,0109		107	0,0804
	36	0,0109		108	0,0804



<i>Lanjutan</i>					
Gen	Mode	Damping <	Gen	Mode	Damping <
5	37	1	13	109	0,146
	38	0,0436		110	0,146
	39	0,0436		111	0,1849
	40	1		112	0,1849
	41	1		113	0,2087
	42	1		114	0,2087
	43	1		115	0,1673
	44	0,0977		116	0,1673
	45	0,0977		117	0,0959
6	46	0,0848	14	118	0,0959
	47	0,0848		119	0,1991
	48	0,169		120	0,1991
	49	0,169		121	0,1784
	50	0,1882		122	0,1784
	51	0,1882		123	0,1105
	52	1		124	0,1105
	53	0,2126		125	0,1122
	54	0,2126		126	0,1122
7	55	0,2706	15	127	0,1996
	56	0,2706		128	0,1996
	57	0,2376		129	1
	58	0,2376		130	1
	59	0,4412		131	1
	60	0,4412		132	1
	61	0,3041		133	1
	62	0,3041		134	1
	63	1		135	1
8	64	0,5791	16	136	1
	65	0,5791		137	1
	66	1		138	1
	67	1		139	1
	68	1		140	1
	69	1		141	1
	70	1		142	1
	71	1		143	1
	72	1		144	1

Tabel 4.6 merupakan *damping* eigen sistem tanpa PSS (*Open Loop*), didapatkan nilai *damping* eigen dari masing-masing pembangkit/generator yang minimum. Terdapat 144 mode mekanik dari tiap generator, mode mekanik mengindikasikan interaksi yang terjadi antar generator. Nilai-nilai *damping* yang minimum tersebut dijadikan sebagai prioritas lokasi pemasangan PSS, dan daftar prioritas *probability* pemasangan PSS dengan masing-masing nilai *damping* eigen ditampilkan dalam tabel *Placement Index* berikut. Selanjutnya indeks penempatan PSS tersebut akan dievaluasi oleh CSA, penempatan terbaik PSS didasarkan pada



nilai maksimum  $\zeta_{min}$  yang lebih besar dari 0. Berikut tabel placement index untuk lokasi prioritas pemasangan PSS dengan *damping* eigen minimum dari sistem.

Tabel 4.7. Placement Index PSS (Kasus I)

Jumlah	Place	Kpss	T1	T2	T3	T4	$\zeta_{min}$
14 PSS	G1	48,6531	0,0264	0,0497	0,5770	0,2088	0,6033
	G2	43,2677	0,0233	0,0011	0,7143	0,4169	
	G3	22,8287	0,0247	0,0214	0,8527	1,9634	
	G4	30,3062	0,0445	0,0343	0,2217	1,3759	
	G5	45,8091	0,0130	0,0083	0,8342	1,1029	
	G6	19,7454	0,0022	0,0023	0,0846	1,9715	
	G7	40,0013	0,0279	0,0198	0,1807	0,6452	
	G8	26,3228	0,0235	0,0121	0,7602	0,4647	
	G10	12,1000	0,0282	0,0175	0,7587	0,4782	
	G11	20,9934	0,0425	0,0491	0,6242	1,4090	
	G12	23,5680	0,0266	0,0127	0,0100	0,5073	
	G13	42,5683	0,0122	0,0359	0,4014	0,9696	
	G14	27,1712	0,0205	0,0407	0,5160	1,6440	
	G15	31,6582	0,0274	0,0111	0,7266	0,8421	
13 PSS	G1	49,1906	0,0239	0,0189	1,7658	3,1818	0,5806
	G2	21,3929	0,0331	0,0435	3,5757	5,1771	
	G3	33,7990	0,0227	0,0488	3,7332	4,6697	
	G4	48,4864	0,0384	0,0439	3,0989	4,5881	
	G5	17,4311	0,0203	0,0302	3,1755	5,4899	
	G6	17,7216	0,0372	0,0212	1,6897	5,5763	
	G7	23,6658	0,0437	0,0399	2,7282	5,3671	
	G8	47,3159	0,0271	0,0195	3,4319	3,9535	
	G10	25,6267	0,0334	0,0483	2,2115	4,3566	
	G11	20,9287	0,0371	0,0348	3,9653	5,2567	
	G12	16,0779	0,0218	0,0340	1,2700	3,3296	
	G13	25,8844	0,0349	0,0169	1,9628	3,3292	
	G14	24,9889	0,0393	0,0136	2,5342	3,8097	
	12 PSS	G1	39,8920	0,0404	0,0294	2,3134	
G2		42,3096	0,0287	0,0240	1,6659	5,8450	
G3		26,9141	0,0351	0,0301	3,4944	5,9317	
G4		39,8945	0,0455	0,0250	3,2863	5,9624	
G5		35,7295	0,0344	0,0343	1,0075	5,4620	
G6		47,1445	0,0308	0,0157	3,8210	3,7098	
G7		43,2617	0,0362	0,0340	1,4376	4,1216	
G8		31,4329	0,0322	0,0414	3,5728	5,7307	
G10		19,2333	0,0222	0,0392	3,6722	3,0976	
G11		20,3101	0,0416	0,0245	3,7391	3,6241	
G12		11,3064	0,0318	0,0454	3,7111	3,9333	
G13		42,3893	0,0388	0,0355	1,7160	5,3736	
11 PSS		G1	44,9386	0,0289	0,0151	2,1926	3,4397
	G2	47,8676	0,0243	0,0454	3,1844	3,1992	
	G3	35,6461	0,0358	0,0252	2,4825	5,2191	
	G4	34,0040	0,0231	0,0391	3,5380	4,6968	
	G5	30,0453	0,0449	0,0499	1,4744	3,4986	
	G6	42,9712	0,0497	0,0481	3,1895	5,9391	
	G7	44,7448	0,0290	0,0445	1,2743	4,4367	



<i>Lanjutan</i>							
Jumlah	Place	Kpss	T1	T2	T3	T4	<min
	G8	37,0580	0,0432	0,0263	2,8951	4,5259	
	G10	23,2733	0,0444	0,0310	2,0242	5,1581	
	G11	30,7269	0,0284	0,0372	2,0144	4,4407	
	G12	26,2347	0,0241	0,0335	3,4697	4,1025	
10 PSS	G1	40,1420	0,0360	0,0405	3,2439	4,0370	0,5632
	G2	20,5618	0,0473	0,0480	1,8116	3,4256	
	G3	34,9079	0,0347	0,0394	2,0570	3,0540	
	G4	45,5959	0,0394	0,0381	1,8090	3,0986	
	G5	43,1258	0,0264	0,0295	2,4560	3,1308	
	G6	36,3471	0,0232	0,0488	2,1193	5,0718	
	G7	40,8618	0,0259	0,0480	3,3214	5,3251	
	G8	42,7427	0,0202	0,0131	2,1713	4,6755	
	G10	19,8497	0,0299	0,0323	3,9606	3,4732	
	G11	40,0193	0,0480	0,0411	3,2217	5,1410	
9 PSS	G1	14,3214	0,0220	0,0453	3,9631	4,2533	0,5352
	G2	45,9615	0,0445	0,0404	3,3835	3,1200	
	G3	16,3264	0,0310	0,0198	2,4794	4,3580	
	G4	32,3785	0,0387	0,0344	1,8292	5,5276	
	G5	38,3172	0,0405	0,0414	2,4948	5,1286	
	G6	36,3751	0,0309	0,0114	2,9658	3,5291	
	G7	16,7915	0,0425	0,0339	1,0597	3,8872	
	G8	36,5207	0,0232	0,0302	3,0405	3,7677	
8 PSS	G1	43,9473	0,0464	0,0457	3,5666	4,2574	0,5525
	G2	19,9554	0,0212	0,0462	2,9638	5,1381	
	G3	16,6431	0,0490	0,0337	2,6458	4,9083	
	G4	39,6951	0,0361	0,0211	3,6117	3,1297	
	G5	46,5138	0,0242	0,0415	3,7265	5,0193	
	G6	23,2906	0,0209	0,0417	1,6292	4,9354	
	G7	45,3324	0,0288	0,0304	3,7525	3,0639	
	G8	35,9815	0,0334	0,0295	1,5560	5,7105	

Dari tabel *Placement Index* di atas, dapat dilihat bahwa besar *damping* setelah penambahan PSS semakin meningkat dan penempatan PSS yang optimal adalah dengan 14 PSS yang dipasang berdasarkan hasil analisa. Dengan menggunakan hasil tersebut selanjutnya dapat dilihat deviasi kecepatan dan sudut rotor dari masing-masing pembangkit. Berikut ini dijabarkan hasil analisa dengan 14 PSS yang digunakan. Pertama, studi aliran daya dengan 14 PSS, hasilnya ditampilkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Besar Magnitude Tegangan dan Sudut Tegangan (Kasus I)

No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut (°)	No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut (°)
1	1,000	0,000	20	0,979	-16,450
2	1,000	-3,869	21	0,983	-18,428



<i>Lanjutan</i>					
No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ( $^{\circ}$ )	No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ( $^{\circ}$ )
3	1,000	-5,124	22	0,987	-21,176
4	1,000	-4,041	23	0,960	-23,033
5	1,000	-9,839	24	0,993	-20,956
6	1,000	-20,793	25	0,994	-19,485
7	1,000	-21,192	26	0,994	-18,453
8	1,000	-20,221	27	0,990	-8,949
9	1,000	-16,359	28	0,992	-4,600
10	1,000	-13,152	29	0,992	-17,723
11	1,000	-11,792	30	0,960	-16,091
12	1,000	-2,500	31	0,933	-17,110
13	1,000	2,915	32	0,980	-21,261
14	1,000	-11,380	33	0,984	-21,251
15	1,000	-13,389	34	0,993	-20,728
16	1,000	-21,966	35	0,996	-20,760
17	0,992	-3,072	36	0,996	-20,760
18	0,974	-5,217	37	0,975	-22,476
19	0,965	-6,386			

Parameter CSA yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.9. Prinsip kerja CSA adalah mengoptimisasi parameter dari PSS dalam suatu batasan yang telah ditetapkan. Parameter CSA ditampilkan pada Tabel 4.9. Parameter PSS yang ditala adalah  $K_{PSS}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  dan  $T_4$ . Nilai  $T_w$  memiliki nilai dalam rank batasan 1 – 50 detik, dalam penelitian  $T_w$  ditetapkan konstan yaitu 10 detik (Robandi,2006). Berikut ini tabel 4.9 dan 4.10 parameter *Cuckoo* dan PSS yang telah ditetapkan. Sebagai metode pembanding, metode konvensional digunakan untuk PSS konvensional, seperti ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.9. Parameter Algoritma CSA (Kasus I)

Parameter	Nilai
Number of Nest	25
Discovery Rate of Alien Eggs/Solutions	10
Tolerance	$1,0^{-5}$
Number of Parameters	65
Beta	1,5
Max Generation	50

Tabel 4.10. Batasan Nilai Parameter PSS (Kasus I)

No	Parameter	Lower Limit	Upper Limit
1	$K_{PSS}$	10	50
2	$T_1$	0	0.05



<i>Lanjutan</i>			
No	Parameter	Lower Limit	Upper Limit
3	T <sub>2</sub>	0	0.05
4	T <sub>3</sub>	0	1
5	T <sub>4</sub>	0	2

Tabel 4.11. Parameter PSS dengan Metode Trial and error (Kasus I)

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Bakaru	48,2272	0,0478	0,8018	0,0493	0,8847
Pinrang	16,2895	0,0206	0,2886	0,3349	1,4885
Pare - Pare	13,5790	0,0472	0,3497	0,1713	2,7785
Suppa	16,5591	0,0443	0,7804	0,1024	1,6488
Barru	46,1332	0,0108	0,2612	0,1492	2,1633
Tello	35,3281	0,0425	0,3830	0,1935	1,4651
Tello lama	29,7565	0,0455	0,0864	0,3923	1,4842
Sgmnsa	38,1133	0,0045	0,0176	0,1988	1,7817
Bulukumba	29,7237	0,0246	0,7096	0,1953	1,5321
Sinjai	99,3400	0,0394	0,9427	0,1066	2,8044
Soppeng	97,0248	0,0047	0,9107	0,1836	0,1418
Sengkang	8,5956	0,0247	0,2484	0,4776	0,8827
Makale	78,1453	0,0228	0,1392	0,3335	1,9848
Palopo	17,9254	0,0341	0,3523	0,0405	0,5195

Selanjutnya untuk metode yang diusulkan, dengan menggunakan CSA, ditunjukkan pada tabel 4.12 di bawah ini, di mana untuk hasil lengkap optimisasi parameter PSS dapat dilihat pada lampiran. Dari tabel *Placement Index* penempatan PSS di atas, didapatkan lokasi optimal yang didapatkan adalah dengan 14 lokasi penempatan PSS, yaitu Generator Bakaru, Pinrang, Pare - Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, dan Palopo. Berikut hasil tuning parameter PSS.

Tabel 4.12. Hasil Penalaan Parameter PSS dengan CSA (Kasus I)

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Bakaru	48,6531	0,0264	0,0497	0,5770	0,2088
Pinrang	43,2677	0,0233	0,0011	0,7143	0,4169
Pare - Pare	22,8287	0,0247	0,0214	0,8527	1,9634
Suppa	30,3062	0,0445	0,0343	0,2217	1,3759
Barru	45,8091	0,0130	0,0083	0,8342	1,1029
Tello	19,7454	0,0022	0,0023	0,0846	1,9715
Tello lama	40,0013	0,0279	0,0198	0,1807	0,6452
Sgmnsa	26,3228	0,0235	0,0121	0,7602	0,4647
Bulukumba	12,1000	0,0282	0,0175	0,7587	0,4782
Sinjai	20,9934	0,0425	0,0491	0,6242	1,4090
Soppeng	23,5680	0,0266	0,0127	0,0100	0,5073



<i>Lanjutan</i>					
Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Sengkang	42,5683	0,0122	0,0359	0,4014	0,9696
Makale	27,1712	0,0205	0,0407	0,5160	1,6440
Palopo	31,6582	0,0274	0,0111	0,7266	0,8421

#### 4.2.2.2. Analisis dan Pembahasan

Setelah dilakukan penempatan dan penalaan PSS dengan 14 lokasi penempatan PSS, selanjutnya melihat respon Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan sudut rotor dari setiap generator. Overshoot Deviasi Kecepatan dari generator akan dianalisis perbedaannya. Sedangkan dari nilai eigenvalue kritis yang didapat juga semakin meningkat. Tabel 4.13 menunjukkan hasil perbandingan eigenvalue kritis, Tabel 4.14 menunjukkan perbandingan eigenvalue pada mode osilasi inter-area dan local-area, yang ditampilkan berdasarkan osilasi yang terjadi (Robandi,2006). Tabel 4.15, menunjukkan perbandingan overshoot deviasi kecepatan masing-masing metode yang digunakan.

Tabel 4.13. Eigenvalue Kritis (Kasus I)

No PSS (1.0e+02*)	Conv. PSS (1.0e+02*)	PSS Cuckoo (1.0e+02*)
-0,4442 ± 5,3196i	-0,4442 ± 5,3193i	-0,4446 ± 5,3191i
-0,3056 ± 4,6944i	-0,3056 ± 4,6945i	-0,3058 ± 4,6952i
-0,3135 ± 4,5323i	-0,3135 ± 4,5323i	-0,3250 ± 4,5277i
-0,1266 ± 4,3273i	-0,1266 ± 4,3271i	-0,1373 ± 4,2838i
-0,0853 ± 4,1574i	-0,1965 ± 4,3135i	-0,1970 ± 4,3144i
-0,2594 ± 4,1886i	-0,2620 ± 4,1920i	-0,2695 ± 4,2012i
-0,0825 ± 4,0439i	-0,0823 ± 4,0441i	-0,0831 ± 4,0461i
-0,0389 ± 3,5546i	-0,0390 ± 3,5539i	-0,0396 ± 3,5531i
-0,0033 ± 0,0408i	-0,0032 ± 0,0414i	-0,0061 ± 0,0658i

Tabel 4.14. Eigenvalue pada Mode Osilasi inter-area dan local-area (Kasus I)

Mode Osilasi	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
Inter-Area	-0,3293 + 4,0844i	-0,3196 + 4,1435i	-2,6464 + 4,9393i
	-0,4445 + 4,6156i	-0,4069 + 4,8606i	-0,5804 + 4,0643i
	-0,5049 + 4,5409i	-0,4289 + 4,6271i	-0,5866 + 4,5799i
	-0,5121 + 4,5346i	-1,1615 + 4,8368i	-2,2761 + 2,9735i
Lokal	-0,9043 + 7,9670i	-0,8805 + 8,0385i	-1,5144 + 9,6453i



*Lanjutan*

Mode Osilasi	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
	-1,0640 + 7,0827i	-1,2681 + 7,3358i	-2,4976 + 7,4335i
	-0,8539 + 6,9713i	-0,8781 + 6,5140i	-0,6138 + 6,5759i
	-1,4632 + 6,2010i	-1,4557 + 6,2504i	-2,3590 + 5,4247i
	-0,7864 + 5,3303i	-1,2580 + 6,0584i	-1,3401 + 5,9471i
	-1,0964 + 5,8274i	-1,3826 + 5,9573i	-1,7793 + 5,1820i
	-1,2476 + 5,8462i	-0,8927 + 5,6517i	-0,9281 + 5,3300i
	-0,9347 + 5,5081i	-1,2387 + 5,7480i	-1,0158 + 5,5235i
	-1,1487 + 5,6546i	-1,1386 + 5,6712i	-1,3879 + 5,4490i
	-0,9912 + 5,4670i	-0,8122 + 5,3715i	-1,3848 + 5,5207i
	-1,1527 + 5,6600i	-1,0011 + 5,4803i	-1,0040 + 5,4653i

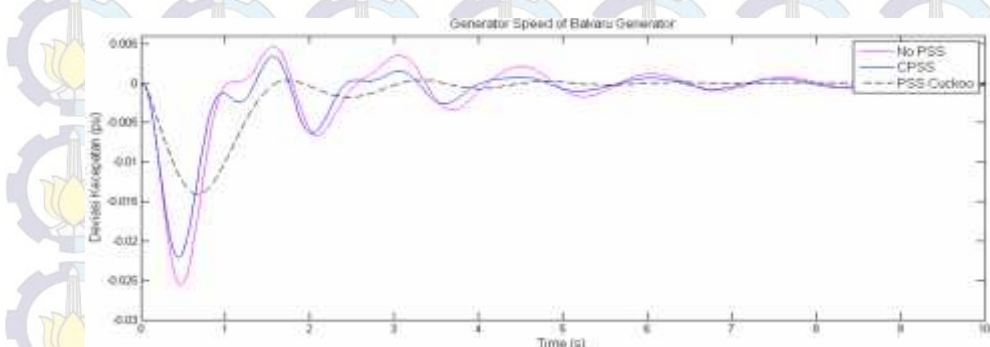
Tabel 4.15. Overshoot Deviasi Kecepatan Masing-Masing Generator (Kasus I)

Power Plant	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
Bakaru	0,004681 & -0,02563	0,003435 & -0,02208	0,000383 & -0,01408
Pinrang	0,006884 & -0,02385	0,003607 & -0,02048	0,0005369 & -0,01493
Pare – Pare	0,004794 & -0,02424	0,003282 & -0,02148	0,0004397 & -0,01769
Suppa	0,006515 & -0,02437	0,004717 & -0,02163	0,001171 & -0,02038
Barru	0,03669 & -0,08466	0,02275 & -0,06871	0,0001342 & -0,03274
Tello	0,05448 & -0,2119	0,05054 & -0,2079	0,04588 & -0,2036
Tello lama	0,09124 & -0,2227	0,0002114 & -0,1513	0,0003216 & -0,1083
Sgmnsa	0,007789 & -0,05721	0,0001737 & -0,04833	3,609e-05 & -0,03412
Jeneponto	0,006145 & -0,02519	0,003361 & -0,02267	0,00148 & -0,02071
Bulukumba	0,01017 & -0,02447	0,007014 & -0,02153	0,003422 & -0,01767
Sinjai	0,01805 & -0,0263	0,01424 & -0,0233	0,007588 & -0,01939
Soppeng	0,01152 & -0,0248	0,004104 & -0,01872	0,002272 & -0,01757
Sengkang	0,005063 & -0,02694	0,003675 & -0,02409	0,0005608 & -0,0157
Makale	0,01704 & -0,02397	0,01165 & -0,01999	0,005528 & -0,01661
Palopo	0,01892 & -0,02442	0,01436 & -0,02128	0,006051 & -0,01635
Borongloe	0,01622 & -0,06846	0,008148 & -0,06095	0,001852 & -0,053



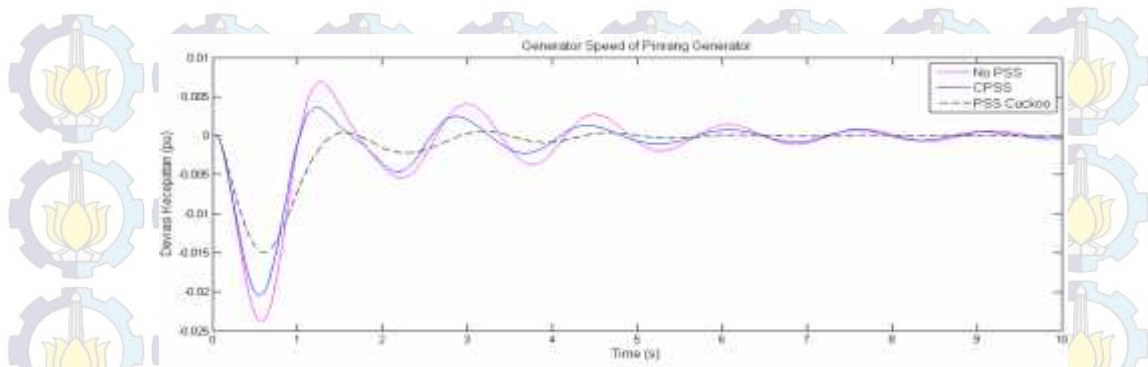
Dari tabel 4.13 dan 4.14 terlihat secara signifikan terjadi perbaikan pada nilai eigenvalue system dengan penerapan PSS Cuckoo pada sistem. Sebagai misal, pada table 4.13, tanpa PSS  $-0,2594 \pm 4,1886i$ , PSS konvensional meningkat menjadi  $-0,2620 \pm 4,1920i$  dan PSS Cuckoo semakin meningkat menjadi  $-0,2695 \pm 4,2012i$ . Sedangkan pada table 4.14, Nilai eigenvalue sistem pada mode osilasi inter-area mengalami perbaikan sebagai misal, tanpa PSS  $-0,3293 + 4,0844i$  dengan PSS konvensional meningkat  $-0,3196 + 4,1435i$ , dan dengan PSS Cuckoo, menjadi semakin meningkat  $-2,6464 + 4,9393i$ . Sedangkan, untuk mode osilasi sebagai misal, tanpa PSS  $-0,9043 + 7,9670i$ , PSS konvensional menjadi  $-0,8805 + 8,0385i$  dan dengan PSS Cuckoo semakin meningkat menjadi  $-1,5144 + 9,6453i$ .

Dari tabel 4.15, perbandingan nilai overshoot dari masing-masing metode yang digunakan, di mana dengan menggunakan metode yang diusulkan CSA adalah yang paling kecil overshoot yang dihasilkan dan untuk overshoot yang terbesar dihasilkan sistem dengan tanpa PSS. Sebagai misal, pada generator Bakaru, untuk sistem tanpa PSS overshoot maksimum sebesar 0,004681 dan overshoot minimum sebesar -0,02563, sedangkan untuk sistem dengan PSS konvensional overshoot menjadi berkurang, di mana overshoot maksimum sebesar 0,003435 dan overshoot minimum sebesar -0,02208, sedangkan dengan PSS Cuckoo overshoot semakin berkurang, dengan overshoot maksimum sebesar 0,000383 dan overshoot minimum sebesar -0,01408. Gambar 4.2-4.33 Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan Variasi dari sudut rotor masing-masing generator.

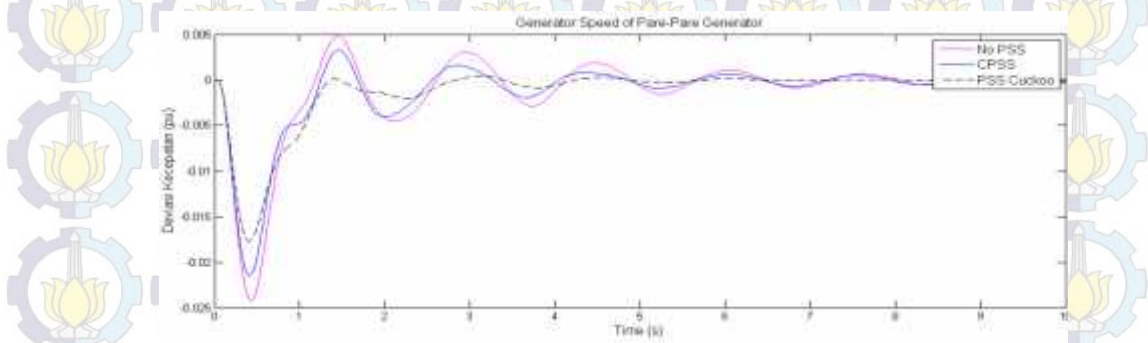


Gambar 4.2. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bakaru (Kasus I)

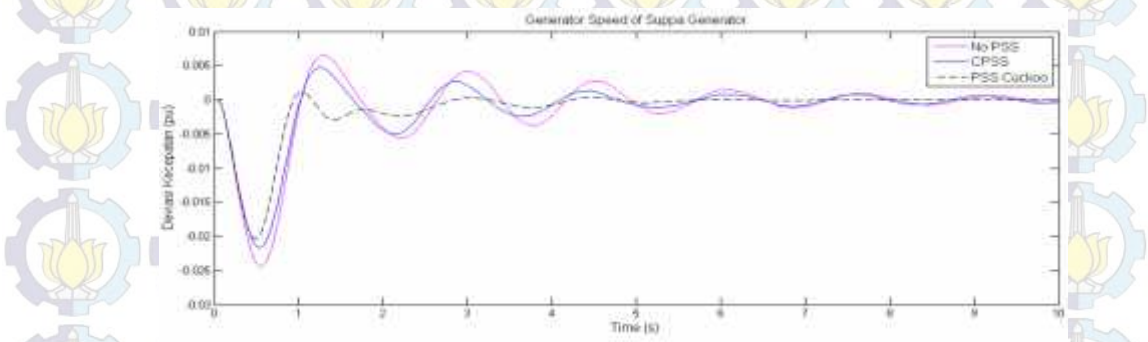




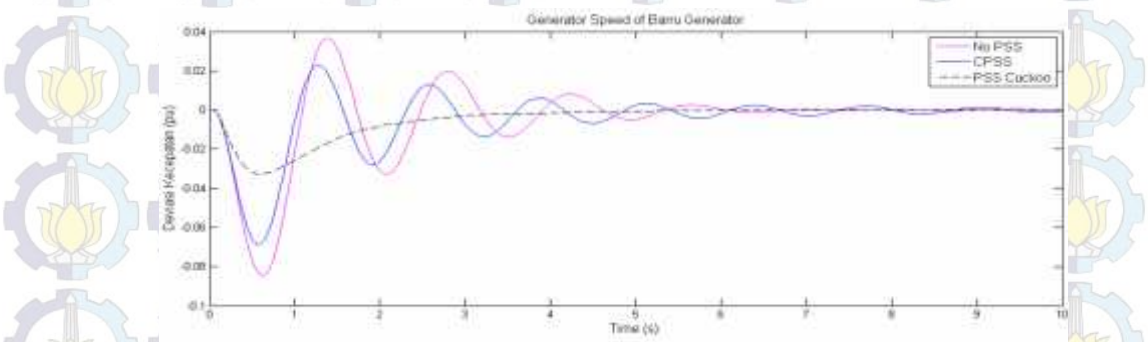
Gambar 4.3. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pinrang (Kasus I)



Gambar 4.4. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pare-Pare (Kasus I)

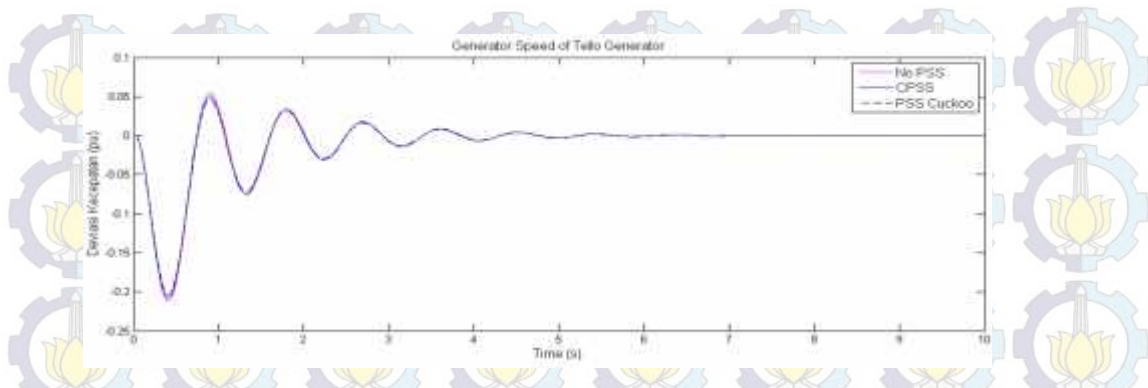


Gambar 4.5. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Suppa (Kasus I)

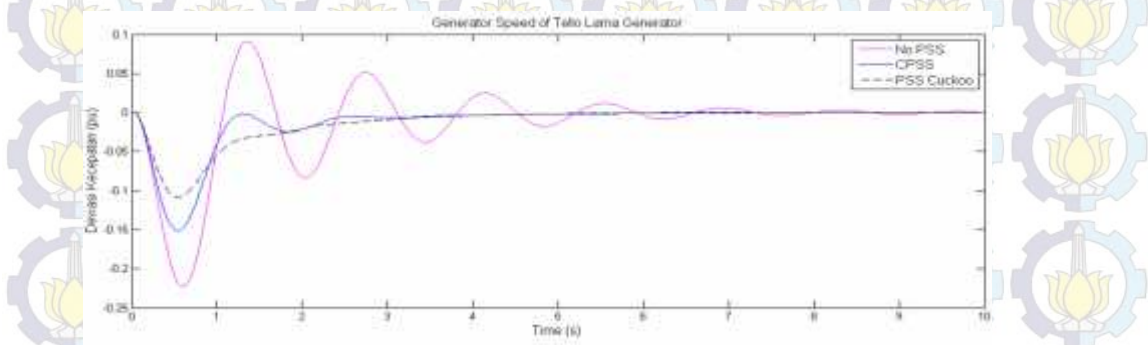


Gambar 4.6. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Barru (Kasus I)

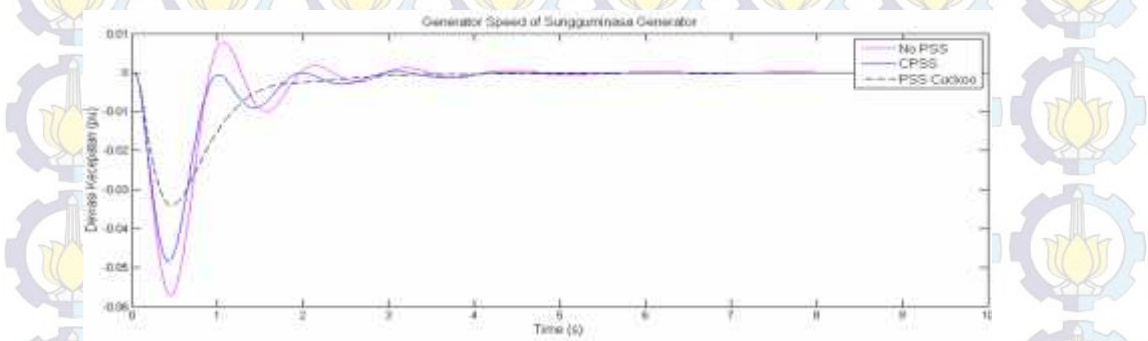




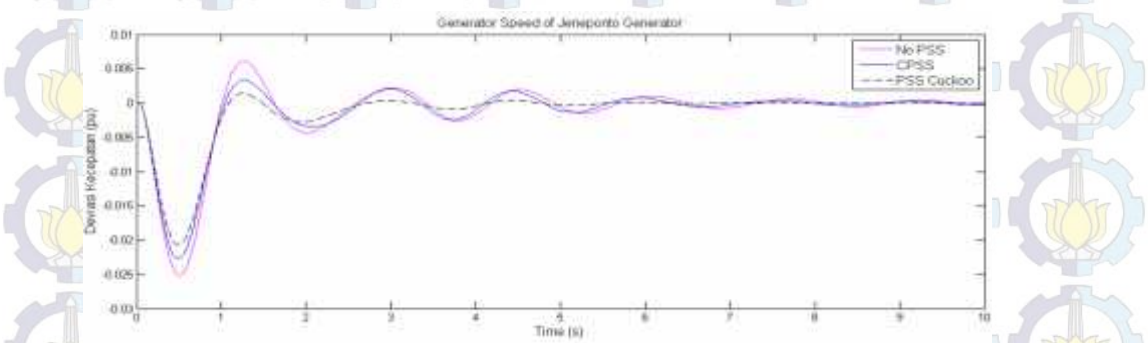
Gambar 4.7. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello (Kasus I)



Gambar 4.8. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello Lama (Kasus I)

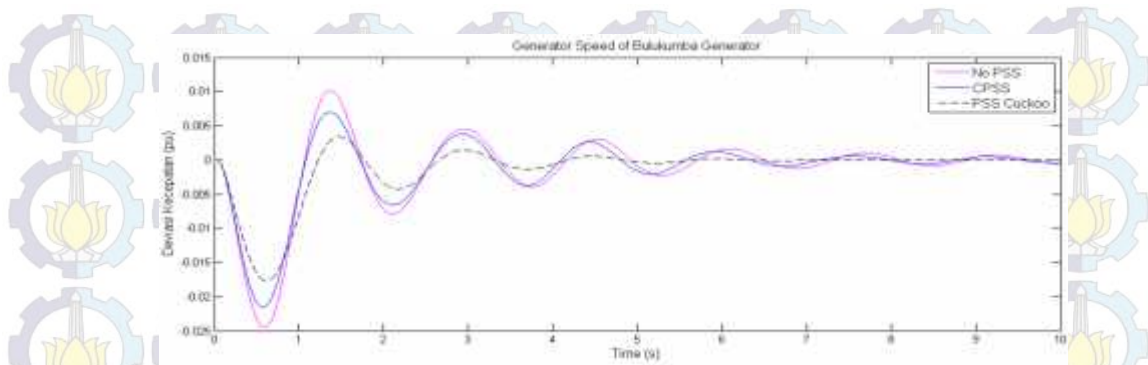


Gambar 4.9. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sungguminasa (Kasus I)

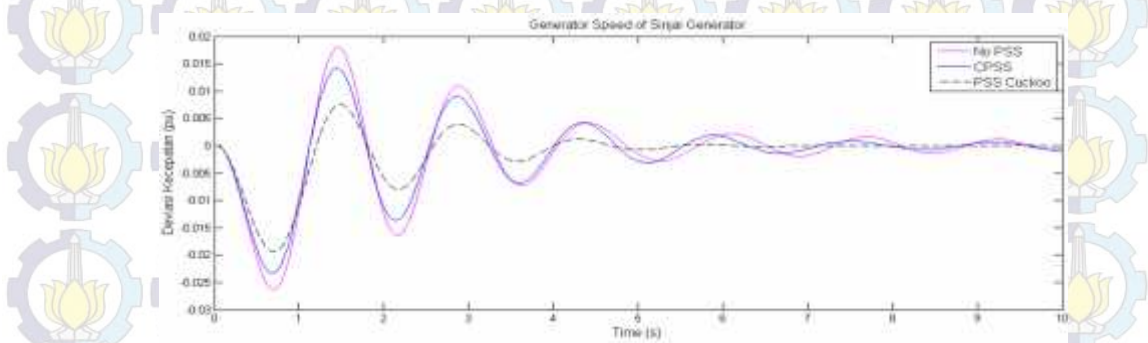


Gambar 4.10. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Jeneponto (Kasus I)

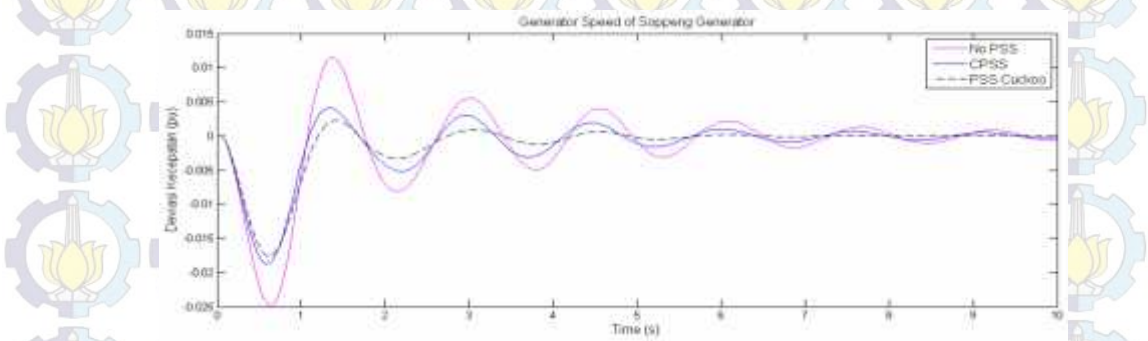




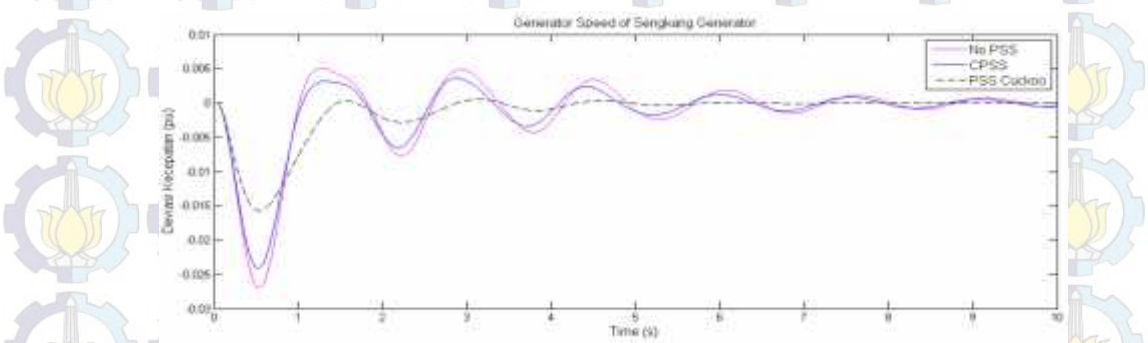
Gambar 4.11. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bulukumba (Kasus I)



Gambar 4.12. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sinjai (Kasus I)

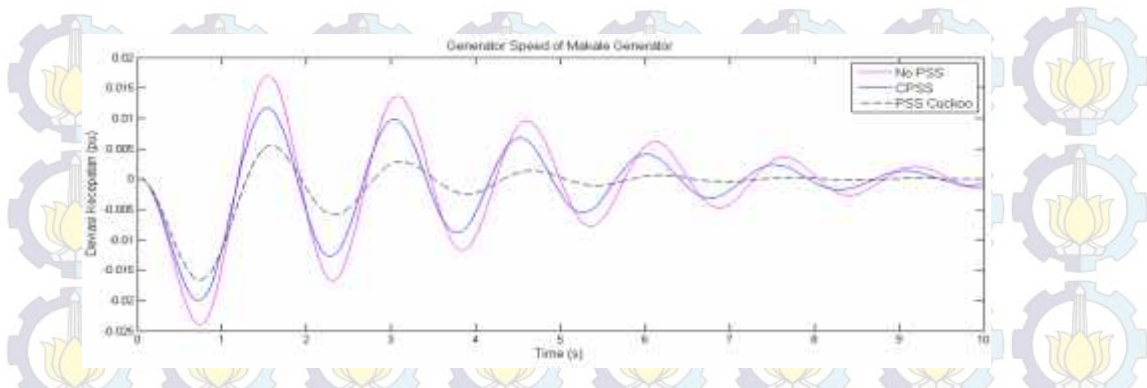


Gambar 4.13. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Soppeng (Kasus I)

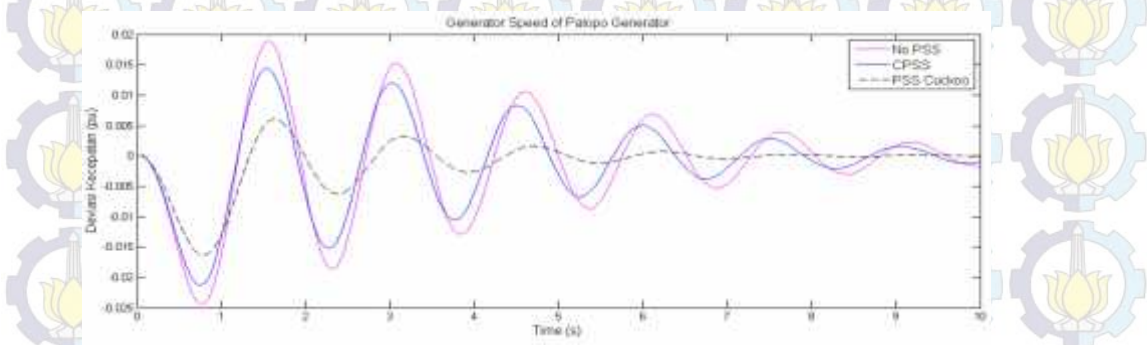


Gambar 4.14. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sengkang (Kasus I)

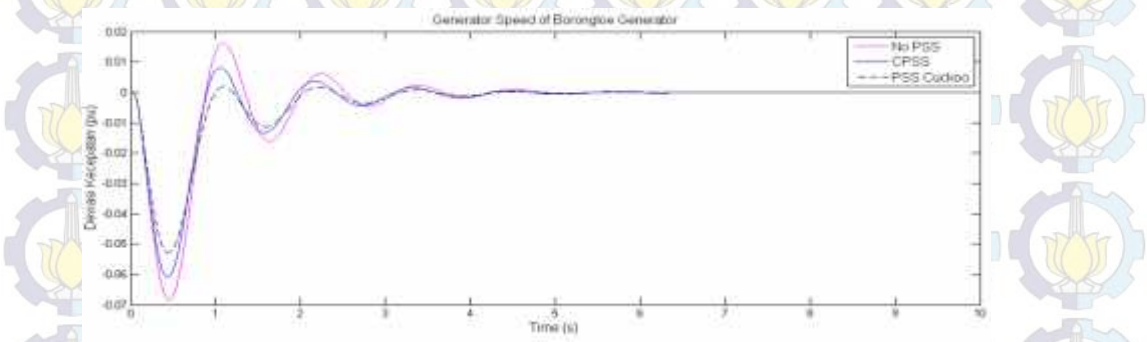




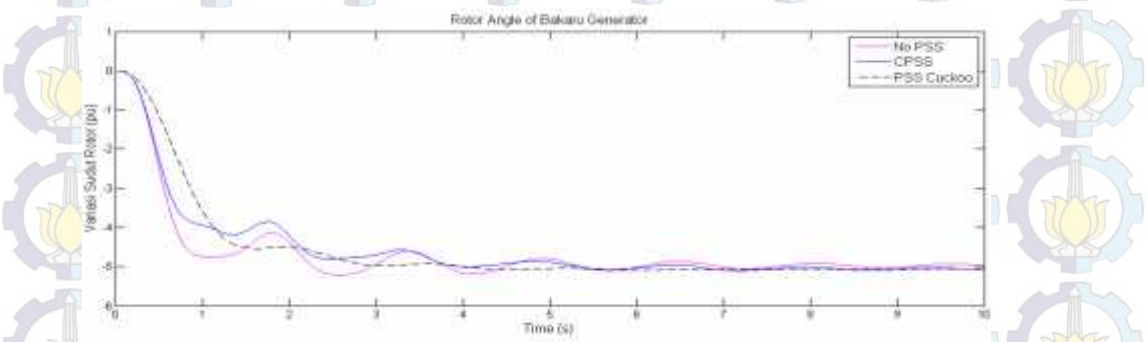
Gambar 4.15. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Makale (Kasus I)



Gambar 4.16. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Palopo (Kasus I)

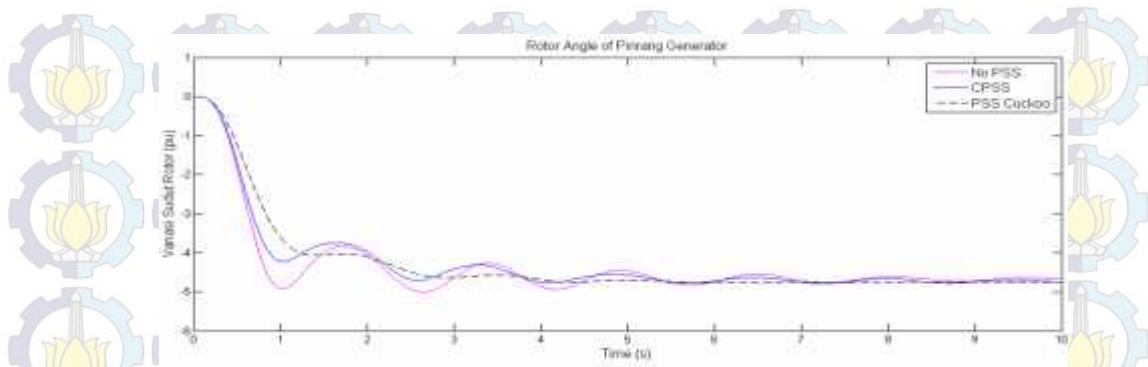


Gambar 4.17. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Borongloe (Kasus I)

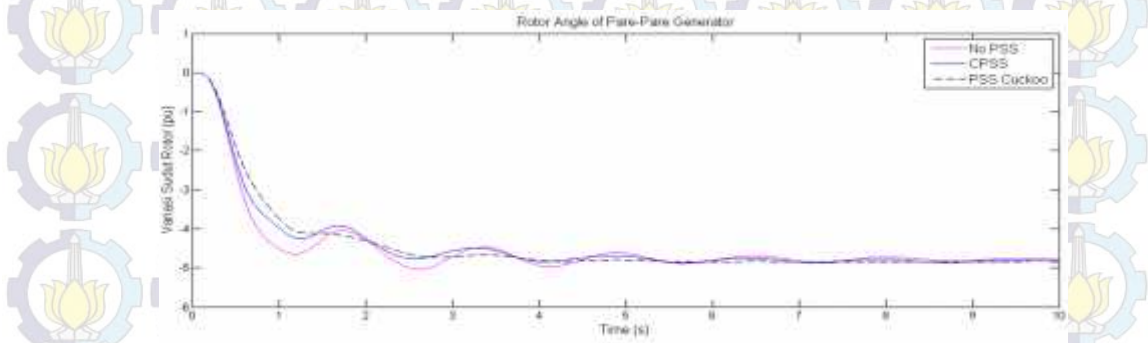


Gambar 4.18. Variasi Sudut Rotor Generator Bakaru (Kasus I)

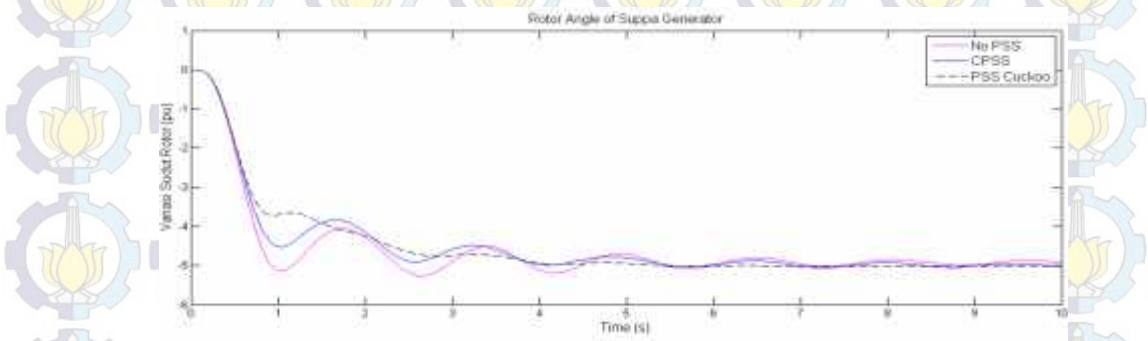




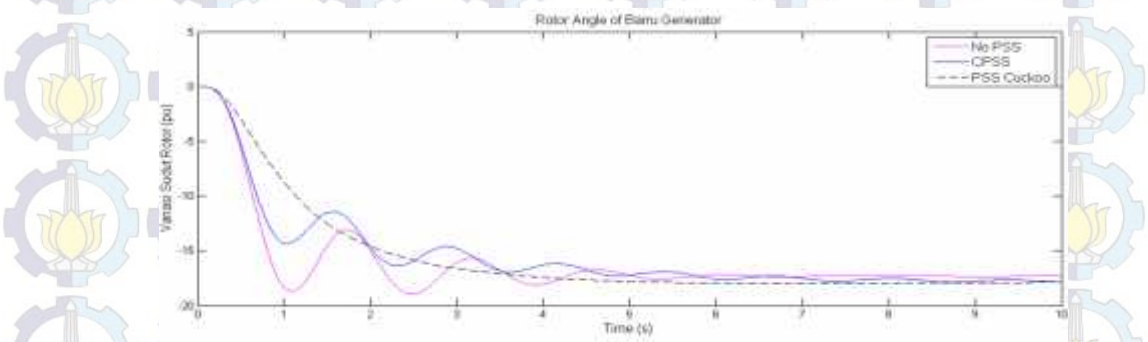
Gambar 4.19. Variasi Sudut Rotor Generator Pinrang (Kasus I)



Gambar 4.20. Variasi Sudut Rotor Generator Pare (Kasus I)

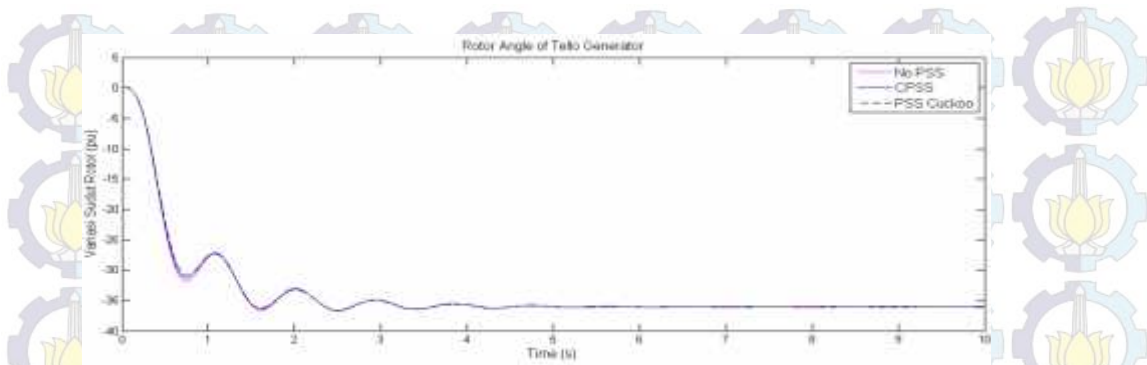


Gambar 4.21. Variasi Sudut Rotor Generator Suppa (Kasus I)

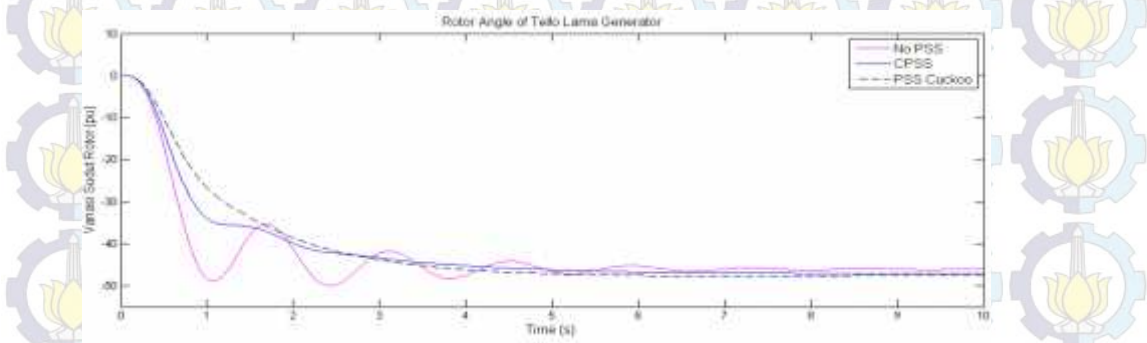


Gambar 4.22. Variasi Sudut Rotor Generator Barru (Kasus I)

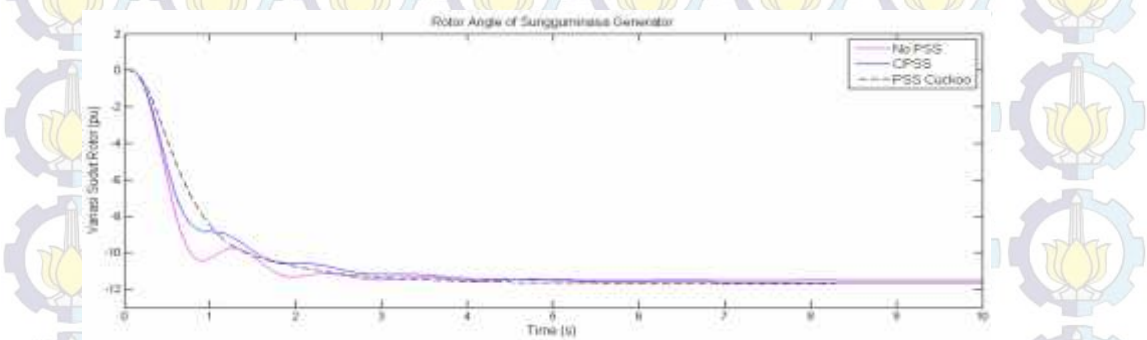




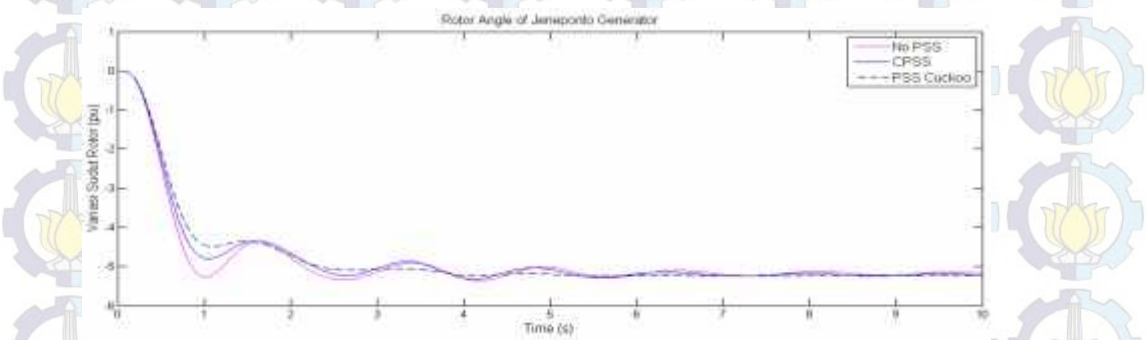
Gambar 4.23. Variasi Sudut Rotor Generator Tello (Kasus I)



Gambar 4.24. Variasi Sudut Rotor Generator Tello Lama (Kasus I)

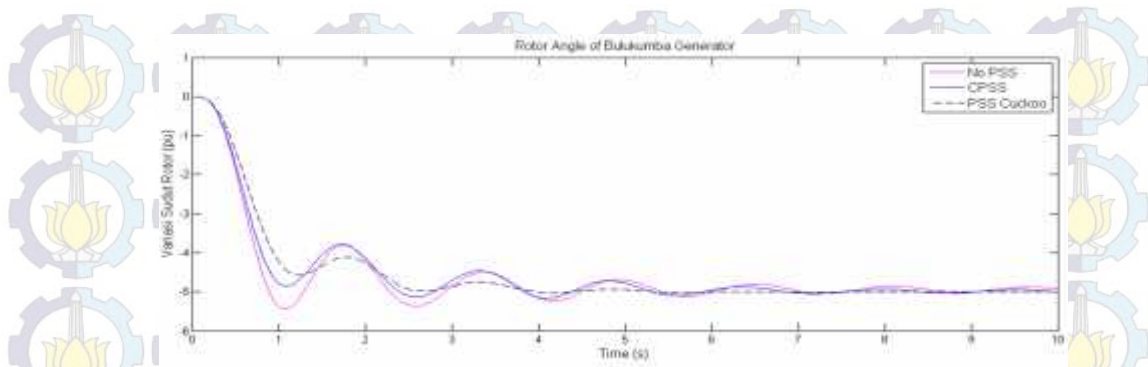


Gambar 4.25. Variasi Sudut Rotor Generator Sungguminasa (Kasus I)

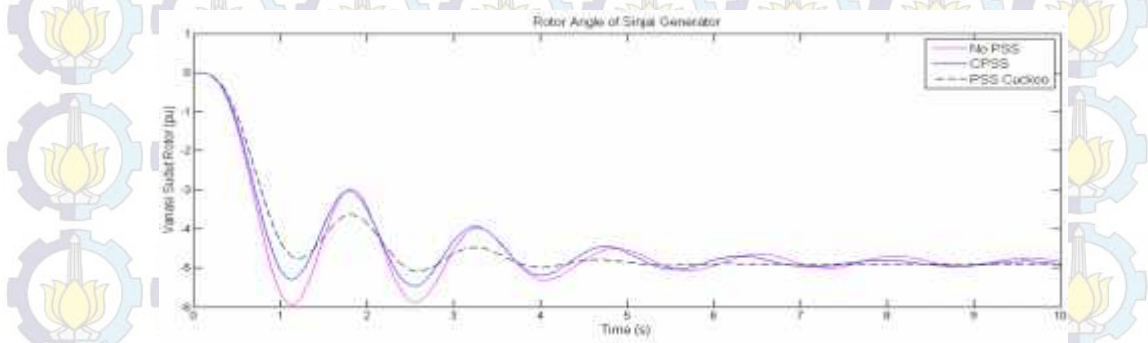


Gambar 4.26. Variasi Sudut Rotor Generator Jeneponto (Kasus I)

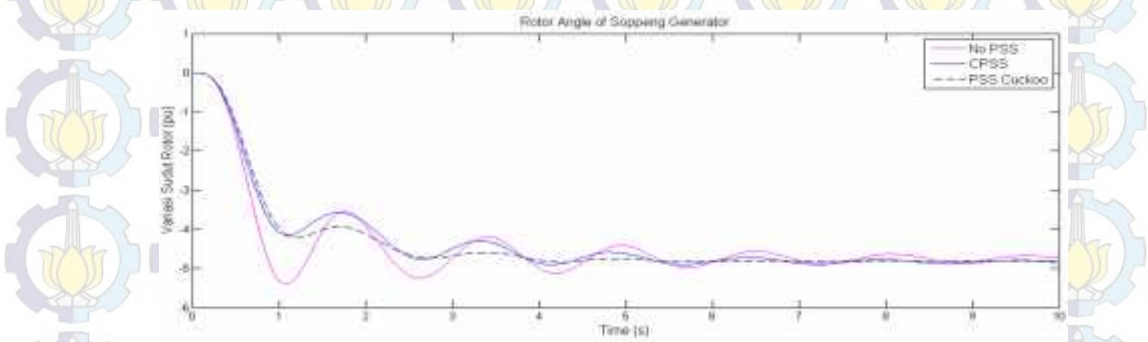




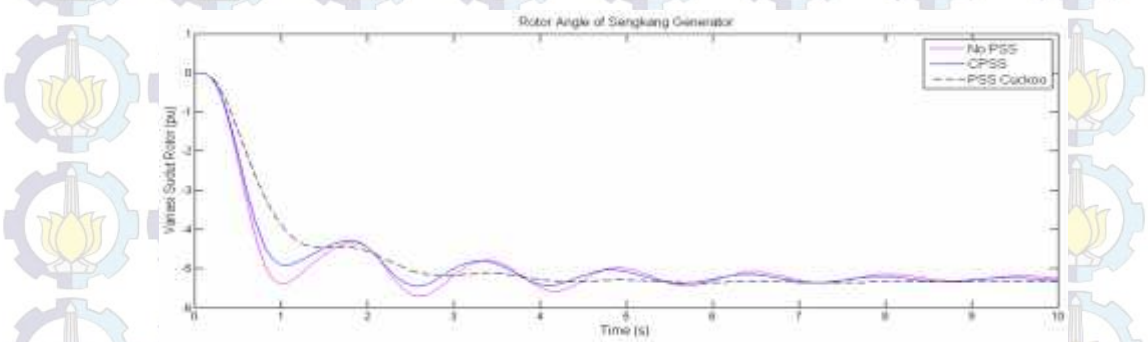
Gambar 4.27. Variasi Sudut Rotor Generator Bulukumba (Kasus I)



Gambar 4.28. Variasi Sudut Rotor Generator Sinjai (Kasus I)

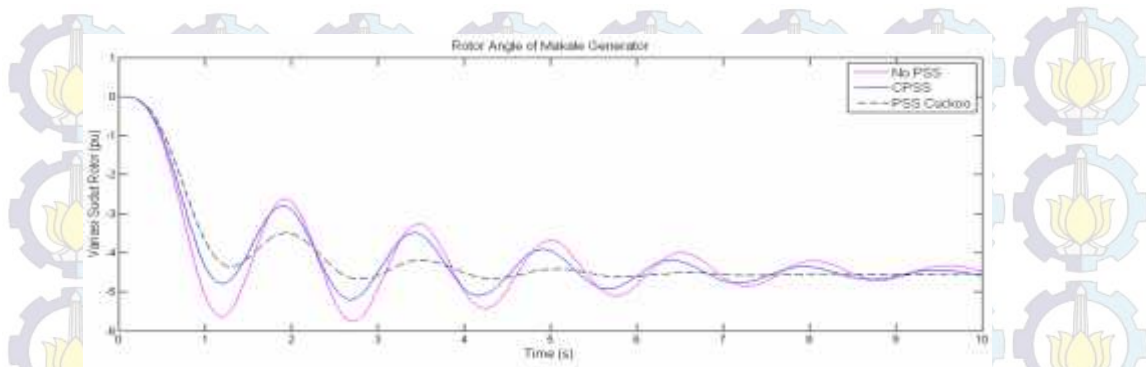


Gambar 4.29. Variasi Sudut Rotor Generator Soppeng (Kasus I)

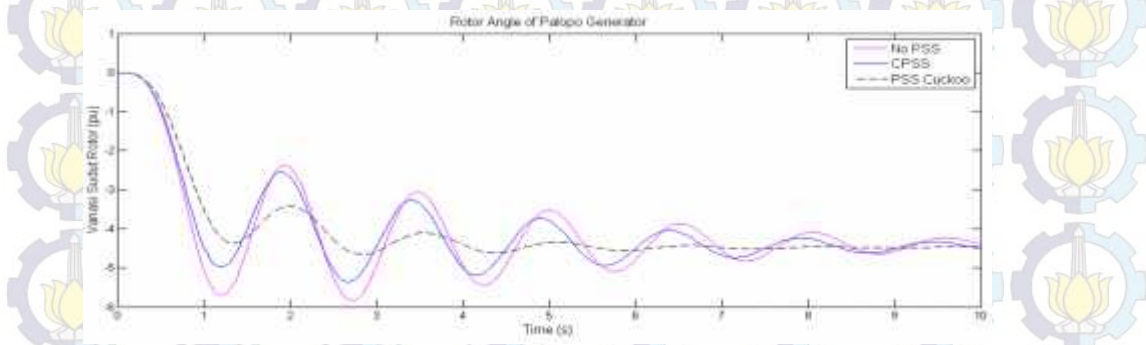


Gambar 4.30. Variasi Sudut Rotor Generator Sengkang (Kasus I)

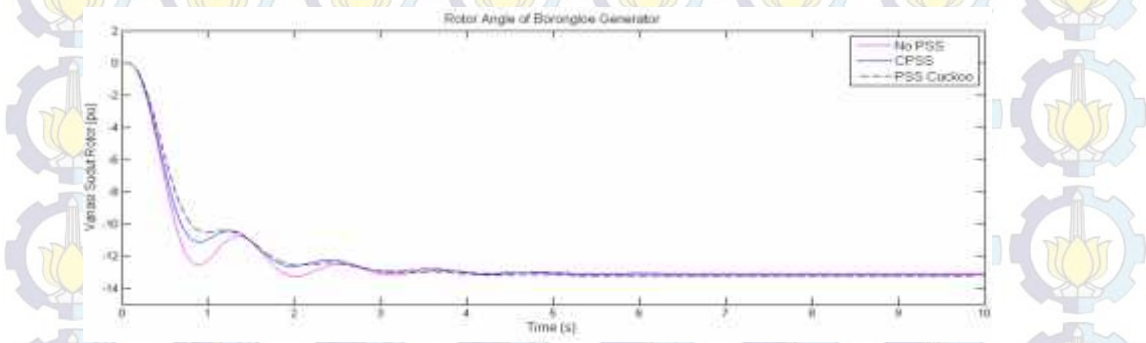




Gambar 4.31. Variasi Sudut Rotor Generator Makale (Kasus I)



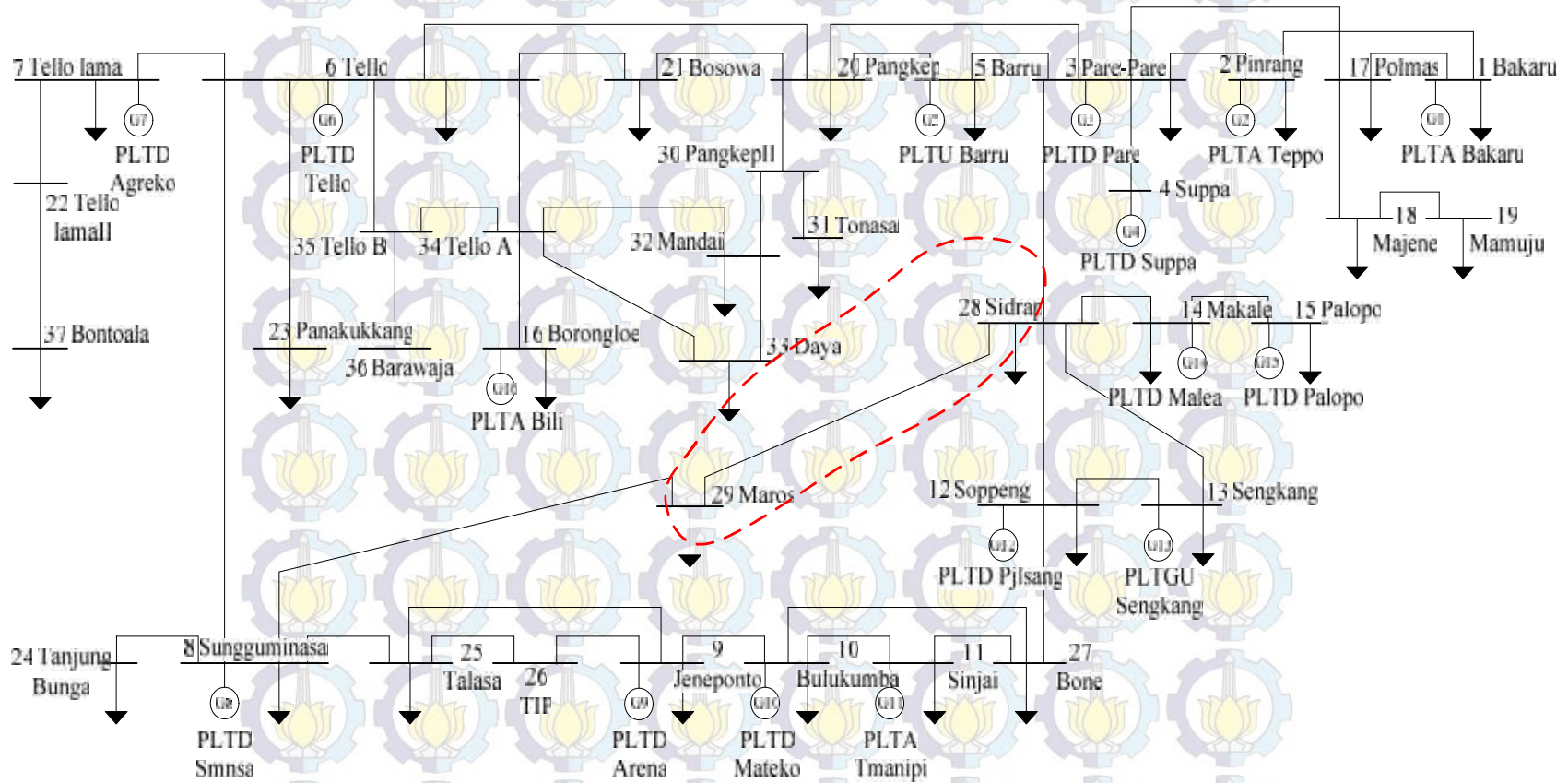
Gambar 4.32. Variasi Sudut Rotor Generator Palopo (Kasus I)



Gambar 4.33. Variasi Sudut Rotor Generator Borongloe (Kasus I)

Dari gambar 4.2-4.33, menunjukkan Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan sudut rotor masing-masing generator ketika terjadi gangguan dalam hal ini diberi gangguan pada generator bakaru, dan dari grafik deviasi kecepatan dapat dilihat besar osilasi overshoot yang terjadi semakin berkurang setelah dipasang PSS, selain itu settling time yang dihasilkan juga akan semakin cepat untuk menuju ke kondisi steady state dengan menggunakan metode yang diusulkan CSA dibandingkan dengan metode konvensional dan sistem tanpa kontrol.





Gambar 4.34. Single Line Sistem 150 kV Sulselrabar Kasus Kontingensi N-1 pada Saluran Maros-Sidrap (Kasus II)



### 4.2.3. Analisis Kondisi Kontingensi N-1 (Kasus II)

#### 4.2.3.1. Penempatan dan Penalaan Power System Stabilizer

Selanjutnya analisis keadaan sistem ketika salah satu saluran putus, atau keadaan Kontingensi N-1. Saluran yang digunakan adalah saluran transmisi tengah atau jalur tengah pada bus 28-29 Maros-Sidrap. Gambar 4.34 menunjukkan single line sistem Sulselrabar untuk kasus N-1 (Kasus II). Sama seperti pembahasan sebelumnya untuk kondisi normal, simulasi yang pertama mengetahui nilai *damping* masing-masing generator pada kondisi open loop atau tanpa kontrol. Tabel 4.16 menunjukkan nilai *damping* eigen untuk masing-masing generator pada kondisi N-1 (Kasus II).

Tabel 4.16. *Damping* Eigen Masing-Masing Generator (Kasus II)

Gen	Mode	Damping <	Gen	Mode	Damping <
1	1	0,2955	9	73	1,0000
	2	0,2955		74	1,0000
	3	0,1994		75	1,0000
	4	0,1994		76	1,0000
	5	0,1309		77	1,0000
	6	0,1309		78	1,0000
	7	0,1873		79	1,0000
	8	0,1873		80	1,0000
	9	0,0798		81	1,0000
2	10	0,0798	10	82	1,0000
	11	0,2333		83	1,0000
	12	0,2333		84	1,0000
	13	0,0833		85	1,0000
	14	0,0833		86	1,0000
	15	0,0816		87	1,0000
	16	0,0816		88	0,6655
	17	0,0650		89	0,6655
	18	0,0650		90	1,0000
3	19	0,0694	11	91	1,0000
	20	0,0694		92	1,0000
	21	0,0441		93	1,0000
	22	0,0441		94	1,0000
	23	0,0298		95	1,0000
	24	0,0298		96	0,1125
	25	0,0207		97	0,1125
	26	0,0207		98	1,0000
	27	0,0455		99	0,1127
4	28	0,0455	12	100	0,1127
	29	0,0618		101	0,1487
	30	0,0618		102	0,1487
	31	0,0106		103	0,1204
	32	0,0106		104	0,1204
	33	0,0204		105	0,2296



<i>Lanjutan</i>					
Gen	Mode	Damping <	Gen	Mode	Damping <
5	34	0,0204	13	106	0,2296
	35	0,0110		107	0,0806
	36	0,0110		108	0,0806
	37	1,0000		109	0,1849
	38	0,0435		110	0,1849
	39	0,0435		111	0,1460
	40	1,0000		112	0,1460
	41	1,0000		113	0,2094
	42	1,0000		114	0,2094
	43	1,0000		115	0,1671
	44	0,0976		116	0,1671
	45	0,0976		117	0,0959
6	46	0,0849	14	118	0,0959
	47	0,0849		119	0,1083
	48	0,1687		120	0,1083
	49	0,1687		121	0,1124
	50	0,1878		122	0,1124
	51	0,1878		123	0,1993
	52	1,0000		124	0,1993
	53	0,2126		125	0,1991
	54	0,2126		126	0,1991
	55	0,2705		127	0,1785
	56	0,2705		128	0,1785
	57	0,2376		129	1,0000
7	58	0,2376	15	130	1,0000
	59	0,4409		131	1,0000
	60	0,4409		132	1,0000
	61	0,3040		133	1,0000
	62	0,3040		134	1,0000
	63	1,0000		135	1,0000
	64	0,5787		136	1,0000
	65	0,5787		137	1,0000
	66	1,0000		138	1,0000
	67	1,0000		139	1,0000
	68	1,0000		140	1,0000
	69	1,0000		141	1,0000
8	70	1,0000	16	142	1,0000
	71	1,0000		143	1,0000
	72	1,0000		144	1,0000

Dari tabel *damping* eigen sistem tanpa PSS (*Open Loop*), didapatkan nilai *damping* eigen dari masing-masing pembangkit/generator yang minimum. Nilai-nilai *damping* yang minimum tersebut dijadikan sebagai prioritas lokasi pemasangan PSS, dan daftar prioritas *probability* pemasangan PSS dengan masing-masing nilai *damping* eigen ditampilkan dalam tabel *Placement Index* berikut. Selanjutnya indeks penempatan PSS tersebut akan dievaluasi oleh CSA, penempatan terbaik PSS didasarkan pada nilai maksimum  $\min$  yang lebih besar



dari 0. Berikut tabel 4.17 placement index untuk lokasi prioritas pemasangan PSS dengan *damping* eigen minimum dari sistem.

Tabel 4.17. Placement Index PSS (Kasus II)

No	Place	Kpss	T1	T2	T3	T4	$\zeta_{min}$		
14 PSS	G1	50,8328	1,7777	1,1395	2,4288	3,8862	0,6114		
	G2	43,0102	3,3216	2,1152	1,7748	2,2593			
	G3	61,6766	1,8339	2,3387	2,9900	2,7059			
	G4	48,7526	0,5702	3,2569	1,0358	0,6346			
	G5	70,6654	3,9104	3,4444	2,3657	2,3623			
	G6	9,9818	1,0461	2,2171	3,1945	3,3143			
	G7	69,3565	0,7880	2,2125	1,9108	2,3035			
	G8	67,4734	3,7623	1,7572	0,5146	3,7638			
	G10	59,0743	3,2176	2,7173	2,8789	0,6580			
	G11	42,9337	2,7990	1,2991	1,6346	1,0062			
	G12	96,3535	0,7719	3,5579	0,1404	3,4008			
	G13	18,5044	2,5709	3,7985	2,0500	3,3181			
	G14	30,5400	0,1190	1,7206	2,5216	1,6698			
	G15	36,8814	1,0548	3,0382	3,3522	3,6520			
13 PSS	G1	29,7073	0,0465	0,0456	3,1797	3,3308	0,5836		
	G2	49,7697	0,0342	0,0381	2,5460	5,5440			
	G3	35,6798	0,0305	0,0435	2,6492	4,8715			
	G4	34,2775	0,0450	0,0265	3,5932	5,1802			
	G5	49,6308	0,0313	0,0323	2,7870	3,8148			
	G6	23,7051	0,0290	0,0240	2,0401	3,8153			
	G7	11,7464	0,0208	0,0139	3,3381	3,2654			
	G8	33,8745	0,0338	0,0159	2,1509	3,8162			
	G10	48,8144	0,0324	0,0453	2,9789	3,8125			
	G11	48,2564	0,0227	0,0469	2,7797	5,2042			
	G12	25,5873	0,0467	0,0359	1,6424	3,4218			
	G13	31,4561	0,0389	0,0437	1,8034	5,6593			
	G14	48,6403	0,0212	0,0458	2,7234	4,6420			
	12 PSS	G1	33,6789	0,0259	0,0416	2,3067		3,5572	0,5719
G2		39,4328	0,0282	0,0273	2,1504	5,2448			
G3		49,3632	0,0390	0,0253	1,2238	4,2595			
G4		24,4125	0,0295	0,0437	2,1362	5,7188			
G5		10,4031	0,0476	0,0246	3,6736	3,7726			
G6		30,8511	0,0227	0,0126	2,8535	4,8525			
G7		42,4934	0,0454	0,0331	2,9052	3,2383			
G8		10,5944	0,0327	0,0391	1,6351	3,4824			
G10		43,9038	0,0397	0,0430	1,7818	5,0054			
G11		45,2886	0,0471	0,0342	3,2624	5,6253			
G12		47,2182	0,0391	0,0499	3,3778	4,7841			
G13		24,2753	0,0207	0,0379	3,5272	3,9362			
11 PSS		G1	41,5649	0,0280	0,0421	3,3746	3,6880	0,5586	
		G2	27,6083	0,0435	0,0416	2,9317	5,7210		
	G3	37,1778	0,0386	0,0202	1,9693	3,1871			
	G4	43,5952	0,0279	0,0441	2,7969	5,5297			
	G5	32,3938	0,0438	0,0331	2,5698	4,8084			
	G6	43,7166	0,0250	0,0234	2,2577	4,2030			
	G7	23,4878	0,0312	0,0118	1,7643	4,4621			



<i>Lanjutan</i>							
No	Place	Kpss	T1	T2	T3	T4	<min
	G8	30,4713	0,0306	0,0351	1,5142	5,9438	
	G10	40,5144	0,0450	0,0409	3,6223	4,6968	
	G11	20,8230	0,0442	0,0400	3,9468	3,8593	
	G12	25,7476	0,0437	0,0139	2,8589	4,4570	
10 PSS	G1	17,9942	0,0349	0,0378	1,3465	4,4510	0,5503
	G2	20,2454	0,0491	0,0424	2,8201	4,7410	
	G3	41,5134	0,0371	0,0205	3,8894	5,1054	
	G4	19,0466	0,0499	0,0457	1,1156	4,3093	
	G5	43,7887	0,0409	0,0173	1,1362	5,6474	
	G6	34,1832	0,0424	0,0246	1,1645	3,3983	
	G7	35,9140	0,0454	0,0237	3,8040	4,9020	
	G8	47,3608	0,0409	0,0394	1,3728	4,0287	
	G10	23,8882	0,0468	0,0422	1,1724	4,6478	
	G11	24,2949	0,0293	0,0478	1,6214	5,5135	
9 PSS	G1	15,9017	0,0216	0,0437	3,1097	5,4342	0,5477
	G2	25,3899	0,0468	0,0322	1,7928	3,9897	
	G3	13,9366	0,0477	0,0420	1,5312	3,1848	
	G4	29,0249	0,0260	0,0401	3,8548	3,4288	
	G5	33,5522	0,0357	0,0272	2,1531	3,1969	
	G6	10,1705	0,0252	0,0379	1,5518	4,2241	
	G7	13,5976	0,0487	0,0282	3,9512	5,5566	
	G8	20,3257	0,0357	0,0297	3,8303	5,4878	
8 PSS	G1	48,9656	0,0410	0,0455	2,1528	3,6466	0,5377
	G2	12,3774	0,0218	0,0460	3,0281	4,2278	
	G3	10,7008	0,0245	0,0191	1,9464	3,4195	
	G4	35,8311	0,0260	0,0194	3,9736	3,9990	
	G5	27,3793	0,0266	0,0220	1,7263	5,6476	
	G6	18,1698	0,0371	0,0289	2,2201	5,7372	
	G7	26,1333	0,0278	0,0203	1,6601	4,6012	
	G8	43,1199	0,0323	0,0186	2,6874	4,0983	

Dari tabel *Placement Index* di atas, dapat dilihat bahwa besar *damping* setelah penambahan PSS semakin meningkat dan penempatan PSS yang optimal adalah dengan 14 PSS yang dipasang berdasarkan hasil analisa. Dengan menggunakan hasil tersebut selanjutnya dapat dilihat Deviasi Kecepatan dan sudut rotor dari masing-masing pembangkit. Berikut ini dijabarkan hasil analisa dengan 14 PSS yang digunakan. Pertama, studi aliran daya dengan 14 PSS, hasilnya ditampilkan pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Besar Magnitude Tegangan dan Sudut Tegangan (Kasus II)

No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut (°)	No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut (°)
1	1,000	0,000	20	0,975	-16,450
2	1,000	-4,288	21	0,980	-18,428



<i>Lanjutan</i>					
No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ( $^{\circ}$ )	No Bus	Tegangan (p.u)	Sudut ( $^{\circ}$ )
3	1,000	-5,726	22	0,987	-27,081
4	1,000	-4,644	23	0,960	-28,938
5	1,000	-12,215	24	0,993	-27,532
6	1,000	-26,698	25	0,993	-25,505
7	1,000	-27,097	26	0,993	-24,082
8	1,000	-26,797	27	0,988	-10,501
9	1,000	-21,192	28	0,996	-3,365
10	1,000	-16,397	29	0,997	-27,216
11	1,000	-14,338	30	0,954	-20,262
12	1,000	-2,392	31	0,927	-21,293
13	1,000	3,589	32	0,980	-27,012
14	1,000	-10,075	33	0,984	-27,073
15	1,000	-12,084	34	0,993	-26,598
16	1,000	-26,821	35	0,997	-26,648
17	0,992	-3,324	36	0,997	-26,648
18	0,974	-5,470	37	0,975	-28,381
19	0,964	-6,640			

Parameter CSA yang digunakan untuk kondisi N-1, ditunjukkan pada tabel 4.19. Berikut ini tabel 4.19 dan 4.20 parameter *Cuckoo* dan PSS yang telah ditetapkan. Sebagai metode pembandingan, metode konvensional digunakan untuk PSS konvensional, seperti ditunjukkan pada tabel 4.21.

Tabel 4.19. Parameter Algoritma CSA (Kasus II)

Parameter	Nilai
Number of Nest	25
Discovery Rate of Alien Eggs/Solutions	10
Tolerance	$1,0^{-5}$
Number of Parameters	65
Beta	1,5
Max Generation	50

Tabel 4.20. Batasan Nilai Parameter PSS (Kasus II)

No	Parameter	Lower Limit	Upper Limit
1	$K_{pss}$	5	100
2	$T_1$	0	4
3	$T_2$	0	4
4	$T_3$	0	4
5	$T_4$	0	4



Tabel 4.21. Parameter PSS dengan Metode Trial and Error (Kasus II)

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Bakaru	48,2272	0,0478	0,8018	0,0493	0,8847
Pinrang	16,2895	0,0206	0,2886	0,3349	1,4885
Pare - Pare	13,5790	0,0472	0,3497	0,1713	2,7785
Suppa	16,5591	0,0443	0,7804	0,1024	1,6488
Barru	46,1332	0,0108	0,2612	0,1492	2,1633
Tello	35,3281	0,0425	0,3830	0,1935	1,4651
Tello lama	29,7565	0,0455	0,0864	0,3923	1,4842
Sgmnsa	38,1133	0,0045	0,0176	0,1988	1,7817
Bulukumba	29,7237	0,0246	0,7096	0,1953	1,5321
Sinjai	99,3400	0,0394	0,9427	0,1066	2,8044
Soppeng	97,0248	0,0047	0,9107	0,1836	0,1418
Sengkang	8,5956	0,0247	0,2484	0,4776	0,8827
Makale	78,1453	0,0228	0,1392	0,3335	1,9848
Palopo	17,9254	0,0341	0,3523	0,0405	0,5195

Selanjutnya untuk metode yang diusulkan, dengan menggunakan CSA, ditunjukkan pada tabel 4.22 di bawah ini, di mana untuk hasil lengkap optimisasi parameter PSS pada kondisi N-1 dapat dilihat pada lampiran. Dari tabel *Placement Index* penempatan PSS di atas, didapatkan lokasi optimal yang didapatkan adalah sama dengan kondisi sistem normal yaitu 14 lokasi penempatan PSS, yaitu Generator Bakaru, Pinrang, Pare-Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, dan Palopo. Berikut tabel 4.22 hasil tuning parameter PSS kondisi N-1.

Tabel 4.22. Hasil Penalaan Parameter PSS dengan CSA (Kasus II)

Power Plant	Kpss	T1	T2	T3	T4
Bakaru	50,8328	1,7777	1,1395	2,4288	3,8862
Pinrang	43,0102	3,3216	2,1152	1,7748	2,2593
Pare - Pare	61,6766	1,8339	2,3387	2,9900	2,7059
Suppa	48,7526	0,5702	3,2569	1,0358	0,6346
Barru	70,6654	3,9104	3,4444	2,3657	2,3623
Tello	9,9818	1,0461	2,2171	3,1945	3,3143
Tello lama	69,3565	0,7880	2,2125	1,9108	2,3035
Sgmnsa	67,4734	3,7623	1,7572	0,5146	3,7638
Bulukumba	59,0743	3,2176	2,7173	2,8789	0,6580
Sinjai	42,9337	2,7990	1,2991	1,6346	1,0062
Soppeng	96,3535	0,7719	3,5579	0,1404	3,4008
Sengkang	18,5044	2,5709	3,7985	2,0500	3,3181
Makale	30,5400	0,1190	1,7206	2,5216	1,6698
Palopo	36,8814	1,0548	3,0382	3,3522	3,6520



#### 4.2.2.2. Analisis dan Pembahasan Kondisi Kontingensi N-1

Setelah dilakukan penempatan dan penalaan PSS dengan 14 lokasi penempatan PSS, selanjutnya melihat Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan sudut rotor dari setiap generator. Tabel 4.23 hasil perbandingan eigenvalue kritis kondisi N-1, Tabel 4.24 perbandingan eigenvalue kondisi N-1 pada mode osilasi inter-area dan local system, yang ditampilkan berdasarkan osilasi yang terjadi (Robandi,2006). Tabel 4.25, perbandingan overshoot Deviasi Kecepatan tiap generator.

Tabel 4.23. Eigenvalue Kritis (Kasus II)

No PSS (1.0e+02*)	Conv. PSS (1.0e+02*)	PSS Cuckoo (1.0e+02*)
-0,3056 ± 4,6945i	-0,3056 ± 4,6945i	-0,3057 ± 4,6946i
-0,3150 ± 4,5305i	-0,3150 ± 4,5305i	-0,3228 ± 4,5283i
-0,1965 ± 4,3135i	-0,1965 ± 4,3135i	-0,2000 ± 4,3238i
-0,2594 ± 4,1886i	-0,2620 ± 4,1920i	-0,2723 ± 4,2056i
-0,0033 ± 0,0410i	-0,0032 ± 0,0415i	-0,0457 ± 0,6854i

Tabel 4.24. Eigenvalue pada Mode Osilasi inter area & local area (Kasus II)

Mode Osilasi	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
Inter-Area	-0,3311 + 4,0972i	-0,3193 + 4,1498i	-2,6010 + 4,3217i
	-0,4455 + 4,6249i	-0,4062 + 4,9067i	-0,5572 + 4,2069i
	-0,5006 + 4,5945i	-0,4284 + 4,6325i	-1,9435 + 3,7067i
	-0,5131 + 4,5342i	-1,1668 + 4,8375i	-1,2505 + 1,4238i
Lokal	-1,0215 + 9,0241i	-0,9938 + 9,0506i	-5,1023 + 6,2271i
	-1,0640 + 7,0775i	-1,2665 + 7,3294i	-1,6740 + 7,0518i
	-0,8533 + 7,0324i	-0,8711 + 6,5898i	-3,0736 + 6,1865i
	-1,4627 + 6,2019i	-1,4553 + 6,2515i	-2,1148 + 5,7741i
	-1,0970 + 5,8297i	-1,2594 + 6,0615i	-1,4212 + 5,6205i
	-0,7877 + 5,3392i	-1,3862 + 5,9373i	-1,2735 + 5,6487i
	-0,9347 + 5,5136i	-0,8945 + 5,6541i	-0,9833 + 5,2762i
	-0,9914 + 5,4659i	-0,8107 + 5,3797i	-0,9925 + 5,4531i

Tabel 4.25. Overshoot Deviasi Kecepatan Masing-Masing Generator (Kasus II)

Power Plant	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
Bakaru	0,004239 & -0,02253	0,002973 & -0,01922	1,91e-05 & -0,01016
Pinrang	0,006399 & -0,02098	0,003297 & -0,01784	2,195e-05 & -0,01056



*Lanjutan*

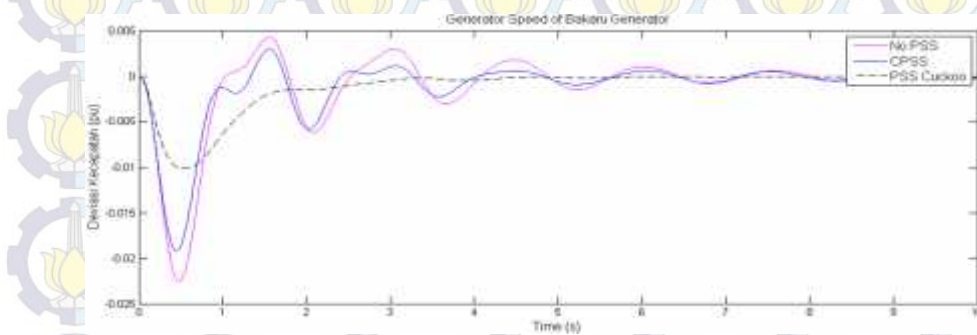
Power Plant	No PSS	Conv. PSS	PSS Cuckoo
Pare - Pare	0,00454 & -0,02134	0,003035 & -0,01878	1,867e-05 & -0,0097
Suppa	0,006103 & -0,02145	0,004299 & -0,0189	0,0001509 & -0,01878
Barru	0,03362 & -0,07853	0,02094 & -0,06397	0,0001568 & -0,02181
Tello	0,05331 & -0,2063	0,04901 & -0,2023	0,04482 & -0,1979
Tello lama	0,09116 & -0,2222	0,000209 & -0,151	0,0002981 & -0,09895
Sgmnsa	0,007957 & -0,05755	0,0001402 & -0,0486	3,864e-05 & -0,03697
Jeneponto	0,005942 & -0,02494	0,003136 & -0,02239	0,00344 & -0,0219
Bulukumba	0,00951 & -0,02347	0,0065 & -0,02064	0,0001972 & -0,01108
Sinjai	0,01689 & -0,0249	0,01335 & -0,02206	1,72e-05 & -0,01248
Soppeng	0,01072 & -0,02279	0,0038 & -0,01707	6,816e-05 & -0,0132
Sengkang	0,004841 & -0,02482	0,003244 & -0,02196	2,296e-05 & -0,01318
Makale	0,01572 & -0,0218	0,01056 & -0,01795	0,002168 & -0,0124
Palopo	0,01744 & -0,0222	0,01299 & -0,01911	0,002876 & -0,01261
Borongloe	0,01621 & -0,06826	0,008078 & -0,06077	0,003017 & -0,05255

Dari tabel 4.23 dan 4.24 terlihat secara signifikan terjadi perbaikan pada nilai eigenvalue system dengan penerapan PSS Cuckoo untuk kondisi N-1. Sebagai misal, pada table 4.23, tanpa PSS  $-0,1965 \pm 4,3135i$ , PSS konvensional meningkat menjadi  $-0,1965 \pm 4,3135i$  dan PSS Cuckoo semakin meningkat menjadi  $-0,2000 \pm 4,3238i$ . Sedangkan pada table 4.24, Nilai eigenvalue sistem pada mode osilasi inter-area mengalami perbaikan sebagai misal, tanpa PSS  $-0,3311 + 4,0972i$  dengan PSS konvensional menjadi  $-0,3193 + 4,1498i$ , dan dengan PSS Cuckoo, menjadi semakin meningkat  $-2,6010 + 4,3217i$ . Sedangkan, untuk mode osilasi sebagai misal, tanpa PSS  $-1,0215 + 9,0241i$ , PSS konvensional menjadi  $-0,9938 + 9,0506i$  dan PSS Cuckoo meningkat  $-5,1023 + 6,2271i$ .

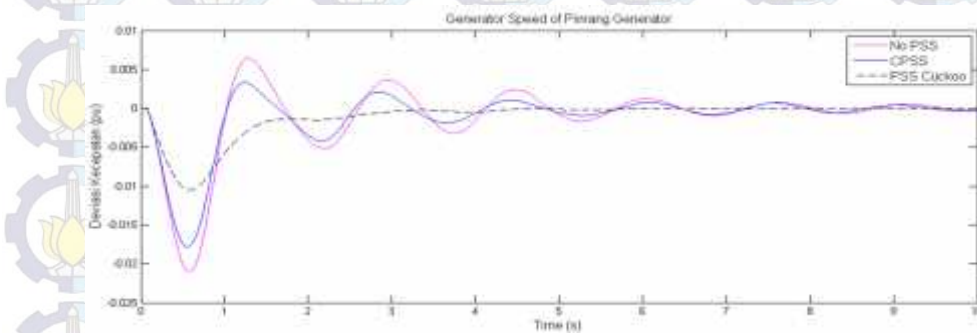
Dari tabel 4.25, perbandingan nilai overshoot dari masing-masing metode yang digunakan untuk kondisi N-1, di mana dengan menggunakan metode yang diusulkan CSA adalah yang paling kecil overshoot yang dihasilkan dan untuk



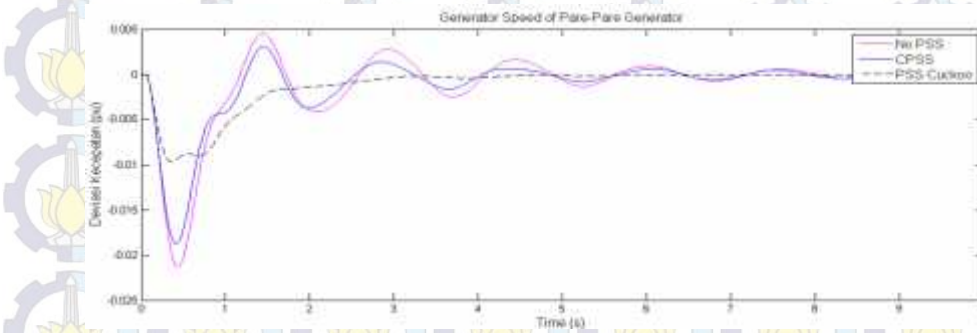
overshoot yang terbesar dihasilkan sistem dengan tanpa PSS. Sebagai misal, pada generator Bakaru, untuk sistem tanpa PSS overshoot maksimum sebesar 0,004239 dan overshoot minimum sebesar -0,02253, sedangkan untuk sistem dengan PSS konvensional overshoot menjadi berkurang, di mana overshoot maksimum sebesar 0,002973 dan overshoot minimum sebesar -0,01922, sedangkan dengan PSS Cuckoo overshoot semakin berkurang, dengan overshoot maksimum sebesar  $1,91e-05$  dan overshoot minimum sebesar -0,01016. Gambar 4.35-4.66 Deviasi Kecepatan dan sudut rotor masing-masing generator untuk kondisi N-1.



Gambar 4.35 Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bakaru (Kasus II)

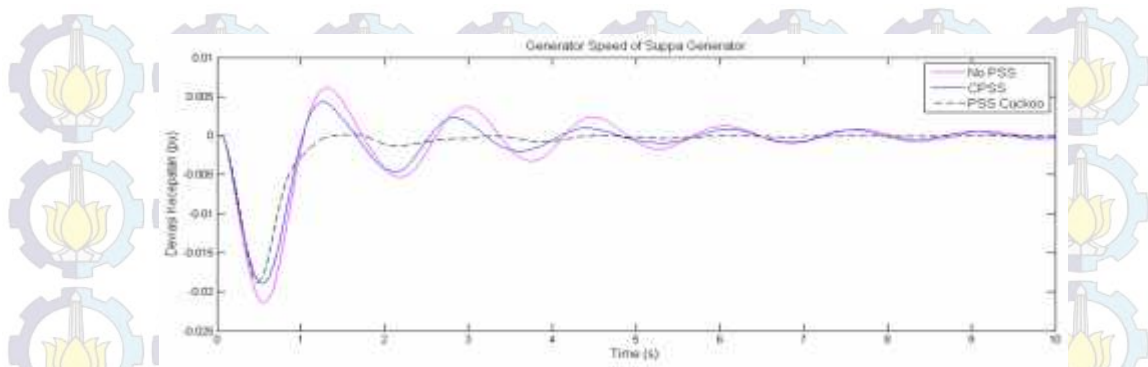


Gambar 4.36. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pinrang (Kasus II)

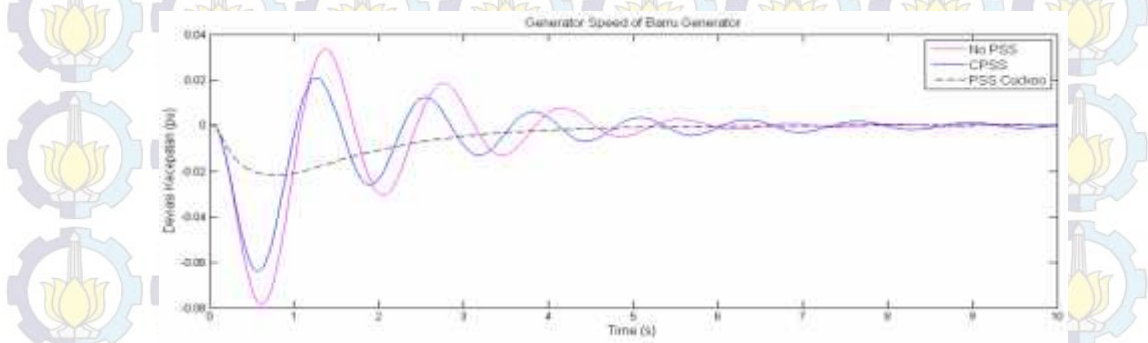


Gambar 4.37. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Pare-Pare (Kasus II)

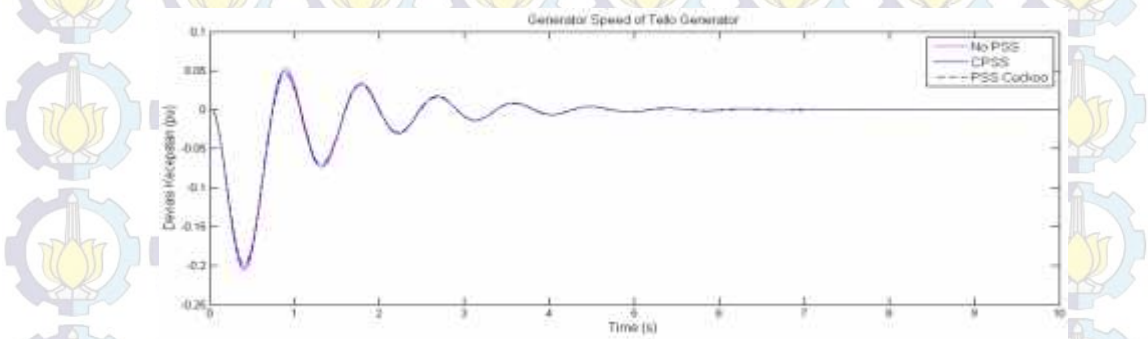




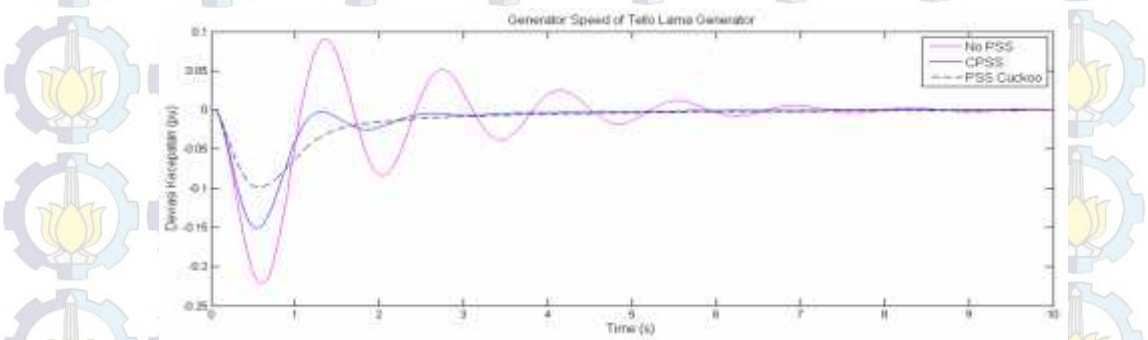
Gambar 4.38. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Suppa (Kasus II)



Gambar 4.39. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Barru (Kasus II)

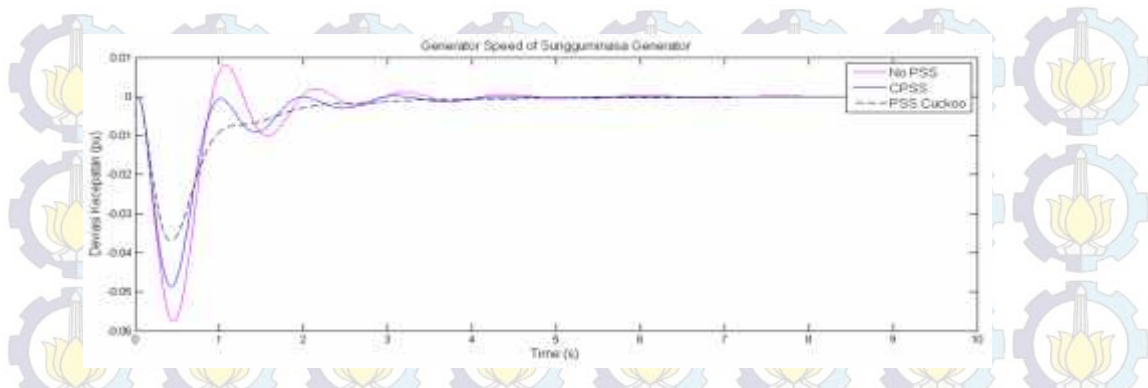


Gambar 4.40. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello (Kasus II)

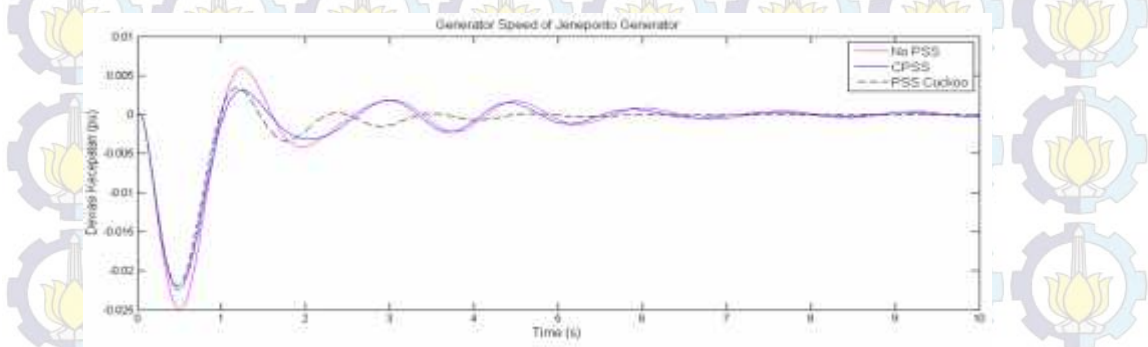


Gambar 4.41. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Tello Lama (Kasus II)

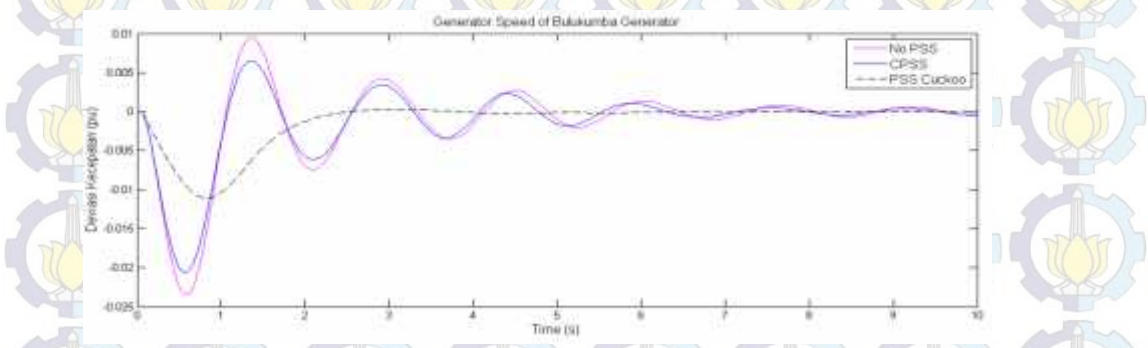




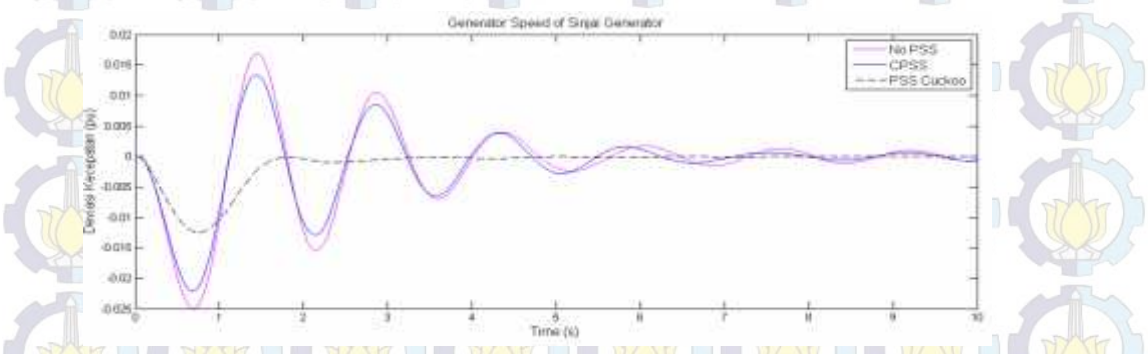
Gambar 4.42. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sungguminasa (Kasus II)



Gambar 4.43. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Jenepono (Kasus II)

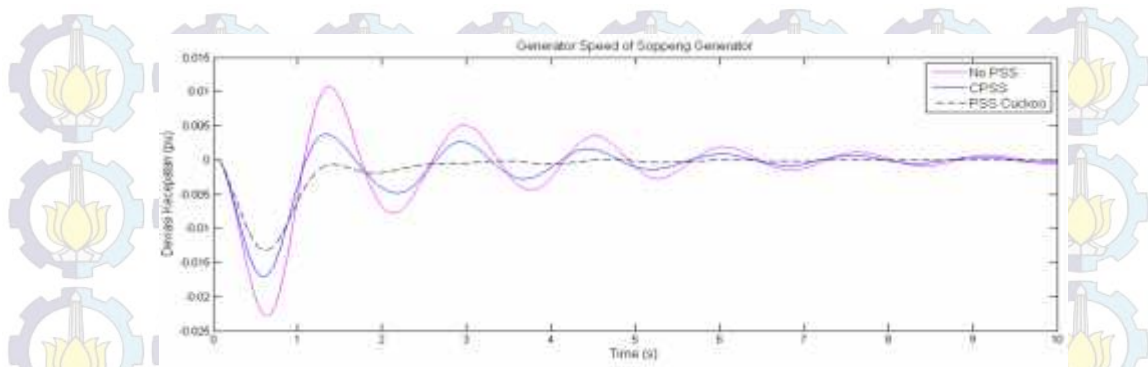


Gambar 4.44. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Bulukumba (Kasus II)

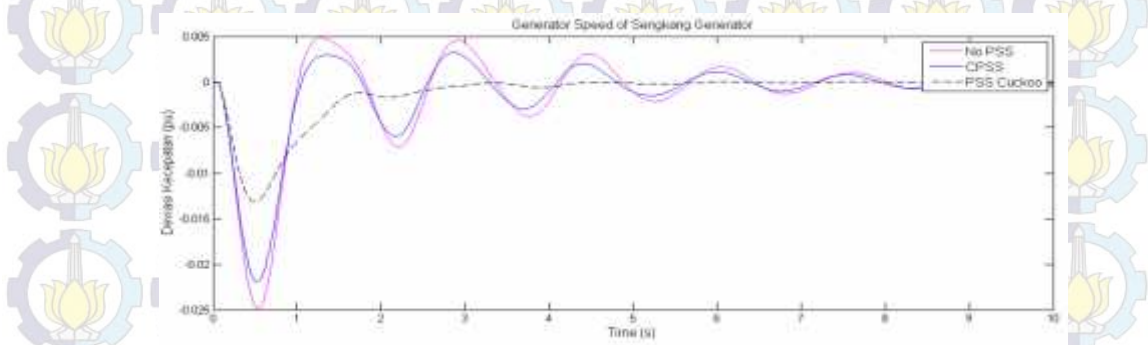


Gambar 4.45. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sinjai (Kasus II)

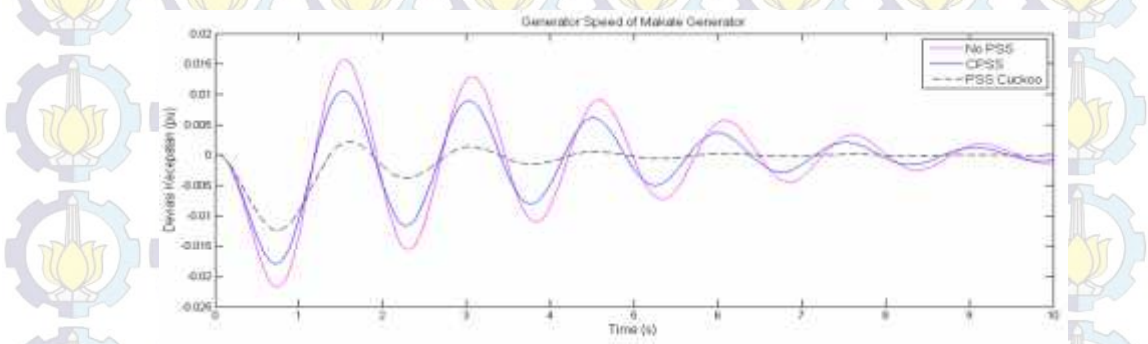




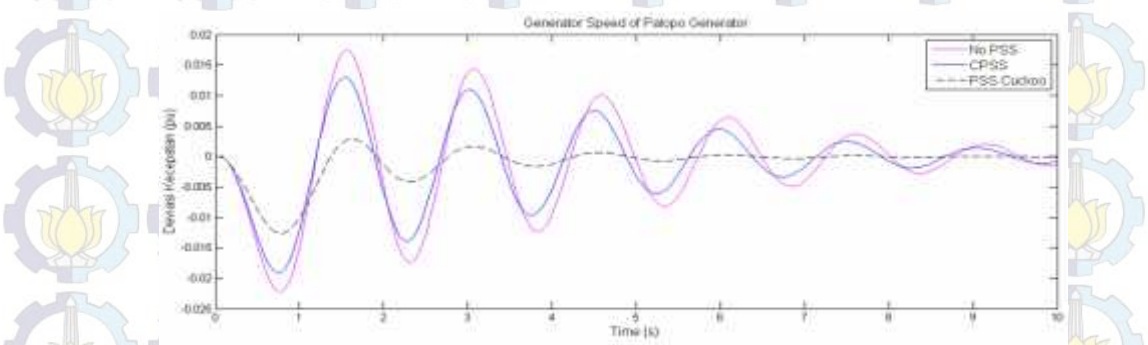
Gambar 4.46. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Soppeng (Kasus II)



Gambar 4.47. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Sengkang (Kasus II)

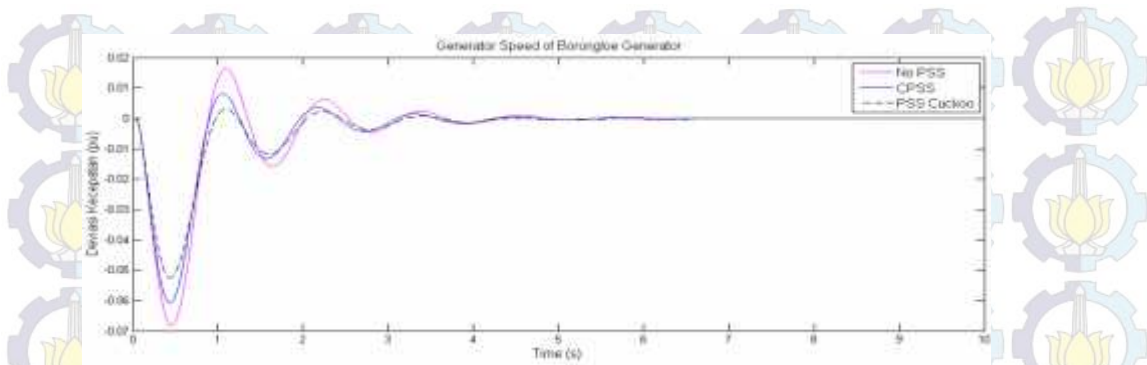


Gambar 4.48. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Makale (Kasus II)

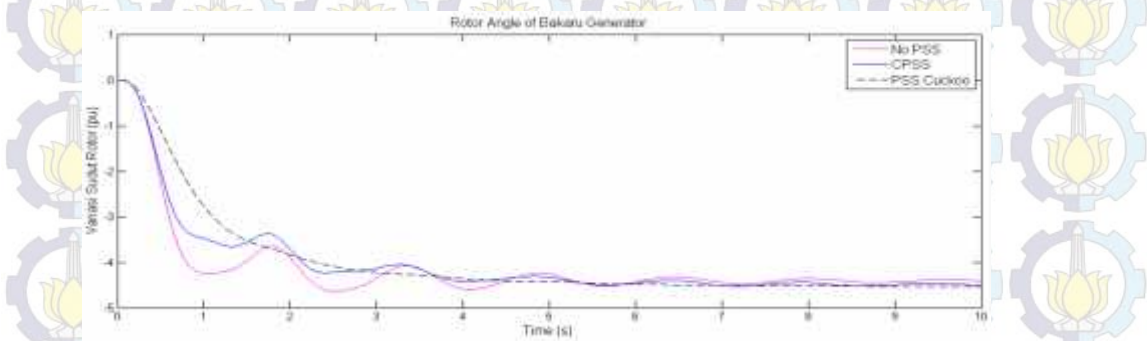


Gambar 4.49. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Palopo (Kasus II)

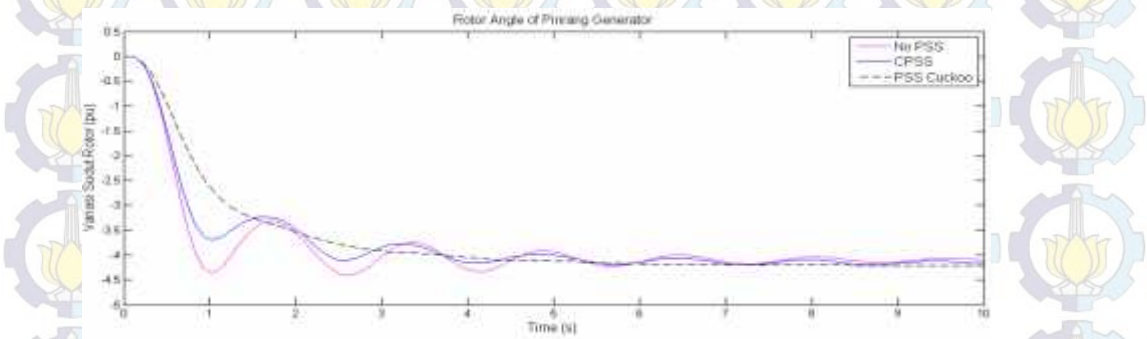




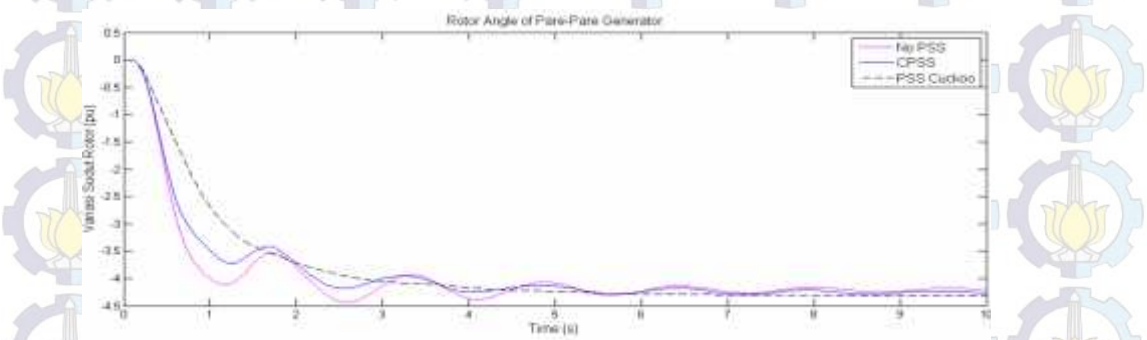
Gambar 4.50. Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) Generator Borongloe (Kasus II)



Gambar 4.51. Variasi Sudut Rotor Generator Bakaru (Kasus II)

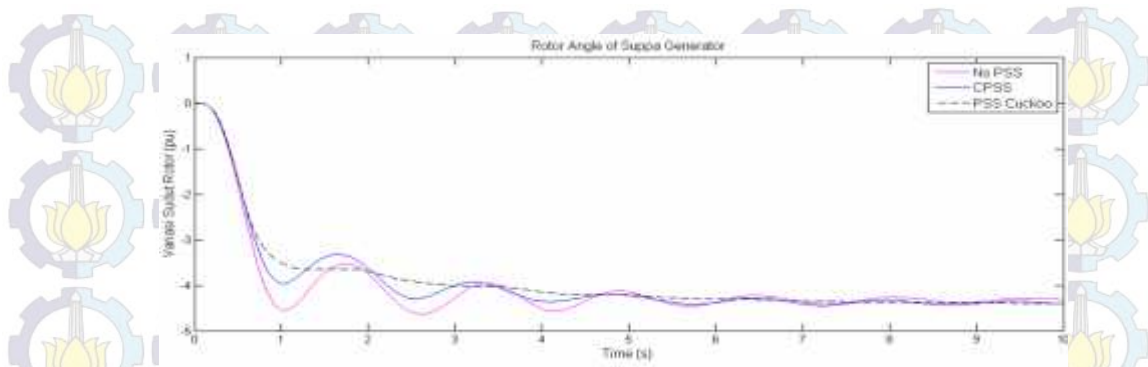


Gambar 4.52. Variasi Sudut Rotor Generator Pinrang (Kasus II)

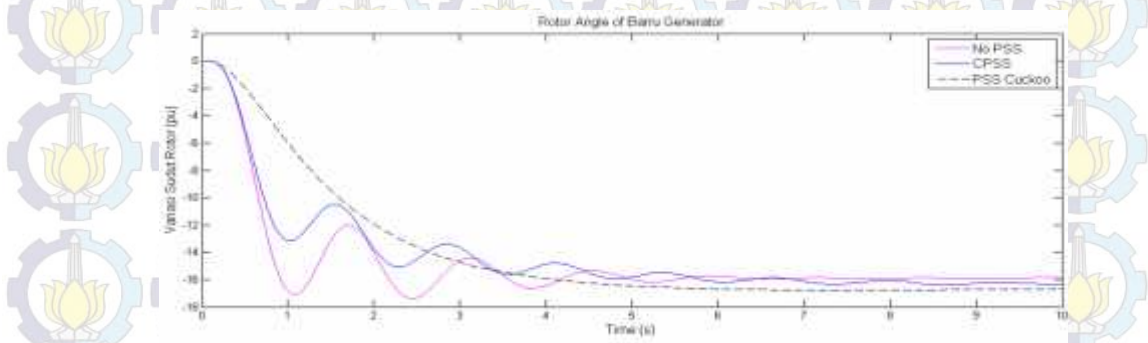


Gambar 4.53. Variasi Sudut Rotor Generator Pare (Kasus II)

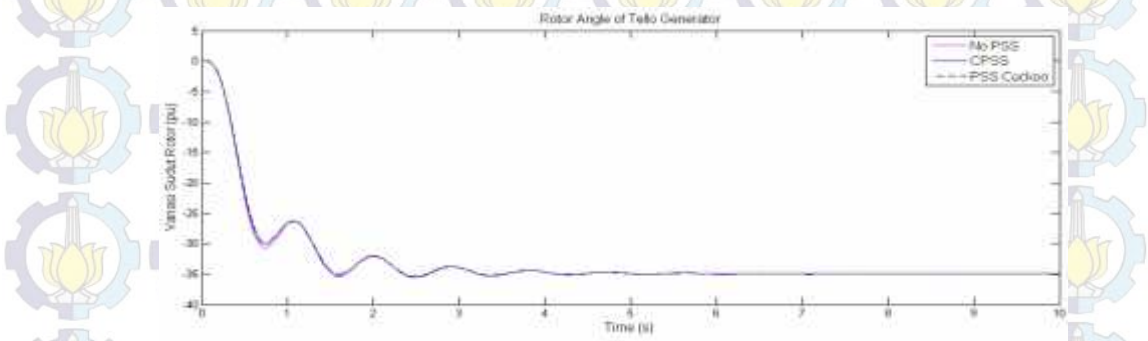




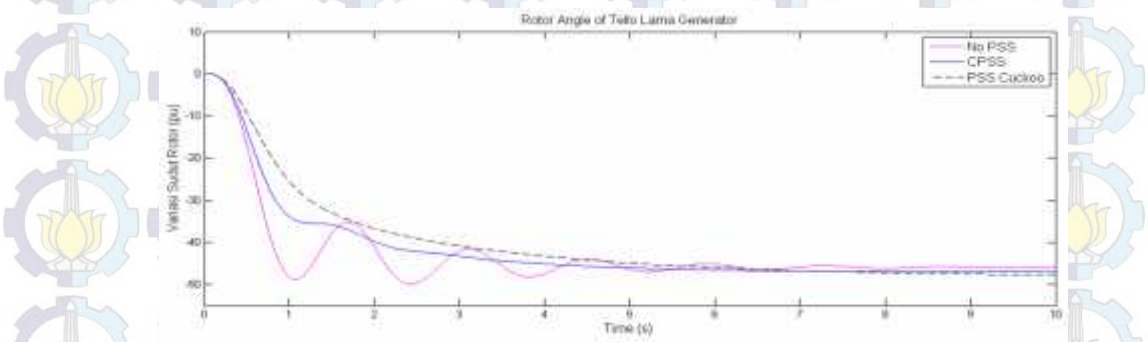
Gambar 4.54. Variasi Sudut Rotor Generator Suppa (Kasus II)



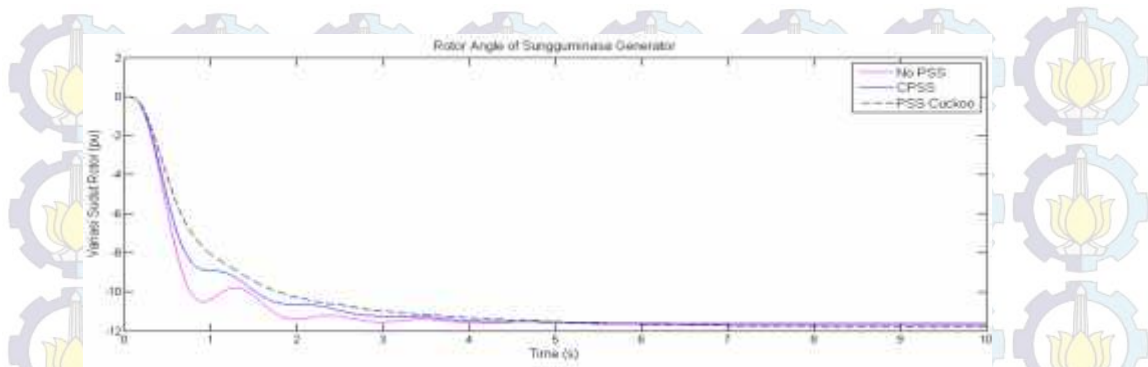
Gambar 4.55. Variasi Sudut Rotor Generator Barru (Kasus II)



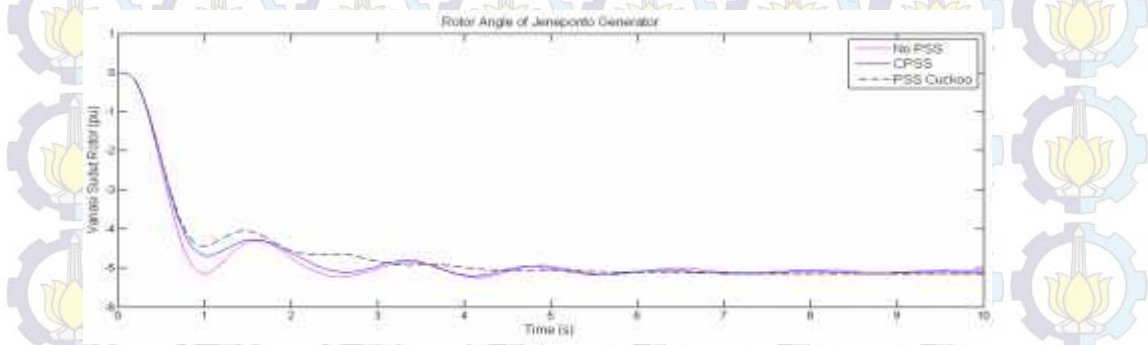
Gambar 4.56. Variasi Sudut Rotor Generator Tello (Kasus II)



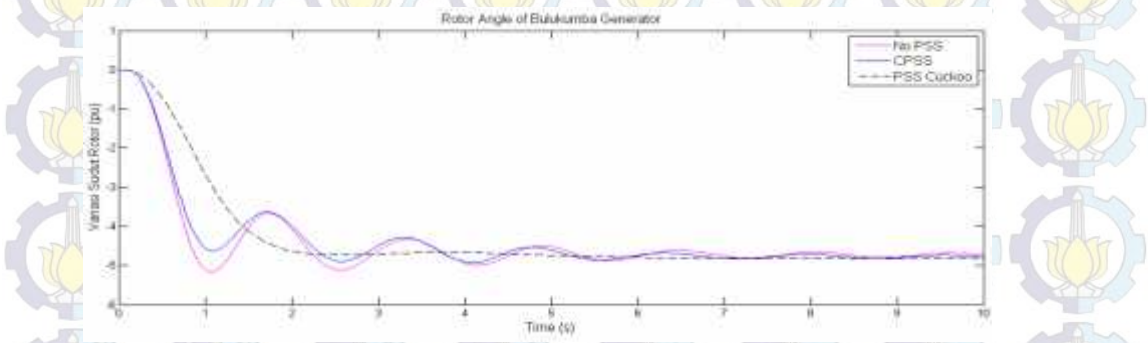
Gambar 4.57. Variasi Sudut Rotor Generator Tello Lama (Kasus II)



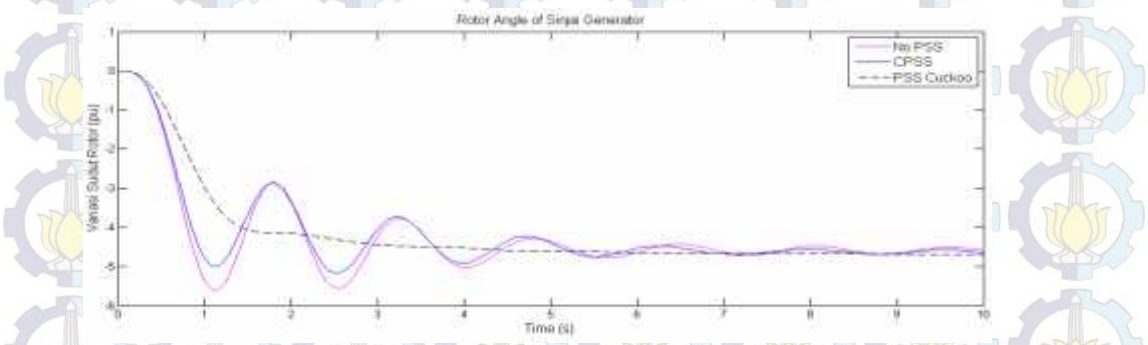
Gambar 4.58. Variasi Sudut Rotor Generator Sungguminasa (Kasus II)



Gambar 4.59. Variasi Sudut Rotor Generator Jeneponto (Kasus II)

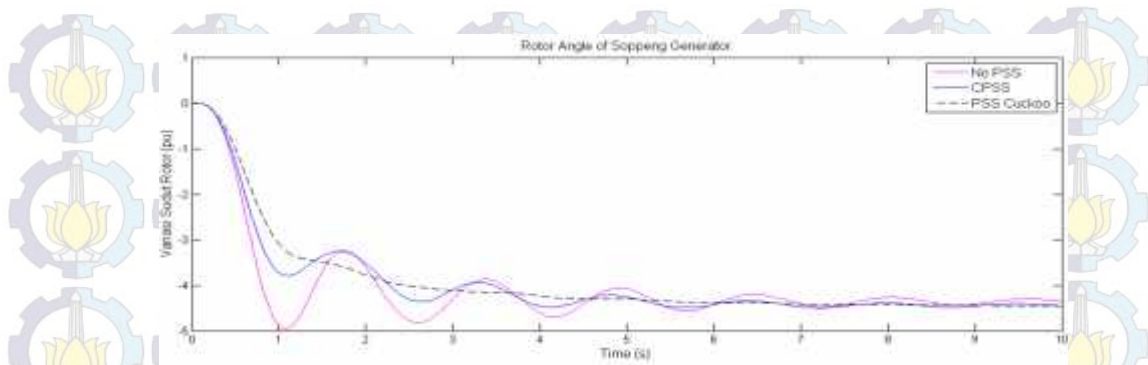


Gambar 4.60. Variasi Sudut Rotor Generator Bulukumba (Kasus II)

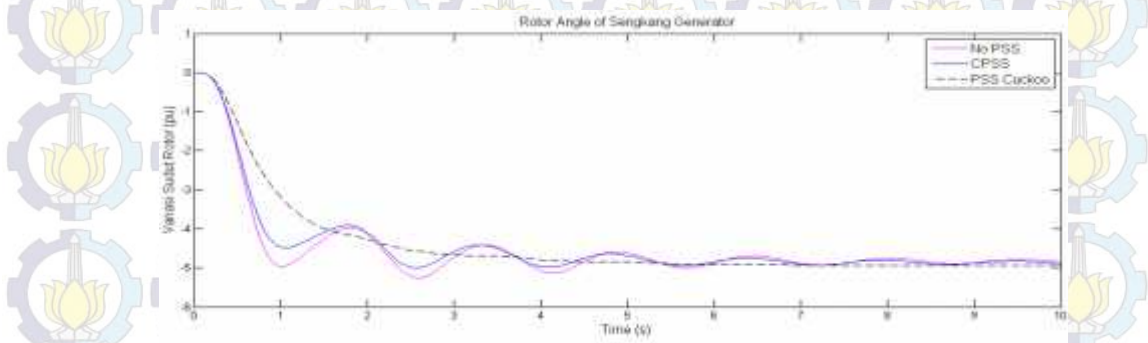


Gambar 4.61. Variasi Sudut Rotor Generator Sinjai (Kasus II)

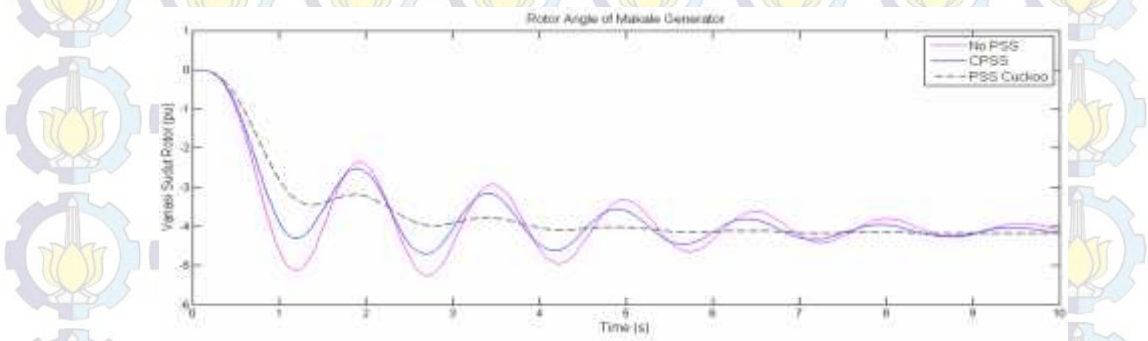




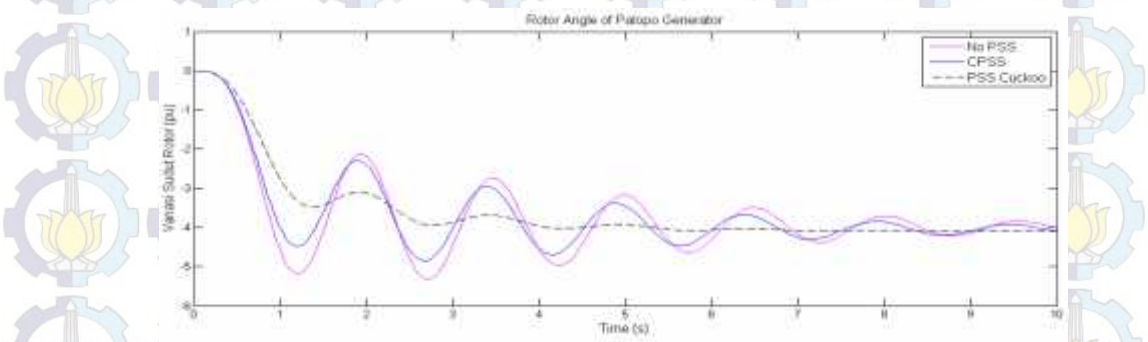
Gambar 4.62. Variasi Sudut Rotor Generator Soppeng (Kasus II)



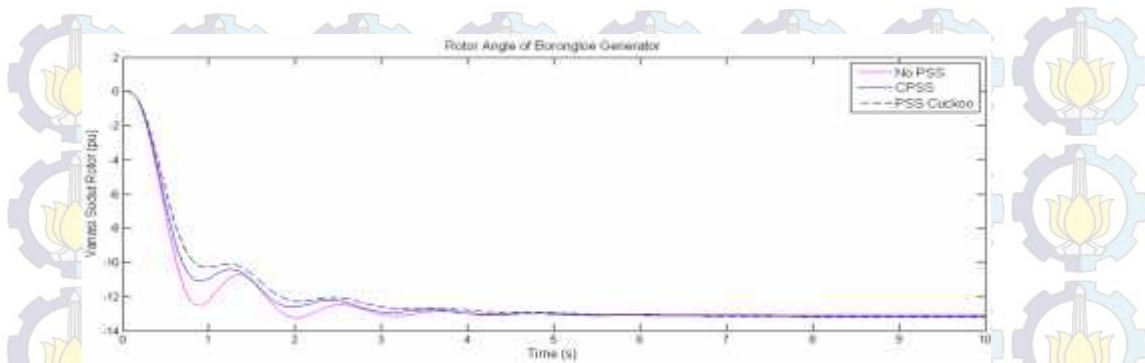
Gambar 4.63. Variasi Sudut Rotor Generator Sengkang (Kasus II)



Gambar 4.64. Variasi Sudut Rotor Generator Makale (Kasus II)



Gambar 4.65. Variasi Sudut Rotor Generator Palopo (Kasus II)



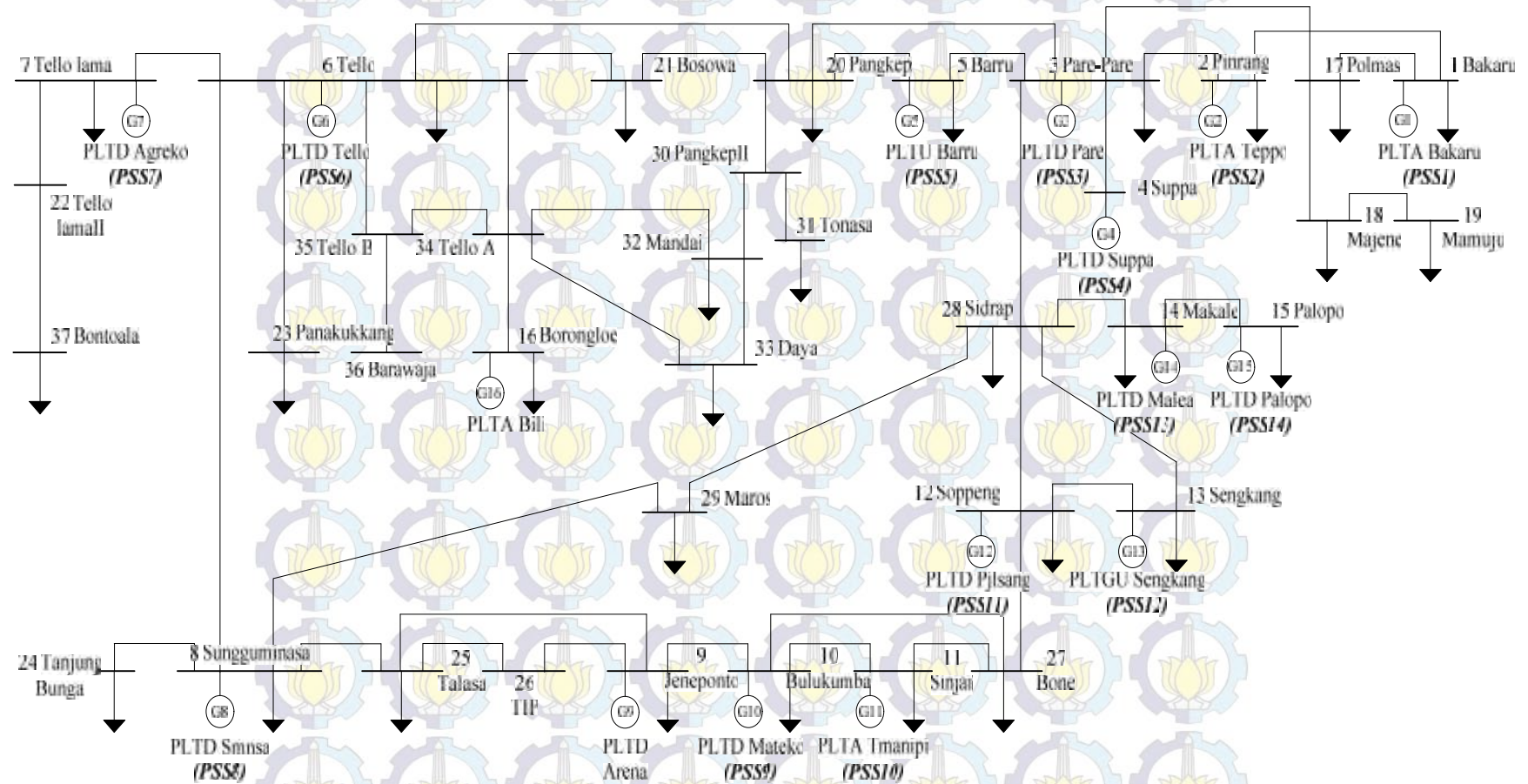
Gambar 4.66. Variasi Sudut Rotor Generator Borongloe (Kasus II)

Untuk analisa respon perubahan kecepatan, perubahan beban yang terjadi menyebabkan  $P_e > P_m$  sehingga dari grafik untuk kedua studi kasus yang digunakan, respon pertama kecepatan generator adalah kebawah. Sedangkan untuk respon sudut rotor, karena  $P_e > P_m$ , maka rotor akan mengalami perlambatan sehingga respon sudut rotor menjadi negatif.

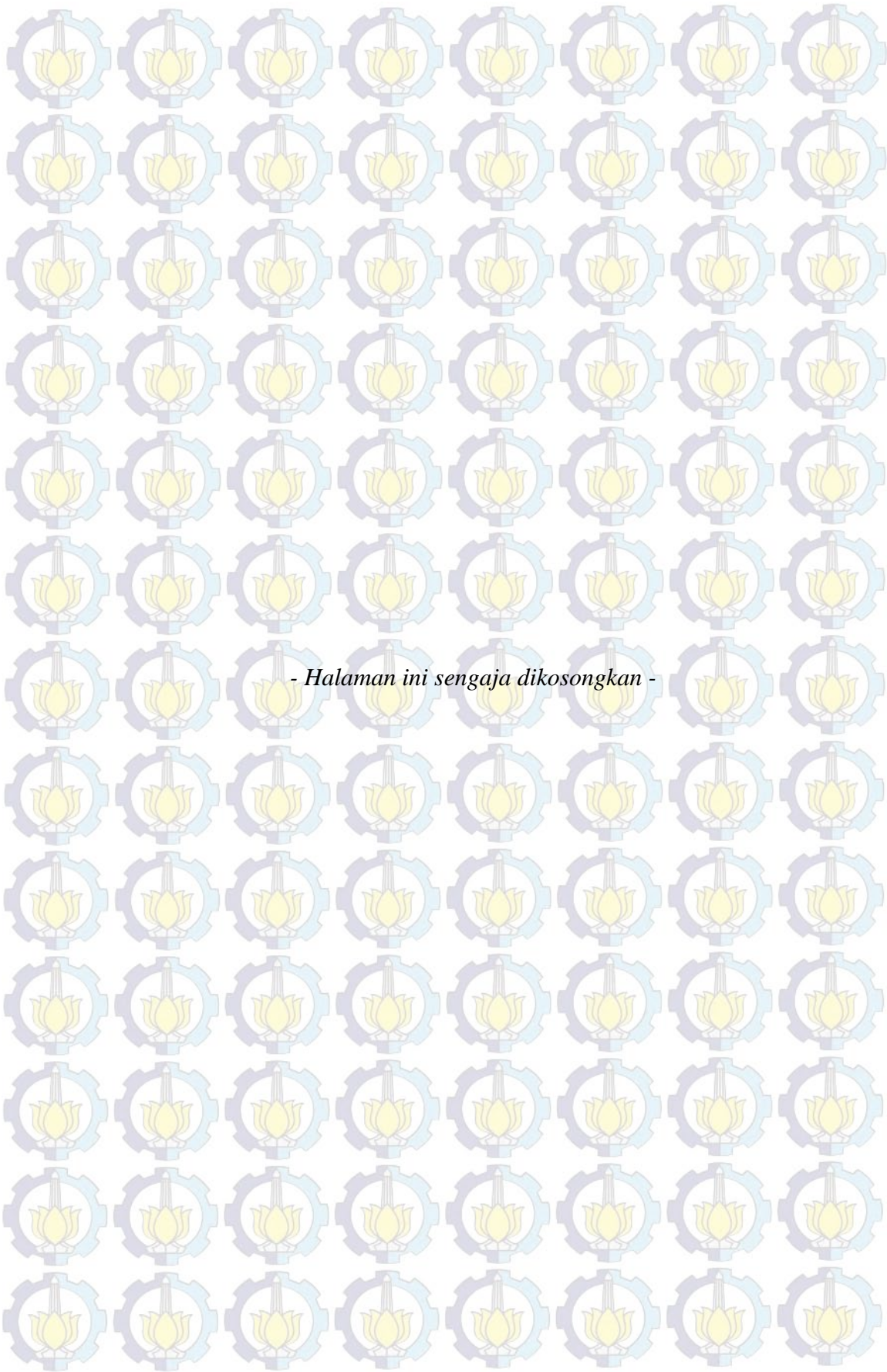
Dari gambar 4.35-4.66, menunjukkan Deviasi Kecepatan ( $\Delta\omega$ ) dan sudut rotor masing-masing generator untuk kondisi N-1 ketika terjadi gangguan dalam hal ini diberi gangguan pada generator bakaru, dan dari grafik deviasi kecepatan dapat dilihat besar osilasi overshoot yang terjadi semakin berkurang setelah dipasang PSS, selain itu settling time yang dihasilkan juga akan semakin cepat untuk menuju ke kondisi steady state dengan menggunakan metode yang diusulkan CSA dibandingkan dengan metode konvensional dan sistem tanpa kontrol.

Dari hasil analisis kedua studi kasus yang digunakan, didapatkan performansi kinerja sistem yang meningkat dengan pemasangan Power System Stabilizer yang optimal, di mana untuk kondisi normal dan N-1 sistem Sulsebar, lokasi optimal pemasangan PSS adalah sama yaitu, pada pembangkit Bakaru, Pinrang, Pare - Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, dan Palopo. Gambar 4.16 menunjukkan single line sistem Sulsebar setelah dioptimisasi penempatan PSS menggunakan CSA untuk dua studi kasus yang digunakan.





Gambar 4.67. Hasil Optimasi Penempatan PSS dengan CSA pada Sistem 150 kV Sulselrabar Untuk Dua Studi Kasus yang Digunakan



*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Penempatan terbaik PSS didasarkan pada nilai maksimum  $\zeta_{min}$  yang lebih besar dari 0. Untuk dua studi kasus yang digunakan, didapatkan penempatan optimal PSS yang sama yaitu 14 PSS, masing-masing pada generator Bakaru, Pinrang, Pare-Pare, Suppa, Barru, Tello, Tello Lama, Sungguminasa, Bulukumba, Sinjai, Soppeng, Sengkang, Makale, Palopo. Dengan nilai  $\zeta_{min}$  masing-masing sebesar 0,6033 dan 0,6114.

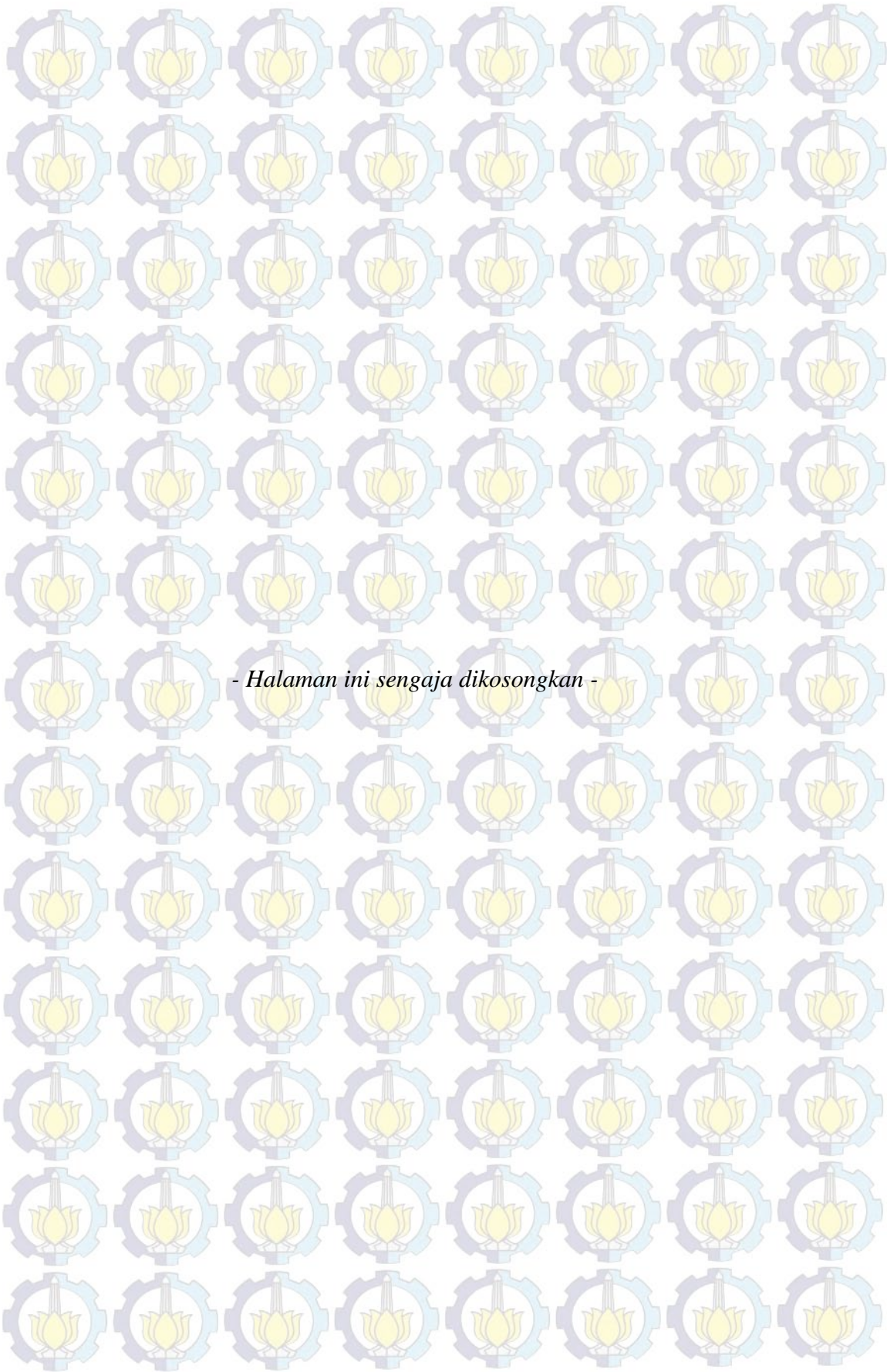
Penerapan metode CSA dapat memperbaiki kestabilan sistem, sehingga sistem lebih stabil dengan damping yang lebih baik, jika terdapat gangguan yang bersifat dinamik. Penerapan PSS-CSA dapat memperbaiki nilai *eigenvalue* kritis sistem dengan lebih baik dengan nilai *eigenvalue* menjadi semakin negatif, selain itu untuk *eigenvalue* pada mode osilasi inter-area dan lokal-area menunjukkan nilai yang lebih baik, jika dibandingkan dengan menggunakan konvensional PSS.

Penerapan PSS-CSA dapat mengurangi osilasi, memperkecil overshoot osilasi frekuensi dan sudut rotor, sehingga mempercepat settling time dibandingkan dengan PSS konvensional.

#### 5.2. Penelitian Selanjutnya

Optimisasi PSS bisa digunakan pada sistem dengan gangguan transien, dan digunakan dengan beberapa metode *Computational Intelligence* yang baru, seperti metode Flower Algorithm, dsb. Selain itu, ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kestabilan sistem di Sulselrabar, seperti menggunakan peralatan kontrol STATCOM, UPFC, TCSC, SVC atau peralatan *energy storage*, SMES (*Superconducting Magnetic Energy Storage*), CES (*Capacitive Energy Storage*) dan BES (*Battery Energy Storage*).







## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, P.M. and Fouad, A.A. (2003), "*Power System Control and Stability*", John Wiley & Sons, Inc, Second Edition.
- Alkhatib,H. (2008), "Simultaneous Optimization of Power System Stabilizer Parameters, Number and Location via Genetic Algorithms". *Universities Power Engineering Conference UPEC 2008*. 43rd International. IEEE.
- Ariyo, F.K. (2012), "Selection of Optimum Location of Power System Stabilizer in a Multimachine Power System". *Electrical and Electronic Engineering 2012*, 2(5): 258-265.Sapub Journal.
- Cai, L.J. (2003), "Simultaneous Coordinated Tuning of PSS and FACTS Controller for Damping Power System Oscillations in Multi-Machine Systems". *IEEE Bologna PowerTech Conference*, June 23-26, Bologna, Italy.
- Chun, L. (2006), "Optimal Allocation and Design of PSSs for Damping of Low-Frequency Oscillations in an Interconnected Power System". *Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems*, Hangzhou, China.
- Data Operasi Pembangkit AP2B Sistem Sulselrabar
- Debasish. M, (2010), "Selection of optimum location of power system stabilizer in a multimachine power system". *Journal of Electrical and Electronics Engineering Research*, Vol. 2(1) pp. 001-013, JEEER.
- Devendra, P. (2011), "Optimal Placement of Power System Stabilizers: Simulation Studies on a Test System". *Engineering (NUiCONE)*, Nirma University International Conference on. IEEE.
- Dewi, P. P. (2014), "*Kontrol Optimal Pressurized Water Reactor Pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Menggunakan Fuzzy Cuckoo Search Algorithm* , Tesis Teknik Elektro ITS.
- Djalal, M.R. dan Chandra.Y.L. (2012), "*Studi Aliran Daya dan Hubung Singkat Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan dengan ETAP*", Tugas Akhir Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Eslami, M. (2011), "Optimal Location of PSS Using Improved PSO with Chaotic Sequence". *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia*, June 21-22, IEEE.
- Eslami. M, (2012), "An efficient particle swarm optimization technique with chaotic sequence for optimal tuning and placement of PSS in power systems". *Electrical Power and Energy Systems*, Elsevier.
- Ghasemi, A. (2011), "Optimal Placement and Tuning of Robust Multimachine PSS via HBMO". *Proceedings of The 2011 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing*. IEEE.
- Hardiansyah, (1996), "*Studi Penentuan Lokasi Dan Penalaan Parameter Power System Stabilizer Dengan Menggunakan Kombinasi Algoritma*



*Penempatan-Pole Dan Metoda Identifikasi Faktor Partisipasi*”, Tesis Elektro ITB.

Hardy, Wong, N.P. dan Dedi. (2013), “Penerapan Algoritma Cuckoo Search Pada Travelling Salesmen Problem”, *Seminar Nasional Sistem Informasi*.

Hassan, H. (2014), "Optimization of power system stabilizers using participation factor and genetic algorithm". *Electrical Power and Energy Systems*. 668–679. Elsevier.

Kamalasadan, S. (2013), “Novel Method for Optimal Placement of Power System Stabilizer using Principal Component Analysis”. *Industry Applications Society Annual Meeting*. IEEE.

Keumarsi, V. (2014), “An integrated approach for optimal placement and tuning of power system stabilizer in multi-machine systems”. *Electrical Power and Energy Systems*, 132–139. Elsevier.

Khan, M.A. (2008), “Optimal Location of Power System Stabilizers in a Multi Machine Power System Using Relative Gain Array (RGA) and Genetic Algorithm (GA)”, *International Journal of Electrical and Power Engineering*, Medwell Journals.

Kitta, I. (2011), “*Studi Kestabilan Transien Sistem Interkoneksi Sulseltrabar*”. PLN-Unhas.

Kundur, P. (1994), “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill,

Liu, C. (2004), “Optimal Allocation And Design Of Power System Stabilizers For Enhancing The Damping Of Inter-Area Oscillations In Japanese Eastern Interconnected Power System”, *Universities Power Engineering Conference*, 39th International, Volume 2.

Mahabuba, A. (2013), “Identification of the Optimum Locations of Power System Stabilizers in a Multimachine Power System Using Second Order Eigenvalue Sensitivity Analysis”. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2013, 4, 35-42. SciRes Journal.

Mostafa, H.E. (2012), “Design and allocation of power system stabilizers using the particle swarm optimization technique for an interconnected power system”. *Electrical Power and Energy Systems*, 57–65. Elsevier.

Muhris, F.A. (2011), “*Studi Kestabilan Transien Sistem Tenaga Listrik Sulselbar*”. Skripsi Teknik Elektro Unhas.

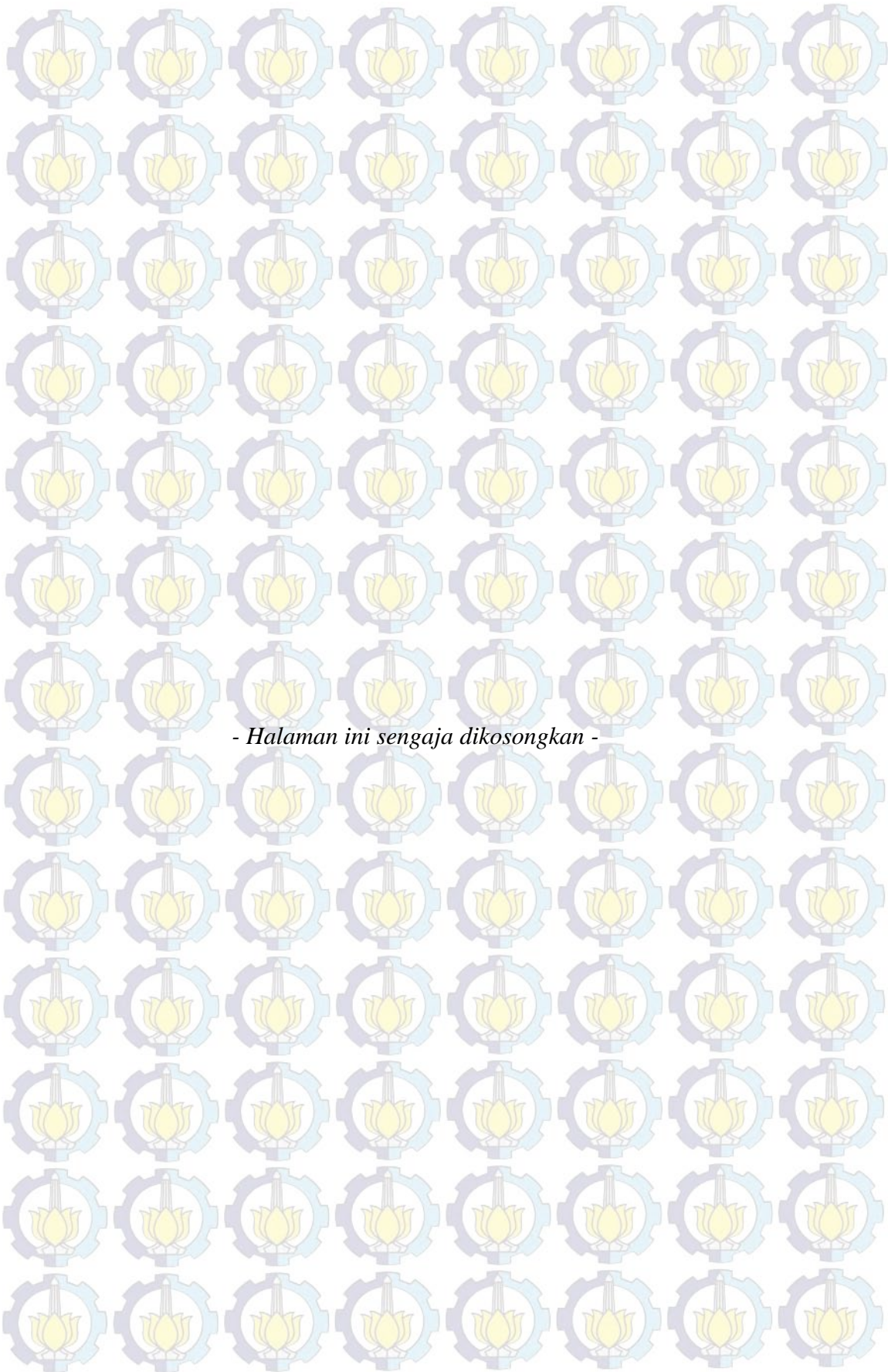
Ostojic, D.R. (1988), "Identification of optimum site for power system stabiliser applications". *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C*, IEEE.

Qisheng, L. (2005), “Study on the Selection of PSS Installing Locations in Power Systems”. *IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition, Asia and Pacific Dalian, China*.



- Ragavendiran, A. (2012), "Determination Of Location And Performance Analysis Of Power System Stabilizer Based On Participation Factor". *Conference on Electrical, Electronics and Computer Science.IEEE. 2012.*
- Razali, N.M.M. (2006), "Power System Stabilizer Placement and Tuning Methods for Inter-area Oscillation Damping". *First International Power and Energy Coference PEC*, November 28-29, Putrajaya, Malaysia.
- Robandi, I. (2006), *Desain Sistem Tenaga Modern*, Penerbit Andi.
- Robandi, I. (2006), *Modern Power System Control.*, Penerbit Andi.
- Rosie, M. (2015), "Metode Cuckoo Search Untuk Menyelesaikan Masalah Optimisasi Tak Linier Dengan Kendala dan Beberapa Pemanfaatannya pada Bidang Teknik Rekayasa". Tugas Akhir ITB.
- Rueda, J.L. (2012), "Estimation of Location and Coordinated Tuning of PSS based on Mean-Variance Mapping Optimization". *Power and Energy Society General Meeting. IEEE.*
- Sebaa,K. (2009), "Optimal Locations and tuning of Robust Power System Stabilizers using Genetic Algorithms". *Volume 79, Issue 2, February 2009, Pages 406–416.IEEE.*
- Shayeghi, H. (2013), "Simultaneous Optimal Placement and Parameter-Tuning of SVC, TCSC and PSS Using Honey-Bee Mating Optimization". *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), IEEE PES Asia-Pacific.*
- Shu, L. (2006), "A Normal-Form Based Approach to Place Power System Stabilizers". *Power Engineering Society General Meeting, IEEE.*
- Stativ, A. (2012), "Optimal Tuning and Placement of Power System Stabilizer using Particle Swarm Optimization Algorithm". *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2012), 25-27 October, Iasi, Romania. IEEE.*
- Wang, K.W. (1998), "Optimum Location of Power System Stabilizers Based on Probabilistic Analysis", *Proceedings POWERCON, International Conference on (Volume:2). IEEE.*
- Yang. X.S. (2013), "Cuckoo Search and Firefly Algorithm (Theory and Applications)".
- Yeu,R. (2009), "Eigenvalue Tracking for PSS Placement". *North American Power Symposium (NAPS).IEEE.*
- Yuan,Y. (1988), "Identification of optimum location for stabiliser applications using participation factors". *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C (Volume:134,Issue:3).IEEE.1988.*
- Yuan,Y. (2008), "Determination of Wide-area PSS Locations and Feedback Signals Using Improved Residue Matrices".*Circuits and Systems APCCAS. Asia Pacific Conference on. IEEE.*





*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



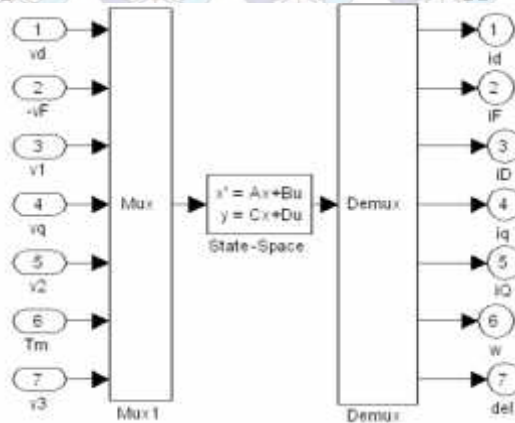
## LAMPIRAN

### 1. MODEL GENERATOR

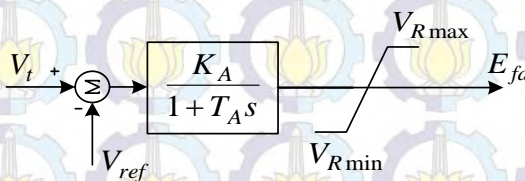
Persamaan Model Generator :

$$\begin{bmatrix} Dv_d \\ -Dv_f \\ 0 \\ Dv_q \\ 0 \\ DT_m \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & w_0 L_q & w_0 kM_Q & l_q 0 & 0 \\ 0 & r_f & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -w_0 L_d & -w_0 kM_F & -w_0 kM_D & r & 0 & -l_d 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q & 0 & 0 \\ \frac{l_q 0 - L_d i_q 0}{3} & \frac{-kM_F i_q 0}{3} & \frac{-kM_D i_q 0}{3} & \frac{-kM_Q i_d 0}{3} & \frac{kM_Q i_d 0}{3} & -D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Di_d \\ Di_f \\ Di_D \\ Di_q \\ Di_Q \\ Dw \\ Dd \end{bmatrix}$$
  

$$\begin{bmatrix} L_d & kM_F & kM_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_F & L_f & M_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & kM_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kM_Q & L_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -t_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Di_d \\ Di_f \\ Di_D \\ Di_q \\ Di_Q \\ Dw \\ Dd \end{bmatrix}$$



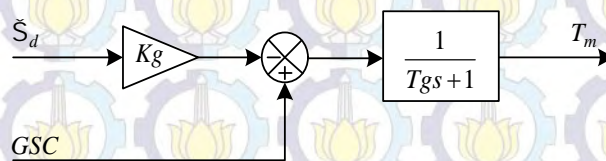
### 2. MODEL EKSITER



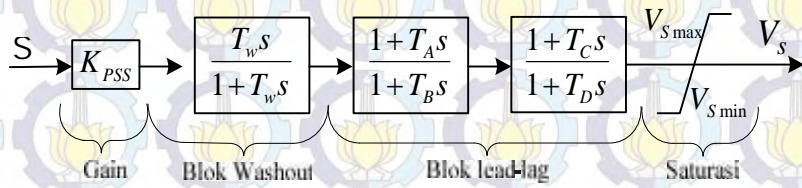
Type : *Fast Exciter*

### 3. MODEL GOVERNOR

$T_g = 2$  detik,  $K_g = 20$ ,  $GSC = 0$



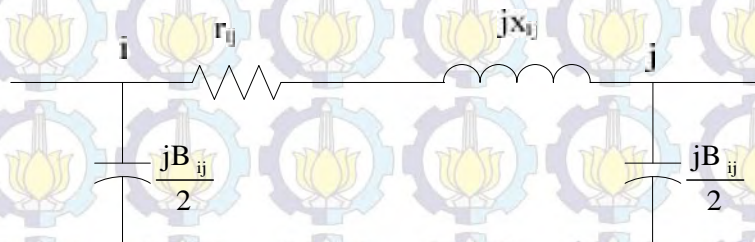
#### 4. BLOK PSS



$$V_{smin} = -0.15, V_{smax} = 0.15$$

#### 5. MODEL TRANSMISI

Saluran transmisi dimodelkan sebagai rangkaian pengganti seperti yang pada gambar berikut.  $B_{ij}$  yang merupakan kapasitansi bocor kawat transmisi. Semua dalam frekuensi nominal.

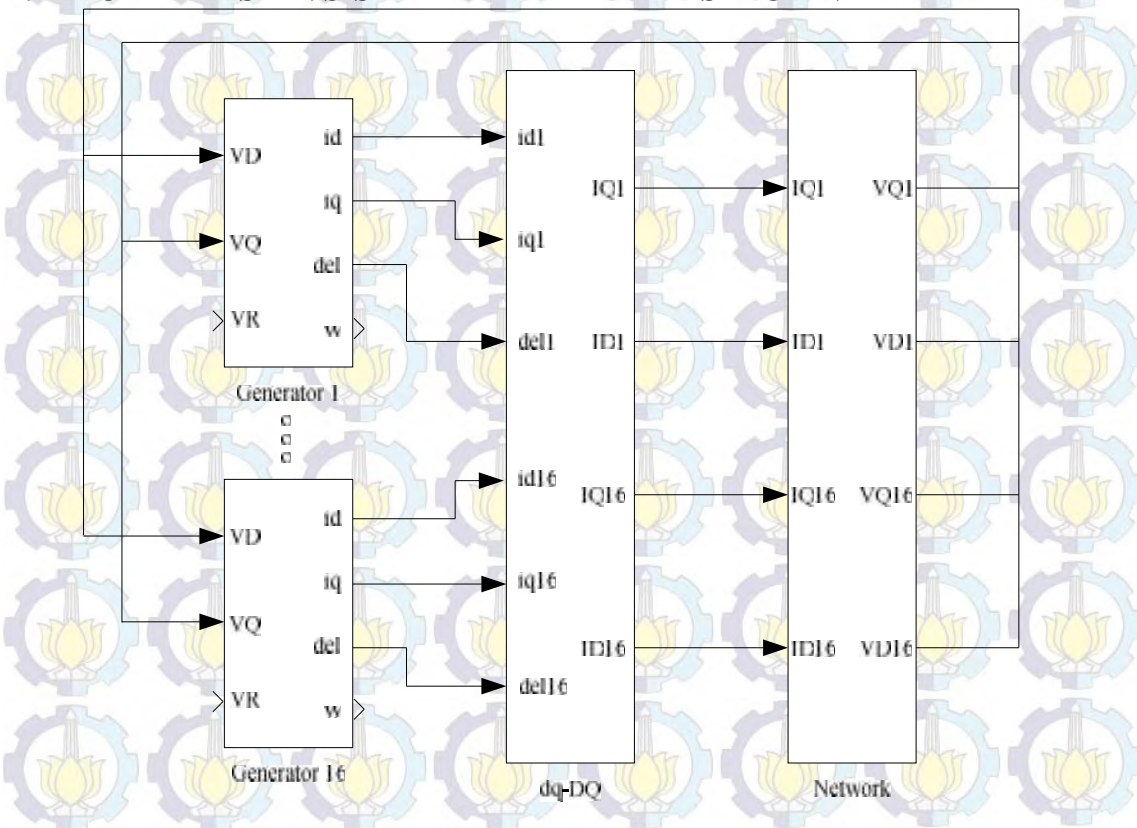


#### 6. MODEL BEBAN

Dalam analisa dinamik ini, model beban dimodelkan yang paling sederhana, yaitu model statik. Dengan model ini beban disuatu bus dinyatakan dengan admitansi antara bus dan netral.

$$y_{Li} = (P_{Li} - jQ_{Li}) / |V_i|^2, \text{ Dengan } i = 1-n. n = \text{jumlah bus pada sistem}$$

#### 7. MODEL DESAIN SISTEM PADA MATLAB-SIMULINK









## 9. DATA IMPEDANSI SALURAN TRANSMISI SISTEM SULSELRABAR

Gardu Induk	Line	kV	1L/2L	Types	Km	IMPEDANSI PER LINE (pu)					TOTAL IMPEDANSI (ohm / mho)				
						Urutan Positif		Urutan Negatif		Y/2	Urutan Positif		Urutan Negatif		Y/2
						R	jX	R	jX		R	Jx	R	jX	
BARRU	PNKEP	150	1L	240e	46.00	0.02419	0.08667	0.05479	0.26005	0.01167	5.442	19.501	12.328	58.512	0.00005
BKARU	PRANG	150	1L	240d	58.50	0.03076	0.11023	0.06968	0.33072	0.01012	6.921	24.802	15.678	74.412	0.00004
BKARU	PWALI	150	1L	240a	50.10	0.02627	0.09440	0.05967	0.28323	0.00743	5.911	21.240	13.427	63.727	0.00003
BKARU	BKRU PH	150	2L	240a	1.00	0.00105	0.00377	0.00238	0.01131	0.00007	0.118	0.424	0.268	1.272	-
BSOWA	TELLO	150	1L	240c	32.10	0.01683	0.06049	0.03823	0.18147	0.00761	3.786	13.609	8.603	40.831	0.00003
PNKEP	BSOWA	150	1L	240c	20.80	0.01090	0.03919	0.02478	0.11759	0.00493	2.453	8.819	5.574	26.458	0.00002
PNKEP	TELLO	150	2L	240e	45.30	0.04764	0.17071	0.10791	0.51219	0.00575	5.359	19.205	12.140	57.622	0.00005
PPARE	BARRU	150	1L	240e	44.00	0.02314	0.08290	0.05241	0.24875	0.01116	5.205	18.654	11.792	55.968	0.00005
PPARE	PNKEP	150	2L	240e	90.00	0.09464	0.33916	0.21440	1.01760	0.01141	10.647	38.155	24.120	114.480	0.00010
PPARE	SUPPA	150	2L	240a	7.50	0.00787	0.02826	0.01787	0.08480	0.00056	0.885	3.180	2.010	9.540	-
PRANG	PPARE	150	1L	240e	26.40	0.01388	0.04974	0.03145	0.14925	0.00670	3.123	11.192	7.075	33.581	0.00003
PWALI	MJENE	150	2L	240a	50.16	0.05261	0.18902	0.11949	0.56714	0.00372	5.918	21.265	13.443	63.804	0.00003
PWALI	PPARE	150	1L	240g	91.90	0.03663	0.13159	0.10946	0.51954	0.01819	8.242	29.608	24.629	116.897	0.00008
SDRAP	PPARE	150	2L	240a	19.10	0.02003	0.07198	0.04550	0.21596	0.00142	2.254	8.097	5.119	24.295	0.00001
SGMSA	TLLSA	150	2L	430b	27.50	0.00970	0.06649	0.06551	0.31093	0.00314	1.091	7.480	7.370	34.980	0.00003
SKANG	SPENG	150	2L	430a	35.40	0.02106	0.12670	0.08433	0.40026	0.00404	2.369	14.253	9.487	45.029	0.00004
SPENG	BONE	150	2L	240f	43.27	0.04578	0.16306	0.10308	0.48924	0.00402	5.150	18.344	11.596	55.039	0.00004
SPENG	SDARP	150	2L	240b	53.80	0.05643	0.20275	0.12816	0.60830	0.00482	6.348	22.809	14.418	68.434	0.00004
TELLO	SGMSA	150	2L	430b	10.90	0.00385	0.02635	0.02597	0.12324	0.00124	0.433	2.965	2.921	13.865	0.00001
TELLO	TLAMA	150	2L	240e	6.90	0.00726	0.02600	0.01644	0.07802	0.00088	0.816	2.925	1.849	8.777	0.00001
BLKMB	JNPTO	150	2L	240a	46.35	0.04861	0.17466	0.11041	0.52405	0.00344	5.469	19.649	12.422	58.956	0.00003
BONE	BLKMB	150	2L	240a	137.20	0.14390	0.51703	0.32684	1.55129	0.01017	16.188	58.166	36.770	174.520	0.00009
BONE	SNJAI	150	1L	240a	77.50	0.04064	0.14603	0.09231	0.43813	0.01149	9.144	32.856	20.770	98.580	0.00005
DYBAR	SGMSA	150	2L	430b	154.00	0.05433	0.37234	0.36686	1.74123	0.01756	6.112	41.888	41.272	195.888	0.00016
JNPTO	TIP 57/58	150	2L	240a	24.49	0.02568	0.09228	0.05833	0.27687	0.00182	2.889	10.381	6.563	31.148	0.00002
MALEA	MKALE	150	2L	430b	30.00	0.01058	0.07253	0.07147	0.33920	0.00342	1.191	8.160	8.040	38.160	0.00003
MKALE	PLOPO	150	2L	240a	37.35	0.03917	0.14076	0.08898	0.42232	0.00277	4.407	15.835	10.010	47.511	0.00002
SDRAP	DYBAR	150	2L	430b	35.00	0.01235	0.08462	0.08338	0.39573	0.00399	1.389	9.520	9.380	44.520	0.00004
SDRAP	MKALE	150	2L	430a	105.48	0.06274	0.37753	0.25129	1.19267	0.01203	7.058	42.472	28.270	134.175	0.00011
SGMSA	TBNGA	150	2L	430a	11.89	0.00707	0.04256	0.02833	0.13446	0.00136	0.796	4.788	3.187	15.127	0.00001
SNJAI	BLKMB	150	1L	240a	59.50	0.03120	0.11211	0.07087	0.33637	0.00882	7.020	25.225	15.946	75.684	0.00004
TLLSA	TIP 57/58	150	2L	430b	19.06	0.00673	0.04609	0.04542	0.21555	0.00217	0.757	5.186	5.109	24.250	0.00002
DAYA	TELLO	70	1L	120a	5.00	0.02408	0.04421	0.06896	0.19166	0.00013	1.180	2.166	1.340	6.360	0.00001
MNDAI	DAYA	70	1L	120a	7.10	0.03420	0.06278	0.09792	0.27216	0.00019	1.676	3.076	1.903	9.031	0.00001
MNDAI	TELLO	70	1L	120a	12.10	0.05828	0.10699	0.16687	0.46383	0.00032	2.856	5.243	3.243	15.391	0.00001
PNKEP	MNDAI	70	2L	120a	37.70	0.36318	0.66671	1.03984	2.89030	0.00050	8.898	16.334	10.104	47.954	0.00002
PNKEP	TNSA3	70	2L	120a	3.40	0.03275	0.06013	0.09378	0.26066	0.00005	0.802	1.473	0.911	4.325	0.00001
TELLO	BRLOE	70	1L	120a	12.60	0.06069	0.11141	0.17377	0.48299	0.00034	2.974	5.459	3.377	16.027	0.00001
TELLO	PWAJA	30	1L	120b	3.70	0.12292	0.17508	0.31076	0.77212	0.00002	1.106	1.576	0.992	4.706	0.00001
TELLO	PKANG	70	2L	240h	4.50	0.04334	0.07958	0.12412	0.34500	0.00006	1.062	1.950	1.206	5.724	0.00001
TLAMA	BNTLA	70	2L	XLPE	4.20	0.04046	0.07428	-	-	0.00006	0.991	1.820	1.126	5.342	0.00001



# 10. DATA BEBAN SISTEM SULSELRABAR

PT. PLN (Persero)  
DIVISI BEBAN & SISTEM  
ANEKADALAM BEBAN DAN KATEGORI BEBAN SISTEM SULSEL

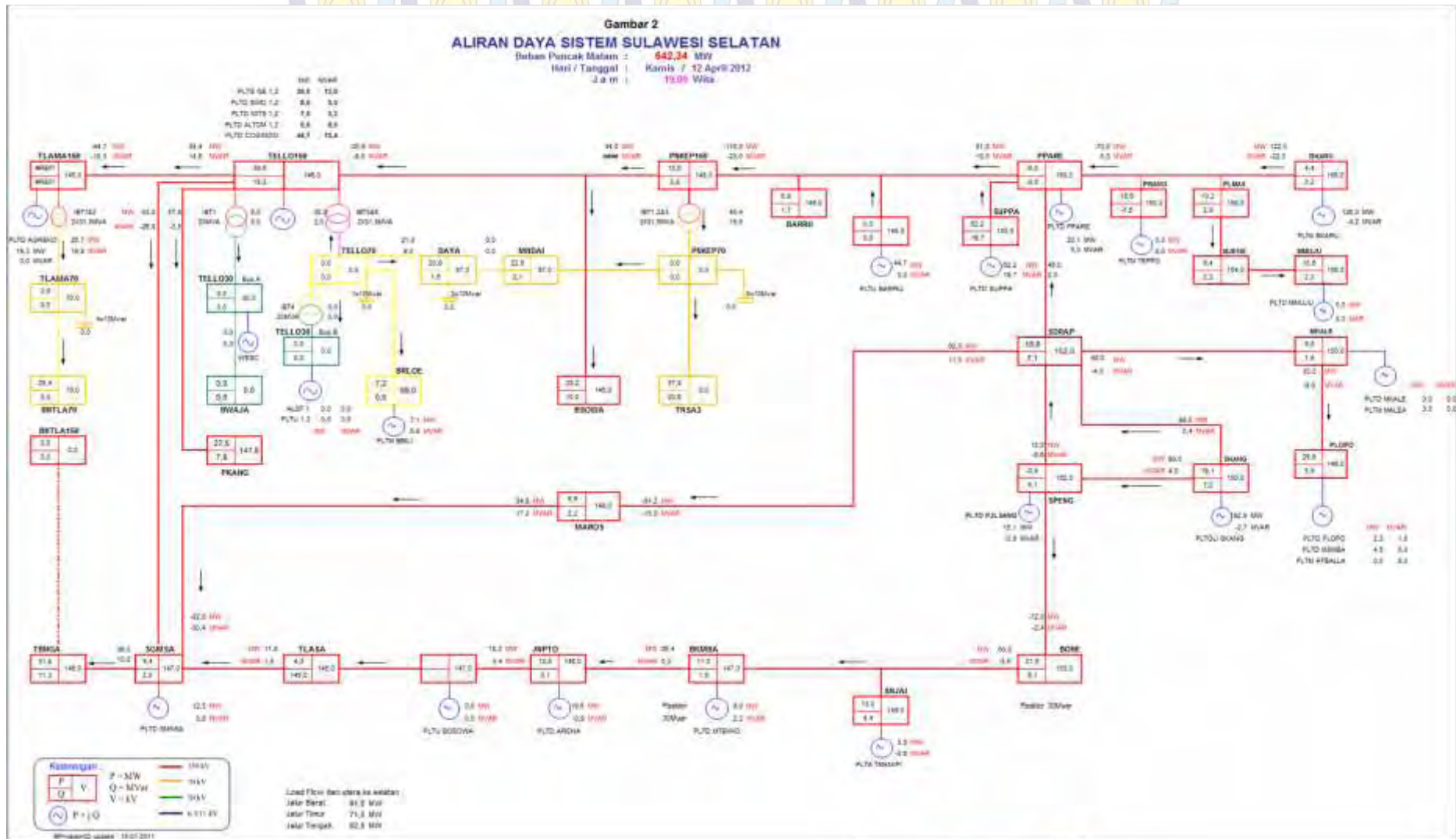
**REALISASI HARIAN BEBAN TRAFIK DISTRIBUSI & KONSUMEN BESAR**

PLN KAMI  
TANGGAL  
13 April 2012

CADANGAN	LOKASI	DRVA	MVA	P E M U L U T B E B A N (MW)																																Beban Trafik	
				01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	Max	Peak								
MAKASSAR	STALS	1-201	900	8.81	8.93	7.81	7.40	7.46	7.49	7.56	8.23	8.70	9.70	9.76	1.10	8.26	8.28	7.51	7.30	6.81	7.40	7.60	7.48	7.52	7.33	6.70	6.81	6.60	5.20	7.10	8.81	6.90					
		4-201	900	8.81	8.93	7.81	7.40	7.46	7.49	7.56	8.23	8.70	9.70	9.76	1.10	8.26	8.28	7.51	7.30	6.81	7.40	7.60	7.48	7.52	7.33	6.70	6.81	6.60	5.20	7.10	8.81	6.90					
		8-200	900	7.21	8.70	8.30	8.06	8.38	8.29	7.45	8.20	8.43	13.40	13.70	14.40	14.30	11.00	11.20	14.21	12.70	12.25	12.20	11.20	11.10	10.90	10.80	11.43	10.60	10.10	8.90	7.70	10.30	16.90				
	PISANG	1-201	900	11.40	11.91	12.20	11.61	11.20	10.70	10.50	10.69	11.30	11.80	12.30	13.20	13.60	13.19	13.40	13.10	13.80	13.50	16.00	16.10	16.00	16.10	16.10	16.10	16.20	16.00	16.60	14.20	18.20	21.20				
		4-201	900	8.91	7.80	7.20	6.60	6.30	6.30	6.61	6.80	7.81	8.10	8.80	10.00	10.00	10.00	10.10	10.80	10.50	10.70	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00				
		8-200	1000	21.70	20.70	19.90	19.20	18.10	17.10	17.80	18.10	22.90	25.30	26.20	27.60	27.60	29.90	28.80	29.10	31.60	31.70	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00				
	TLASA	1-18	425	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70	1.20	1.10	0.70	0.70	0.70	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90				
		4-201	900	0.61	0.70	0.90	0.60	0.60	0.70	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90				
		8-200	900	2.34	1.90	1.00	1.20	1.40	2.70	2.90	3.90	2.90	2.40	2.00	2.10	2.90	2.40	2.70	4.30	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.70	3.60	3.70				
	BARRA	BIRIG	1-201	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20				
			4-201	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
			8-200	900	22.00	20.80	20.50	19.30	18.20	18.00	18.80	19.70	20.60	21.60	22.60	23.60	24.60	25.60	26.60	27.60	28.60	29.60	30.60	31.60	32.60	33.60	34.60	35.60	36.60	37.60	38.60	39.60	40.60	41.60			
TELLO		1-18	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20				
		4-201	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20				
		8-200	900	30.00	28.50	28.50	27.00	25.50	25.50	27.00	28.50	30.00	31.50	33.00	34.50	36.00	37.50	39.00	40.50	42.00	43.50	45.00	46.50	48.00	49.50	51.00	52.50	54.00	55.50	57.00	58.50	60.00	61.50				
BULCK		1-201	900	2.20	1.80	1.70	1.50	1.60	2.40	2.20	2.30	3.00	3.10	3.30	3.00	3.30	3.00	3.30	3.60	3.30	3.70	3.70	3.90	3.60	3.90	3.60	3.90	3.60	3.90	3.60	3.90	3.60	3.90				
		4-201	900	12.60	11.90	11.70	11.40	11.80	11.60	11.90	11.80	12.60	12.40	12.70	12.40	12.70	12.40	12.70	13.00	12.70	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00			
		8-200	900	4.90	4.40	4.40	4.40	4.40	4.80	4.80	4.80	5.20	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10			
PAREPARE		DATA	1-201	900	14.40	14.70	14.80	14.10	13.80	14.20	14.50	14.80	15.10	15.40	15.70	16.00	16.30	16.60	16.90	17.20	17.50	17.80	18.10	18.40	18.70	19.00	19.30	19.60	19.90	20.20	20.50	20.80	21.10				
			4-201	900	4.90	4.40	4.40	4.40	4.40	4.80	4.80	4.80	5.20	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10			
			8-200	1000	18.40	18.10	18.20	17.50	17.20	18.00	18.30	18.60	18.90	19.20	19.50	19.80	20.10	20.40	20.70	21.00	21.30	21.60	21.90	22.20	22.50	22.80	23.10	23.40	23.70	24.00	24.30	24.60	24.90	25.20			
	TLASA	1-18	425	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60				
		4-201	900	0.61	0.70	0.90	0.60	0.60	0.70	0.80	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90			
		8-200	900	19.30	18.00	17.00	16.00	16.00	17.00	18.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00			
	BARRA	1-201	900	4.20	4.00	4.10	4.10	4.20	4.30	4.40	4.50	4.60	4.70	4.80	4.90	5.00	5.10	5.20	5.30	5.40	5.50	5.60	5.70	5.80	5.90	6.00	6.10	6.20	6.30	6.40	6.50	6.60	6.70				
		4-201	900	15.20	14.50	14.30	13.70	13.00	13.80	13.60	14.00	14.00	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20			
		8-200	900	3.70	3.60	3.60	3.60	3.70	3.84	3.94	4.03	4.12	4.21	4.30	4.40	4.49	4.58	4.67	4.76	4.85	4.94	5.03	5.12	5.21	5.30	5.39	5.48	5.57	5.66	5.75	5.84	5.93	6.02	6.11			
	WAWAN	PAREP	1-201	900	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20			
			4-201	900	3.70	3.60	3.60	3.60	3.70	3.84	3.94	4.03	4.12	4.21	4.30	4.40	4.49	4.58	4.67	4.76	4.85	4.94	5.03	5.12	5.21	5.30	5.39	5.48	5.57	5.66	5.75	5.84	5.93	6.02	6.11		
			8-200	900	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10		
SPERS		1-201	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
		4-201	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20			
		8-200	900	3.00	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80			
PANGAJENE		PANGAJ	1-201	900	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80	11.80			
			4-201	900	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80		
			8-200	900	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20		
		BARRA	1-201	900	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20		
			4-201	900	3.70	3.60	3.60	3.60	3.70	3.84	3.94	4.03	4.12	4.21	4.30	4.40	4.49	4.58	4.67	4.76	4.85																



# 11. ALIRAN DAYA SISTEM SULSELBAR









### 13. LAMPIRAN HASIL DAMPING EIGEN SISTEM OPEN LOOP KONDISI NORMAL

damping_eigen =	1.0000	1.0e+02 *
0.2956	1.0000	-0.5166 + 6.5530i
0.2956	1.0000	-0.5166 - 6.5530i
0.1994	1.0000	-0.4442 + 5.3196i
0.1994	1.0000	-0.4442 - 5.3196i
0.1317	0.6656	-0.4144 + 5.0625i
0.1317	0.6656	-0.4144 - 5.0625i
0.1873	1.0000	-0.3056 + 4.6944i
0.1873	1.0000	-0.3056 - 4.6944i
0.0786	1.0000	-0.3135 + 4.5323i
0.0786	1.0000	-0.3135 - 4.5323i
0.2333	1.0000	-0.1972 + 4.4654i
0.2333	1.0000	-0.1972 - 4.4654i
0.0832	0.1125	-0.1266 + 4.3273i
0.0832	0.1125	-0.1266 - 4.3273i
0.0816	1.0000	-0.0853 + 4.1574i
0.0816	0.1128	-0.0853 - 4.1574i
0.0650	0.1128	-0.1965 + 4.3135i
0.0650	0.1486	-0.1965 - 4.3135i
0.0690	0.1486	-0.2594 + 4.1886i
0.0690	0.1216	-0.2594 - 4.1886i
0.0441	0.1216	-0.0413 + 3.9001i
0.0441	0.2297	-0.0413 - 3.9001i
0.0292	0.2297	-0.0825 + 4.0439i
0.0292	0.0804	-0.0825 - 4.0439i
0.0205	0.0804	-0.0389 + 3.5546i
0.0205	0.1460	-0.0389 - 3.5546i
0.0455	0.1460	-0.1003 + 2.3007i
0.0455	0.1849	-0.1003 - 2.3007i
0.0618	0.1849	1.7358 + 0.0000i
0.0618	0.2087	-0.1489 + 1.5172i
0.0106	0.2087	-0.1489 - 1.5172i
0.0106	0.1673	-0.1171 + 1.3752i
0.0204	0.1673	-0.1171 - 1.3752i
0.0204	0.0959	-0.0033 + 0.0408i
0.0109	0.0959	-0.0033 - 0.0408i
0.0109	0.1991	-0.0044 + 0.0462i
1.0000	0.1991	-0.0044 - 0.0462i
0.0436	0.1784	
0.0436	0.1784	
1.0000	0.1105	
1.0000	0.1105	
1.0000	0.1122	
1.0000	0.1122	
0.0977	0.1996	
0.0977	0.1996	
0.0848	1.0000	
0.0848	1.0000	
0.1690	1.0000	
0.1690	1.0000	
0.1882	1.0000	
0.1882	1.0000	
1.0000	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2706	1.0000	
0.2706	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.4412	1.0000	
0.4412	1.0000	
0.3041	1.0000	
0.3041	1.0000	
1.0000	interarea =	
0.5791	-0.3293 + 4.0844i	
0.5791	-0.4445 + 4.6156i	
1.0000	-0.5049 + 4.5409i	
1.0000	-0.5121 + 4.5346i	
1.0000	lokal =	
1.0000	-1.0209 + 9.0162i	
1.0000	-0.9043 + 7.9670i	
1.0000	-1.0640 + 7.0827i	
1.0000	-0.8539 + 6.9713i	
1.0000	-1.4632 + 6.2010i	
1.0000	-0.7864 + 5.3303i	
1.0000	-1.0964 + 5.8274i	
1.0000	-1.2476 + 5.8462i	
1.0000	-0.9347 + 5.5081i	
1.0000	-1.1487 + 5.6546i	
1.0000	-0.9912 + 5.4670i	
1.0000	-1.1527 + 5.6600i	
1.0000	kritis =	



## 14. LAMPIRAN PROGRAM CUCKOO SEARCH ALGORITHM KONDISI NORMAL OPTIMASI PENEMPATAN 14 PSS

Total number of iterations=10001	0.0279	T4G6 =
fmin =	T1G8 =	1.9715
79.5267	0.0235	T4G7 =
bestnest =	T1G9 =	0.6452
Columns 1 through 4	0.0282	T4G8 =
48.6531 43.2677 22.8287 30.3062	T1G10 =	0.4647
Columns 5 through 8	0.0425	T4G9 =
45.8091 19.7454 40.0013 26.3228	T1G11 =	0.4782
Columns 9 through 12	0.0266	T4G10 =
12.1000 20.9934 23.5680 42.5683	T1G12 =	1.4090
Columns 13 through 16	0.0122	T4G11 =
27.1712 31.6582 0.0264 0.0233	T1G13 =	0.5073
Columns 17 through 20	0.0205	T4G12 =
0.0247 0.0445 0.0130 0.0022	T1G14 =	0.9696
Columns 21 through 24	0.0274	T4G13 =
0.0279 0.0235 0.0282 0.0425	T2G1 =	1.6440
Columns 25 through 28	0.0497	T4G14 =
0.0266 0.0122 0.0205 0.0274	T2G2 =	0.8421
Columns 29 through 32	0.0011	ans =
0.0497 0.0011 0.0214 0.0343	T2G3 =	Columns 1 through 4
Columns 33 through 36	0.0214	48.6531 43.2677 22.8287 30.3062
0.0083 0.0023 0.0198 0.0121	T2G4 =	Columns 5 through 8
Columns 37 through 40	0.0343	45.8091 19.7454 40.0013 26.3228
0.0175 0.0491 0.0127 0.0359	T2G5 =	Columns 9 through 12
Columns 41 through 44	0.0083	12.1000 20.9934 23.5680 42.5683
0.0407 0.0111 0.5770 0.7143	T2G6 =	Columns 13 through 16
Columns 45 through 48	0.0023	27.1712 31.6582 0.0264 0.0233
0.8527 0.2217 0.8342 0.0846	T2G7 =	Columns 17 through 20
Columns 49 through 52	0.0198	0.0247 0.0445 0.0130 0.0022
0.1807 0.7602 0.7587 0.6242	T2G8 =	Columns 21 through 24
Columns 53 through 56	0.0121	0.0279 0.0235 0.0282 0.0425
0.0100 0.4014 0.5160 0.7266	T2G9 =	Columns 25 through 28
Columns 57 through 60	0.0175	0.0266 0.0122 0.0205 0.0274
0.2088 0.4169 1.9634 1.3759	T2G10 =	Columns 29 through 32
Columns 61 through 64	0.0491	0.0497 0.0011 0.0214 0.0343
1.1029 1.9715 0.6452 0.4647	T2G11 =	Columns 33 through 36
Columns 65 through 68	0.0127	0.0083 0.0023 0.0198 0.0121
0.4782 1.4090 0.5073 0.9696	T2G12 =	Columns 37 through 40
Columns 69 through 70	0.0359	0.0175 0.0491 0.0127 0.0359
1.6440 0.8421	T2G13 =	Columns 41 through 44
Kpss1 =	0.0407	0.0407 0.0111 0.5770 0.7143
48.6531	T2G14 =	Columns 45 through 48
Kpss2 =	0.0111	0.8527 0.2217 0.8342 0.0846
43.2677	T3G1 =	Columns 49 through 52
Kpss3 =	0.5770	0.1807 0.7602 0.7587 0.6242
22.8287	T3G2 =	Columns 53 through 56
Kpss4 =	0.7143	0.0100 0.4014 0.5160 0.7266
30.3062	T3G3 =	Columns 57 through 60
Kpss5 =	0.8527	0.2088 0.4169 1.9634 1.3759
45.8091	T3G4 =	Columns 61 through 64
Kpss6 =	0.2217	1.1029 1.9715 0.6452 0.4647
19.7454	T3G5 =	Columns 65 through 68
Kpss7 =	0.8342	0.4782 1.4090 0.5073 0.9696
40.0013	T3G6 =	Columns 69 through 70
Kpss8 =	0.0846	1.6440 0.8421
26.3228	T3G7 =	
Kpss9 =	0.1807	
12.1000	T3G8 =	
Kpss10 =	0.7602	
20.9934	T3G9 =	
Kpss11 =	0.7587	
23.5680	T3G10 =	
Kpss12 =	0.6242	
42.5683	T3G11 =	
Kpss13 =	0.0100	
27.1712	T3G12 =	
Kpss14 =	0.4014	
31.6582	T3G13 =	
T1G1 =	0.5160	
0.0264	T3G14 =	
T1G2 =	0.7266	
0.0233	T4G1 =	
T1G3 =	0.2088	
0.0247	T4G2 =	
T1G4 =	0.4169	
0.0445	T4G3 =	
T1G5 =	1.9634	
0.0130	T4G4 =	
T1G6 =	1.3759	
0.0022	T4G5 =	
T1G7 =	1.1029	



**15. LAMPIRAN HASIL PROGRAM DAMPING EIGEN PENEMPATAN 14 PSS  
KONDISI NORMAL HASIL OPTIMASI CUCKOO SEARCH ALGORITHM**

damping_eigen =	0.9996	1.0000
0.2955	1.0000	1.0000
0.2955	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000
0.1302	1.0000	1.0000
0.1302	1.0000	1.0000
0.1872	1.0000	1.0000
0.1872	1.0000	1.0000
1.0000	1.0000	1.0000
0.0782	1.0000	1.0000
0.0782	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000
0.2333	0.5642	1.0000
0.0833	0.5642	1.0000
0.0833	0.8278	1.0000
0.0815	0.8278	1.0000
0.0815	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000
0.0716	1.0000	1.0000
0.0716	1.0000	1.0000
1.0000	1.0000	1.0000
0.0437	1.0000	1.0000
0.0437	1.0000	1.0000
0.0320	1.0000	interarea =
0.0320	1.0000	-5.2203 + 3.1175i
0.0456	1.0000	-2.6464 + 4.9393i
0.0456	0.1551	-0.5804 + 4.0643i
0.0640	0.1551	-0.5866 + 4.5799i
0.0640	1.0000	-2.2761 + 2.9735i
0.0071	0.3185	lokal =
0.0071	0.3185	-1.5144 + 9.6453i
0.0106	0.8586	-2.4976 + 7.4335i
0.0106	0.8586	-0.6138 + 6.5759i
0.0205	0.0929	-2.3590 + 5.4247i
0.0205	0.0929	-1.3401 + 5.9471i
0.0111	1.0000	-1.7793 + 5.1820i
0.0111	0.3988	-0.9281 + 5.3300i
1.0000	0.3988	-1.0158 + 5.5235i
0.0263	0.2198	-1.3879 + 5.4490i
0.0263	0.2198	-1.3848 + 5.5207i
1.0000	0.4723	-1.0040 + 5.4653i
1.0000	0.4723	kritis =
1.0000	0.1414	1.0e+02 *
1.0000	0.1414	-0.5148 + 6.5638i
0.0955	0.1270	-0.5148 - 6.5638i
0.0955	0.1270	-0.4446 + 5.3191i
0.0836	0.3247	-0.4446 - 5.3191i
0.0836	0.3247	-0.4136 + 5.0611i
1.0000	0.1715	-0.4136 - 5.0611i
0.1680	0.1715	-0.3058 + 4.6952i
0.1680	0.1809	-0.3058 - 4.6952i
0.1863	0.1809	-0.3250 + 4.5277i
0.1863	0.2468	-0.3250 - 4.5277i
1.0000	0.2468	-0.1950 + 4.4595i
1.0000	0.2433	-0.1950 - 4.4595i
1.0000	0.2433	-0.1373 + 4.2838i
1.0000	0.1807	-0.1373 - 4.2838i
0.2530	0.1807	-0.1970 + 4.3144i
0.2530	0.6078	-0.1970 - 4.3144i
0.2126	0.6078	-0.2695 + 4.2012i
0.2126	1.0000	-0.2695 - 4.2012i
0.2087	1.0000	-0.0292 + 4.0947i
0.2087	1.0000	-0.0292 - 4.0947i
0.3906	1.0000	-0.0413 + 3.9001i
0.3906	1.0000	-0.0413 - 3.9001i
0.2296	1.0000	-0.0831 + 4.0461i
0.2296	1.0000	-0.0831 - 4.0461i
1.0000	1.0000	-0.0396 + 3.5531i
1.0000	1.0000	-0.0396 - 3.5531i
1.0000	1.0000	-0.0604 + 2.2921i
1.0000	1.0000	-0.0604 - 2.2921i
1.0000	1.0000	1.7271 + 0.0000i
1.0000	1.0000	-0.1451 + 1.5131i
1.0000	1.0000	-0.1451 - 1.5131i
1.0000	1.0000	-0.1152 + 1.3731i
1.0000	1.0000	-0.1152 - 1.3731i
0.4682	1.0000	-0.0061 + 0.0658i
0.4682	1.0000	-0.0061 - 0.0658i
1.0000	1.0000	
0.9996	1.0000	



## 16. LAMPIRAN HASIL DAMPING EIGEN SISTEM OPEN LOOP KONDISI N-1

damping_eigen =	1.0000	kritis =
0.2955	1.0000	1.0e+02 *
0.2955	1.0000	-0.5250 + 6.5582i
0.1994	1.0000	-0.5250 - 6.5582i
0.1994	1.0000	-0.4445 + 5.3201i
0.1309	0.6655	-0.4445 - 5.3201i
0.1309	0.6655	-0.4144 + 5.0618i
0.1873	1.0000	-0.4144 - 5.0618i
0.1873	1.0000	-0.3056 + 4.6945i
0.0798	1.0000	-0.3056 - 4.6945i
0.0798	1.0000	-0.3150 + 4.5305i
0.2333	1.0000	-0.3150 - 4.5305i
0.2333	1.0000	-0.1971 + 4.4654i
0.0833	0.1125	-0.1971 - 4.4654i
0.0833	0.1125	-0.1290 + 4.3274i
0.0816	1.0000	-0.1290 - 4.3274i
0.0816	0.1127	-0.0862 + 4.1558i
0.0650	0.1127	-0.0862 - 4.1558i
0.0650	0.1487	-0.1965 + 4.3135i
0.0694	0.1487	-0.1965 - 4.3135i
0.0694	0.1204	-0.2594 + 4.1886i
0.0441	0.1204	-0.2594 - 4.1886i
0.0441	0.2296	-0.0413 + 3.9001i
0.0298	0.2296	-0.0413 - 3.9001i
0.0298	0.0806	-0.0825 + 4.0439i
0.0207	0.0806	-0.0825 - 4.0439i
0.0207	0.1849	-0.0389 + 3.5546i
0.0455	0.1849	-0.0389 - 3.5546i
0.0455	0.1460	-0.1003 + 2.3007i
0.0618	0.1460	-0.1003 - 2.3007i
0.0618	0.2094	-0.1487 + 1.5167i
0.0106	0.2094	-0.1487 - 1.5167i
0.0106	0.1671	-0.1171 + 1.3752i
0.0204	0.1671	-0.1171 - 1.3752i
0.0204	0.0959	-0.0033 + 0.0410i
0.0110	0.0959	-0.0033 - 0.0410i
0.0110	0.1083	-0.0045 + 0.0462i
1.0000	0.1083	-0.0045 - 0.0462i
0.0435	0.1124	
0.0435	0.1124	
1.0000	0.1993	
1.0000	0.1993	
1.0000	0.1991	
1.0000	0.1991	
0.0976	0.1785	
0.0976	0.1785	
0.0849	1.0000	
0.0849	1.0000	
0.1687	1.0000	
0.1687	1.0000	
0.1878	1.0000	
0.1878	1.0000	
1.0000	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2705	1.0000	
0.2705	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.4409	1.0000	
0.4409	1.0000	
0.3040	1.0000	
0.3040	1.0000	
1.0000		interarea =
0.5787		-0.3311 + 4.0972i
0.5787		-0.4455 + 4.6249i
1.0000		-0.5006 + 4.5945i
1.0000		-0.5131 + 4.5342i
1.0000		
1.0000		lokal =
1.0000		-1.0215 + 9.0241i
1.0000		-0.9031 + 7.9625i
1.0000		-1.0640 + 7.0775i
1.0000		-0.8533 + 7.0324i
1.0000		-1.4627 + 6.2019i
1.0000		-1.0970 + 5.8297i
1.0000		-0.7877 + 5.3392i
1.0000		-1.2483 + 5.8288i
1.0000		-0.9347 + 5.5136i
1.0000		-1.1515 + 5.6629i
1.0000		-1.1494 + 5.6580i
1.0000		-0.9914 + 5.4659i
1.0000		



## 17. LAMPIRAN PROGRAM CUCKOO SEARCH ALGORITHM KONDISI N-1 OPTIMASI PENEMPATAN 14 PSS

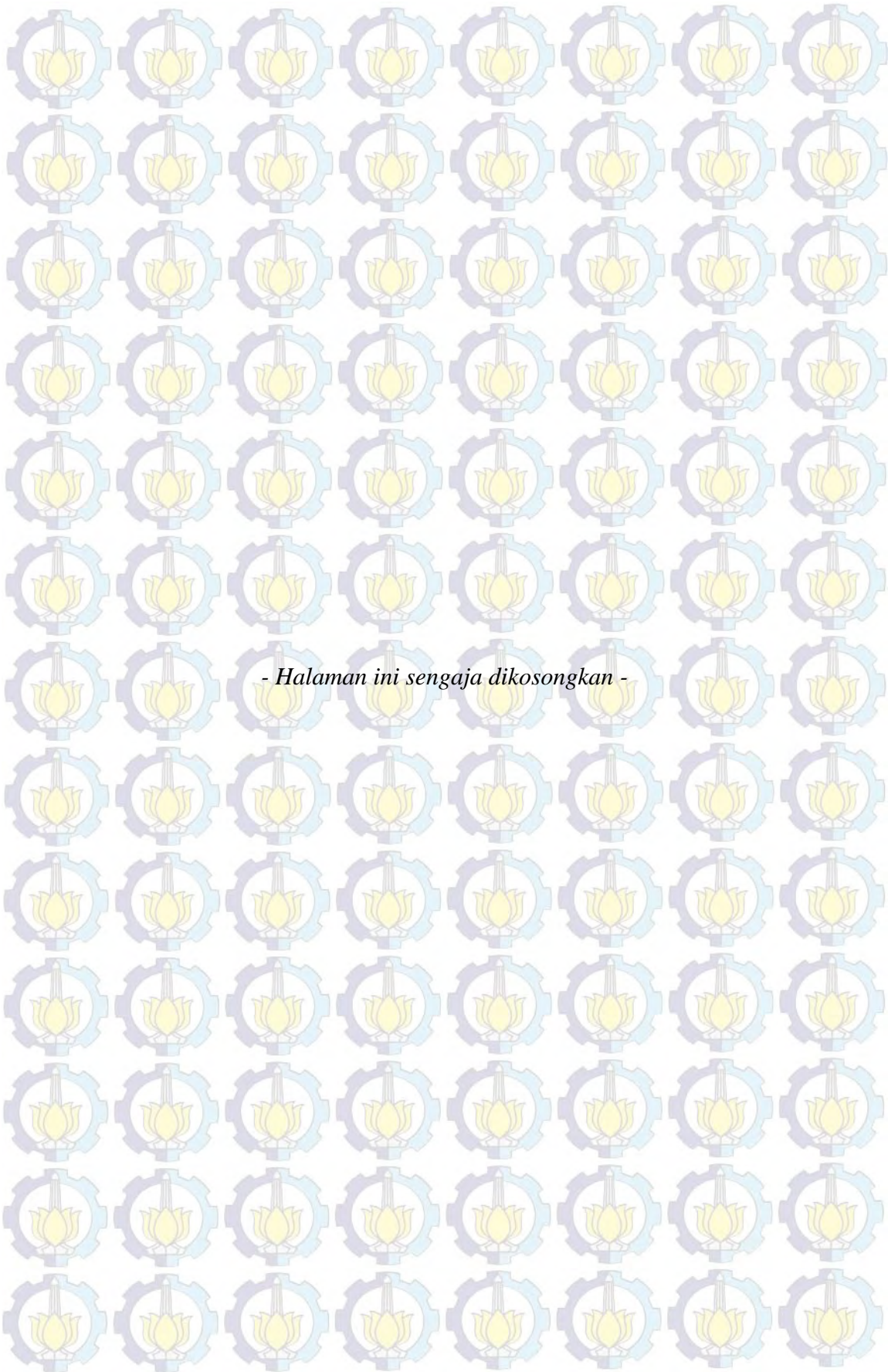
<p>Total number of iterations=10001 fmin = 75.1096 bestnest = Columns 1 through 4 50.8328 43.0102 61.6766 48.7526 Columns 5 through 8 70.6654 9.9818 69.3565 67.4734 Columns 9 through 12 59.0743 42.9337 96.3535 18.5044 Columns 13 through 16 30.5400 36.8814 1.7777 3.3216 Columns 17 through 20 1.8339 0.5702 3.9104 1.0461 Columns 21 through 24 0.7880 3.7623 3.2176 2.7990 Columns 25 through 28 0.7719 2.5709 0.1190 1.0548 Columns 29 through 32 1.1395 2.1152 2.3387 3.2569 Columns 33 through 36 3.4444 2.2171 2.2125 1.7572 Columns 37 through 40 2.7173 1.2991 3.5579 3.7985 Columns 41 through 44 1.7206 3.0382 2.4288 1.7748 Columns 45 through 48 2.9900 1.0358 2.3657 3.1945 Columns 49 through 52 1.9108 0.5146 2.8789 1.6346 Columns 53 through 56 0.1404 2.0500 2.5216 3.3522 Columns 57 through 60 3.8862 2.2593 2.7059 0.6346 Columns 61 through 64 2.3623 3.3143 2.3035 3.7638 Columns 65 through 68 0.6580 1.0062 3.4008 3.3181 Columns 69 through 70 1.6698 3.6520 Kpss1 = 50.8328 Kpss2 = 43.0102 Kpss3 = 61.6766 Kpss4 = 48.7526 Kpss5 = 70.6654 Kpss6 = 9.9818 Kpss7 = 69.3565 Kpss8 = 67.4734 Kpss9 = 59.0743 Kpss10 = 42.9337 Kpss11 = 96.3535 Kpss12 = 18.5044 Kpss13 = 30.5400 Kpss14 = 36.8814 T1G1 = 1.7777 T1G2 = 3.3216 T1G3 = 1.8339 T1G4 = 0.5702 T1G5 = 3.9104 T1G6 = 1.0461 T1G7 =</p>	<p>0.7880 T1G8 = 3.7623 T1G9 = 3.2176 T1G10 = 2.7990 T1G11 = 0.7719 T1G12 = 2.5709 T1G13 = 0.1190 T1G14 = 1.0548 T2G1 = 1.1395 T2G2 = 2.1152 T2G3 = 2.3387 T2G4 = 3.2569 T2G5 = 3.4444 T2G6 = 2.2171 T2G7 = 2.2125 T2G8 = 1.7572 T2G9 = 2.7173 T2G10 = 1.2991 T2G11 = 3.5579 T2G12 = 3.7985 T2G13 = 1.7206 T2G14 = 3.0382 T3G1 = 2.4288 T3G2 = 1.7748 T3G3 = 2.9900 T3G4 = 1.0358 T3G5 = 2.3657 T3G6 = 3.1945 T3G7 = 1.9108 T3G8 = 0.5146 T3G9 = 2.8789 T3G10 = 1.6346 T3G11 = 0.1404 T3G12 = 2.0500 T3G13 = 2.5216 T3G14 = 3.3522 T4G1 = 3.8862 T4G2 = 2.2593 T4G3 = 2.7059 T4G4 = 0.6346 T4G5 = 2.3623</p>	<p>T4G6 = 3.3143 T4G7 = 2.3035 T4G8 = 3.7638 T4G9 = 0.6580 T4G10 = 1.0062 T4G11 = 3.4008 T4G12 = 3.3181 T4G13 = 1.6698 T4G14 = 3.6520 ans = Columns 1 through 4 50.8328 43.0102 61.6766 48.7526 Columns 5 through 8 70.6654 9.9818 69.3565 67.4734 Columns 9 through 12 59.0743 42.9337 96.3535 18.5044 Columns 13 through 16 30.5400 36.8814 1.7777 3.3216 Columns 17 through 20 1.8339 0.5702 3.9104 1.0461 Columns 21 through 24 0.7880 3.7623 3.2176 2.7990 Columns 25 through 28 0.7719 2.5709 0.1190 1.0548 Columns 29 through 32 1.1395 2.1152 2.3387 3.2569 Columns 33 through 36 3.4444 2.2171 2.2125 1.7572 Columns 37 through 40 2.7173 1.2991 3.5579 3.7985 Columns 41 through 44 1.7206 3.0382 2.4288 1.7748 Columns 45 through 48 2.9900 1.0358 2.3657 3.1945 Columns 49 through 52 1.9108 0.5146 2.8789 1.6346 Columns 53 through 56 0.1404 2.0500 2.5216 3.3522 Columns 57 through 60 3.8862 2.2593 2.7059 0.6346 Columns 61 through 64 2.3623 3.3143 2.3035 3.7638 Columns 65 through 68 0.6580 1.0062 3.4008 3.3181 Columns 69 through 70 1.6698 3.6520</p>
--	--	---



**18. LAMPIRAN HASIL PROGRAM DAMPING EIGEN PENEMPATAN 14 PSS  
KONDISI N-1 HASIL OPTIMASI CUCKOO SEARCH ALGORITHM**

damping_eigen =	1.0000	1.0000	1.0000
0.2954	1.0000	1.0000	1.0000
0.2954	1.0000	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000	1.0000
0.1298	1.0000	1.0000	1.0000
0.1298	1.0000	1.0000	1.0000
0.1870	1.0000	1.0000	1.0000
0.1870	1.0000	1.0000	1.0000
0.0793	0.5506	1.0000	1.0000
0.0793	0.5506	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000	1.0000
0.0833	1.0000	1.0000	1.0000
0.0833	0.1668	1.0000	1.0000
0.0812	0.1668	1.0000	1.0000
0.0812	1.0000	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000	1.0000
0.0650	0.6338	1.0000	1.0000
0.0711	0.6338	1.0000	1.0000
0.0711	1.0000	1.0000	1.0000
0.0437	0.0530	1.0000	1.0000
0.0437	0.0530	1.0000	1.0000
0.0311	0.2310	1.0000	1.0000
0.0311	0.2310	1.0000	1.0000
0.0462	0.4449	1.0000	1.0000
0.0462	0.4449	1.0000	1.0000
0.0112	0.3439	1.0000	interarea =
0.0112	0.3439	1.0000	-2.6010 + 4.3217i
0.0646	0.2451	1.0000	-0.5572 + 4.2069i
0.0646	0.2451	1.0000	-1.9435 + 3.7067i
0.0106	0.2199	1.0000	-1.2505 + 1.4238i
0.0106	0.2199	1.0000	lokal =
0.0203	0.1832	1.0000	-5.1023 + 6.2271i
0.0203	0.1832	1.0000	0.3683 + 6.9347i
0.0110	0.1854	1.0000	-1.6740 + 7.0518i
0.0110	0.1854	1.0000	-3.0736 + 6.1865i
0.0212	0.1791	1.0000	-2.1148 + 5.7741i
0.0212	0.1791	1.0000	-1.4212 + 5.6205i
1.0000	0.5157	1.0000	-1.2735 + 5.6487i
1.0000	0.5157	1.0000	-0.9833 + 5.2762i
1.0000	0.1313	1.0000	-1.0321 + 5.4702i
1.0000	0.1313	1.0000	-0.9925 + 5.4531i
0.0709	0.4644	1.0000	kritis =
0.0709	0.4644	1.0000	1.0e+02 *
0.0842	0.6599	1.0000	-0.5223 + 6.5654i
0.0842	0.6599	1.0000	-0.5223 - 6.5654i
0.1545	1.0000	1.0000	-0.4443 + 5.3173i
0.1545	1.0000	1.0000	-0.4443 - 5.3173i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.4127 + 5.0633i
0.1734	0.9975	1.0000	-0.4127 - 5.0633i
0.1734	0.9975	1.0000	-0.3057 + 4.6946i
0.0666	1.0000	1.0000	-0.3057 - 4.6946i
0.0666	1.0000	1.0000	-0.3228 + 4.5283i
0.2123	1.0000	1.0000	-0.3228 - 4.5283i
0.2123	1.0000	1.0000	-0.1950 + 4.4593i
0.2304	0.9996	1.0000	-0.1950 - 4.4593i
0.2304	0.9996	1.0000	-0.1338 + 4.2939i
0.3367	1.0000	1.0000	-0.1338 - 4.2939i
0.3367	1.0000	1.0000	-0.2000 + 4.3238i
0.2768	1.0000	1.0000	-0.2000 - 4.3238i
0.2768	1.0000	1.0000	-0.0459 + 4.1169i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0459 - 4.1169i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.2723 + 4.2056i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.2723 - 4.2056i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0413 + 3.9003i
0.3664	1.0000	1.0000	-0.0413 - 3.9003i
0.3664	1.0000	1.0000	-0.0819 + 4.0450i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0819 - 4.0450i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0389 + 3.5487i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0389 - 3.5487i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0484 + 2.2865i
1.0000	0.9994	1.0000	-0.0484 - 2.2865i
1.0000	0.9994	1.0000	-0.1047 + 1.4723i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1047 - 1.4723i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1161 + 1.3737i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1161 - 1.3737i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0457 + 0.6854i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0457 - 0.6854i





*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



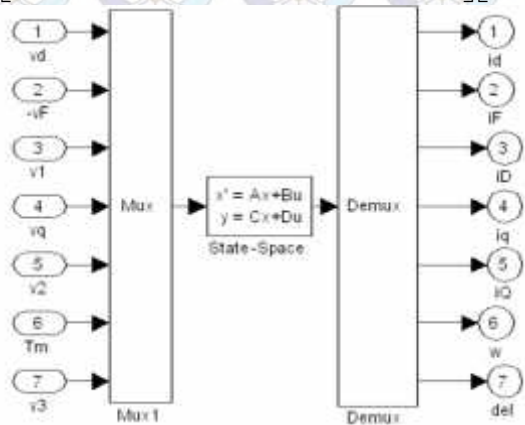
## LAMPIRAN

### 1. MODEL GENERATOR

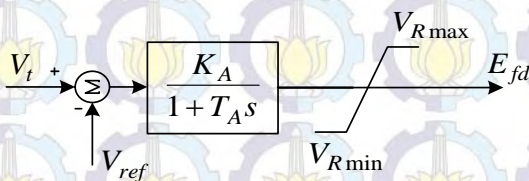
Persamaan Model Generator :

$$\begin{bmatrix} Dv_d \\ -Dv_f \\ 0 \\ Dv_q \\ 0 \\ DT_m \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & w_0 L_q & w_0 kM_Q & l_q 0 & 0 \\ 0 & r_f & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -w_0 L_d & -w_0 kM_F & -w_0 kM_D & r & 0 & -l_d 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r_Q & 0 & 0 \\ \frac{l_q 0 - L_d i_q 0}{3} & \frac{-kM_F i_q 0}{3} & \frac{-kM_D i_q 0}{3} & \frac{-kM_Q i_d 0}{3} & \frac{kM_Q i_d 0}{3} & -D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Di_d \\ Di_f \\ Di_D \\ Di_q \\ Di_Q \\ Dw \\ Dd \end{bmatrix}$$
  

$$\begin{bmatrix} L_d & kM_F & kM_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_F & L_f & M_R & 0 & 0 & 0 & 0 \\ kM_D & M_R & L_D & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_q & kM_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kM_Q & L_Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -t_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Di_d \\ Di_f \\ Di_D \\ Di_q \\ Di_Q \\ Dw \\ Dd \end{bmatrix}$$



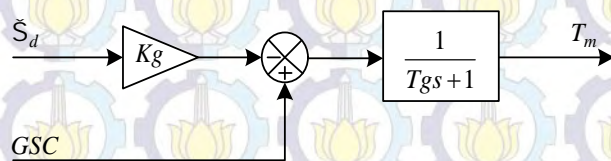
### 2. MODEL EKSITER



Type : *Fast Exciter*

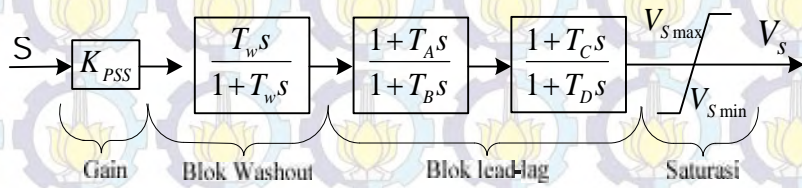
### 3. MODEL GOVERNOR

$T_g = 2$  detik,  $K_g = 20$ ,  $GSC = 0$





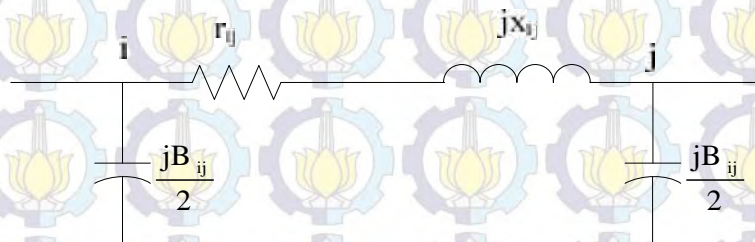
#### 4. BLOK PSS



$$V_{smin} = -0.15, V_{smax} = 0.15$$

#### 5. MODEL TRANSMISI

Saluran transmisi dimodelkan sebagai rangkaian pengganti seperti yang pada gambar berikut.  $B_{ij}$  yang merupakan kapasitansi bocor kawat transmisi. Semua dalam frekuensi nominal.

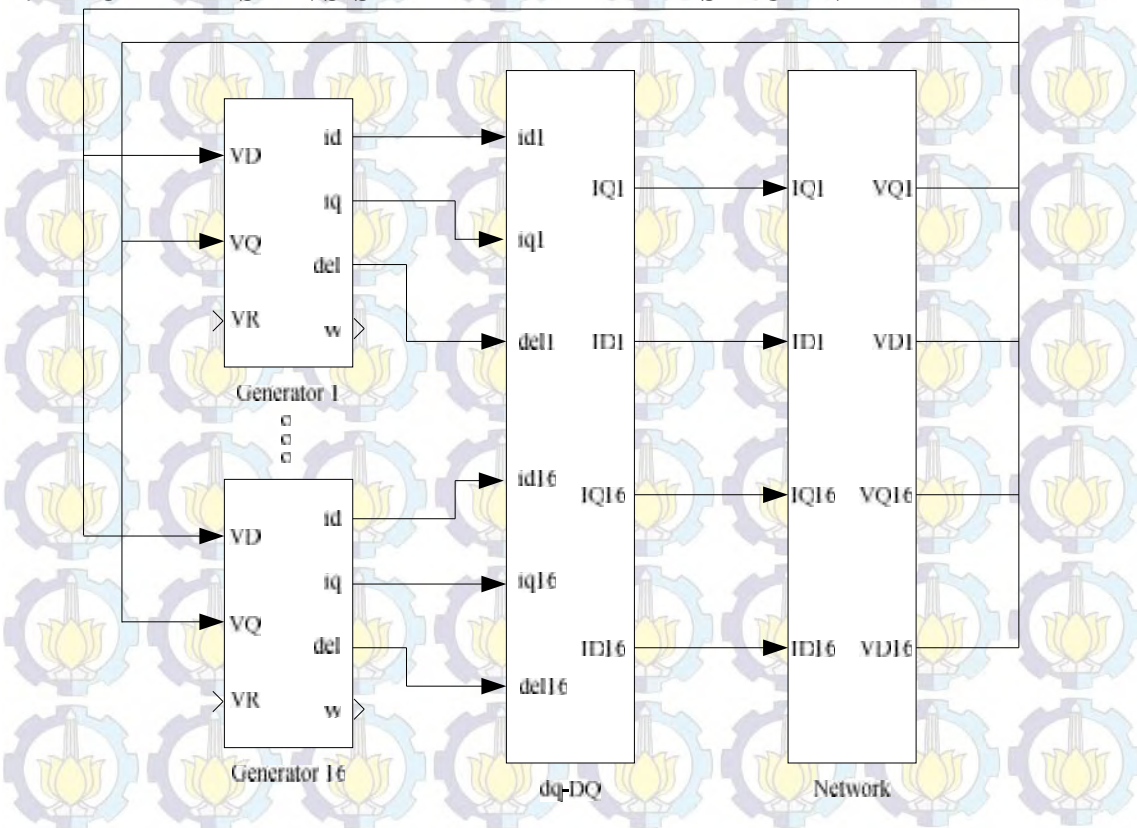


#### 6. MODEL BEBAN

Dalam analisa dinamik ini, model beban dimodelkan yang paling sederhana, yaitu model statik. Dengan model ini beban disuatu bus dinyatakan dengan admitansi antara bus dan netral.

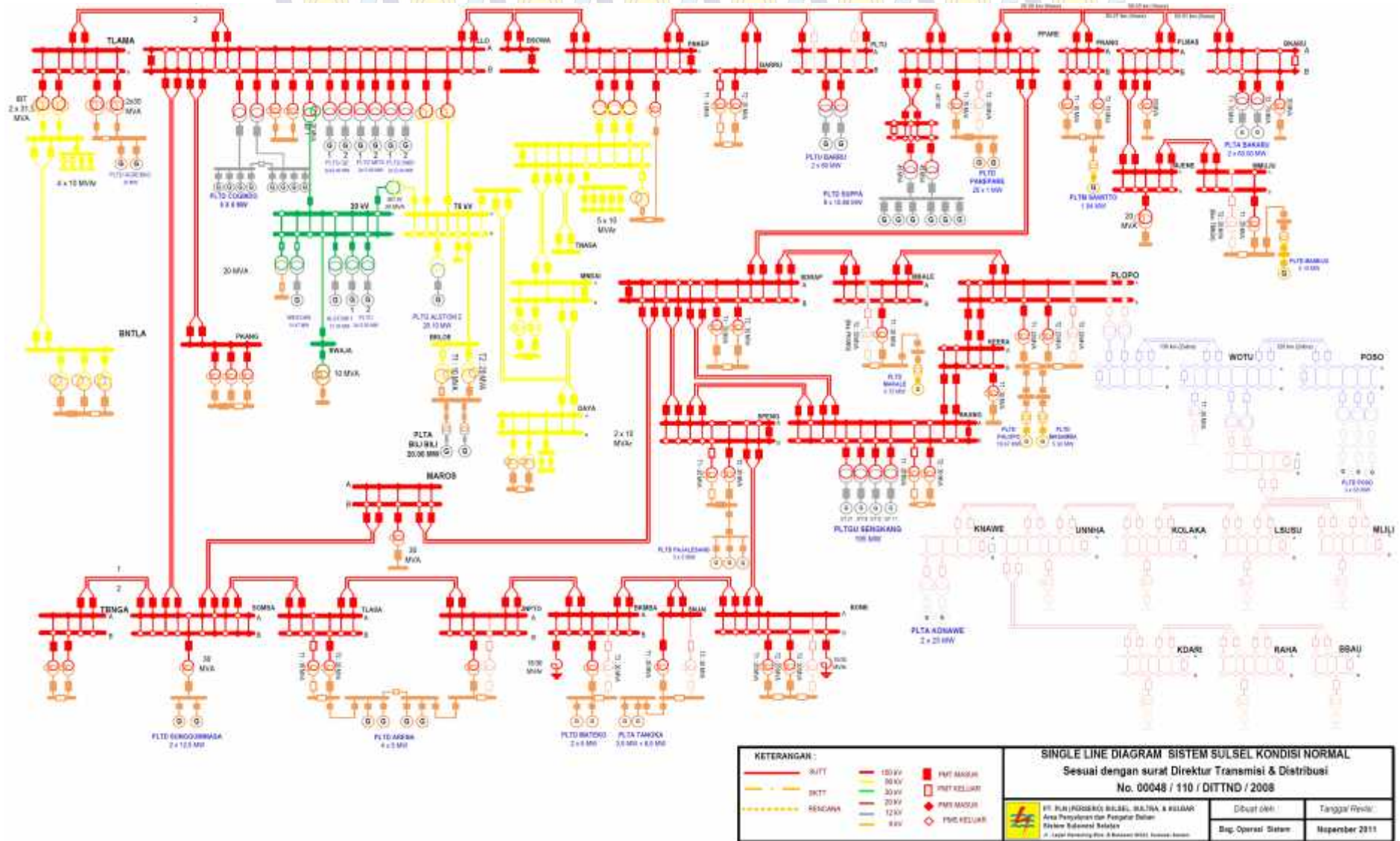
$$y_{Li} = (P_{Li} - jQ_{Li}) / |V_i|^2, \text{ Dengan } i = 1-n. n = \text{jumlah bus pada sistem}$$

#### 7. MODEL DESAIN SISTEM PADA MATLAB-SIMULINK





## 8. SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM SULSELBARBAR





## 9. DATA IMPEDANSI SALURAN TRANSMISI SISTEM SULSELRABAR

Gardu Induk	Line	kV	1L/2L	Types	Km	IMPEDANSI PER LINE (pu)					TOTAL IMPEDANSI (ohm / mho)				
						Urutan Positif		Urutan Negatif		Y/2	Urutan Positif		Urutan Negatif		Y/2
						R	jX	R	jX		R	Jx	R	jX	
BARRU	PNKEP	150	1L	240e	46.00	0.02419	0.08667	0.05479	0.26005	0.01167	5.442	19.501	12.328	58.512	0.00005
BKARU	PRANG	150	1L	240d	58.50	0.03076	0.11023	0.06968	0.33072	0.01012	6.921	24.802	15.678	74.412	0.00004
BKARU	PWALI	150	1L	240a	50.10	0.02627	0.09440	0.05967	0.28323	0.00743	5.911	21.240	13.427	63.727	0.00003
BKARU	BKRU PH	150	2L	240a	1.00	0.00105	0.00377	0.00238	0.01131	0.00007	0.118	0.424	0.268	1.272	-
BSOWA	TELLO	150	1L	240c	32.10	0.01683	0.06049	0.03823	0.18147	0.00761	3.786	13.609	8.603	40.831	0.00003
PNKEP	BSOWA	150	1L	240c	20.80	0.01090	0.03919	0.02478	0.11759	0.00493	2.453	8.819	5.574	26.458	0.00002
PNKEP	TELLO	150	2L	240e	45.30	0.04764	0.17071	0.10791	0.51219	0.00575	5.359	19.205	12.140	57.622	0.00005
PPARE	BARRU	150	1L	240e	44.00	0.02314	0.08290	0.05241	0.24875	0.01116	5.205	18.654	11.792	55.968	0.00005
PPARE	PNKEP	150	2L	240e	90.00	0.09464	0.33916	0.21440	1.01760	0.01141	10.647	38.155	24.120	114.480	0.00010
PPARE	SUPPA	150	2L	240a	7.50	0.00787	0.02826	0.01787	0.08480	0.00056	0.885	3.180	2.010	9.540	-
PRANG	PPARE	150	1L	240e	26.40	0.01388	0.04974	0.03145	0.14925	0.00670	3.123	11.192	7.075	33.581	0.00003
PWALI	MJENE	150	2L	240a	50.16	0.05261	0.18902	0.11949	0.56714	0.00372	5.918	21.265	13.443	63.804	0.00003
PWALI	PPARE	150	1L	240g	91.90	0.03663	0.13159	0.10946	0.51954	0.01819	8.242	29.608	24.629	116.897	0.00008
SDRAP	PPARE	150	2L	240a	19.10	0.02003	0.07198	0.04550	0.21596	0.00142	2.254	8.097	5.119	24.295	0.00001
SGMSA	TLLSA	150	2L	430b	27.50	0.00970	0.06649	0.06551	0.31093	0.00314	1.091	7.480	7.370	34.980	0.00003
SKANG	SPENG	150	2L	430a	35.40	0.02106	0.12670	0.08433	0.40026	0.00404	2.369	14.253	9.487	45.029	0.00004
SPENG	BONE	150	2L	240f	43.27	0.04578	0.16306	0.10308	0.48924	0.00402	5.150	18.344	11.596	55.039	0.00004
SPENG	SDARP	150	2L	240b	53.80	0.05643	0.20275	0.12816	0.60830	0.00482	6.348	22.809	14.418	68.434	0.00004
TELLO	SGMSA	150	2L	430b	10.90	0.00385	0.02635	0.02597	0.12324	0.00124	0.433	2.965	2.921	13.865	0.00001
TELLO	TLAMA	150	2L	240e	6.90	0.00726	0.02600	0.01644	0.07802	0.00088	0.816	2.925	1.849	8.777	0.00001
BLKMB	JNPTO	150	2L	240a	46.35	0.04861	0.17466	0.11041	0.52405	0.00344	5.469	19.649	12.422	58.956	0.00003
BONE	BLKMB	150	2L	240a	137.20	0.14390	0.51703	0.32684	1.55129	0.01017	16.188	58.166	36.770	174.520	0.00009
BONE	SNJAI	150	1L	240a	77.50	0.04064	0.14603	0.09231	0.43813	0.01149	9.144	32.856	20.770	98.580	0.00005
DYBAR	SGMSA	150	2L	430b	154.00	0.05433	0.37234	0.36686	1.74123	0.01756	6.112	41.888	41.272	195.888	0.00016
JNPTO	TIP 57/58	150	2L	240a	24.49	0.02568	0.09228	0.05833	0.27687	0.00182	2.889	10.381	6.563	31.148	0.00002
MALEA	MKALE	150	2L	430b	30.00	0.01058	0.07253	0.07147	0.33920	0.00342	1.191	8.160	8.040	38.160	0.00003
MKALE	PLOPO	150	2L	240a	37.35	0.03917	0.14076	0.08898	0.42232	0.00277	4.407	15.835	10.010	47.511	0.00002
SDRAP	DYBAR	150	2L	430b	35.00	0.01235	0.08462	0.08338	0.39573	0.00399	1.389	9.520	9.380	44.520	0.00004
SDRAP	MKALE	150	2L	430a	105.48	0.06274	0.37753	0.25129	1.19267	0.01203	7.058	42.472	28.270	134.175	0.00011
SGMSA	TBNGA	150	2L	430a	11.89	0.00707	0.04256	0.02833	0.13446	0.00136	0.796	4.788	3.187	15.127	0.00001
SNJAI	BLKMB	150	1L	240a	59.50	0.03120	0.11211	0.07087	0.33637	0.00882	7.020	25.225	15.946	75.684	0.00004
TLLSA	TIP 57/58	150	2L	430b	19.06	0.00673	0.04609	0.04542	0.21555	0.00217	0.757	5.186	5.109	24.250	0.00002
DAYA	TELLO	70	1L	120a	5.00	0.02408	0.04421	0.06896	0.19166	0.00013	1.180	2.166	1.340	6.360	0.00001
MNDAI	DAYA	70	1L	120a	7.10	0.03420	0.06278	0.09792	0.27216	0.00019	1.676	3.076	1.903	9.031	0.00001
MNDAI	TELLO	70	1L	120a	12.10	0.05828	0.10699	0.16687	0.46383	0.00032	2.856	5.243	3.243	15.391	0.00001
PNKEP	MNDAI	70	2L	120a	37.70	0.36318	0.66671	1.03984	2.89030	0.00050	8.898	16.334	10.104	47.954	0.00002
PNKEP	TNSA3	70	2L	120a	3.40	0.03275	0.06013	0.09378	0.26066	0.00005	0.802	1.473	0.911	4.325	0.00001
TELLO	BRLOE	70	1L	120a	12.60	0.06069	0.11141	0.17377	0.48299	0.00034	2.974	5.459	3.377	16.027	0.00001
TELLO	PWAJA	30	1L	120b	3.70	0.12292	0.17508	0.31076	0.77212	0.00002	1.106	1.576	0.992	4.706	0.00001
TELLO	PKANG	70	2L	240h	4.50	0.04334	0.07958	0.12412	0.34500	0.00006	1.062	1.950	1.206	5.724	0.00001
TLAMA	BNTLA	70	2L	XLPE	4.20	0.04046	0.07428	-	-	0.00006	0.991	1.820	1.126	5.342	0.00001















### 13. LAMPIRAN HASIL DAMPING EIGEN SISTEM OPEN LOOP KONDISI NORMAL

damping_eigen =	1.0000	1.0e+02 *
0.2956	1.0000	-0.5166 + 6.5530i
0.2956	1.0000	-0.5166 - 6.5530i
0.1994	1.0000	-0.4442 + 5.3196i
0.1994	1.0000	-0.4442 - 5.3196i
0.1317	0.6656	-0.4144 + 5.0625i
0.1317	0.6656	-0.4144 - 5.0625i
0.1873	1.0000	-0.3056 + 4.6944i
0.1873	1.0000	-0.3056 - 4.6944i
0.0786	1.0000	-0.3135 + 4.5323i
0.0786	1.0000	-0.3135 - 4.5323i
0.2333	1.0000	-0.1972 + 4.4654i
0.2333	1.0000	-0.1972 - 4.4654i
0.0832	0.1125	-0.1266 + 4.3273i
0.0832	0.1125	-0.1266 - 4.3273i
0.0816	1.0000	-0.0853 + 4.1574i
0.0816	0.1128	-0.0853 - 4.1574i
0.0650	0.1128	-0.1965 + 4.3135i
0.0650	0.1486	-0.1965 - 4.3135i
0.0690	0.1486	-0.2594 + 4.1886i
0.0690	0.1216	-0.2594 - 4.1886i
0.0441	0.1216	-0.0413 + 3.9001i
0.0441	0.2297	-0.0413 - 3.9001i
0.0292	0.2297	-0.0825 + 4.0439i
0.0292	0.0804	-0.0825 - 4.0439i
0.0205	0.0804	-0.0389 + 3.5546i
0.0205	0.1460	-0.0389 - 3.5546i
0.0455	0.1460	-0.1003 + 2.3007i
0.0455	0.1849	-0.1003 - 2.3007i
0.0618	0.1849	1.7358 + 0.0000i
0.0618	0.2087	-0.1489 + 1.5172i
0.0106	0.2087	-0.1489 - 1.5172i
0.0106	0.1673	-0.1171 + 1.3752i
0.0204	0.1673	-0.1171 - 1.3752i
0.0204	0.0959	-0.0033 + 0.0408i
0.0109	0.0959	-0.0033 - 0.0408i
0.0109	0.1991	-0.0044 + 0.0462i
1.0000	0.1991	-0.0044 - 0.0462i
0.0436	0.1784	
0.0436	0.1784	
1.0000	0.1105	
1.0000	0.1105	
1.0000	0.1122	
1.0000	0.1122	
0.0977	0.1996	
0.0977	0.1996	
0.0848	1.0000	
0.0848	1.0000	
0.1690	1.0000	
0.1690	1.0000	
0.1882	1.0000	
0.1882	1.0000	
1.0000	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2706	1.0000	
0.2706	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.4412	1.0000	
0.4412	1.0000	
0.3041	1.0000	
0.3041	1.0000	
1.0000	interarea =	
0.5791	-0.3293 + 4.0844i	
0.5791	-0.4445 + 4.6156i	
1.0000	-0.5049 + 4.5409i	
1.0000	-0.5121 + 4.5346i	
1.0000	lokal =	
1.0000	-1.0209 + 9.0162i	
1.0000	-0.9043 + 7.9670i	
1.0000	-1.0640 + 7.0827i	
1.0000	-0.8539 + 6.9713i	
1.0000	-1.4632 + 6.2010i	
1.0000	-0.7864 + 5.3303i	
1.0000	-1.0964 + 5.8274i	
1.0000	-1.2476 + 5.8462i	
1.0000	-0.9347 + 5.5081i	
1.0000	-1.1487 + 5.6546i	
1.0000	-0.9912 + 5.4670i	
1.0000	-1.1527 + 5.6600i	
1.0000	kritis =	



## 14. LAMPIRAN PROGRAM CUCKOO SEARCH ALGORITHM KONDISI NORMAL OPTIMASI PENEMPATAN 14 PSS

Total number of iterations=10001	0.0279	T4G6 =
fmin =	T1G8 =	1.9715
79.5267	0.0235	T4G7 =
bestnest =	T1G9 =	0.6452
Columns 1 through 4	0.0282	T4G8 =
48.6531 43.2677 22.8287 30.3062	T1G10 =	0.4647
Columns 5 through 8	0.0425	T4G9 =
45.8091 19.7454 40.0013 26.3228	T1G11 =	0.4782
Columns 9 through 12	0.0266	T4G10 =
12.1000 20.9934 23.5680 42.5683	T1G12 =	1.4090
Columns 13 through 16	0.0122	T4G11 =
27.1712 31.6582 0.0264 0.0233	T1G13 =	0.5073
Columns 17 through 20	0.0205	T4G12 =
0.0247 0.0445 0.0130 0.0022	T1G14 =	0.9696
Columns 21 through 24	0.0274	T4G13 =
0.0279 0.0235 0.0282 0.0425	T2G1 =	1.6440
Columns 25 through 28	0.0497	T4G14 =
0.0266 0.0122 0.0205 0.0274	T2G2 =	0.8421
Columns 29 through 32	0.0011	ans =
0.0497 0.0011 0.0214 0.0343	T2G3 =	Columns 1 through 4
Columns 33 through 36	0.0214	48.6531 43.2677 22.8287 30.3062
0.0083 0.0023 0.0198 0.0121	T2G4 =	Columns 5 through 8
Columns 37 through 40	0.0343	45.8091 19.7454 40.0013 26.3228
0.0175 0.0491 0.0127 0.0359	T2G5 =	Columns 9 through 12
Columns 41 through 44	0.0083	12.1000 20.9934 23.5680 42.5683
0.0407 0.0111 0.5770 0.7143	T2G6 =	Columns 13 through 16
Columns 45 through 48	0.0023	27.1712 31.6582 0.0264 0.0233
0.8527 0.2217 0.8342 0.0846	T2G7 =	Columns 17 through 20
Columns 49 through 52	0.0198	0.0247 0.0445 0.0130 0.0022
0.1807 0.7602 0.7587 0.6242	T2G8 =	Columns 21 through 24
Columns 53 through 56	0.0121	0.0279 0.0235 0.0282 0.0425
0.0100 0.4014 0.5160 0.7266	T2G9 =	Columns 25 through 28
Columns 57 through 60	0.0175	0.0266 0.0122 0.0205 0.0274
0.2088 0.4169 1.9634 1.3759	T2G10 =	Columns 29 through 32
Columns 61 through 64	0.0491	0.0497 0.0011 0.0214 0.0343
1.1029 1.9715 0.6452 0.4647	T2G11 =	Columns 33 through 36
Columns 65 through 68	0.0127	0.0083 0.0023 0.0198 0.0121
0.4782 1.4090 0.5073 0.9696	T2G12 =	Columns 37 through 40
Columns 69 through 70	0.0359	0.0175 0.0491 0.0127 0.0359
1.6440 0.8421	T2G13 =	Columns 41 through 44
Kpss1 =	0.0407	0.0407 0.0111 0.5770 0.7143
48.6531	T2G14 =	Columns 45 through 48
Kpss2 =	0.0111	0.8527 0.2217 0.8342 0.0846
43.2677	T3G1 =	Columns 49 through 52
Kpss3 =	0.5770	0.1807 0.7602 0.7587 0.6242
22.8287	T3G2 =	Columns 53 through 56
Kpss4 =	0.7143	0.0100 0.4014 0.5160 0.7266
30.3062	T3G3 =	Columns 57 through 60
Kpss5 =	0.8527	0.2088 0.4169 1.9634 1.3759
45.8091	T3G4 =	Columns 61 through 64
Kpss6 =	0.2217	1.1029 1.9715 0.6452 0.4647
19.7454	T3G5 =	Columns 65 through 68
Kpss7 =	0.8342	0.4782 1.4090 0.5073 0.9696
40.0013	T3G6 =	Columns 69 through 70
Kpss8 =	0.0846	1.6440 0.8421
26.3228	T3G7 =	
Kpss9 =	0.1807	
12.1000	T3G8 =	
Kpss10 =	0.7602	
20.9934	T3G9 =	
Kpss11 =	0.7587	
23.5680	T3G10 =	
Kpss12 =	0.6242	
42.5683	T3G11 =	
Kpss13 =	0.0100	
27.1712	T3G12 =	
Kpss14 =	0.4014	
31.6582	T3G13 =	
T1G1 =	0.5160	
0.0264	T3G14 =	
T1G2 =	0.7266	
0.0233	T4G1 =	
T1G3 =	0.2088	
0.0247	T4G2 =	
T1G4 =	0.4169	
0.0445	T4G3 =	
T1G5 =	1.9634	
0.0130	T4G4 =	
T1G6 =	1.3759	
0.0022	T4G5 =	
T1G7 =	1.1029	



**15. LAMPIRAN HASIL PROGRAM DAMPING EIGEN PENEMPATAN 14 PSS  
KONDISI NORMAL HASIL OPTIMASI CUCKOO SEARCH ALGORITHM**

damping_eigen =	0.9996	1.0000
0.2955	1.0000	1.0000
0.2955	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000
0.1302	1.0000	1.0000
0.1302	1.0000	1.0000
0.1872	1.0000	1.0000
0.1872	1.0000	1.0000
1.0000	1.0000	1.0000
0.0782	1.0000	1.0000
0.0782	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000
0.2333	0.5642	1.0000
0.0833	0.5642	1.0000
0.0833	0.8278	1.0000
0.0815	0.8278	1.0000
0.0815	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000
0.0716	1.0000	1.0000
0.0716	1.0000	1.0000
1.0000	1.0000	1.0000
0.0437	1.0000	1.0000
0.0437	1.0000	1.0000
0.0320	1.0000	interarea =
0.0320	1.0000	-5.2203 + 3.1175i
0.0456	1.0000	-2.6464 + 4.9393i
0.0456	0.1551	-0.5804 + 4.0643i
0.0640	0.1551	-0.5866 + 4.5799i
0.0640	1.0000	-2.2761 + 2.9735i
0.0071	0.3185	lokal =
0.0071	0.3185	-1.5144 + 9.6453i
0.0106	0.8586	-2.4976 + 7.4335i
0.0106	0.8586	-0.6138 + 6.5759i
0.0205	0.0929	-2.3590 + 5.4247i
0.0205	0.0929	-1.3401 + 5.9471i
0.0111	1.0000	-1.7793 + 5.1820i
0.0111	0.3988	-0.9281 + 5.3300i
1.0000	0.3988	-1.0158 + 5.5235i
0.0263	0.2198	-1.3879 + 5.4490i
0.0263	0.2198	-1.3848 + 5.5207i
1.0000	0.4723	-1.0040 + 5.4653i
1.0000	0.4723	kritis =
1.0000	0.1414	1.0e+02 *
1.0000	0.1414	-0.5148 + 6.5638i
0.0955	0.1270	-0.5148 - 6.5638i
0.0955	0.1270	-0.4446 + 5.3191i
0.0836	0.3247	-0.4446 - 5.3191i
0.0836	0.3247	-0.4136 + 5.0611i
1.0000	0.1715	-0.4136 - 5.0611i
0.1680	0.1715	-0.3058 + 4.6952i
0.1680	0.1809	-0.3058 - 4.6952i
0.1863	0.1809	-0.3250 + 4.5277i
0.1863	0.2468	-0.3250 - 4.5277i
1.0000	0.2468	-0.1950 + 4.4595i
1.0000	0.2433	-0.1950 - 4.4595i
1.0000	0.2433	-0.1373 + 4.2838i
1.0000	0.1807	-0.1373 - 4.2838i
0.2530	0.1807	-0.1970 + 4.3144i
0.2530	0.6078	-0.1970 - 4.3144i
0.2126	0.6078	-0.2695 + 4.2012i
0.2126	1.0000	-0.2695 - 4.2012i
0.2087	1.0000	-0.0292 + 4.0947i
0.2087	1.0000	-0.0292 - 4.0947i
0.3906	1.0000	-0.0413 + 3.9001i
0.3906	1.0000	-0.0413 - 3.9001i
0.2296	1.0000	-0.0831 + 4.0461i
0.2296	1.0000	-0.0831 - 4.0461i
1.0000	1.0000	-0.0396 + 3.5531i
1.0000	1.0000	-0.0396 - 3.5531i
1.0000	1.0000	-0.0604 + 2.2921i
1.0000	1.0000	-0.0604 - 2.2921i
1.0000	1.0000	1.7271 + 0.0000i
1.0000	1.0000	-0.1451 + 1.5131i
1.0000	1.0000	-0.1451 - 1.5131i
1.0000	1.0000	-0.1152 + 1.3731i
1.0000	1.0000	-0.1152 - 1.3731i
0.4682	1.0000	-0.0061 + 0.0658i
0.4682	1.0000	-0.0061 - 0.0658i
1.0000	1.0000	
0.9996	1.0000	



## 16. LAMPIRAN HASIL DAMPING EIGEN SISTEM OPEN LOOP KONDISI N-1

damping_eigen =	1.0000	kritis =
0.2955	1.0000	1.0e+02 *
0.2955	1.0000	-0.5250 + 6.5582i
0.1994	1.0000	-0.5250 - 6.5582i
0.1994	1.0000	-0.4445 + 5.3201i
0.1309	0.6655	-0.4445 - 5.3201i
0.1309	0.6655	-0.4144 + 5.0618i
0.1873	1.0000	-0.4144 - 5.0618i
0.1873	1.0000	-0.3056 + 4.6945i
0.0798	1.0000	-0.3056 - 4.6945i
0.0798	1.0000	-0.3150 + 4.5305i
0.2333	1.0000	-0.3150 - 4.5305i
0.2333	1.0000	-0.1971 + 4.4654i
0.0833	0.1125	-0.1971 - 4.4654i
0.0833	0.1125	-0.1290 + 4.3274i
0.0816	1.0000	-0.1290 - 4.3274i
0.0816	0.1127	-0.0862 + 4.1558i
0.0650	0.1127	-0.0862 - 4.1558i
0.0650	0.1487	-0.1965 + 4.3135i
0.0694	0.1487	-0.1965 - 4.3135i
0.0694	0.1204	-0.2594 + 4.1886i
0.0441	0.1204	-0.2594 - 4.1886i
0.0441	0.2296	-0.0413 + 3.9001i
0.0298	0.2296	-0.0413 - 3.9001i
0.0298	0.0806	-0.0825 + 4.0439i
0.0207	0.0806	-0.0825 - 4.0439i
0.0207	0.1849	-0.0389 + 3.5546i
0.0455	0.1849	-0.0389 - 3.5546i
0.0455	0.1460	-0.1003 + 2.3007i
0.0618	0.1460	-0.1003 - 2.3007i
0.0618	0.2094	-0.1487 + 1.5167i
0.0106	0.2094	-0.1487 - 1.5167i
0.0106	0.1671	-0.1171 + 1.3752i
0.0204	0.1671	-0.1171 - 1.3752i
0.0204	0.0959	-0.0033 + 0.0410i
0.0110	0.0959	-0.0033 - 0.0410i
0.0110	0.1083	-0.0045 + 0.0462i
1.0000	0.1083	-0.0045 - 0.0462i
0.0435	0.1124	
0.0435	0.1124	
1.0000	0.1993	
1.0000	0.1993	
1.0000	0.1991	
1.0000	0.1991	
0.0976	0.1785	
0.0976	0.1785	
0.0849	1.0000	
0.0849	1.0000	
0.1687	1.0000	
0.1687	1.0000	
0.1878	1.0000	
0.1878	1.0000	
1.0000	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2126	1.0000	
0.2705	1.0000	
0.2705	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.2376	1.0000	
0.4409	1.0000	
0.4409	1.0000	
0.3040	1.0000	
0.3040	1.0000	
1.0000		interarea =
0.5787		-0.3311 + 4.0972i
0.5787		-0.4455 + 4.6249i
1.0000		-0.5006 + 4.5945i
1.0000		-0.5131 + 4.5342i
1.0000		
1.0000		lokal =
1.0000		-1.0215 + 9.0241i
1.0000		-0.9031 + 7.9625i
1.0000		-1.0640 + 7.0775i
1.0000		-0.8533 + 7.0324i
1.0000		-1.4627 + 6.2019i
1.0000		-1.0970 + 5.8297i
1.0000		-0.7877 + 5.3392i
1.0000		-1.2483 + 5.8288i
1.0000		-0.9347 + 5.5136i
1.0000		-1.1515 + 5.6629i
1.0000		-1.1494 + 5.6580i
1.0000		-0.9914 + 5.4659i
1.0000		



## 17. LAMPIRAN PROGRAM CUCKOO SEARCH ALGORITHM KONDISI N-1 OPTIMASI PENEMPATAN 14 PSS

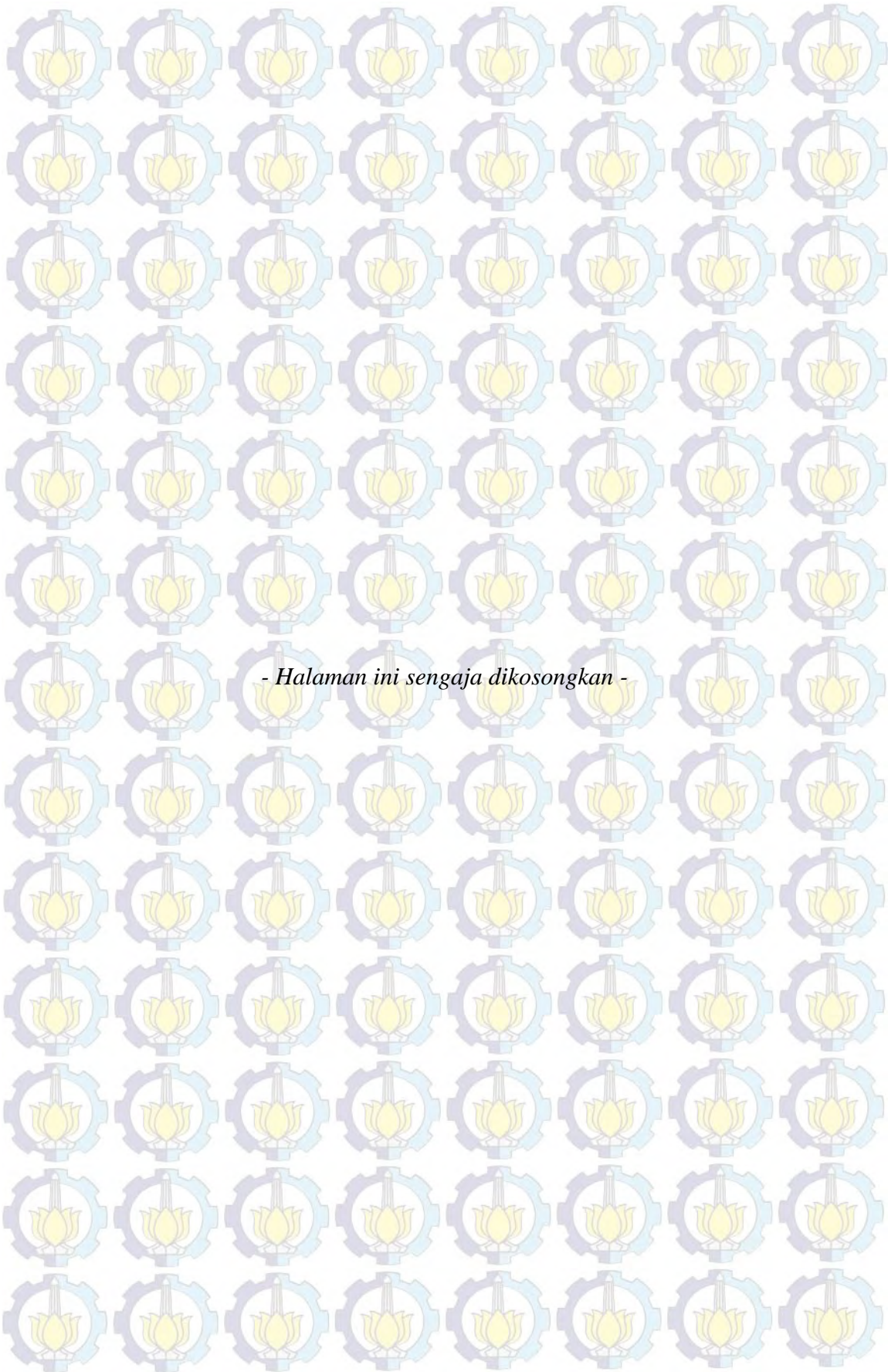
<p>Total number of iterations=10001                      fmin = 75.1096                      bestnest =                      Columns 1 through 4                      50.8328 43.0102 61.6766 48.7526                      Columns 5 through 8                      70.6654 9.9818 69.3565 67.4734                      Columns 9 through 12                      59.0743 42.9337 96.3535 18.5044                      Columns 13 through 16                      30.5400 36.8814 1.7777 3.3216                      Columns 17 through 20                      1.8339 0.5702 3.9104 1.0461                      Columns 21 through 24                      0.7880 3.7623 3.2176 2.7990                      Columns 25 through 28                      0.7719 2.5709 0.1190 1.0548                      Columns 29 through 32                      1.1395 2.1152 2.3387 3.2569                      Columns 33 through 36                      3.4444 2.2171 2.2125 1.7572                      Columns 37 through 40                      2.7173 1.2991 3.5579 3.7985                      Columns 41 through 44                      1.7206 3.0382 2.4288 1.7748                      Columns 45 through 48                      2.9900 1.0358 2.3657 3.1945                      Columns 49 through 52                      1.9108 0.5146 2.8789 1.6346                      Columns 53 through 56                      0.1404 2.0500 2.5216 3.3522                      Columns 57 through 60                      3.8862 2.2593 2.7059 0.6346                      Columns 61 through 64                      2.3623 3.3143 2.3035 3.7638                      Columns 65 through 68                      0.6580 1.0062 3.4008 3.3181                      Columns 69 through 70                      1.6698 3.6520                      Kpss1 = 50.8328                      Kpss2 = 43.0102                      Kpss3 = 61.6766                      Kpss4 = 48.7526                      Kpss5 = 70.6654                      Kpss6 = 9.9818                      Kpss7 = 69.3565                      Kpss8 = 67.4734                      Kpss9 = 59.0743                      Kpss10 = 42.9337                      Kpss11 = 96.3535                      Kpss12 = 18.5044                      Kpss13 = 30.5400                      Kpss14 = 36.8814                      T1G1 = 1.7777                      T1G2 = 3.3216                      T1G3 = 1.8339                      T1G4 = 0.5702                      T1G5 = 3.9104                      T1G6 = 1.0461                      T1G7 =</p>	<p>0.7880                      T1G8 = 3.7623                      T1G9 = 3.2176                      T1G10 = 2.7990                      T1G11 = 0.7719                      T1G12 = 2.5709                      T1G13 = 0.1190                      T1G14 = 1.0548                      T2G1 = 1.1395                      T2G2 = 2.1152                      T2G3 = 2.3387                      T2G4 = 3.2569                      T2G5 = 3.4444                      T2G6 = 2.2171                      T2G7 = 2.2125                      T2G8 = 1.7572                      T2G9 = 2.7173                      T2G10 = 1.2991                      T2G11 = 3.5579                      T2G12 = 3.7985                      T2G13 = 1.7206                      T2G14 = 3.0382                      T3G1 = 2.4288                      T3G2 = 1.7748                      T3G3 = 2.9900                      T3G4 = 1.0358                      T3G5 = 2.3657                      T3G6 = 3.1945                      T3G7 = 1.9108                      T3G8 = 0.5146                      T3G9 = 2.8789                      T3G10 = 1.6346                      T3G11 = 0.1404                      T3G12 = 2.0500                      T3G13 = 2.5216                      T3G14 = 3.3522                      T4G1 = 3.8862                      T4G2 = 2.2593                      T4G3 = 2.7059                      T4G4 = 0.6346                      T4G5 = 2.3623</p>	<p>T4G6 = 3.3143                      T4G7 = 2.3035                      T4G8 = 3.7638                      T4G9 = 0.6580                      T4G10 = 1.0062                      T4G11 = 3.4008                      T4G12 = 3.3181                      T4G13 = 1.6698                      T4G14 = 3.6520                      ans =                      Columns 1 through 4                      50.8328 43.0102 61.6766 48.7526                      Columns 5 through 8                      70.6654 9.9818 69.3565 67.4734                      Columns 9 through 12                      59.0743 42.9337 96.3535 18.5044                      Columns 13 through 16                      30.5400 36.8814 1.7777 3.3216                      Columns 17 through 20                      1.8339 0.5702 3.9104 1.0461                      Columns 21 through 24                      0.7880 3.7623 3.2176 2.7990                      Columns 25 through 28                      0.7719 2.5709 0.1190 1.0548                      Columns 29 through 32                      1.1395 2.1152 2.3387 3.2569                      Columns 33 through 36                      3.4444 2.2171 2.2125 1.7572                      Columns 37 through 40                      2.7173 1.2991 3.5579 3.7985                      Columns 41 through 44                      1.7206 3.0382 2.4288 1.7748                      Columns 45 through 48                      2.9900 1.0358 2.3657 3.1945                      Columns 49 through 52                      1.9108 0.5146 2.8789 1.6346                      Columns 53 through 56                      0.1404 2.0500 2.5216 3.3522                      Columns 57 through 60                      3.8862 2.2593 2.7059 0.6346                      Columns 61 through 64                      2.3623 3.3143 2.3035 3.7638                      Columns 65 through 68                      0.6580 1.0062 3.4008 3.3181                      Columns 69 through 70                      1.6698 3.6520</p>
---	--	--



**18. LAMPIRAN HASIL PROGRAM DAMPING EIGEN PENEMPATAN 14 PSS  
KONDISI N-1 HASIL OPTIMASI CUCKOO SEARCH ALGORITHM**

damping_eigen =	1.0000	1.0000	1.0000
0.2954	1.0000	1.0000	1.0000
0.2954	1.0000	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000	1.0000
0.1994	1.0000	1.0000	1.0000
0.1298	1.0000	1.0000	1.0000
0.1298	1.0000	1.0000	1.0000
0.1870	1.0000	1.0000	1.0000
0.1870	1.0000	1.0000	1.0000
0.0793	0.5506	1.0000	1.0000
0.0793	0.5506	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000	1.0000
0.2333	1.0000	1.0000	1.0000
0.0833	1.0000	1.0000	1.0000
0.0833	0.1668	1.0000	1.0000
0.0812	0.1668	1.0000	1.0000
0.0812	1.0000	1.0000	1.0000
0.0650	1.0000	1.0000	1.0000
0.0650	0.6338	1.0000	1.0000
0.0711	0.6338	1.0000	1.0000
0.0711	1.0000	1.0000	1.0000
0.0437	0.0530	1.0000	1.0000
0.0437	0.0530	1.0000	1.0000
0.0311	0.2310	1.0000	1.0000
0.0311	0.2310	1.0000	1.0000
0.0462	0.4449	1.0000	1.0000
0.0462	0.4449	1.0000	1.0000
0.0112	0.3439	1.0000	interarea =
0.0112	0.3439	1.0000	-2.6010 + 4.3217i
0.0646	0.2451	1.0000	-0.5572 + 4.2069i
0.0646	0.2451	1.0000	-1.9435 + 3.7067i
0.0106	0.2199	1.0000	-1.2505 + 1.4238i
0.0106	0.2199	1.0000	lokal =
0.0203	0.1832	1.0000	-5.1023 + 6.2271i
0.0203	0.1832	1.0000	0.3683 + 6.9347i
0.0110	0.1854	1.0000	-1.6740 + 7.0518i
0.0110	0.1854	1.0000	-3.0736 + 6.1865i
0.0212	0.1791	1.0000	-2.1148 + 5.7741i
0.0212	0.1791	1.0000	-1.4212 + 5.6205i
1.0000	0.5157	1.0000	-1.2735 + 5.6487i
1.0000	0.5157	1.0000	-0.9833 + 5.2762i
1.0000	0.1313	1.0000	-1.0321 + 5.4702i
1.0000	0.1313	1.0000	-0.9925 + 5.4531i
0.0709	0.4644	1.0000	kritis =
0.0709	0.4644	1.0000	1.0e+02 *
0.0842	0.6599	1.0000	-0.5223 + 6.5654i
0.0842	0.6599	1.0000	-0.5223 - 6.5654i
0.1545	1.0000	1.0000	-0.4443 + 5.3173i
0.1545	1.0000	1.0000	-0.4443 - 5.3173i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.4127 + 5.0633i
0.1734	0.9975	1.0000	-0.4127 - 5.0633i
0.1734	0.9975	1.0000	-0.3057 + 4.6946i
0.0666	1.0000	1.0000	-0.3057 - 4.6946i
0.0666	1.0000	1.0000	-0.3228 + 4.5283i
0.2123	1.0000	1.0000	-0.3228 - 4.5283i
0.2123	1.0000	1.0000	-0.1950 + 4.4593i
0.2304	0.9996	1.0000	-0.1950 - 4.4593i
0.2304	0.9996	1.0000	-0.1338 + 4.2939i
0.3367	1.0000	1.0000	-0.1338 - 4.2939i
0.3367	1.0000	1.0000	-0.2000 + 4.3238i
0.2768	1.0000	1.0000	-0.2000 - 4.3238i
0.2768	1.0000	1.0000	-0.0459 + 4.1169i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0459 - 4.1169i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.2723 + 4.2056i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.2723 - 4.2056i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0413 + 3.9003i
0.3664	1.0000	1.0000	-0.0413 - 3.9003i
0.3664	1.0000	1.0000	-0.0819 + 4.0450i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0819 - 4.0450i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0389 + 3.5487i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0389 - 3.5487i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0484 + 2.2865i
1.0000	0.9994	1.0000	-0.0484 - 2.2865i
1.0000	0.9994	1.0000	-0.1047 + 1.4723i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1047 - 1.4723i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1161 + 1.3737i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.1161 - 1.3737i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0457 + 0.6854i
1.0000	1.0000	1.0000	-0.0457 - 0.6854i





*- Halaman ini sengaja dikosongkan -*



## BIOGRAFI PENULIS



**Muhammad Ruswandi Djalal** dilahirkan di Makassar, 11 Maret 1990. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Djafar Djalal dan Herlina. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Pertiwi Makassar, SMP Negeri 33 Makassar dan SMK Negeri 3 Makassar. Penulis melanjutkan pendidikan Sarjana Sains Terapan (S.ST) di Jurusan Teknik Mesin Prodi D-IV Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) pada Tahun 2008. Selama mengikuti pendidikan di PNUP, penulis aktif di organisasi sepakbola PNUP. Penulis melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana S2 (MT) di Teknik Elektro ITS Surabaya tahun 2013 Prodi Sistem Tenaga. Selama menimba ilmu di ITS penulis merupakan member di Laboratorium Power System Operation & Control (PSOC) ITS Surabaya.

Selain itu penulis juga bekerja selama mengikuti perkuliahan di Politeknik Negeri Ujung Pandang, diantaranya :

- Electrical Engineer di PT. Mitra Usaha Teknik Makassar pada tahun 2007
- Electrical Engineer di PT. Temboan Makassar pada tahun 2007
- O<sub>2</sub> Machine Operator di PT. Barawaja Divisi Oksigen pada tahun 2008-2010

Kini Penulis diberi kesempatan melanjutkan studi Magister Teknik Elektro Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Beasiswa BPP-DN Calon Dosen Dikti 2013. Penulis dapat dihubungi pada nomor 085250986419.