PEREDAMAN *SMALL SIGNAL STABILITY* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM SULSELBAR

Tugas Akhir

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu peryaratan untuk menyelesaikan program Strata Satu Dapartemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas hasanuddin

Makassar

DISUSUN OLEH :

MUAMMAR YUSRIL ISHA MAHENDRA

D41114526

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

(PEREDAMAN *SMALL SIGNAL STABILITY* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM SULSELBAR)

Disusun dan diajukan oleh :

(MUAMMAR YUSRIL IHSA MAHENDRA)
(D411 14 526)

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 24-02-2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST, MT	Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT
NIP. 19731118 199803 2 001	NIP. 19601106 198601 2 001

Ketua Program Studi

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

ii

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama	: Muammar yusril ihsa mahendra
Nim	: D41114526
Program studi	: Teknik Elketro
Jengjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

"PEREDAMAN *SMALL SIGNAL STABILITY* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM SULSELBAR"

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabilah dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan isi skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 14 Maret 2021

Yang Menyatakan

Muammar yusril ihsa mahendra

ABSTRACT

A good electric power system is a system that can serve loads in a sustainable manner and the voltage and frequency is stable. Changes occur due to load demands that change from time to time. in this case there are several variations of the control attached to the generator to increase the efficiency of its damper against the operating oscillation resistance. The PID and Fuzzy Logic control equipment installed in the power plant aims to improve the stability of the operating system. One of the approaches used is fuzzy logic based control application. A comparative study was carried out without control, and using PID control and Fuzzy Logic Controller, to determine the characteristics of the oscillation damping response time and the performance comparison of the two control controls, this simulation was carried out by adding the load to the generator and control equipment in the form of PID and Fuzzy Logic Controller which installed in the system, disturbances in the form of small disturbances that occur in the generator and the two controls are placed on the generator with load changes to see the optimal point of installing the PID and Fuzzy Logic Controller in reducing oscillations that arise due to small disturbances. carried out using MATLAB (Matrix Laboratory) with Simulink tools, with the results of the analysis showing that improvements to using Fuzzy Logic Controller are more effective than PID controls where Fuzzy Logic is better able to reduce oscillations that occur in generator disturbances on the system. tem of generating units (Sengkang).

Keywords: Small Signal stability, additional load, adding Fuzzy Logic Controller and PID (Proportional Integral Derivative Controller).

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik yang baik merupakan suatu sistem yang dapat melayani beban secara berkelanjutan serta tegangan dan frekuensinya stabil, Perubahan terjadi disebabkan oleh permintaan beban yang berubah-ubah dari waktu ke waktu. dalam kasus ini terdapat beberapa variasi kendali yang dipasangkan pada generator untuk meningkatkan efisiensi peredamanya terhadap eksistansi osilasi operasi. Peralatan kendali PID dan Fuzzy Logic yang dipasangkan pada pembangkit tenaga listrik bertujuan untuk memperbaiki kestabilan sistem operasinya. Salah satu pendekatan yang digunakan aplikasi kendali berbasis logika fuzzy. Di lakukan studi perbandingan Tanpa kontrol, dan mengunakan control PID dan *Fuzzy Logic Controller*, untuk mengetahui karakteristik waktu tanggapan peredaman osilasi dan perbadingan kinerja kedua control kendali tersebut, Simulasi ini dilakukan perbandingan dengan menambahkan beban pada generator dan peralatan kontrol berupa PID dan *Fuzzy Logic Controller* yang di pasang pada sistem, gangguan berupa gangguan-gangguan kecil yang terjadi pada pembangkit dan penepatan kedua kontrol tersebut di tempatkan pada generator dengan perubahan beban untuk melihat titik optimal dari pemasangan PID dan Fuzzy Logic Controller dalam meredam osilasi yang timbul akibat gangguan kecil Adapun percobaan simulasi ini dilakukan menggunakan MATLAB (Matrix Laboratory) dengan tools Simulink, Dengan hasil analisis menunjukan bahwa perbaikan menggunakan kontrol *Fuzzy Logic Controller* lebih efektif dibandingkan kontrol PID dimana Fuzzy Logic lebih sanggup meredam osilasi yang terjadi pada gangguan generator pada sistem unit pembangkit (Sengkang).

Kata kunci: Kestabilan Small Signal, penambahan beban, menambahkan Fuzzy Logic Controller dan PID (Proportional Integral Derivative Controller).

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, tiada kata yang paling indah selain puji dan rasa syukur kepada Allah SWT, yang telah menentukan segala sesuatu berada di tangan-Nya, sehingga tidak ada setetes embun pun dan segelintir jiwa manusia yang lepas dari ketentuan dan ketetapan-Nya. Alhamdulillah atas hidayah dan inayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini yang berjudul:

"PEREDAMAN *SMALL SIGNAL STABILITY* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM SULSELBAR", yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi untuk menempuh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal itu disadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis, besar harapan penulis, semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat pelajaran, dukungan motivasi, bantuan berupa bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak mulai dari pelaksanaan hingga penyusunan laporan skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang penulis hormati dan cintai yang membantu secara langsung maupun tidak langsung selama pembuatan skripsi ini.

Meskipun banyak hambatan dan tantangan yang penulis alami selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan kerjasama berbagai pihak, akhirnya penulis dapat mengatasi hambatan dan tantangan tersebut, Untuk semua itu pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang yang penulis hormati, Bapak Dr.Indar Chaerah Gunadin, S.T,M.T dan Dr.Ir. Sri Mawar Said, M.T sebagai Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran juga kesabaran selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang yang penulis hormati, Ir. Gassing, M.T dan Ir. Hj. Zaenab Muslimin, M.T selaku Dosen panguji yang telah meluangkan waktunya dengan memberikan arahan, dan masukan yang sangat berguna dalam penyelesaian skripsi ini. juga kepada Alm, Prof. Dr. Ir. Muhammad Tola, yang sempat menguji dan memberi masukan kepada saya dan semoga amal ibadah beliau di terima oleh allah SWT, amin.
3. Ibu Dr.Eng.Ir. Dewiani, M.T sebagai ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Kepada Rosaria Ashari (Ocha) yang telah menyempatkan dan membantu, juga memberi dorongan atau motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kepada teman-teman seperjuangan *"Rectifier 2014"* Departemen Teknik Elektro, juga teman seperjuangan se Fakultas Teknik Angkatan 2014 sebagai pasukan khusus yang telah menjadi saudara bagi saya sejak pertama kali menginjakkan kaki di kampus Universitas Hasanuddin, Fakultas Teknik.
6. Terimakasih kepada teman-teman, sahabat, bangkala squad, vespa makassar, mapala 09, telah medukung dan memotivasi penulis selama ini.
7. Terima kasih terutama kepada keluarga yang tercinta, saudara, kakak, adek, sepupu juga Onty dan Oncle, serta seluruh keluarga atas segala doa, nasehat, bantuan, motivasi, tenaga, dan moril.

8. Dan terkhusunya kepada kedua orang tua Alm, Drs.muliyadi DG. Mappuji dan Dra. HJ. Jahida mulyadi dimana cita-cita bapak akhirnya terwujud melihat anak laki-laki nya menjadi seorang serjana walau hanya melihat dari Jannatul Ma'wa, , Dad thank you for teaching me to be a tough guy and stay strong, Untuk Ibu terima kasih atas doa, motivasi, nasehat dan kesabaran yang anda berikan selama mendidik saya sepanjang hidup saya, sedikit ku jelaskan tentang ku dan kamu agar seisi dunia tau, keras kepalaku sama denganmu caraku marah caraku tersenyum, seperti detak jantung yang bertaut nyawaku nyala karna denganmu, aku masih ada sampai di sini melihatmu kuat setengah mati, semoga lama hidupmu di sini melihatku berjuang sampai akhir, thanks anda telah mengambil peran, tetaplah bernafas, ada sesuatu hal yang sedang saya persiapkan untukmu, selama ibu masih bernafas dan masih di bumi duniaku baik-baik saja, maaf bapak dan ibu belum bisa menjaga dan jadi yang terbaik, Saat ayah meninggal, Ibu satu satunya sosok yang kuat dalam hal apapun. Maaf jika sampai ini aku belum bisa menjadi kebangganmu. Sehat sehat buk.
9. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan kemampuan penulis sehingga tugas akhir ini tampil dengan segala kekurangannya. Oleh karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun bertujuan untuk kesempurnaanya. Dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan, dan bagi kita semua, amiin.

Makassar, Februari 2021

Muammar Yusril Ihsa Mahendra

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

ABSTRAK ii

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL viii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 5

1.3 Tujuan Penelitian 5

1.4 Manfaat Peneitian 6

1.5 Batasan Masalah 6

1.6 Metode Penelitian 6

1.7 Sistematika Penelitian 7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... 8

2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik 8

2.2 Pembagian kestabilan menurut CIGRE-IEEE 13

2.3 PID (*Proportional-Integral-Derivative Controller*)……...23

2.4 Kestabilan Frekuensi 28

2.5 Fuzzy Logic Controller 28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 32

3.1 Jenis Penelitian……...32

3.2 Lokasi Penelitian…….33

3.3 Waktu Penelitian……....33

3.4 Diagram Alir Penelitian.....….34

3.5 Perencanaan Simulasi 35

3.6 Data kelistrikan sistem Sulselbar…….35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ……52

4.1 Gambaran Umum Simulink Pada Matlab 52

4.2 Hasil Simulasi dan Pembahasan.....56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 51

5.1 Kesimpulan..... 60

5.2 Saran 60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Classification of power system stability….....8

Gambar 2.2 Pembagian kestabilan menurut CIGRE-IEEE.....13

..

Gambar 2.3 Sistem Tenaga Listrik..... 14

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... 34

Gambar 3.2 *Single Line* Diagram Sistem Sulselbar 37

Gambar 3.3 Rentang variabel fungsi keanggotaan kesalahan linguistik.....43

Gambar 3.4 Rentang variabel fungsi keanggotaan kesalahan linguistik.....44

Gambar 3.5 Rentang variabel fungsi keanggotaan keluaran linguistik.....45

Gambar 3.6 Aplikasi rule base dalam bahasa pemograman matlab….....47

Gambar 3.7 Implementasi rule base dalam bahasa pemograman matlab (rule viewer)……..…..…..……48

Gambar 3.8 pemetaan dalam bentuk ruang.)…….....49

.

Gambar 3.9 Blok diagram sistem pengaturan tegangan secara keseluruhan……....50

Gambar 4.1 Single Line Diagram simulasi tanpa kontrol pada system…....53

Gambar 4.2 Single Line Diagram menggunakan kontrol PID….....54

Gambar 4.3 Single Line Diagram menggunakan control fuzzy logic….....55

Gambar 4.4 Memperlihatkan grafik gangguan sebelum memiliki kontrol kendali pada simulasi frekuensi……..…….....56

Gambar 4.5 Memperlihatkan grafik gangguan sebelum memiliki kontrol kendali pada simulasi tegangan…….....57

Gambar 4.6 Memperlihatkan grafik gangguan yang terjadi pada frekuensi menggunakan PID…….....…57

Gambar 4.7 Memperlihatkan grafik gangguan yang terjadi pada tegangan menggunakan kontrol PID….....58

Gambar 4.8 Memperlihatkan grafik gangguan yang terjadi pada frekuensi menggunakan kontrol Fuzzy Logic….....….58

Gambar 4.9 Memperlihatkan grafik gangguan yang terjadi pada tegangan menggunkan Kontrol Fuzzy Logic….....59

DAFTAL TABEL

Tabel 3.1 Data-Data Transformator Distribusi dan IBT Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat….....38

Tabel 3.2. Penomoran Generator Sistem Sulselbar…….....39

Tabel 3.3. Data Saluran Trasmisi 2018 Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat….....40

Tabel 3.4. Data Pembebanan dan Pembangkit Sistem Sulselbar……..….....41

Tabel 3.5 Tabel keputusan aturan kontrol Fuzzy Logic MacVicar-Whelan….....…46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia terus meningkat sesuai laju pertumbuhan ekonomi dan industri serta pertambahan penduduk. Pembangunan diarahkan untuk mampu mempersiapkan diri dalam menghadapi era industrialisasi. Investasi dalam bidang industri di Sulawesi Selatan saat ini telah banyak dilakukan oleh pihak swasta baik melalui penanaman modal dalam negeri (PMDN) maupun penanaman modal asing (PMA). Pihak pemerintah melalui sektor industri atau Badan Usaha Milik Pemerintah (BUMN) dalam kelompok industri strategis Petrokimia, Tonasa, dan industri logam lainnya. Kegiatan industri diatas dapat berjalan apabila tenaga listrik yang tersedia cukup memadai. Sistem kelistrikan di Sulawesi Selatan dan Barat (Sulselbar) yang ada saat ini menjadi perhatian, dimana perbaikan dan stabilitas sistem perlu dibenahi.

Penelitian ini mencakup *small signal stability*, yaitu kestabilan sistem tenaga saat mengalami gangguan-gangguan yang kecil. Berbeda dengan gangguan trasien yang jarang terjadi, gangguan kecil pada sistem tenaga sering muncul sebagai dampak dari dinamika sistem tenaga itu sendiri, gangguan kecil pada sistem tenaga contohnya adalah perubahan beban pada pembangkit yang mengakibatkan osilasi sehingga menganggu keserempakan dari sistem tenaga.

Kestabilan merupakan sesuatu yang sangat penting dan harus diperhatikan dalam sistem tenaga listrik, kestabilan sistem selalu terganggu oleh gangguan-gangguan baik yang bersifat transien maupun dinamik, sehingga mengakibatkan output sistem menjadi berisolasi, bahkan dapat mengakibatkan sistem tidak stabil.

Gangguan yang bersifat transien disebabkan oleh gangguan besar seperti putusnya jaringan atau adanya hubung singkat, sedangkan gangguan dinamik disebabkan oleh perubahan beban yang kecil.

Penelitian ini menggunakan dua kontrol untuk perbandingan cara meredam gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu PID (*Proportional–Integral–Derivative controller*) dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*), di mana PID (dari singkatan bahasa Inggris: *Proportional–Integral–Derivative controller*) merupakan kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya dipakai pada sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinu menghitung *nilai kesalahan* sebagai beda antara setpoint yang diinginkan dan variabel proses terukur. Kontroler mencoba untuk meminimalkan nilai kesalahan setiap waktu dengan penyetelan *variabel kontrol*, seperti posisi keran kontrol, damper, atau daya pada elemen pemanas, ke nilai baru yang ditentukan oleh jumlahan, juga PID *(Proportional–Integral–Derivative controller)* merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tesebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri.

Adapun control FLC (*fuzzy logic controller)* yang diartikan suatu cabang ilmu yaitu suatu pengetahuam yang membuat computer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan computer dapat melakukan hal-hal yang apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan.

fuzzy logic controller mempunyai funsi untuk “meniru” keerdasan yang dimiliki manusia untuk melakukan sesuatu dan mengimplementasikannya ke suatu perangkat, misalnya robot, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan lain-lain. Aplikasi metode (FLC) *Fuzzy Logic Controller* yang didesain sebagai governor bertujuan untuk meningkatkan performasi kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik. FLC memiliki kelebihan yaitu tidak memerlukan pemodelan sistem, sehingga sangat sesuai untuk mengatasi masalah sistem yang komplek. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa aplikasi metode tersebut sangat berpengaruh positif pada output sistem, yaitu dapat meredam deviasi frekuensi dan tengangan pada saat mengalami perubahan beban yang variatif dalam waktu yang lebih singkat untuk mencapai kestabilan.

Upaya untuk memenuhi kebutuhan dan tuntutan konsumen tenaga listrik yang semakin meningkat, terutama di bidang industri, diperlukan pelayanan yang dapat menjamin kualitas dan kontinuitas dari sistem pembangkit, perubahan beban yang variatif dan tidak terduga sangat mempengaruhi kestabilan output sistem, salah satunya adalah frekuensi dan tegangan untuk menaikkan output secara cepat dari nol sampai

beban penuh merupakan hal yang sangat penting, oleh sebab itu diperlukan sistem pengaturan frekuensi dan tegangan.

Pada sistem Sulselbar sering terjadi gangguan-gangguan kecil yang dapat diketahui maupun tidak di ketahui, jadi dengan penambahan FLC *(fuzzy logic controller)* diharapkan dapat dilakukan peredaman pada sistem akibat gangguan

Penelitian ini menggunakan simulasi dalam menganalisis menggunakan simulasi MATLAB (Matrix Laboratory). Salah satu program yang digunakan dalam analisis system tenaga listrik dalam program dengan Bahasa komputasi, visualisasi dan pemograman. Program ini dapat digunakan untuk mensimulasikan dan menganalisis besarnya perubahan frekuensi dan tegangan pada generator saat terjadi gangguan.

Maka dari itu perlu analisis cara peredaman mengenai stabilitas sebelum dan sesudah pemasangan kedua control kendali pada pembangkit, adapun penelitian tugas akhir ini yang berjudul :“**PEREDAMAN *SMALL SIGNAL STABILITY* MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* PADA SISTEM SULSELBAR”**

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka kami dapat merumuskan masalahnya sebagai berikut

1. Bagaimana pengaruh pemasangan kedua control kendali yaitu PID (*Proportional–Integral–Derivative controller*) dan FLC (*Fuzzy Logic Controller*) terhadap perbaikan pada sistem pembangkit tenaga listrik.?

2. Bagaimana pengaruh penerapan kedua kontrol kendali dalam meredam osilasi elektromagnetik, terutama pada kontrol *Fuzzy Logic Controller* saat semakin berkembang sistem tenaga listrik tak mengakibatkan lemahnya performasi sistem kelistrikan Sulselbar terkhusunya ketika mengalami gangguan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari peneltian ini adalah:

1. Menganalisis penempatan dan pengaruh stabilitas *small signal stability* menggunakan parameter *Fuzzy Logic Controller*.

2. Menentukan penempatan perbedaan pemasangan kedua kontrol PID dan FLC pada sistem Sulselbar saat terjadi osilasi yang timbul pada gangguan-gangguan kecil, apa yang akan terjadi jika tidak diredam dengan baik dan setelah di redam menggunakan kedua kontrol kendali tersebut, terkhusus nya pada (FLC) *Fuzzy Logic Controlle*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengatasi kestabilan pada sistem tenaga yang selalu terganggu oleh gangguan-gangguan yang bersifat dinamik Sehingga mengakibatkan output sistem menjadi berisolasi.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mengetahui gangguan-gangguan yang sekarang ini menjadi permasalahan utama dalam sistem tenaga listrik dan pengaruh pemasangan juga perbedaan antara dua controller PID dan Fuzzy Logic Controller menggunakan simulasi MATLAB (*Matrix Laboratory*).

1.6 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah

Sebagai berikut:

1. Studi pustaka (Literatur Study)

   Yaitu dengan mengumpulkan bahan-bahan berupa buku teks sebagai referensi yang ada hubungnnya dengan permasalahan pada penelitian tugas akhir ini.

2. Merancang dan membuat simulasi sistem dengan menggunakan simulasi MATLAB.

3. Menganalisis hasil dan membuat kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan menggunakan sistematika penulisan skiripsi sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang penguraian secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori penunjang yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir ini. Teori *small signal stability system* yang kestabilan sistem tenaganya bermasalah saat mengalami gangguan-gangguan yang kecil.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini.

BAB IV HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang waktu dan mekanisme terjadinya ketidakstabilan, kestabilan sudut rotor di klsifikasikan menjadi small signal stability.

BAB V PENUTUP

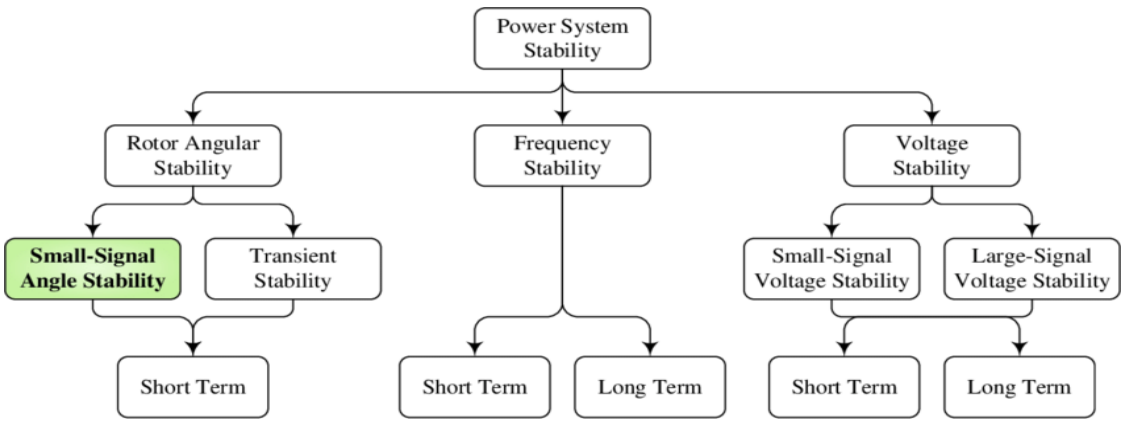
Bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas sistem tenaga adalah kemampuan sistem tenaga listrik, untuk kondisi operasi awal tertentu, untuk mendapatkan kembali keadaan ekuilibrium operasi setelah mengalami gangguan fisik, dengan sebagian besar variabel sistem dibatasi sehingga secara praktis seluruh sistem tetap utuh. Gangguan yang disebutkan dalam definisi dapat berupa gangguan, perubahan beban, pemadaman generator, pemadaman saluran, kolaps tegangan atau beberapa kombinasi dari semuanya. Stabilitas sistem tenaga dapat secara luas diklasifikasikan menjadi sudut rotor, stabilitas tegangan dan frekuensi. Masing-masing dari ketiga stabilitas ini selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi gangguan besar atau gangguan kecil, jangka pendek atau jangka panjang. Klasifikasi tersebut digambarkan pada Gambar.

2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.1. Klasisfikasi Sistem tenaga listrik

1. KESTABILAN SISTEM TENAGA

A. Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.

Dalam paper IEEE definition and classification of power sistem stability, kestabilan sistem tenaga listrik secara umum dapat dibagi menjadi tiga macam kategori, yaitu: Angle Stability, Frequency stability dan Voltage stability. Angle Stability yaitu kemampuan dari mesin-mesin sinkron yang saling terkoneksi pada suatu sistem tenaga listrik untuk tetap dalam keadaan sinkron. Frequency stability yaitu kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan kondisi steady state frekuensi akibat gangguan Sedangkan Voltage Stability: yaitu kestabilan dari sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan nilai tegangan yang masih dapat diterima saat terjadi kontingensi atau gangguan.

B. Stabilitas sinyal kecil.

mengacu pada kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan yang stabil saat mengalami gangguan kecil seperti perubahan bertahap dalam beban sistem. Untuk studi stabilitas sistem, sebaiknya mengabaikan jaringan transmisi dan transien stator mesin. Analisis stabilitas sinyal kecil adalah tentang stabilitas sistem tenaga ketika mengalami gangguan kecil.

C. Metode Mempertahankan Stabilitas Sistem dari Gangguan.

1. Menaikkan Konstanta Inersia Generator

2. Menaikkan Tegangan Generator

3. Menggunakan Peralatan Pemutus Rangkaian Yang Cepat (High Speed Recloser)

4. Menurunkan Reaktansi Seri Saluran.

1. Stabilitas Sudut Motor.

Ini adalah kemampuan sistem untuk tetap sinkron saat mengalami gangguan. Sudut rotor suatu generator bergantung pada keseimbangan antara torsi elektromagnetik akibat keluaran daya listrik generator dan torsi mekanis akibat input daya mekanis melalui penggerak utama. Sisa dalam sinkronisasi berarti bahwa semua torsi elektromagnetik generator benar-benar seimbang dengan torsi mekanis. Jika pada beberapa generator keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan mekanik terganggu, akibat adanya gangguan pada sistem, maka hal ini akan menimbulkan osilasi pada sudut rotor. Stabilitas sudut rotor selanjutnya diklasifikasikan menjadi stabilitas sudut gangguan kecil dan stabilitas sudut gangguan besar.

A. Gangguan kecil atau stabilitas sudut sinyal kecil.

adalah kemampuan sistem untuk tetap sinkron saat mengalami gangguan kecil. Jika suatu gangguan cukup kecil sehingga sistem tenaga nonlinier dapat didekati sebagai suatu sistem linier, maka studi tentang kestabilan sudut rotor dari sistem tersebut disebut dengan analisis stabilitas sudut gangguan kecil. Gangguan kecil dapat berupa perubahan beban kecil seperti menghidupkan atau mematikan beban kecil, gangguan saluran, generator kecil tersandung, dll. Karena gangguan kecil, terdapat dua jenis ketidakstabilan: ketidakstabilan non-osilasi dan ketidakstabilan osilasi. Dalam

ketidakstabilan non-osilasi, sudut rotor generator terus meningkat karena gangguan kecil dan jika terjadi ketidakstabilan osilasi, sudut rotor berosilasi dengan besaran yang meningkat.

B. Gangguan besar atau stabilitas sudut transien

adalah kemampuan sistem untuk tetap sinkron saat mengalami gangguan besar. Gangguan besar dapat berupa gangguan, menghidupkan atau mematikan beban besar, generator besar tersandung, dll. Ketika sistem tenaga mengalami gangguan besar, hal itu akan menyebabkan ekskursi besar dari sudut rotor generator. Karena ada perubahan sudut rotor yang besar, sistem tenaga tidak dapat didekati dengan representasi linier seperti dalam kasus stabilitas gangguan kecil. Domain waktu yang diinginkan dalam kasus stabilitas sudut gangguan besar dan gangguan kecil adalah antara 0,1-10 detik. Karena alasan ini, stabilitas sudut gangguan kecil dan besar dianggap sebagai fenomena jangka pendek.

2. Stabilitas tegangan

adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan tegangan kondisi tunak di semua bus sistem saat mengalami gangguan. Jika gangguannya besar maka disebut stabilitas tegangan gangguan besar dan jika gangguan kecil disebut stabilitas tegangan gangguan kecil. Tidak seperti stabilitas sudut, stabilitas tegangan juga bisa menjadi fenomena jangka panjang. Jika fluktuasi tegangan terjadi karena perangkat yang bekerja cepat seperti motor induksi, penggerak elektronik daya, HVDC dll, maka kerangka waktu untuk memahami stabilitas berada dalam kisaran 10-20 detik dan karenanya dapat

diperlakukan sebagai fenomena jangka pendek. Di sisi lain, jika variasi tegangan disebabkan oleh perubahan beban yang lambat, pemuatan saluran yang berlebihan, generator mencapai batas daya reaktif, tap pengubah transformator, dll. Maka kerangka waktu untuk stabilitas tegangan dapat membentang dari 1 menit hingga beberapa menit. Perbedaan utama antara stabilitas tegangan dan stabilitas sudut adalah bahwa stabilitas tegangan bergantung pada keseimbangan permintaan daya reaktif dan pembangkitan dalam sistem, sedangkan stabilitas sudut terutama bergantung pada keseimbangan antara pembangkit dan permintaan daya nyata.

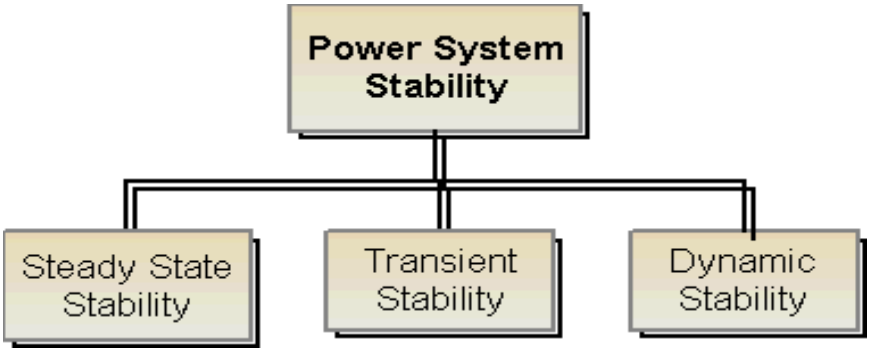
3. Stabilitas frekuensi

mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi yang stabil setelah gangguan parah antara pembangkitan dan beban. Itu tergantung pada kemampuan untuk memulihkan keseimbangan antara pembangkitan dan beban sistem, dengan kehilangan beban minimum. Ketidakstabilan frekuensi dapat menyebabkan ayunan frekuensi berkelanjutan yang menyebabkan tersandungnya unit atau beban pembangkit. Selama ekskursi frekuensi, waktu karakteristik dari proses dan perangkat yang diaktifkan akan berkisar dari sepersekian detik seperti di bawah kontrol frekuensi hingga beberapa menit, sesuai dengan respons perangkat seperti penggerak utama dan karenanya stabilitas frekuensi dapat menjadi fenomena jangka pendek. atau fenomena jangka panjang.

Menurut CIGRE-IEEE, Kestabilan sistem tenaga adalah kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk suatu kondisi operasi awal tertentu, untuk

memperoleh kembali keadaan ekuilibrium operasi dalam keadaan mengalami gangguan fisik sehingga secara praktis seluruh sistem tetap utuh. Biasanya stabilitas sistem tenaga dikategorikan menjadi.

1. Stabilitas Kondisi Stabil
2. Stabilitas Transien
3. Stabilit Dinamis

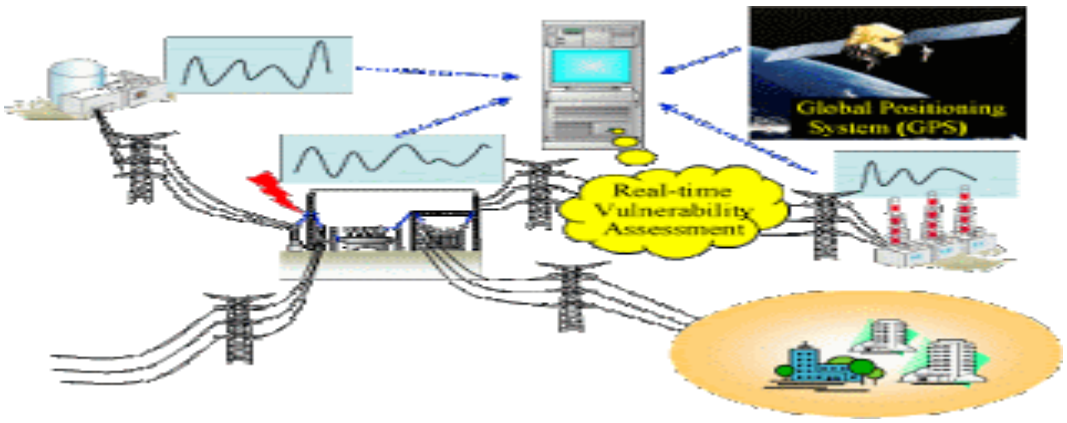


Gambar 2.2 Pembagian kestabilan menurut CIGRE-IEEE

1. Studi stabilitas kondisi stabil dibatasi untuk perubahan kecil dan bertahap dalam kondisi pengoperasian sistem. Dalam hal ini kita pada dasarnya berkonsentrasi pada membatasi tegangan bus mendekati nilai nominalnya. Kami juga memastikan bahwa sudut fase antara dua bus tidak terlalu besar dan memeriksa kelebihan beban peralatan listrik dan jalur transmisi. Pemeriksaan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan studi aliran daya.
2. Stabilitas Transien melibatkan studi tentang sistem tenaga setelah gangguan besar. Setelah gangguan besar, alternator sinkron, sudut daya (beban) mesin berubah karena percepatan poros rotor secara tiba-tiba. Tujuan dari studi stabilitas transien adalah untuk

memastikan apakah sudut beban kembali ke nilai stabil setelah gangguan bebas.

3. Kemampuan sistem tenaga untuk menjaga stabilitas di bawah gangguan kecil terus menerus diselidiki dengan nama Stabilitas Dinamis (juga dikenal sebagai stabilitas sinyal kecil). Gangguan kecil ini terjadi karena fluktuasi acak pada beban dan tingkat pembangkitan. Dalam sistem tenaga yang saling berhubungan, variasi acak ini dapat menyebabkan kegagalan katastropik karena hal ini dapat memaksa sudut rotor untuk terus meningkat. Ini semua tentang pengenalan stabilitas sistem tenaga.



Gambar 2.3 Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk menjaga kondisi operasi yang seimbang dan kemampuan sistem tersebut untuk kembali ke kondisi operasi normal ketika terjadi gangguan. Sedangkan ketidak stabilan sistem dapat terjadi

dalam berbagai bentuk, tergantung dari konfigurasi sistem dan model operasinya. Sistem akan masuk pada kondisi ketidak stabilan tegangan ketika terjadi gangguan, peningkatan beban atau pada saat terjadi perubahan kondisi sistem yang disebabkan oleh drop tegangan yang tidak terkontrol.

Penyebab utama ketidakstabilan tegangan adalah ketidak mampuan sistem tenaga untuk memenuhi permintaan daya reaktif. Inti daripermasalahan ini biasanya berhubungan dengan susut tegangan yang terjadi pada saat daya aktif dan daya reaktif mengalir melalui reaktansi induktif pada jaringan transmisi, Secara mendasar masalah kestabilan berarti menjaga sinkronisasi operasi sistem tenaga. Kestabilan pada sistem tenaga listrik merupakan masalah yang sangat penting dalam penyediaan daya kepada konsumen. Masalah kestabilan yang sering terjadi disini adalah masalah beban lebih, berkurangnya pasokan daya reaktif yang pada akhirnya akan menempatkan sistem pada kondisi *voltage collapse* dan akan terjadi kemungkinan terburuk terjadinya *blackout*. Kestabilan tegangan biasanya termasuk saat terjadi gangguan besar (termasuk kenaikan beban / transfer daya yang sangat besar). Tegangan akan mengalami osilasi, dan terjadi ketidakstabilan sistem kontrol. Ketidakstabilan ini bisa terjadi akibat nilai gain pada statik var kompensator yang terlalu besar, atau deadband pada tegangan yang mengatur *shunt capacitor bank* yang terlalu kecil. Maka dibutuhkan suatu *voltage security*, yaitu kemampuan sistem, tidak hanya untuk beroperasi

secara stabil, tetapi juga stabil saat kondisi terburuk atau saat terjadi kenaikan beban.

Stabilitas sistem tenaga telah menjadi perhatian utama dalam sebuah sistem operasi. Perhatian itu muncul dari fakta bahwa pada kondisi keadaan mantap (*steady-state*), kecepatan rata-rata untuk semua generator harus sama. Kondisi tersebut dinamakan pada operasi sinkron dari sebuah sistem yang terinterkoneksi. Gangguan kecil atau besar pada sistem tenaga berdampak pada operasi sinkron. Sebagai contoh, kenaikan atau ketrurunan tiba-tiba pada beban , atau akibat rugi pembangkitan menjadi salah satu jenis gangguan yang berpengaruh sangat signifikan terhadap sistem. Jenis lain dari gangguan adalah jaring transmisi yang terputus, beban lebih, atau hubung singkat. Dengan demikian diharapkan stabilitas sistem akan menuju ke keadaan mantap dalam waktu singkat setelah gangguan menghilang.

Gangguan dapat dibagi menjadi 2 kategori, yaitu gangguan kecil dan gangguan besar. Gangguan kecil merupakan satu dari elemen sistem dinamik yang dapat dianalisis menggunakan persamaan linear (analisis sinyal kecil). Gangguan kecil yang terjadi berupa perubahan beban pada sisi beban atau pembangkit secara acak, pelan, dan jatuh bertingkat. Jatuh (*trip*) yang dialami oleh jaring tenaga listrik dianggap sebagai gangguan kecil jika pengaruhnya terhadap aliran daya sebelum gangguan pada jaring itu tidak signifikan. Bagaimanapun juga, gangguan yang menghasilkan kejutan tiba-tiba pada tegangan bus adalah jenis gangguan

besar yang harus dihilangkan secepatnya. Jika tidak dihilangkan secepatnya, gangguan itu akan sangat mempengaruhi

kestabilan sistem. Tidak hanya besar gangguan, waktu gangguan juga berpengaruh terhadap kestabilan sistem seperti contohnya yaitu :

1. **Gangguan Kecil**

Merupakan satu dari elemen sistem dinamik yang dapat dianalisis menggunakan persamaan linear (Analisis sinyal kecil). Gangguan kecil yang terjadi berupa perubahan beban pada sisi beban atau pembangkit secara acak, pelan dan bertingkat. Jatuh (trip) yang dialami oleh jaring tenaga listrik dianggap sebagai gangguan kecil jika pengaruhnya terhadap aliran daya sebelum gangguan pada aliran itu tidak signifikan.

2. **Gangguan Besar**

Gangguan ini bersifat mendadak, yakni gangguan yang menghasilkan kejutan tegangan tiba tiba pada tegangan bus. Gangguan besar ini harus secepatnya dihilangkan, jika tidak dihilangkan secepatnya, gangguan tersebut sangat mempengaruhi kestabilan sistem. Tidak hanya gangguan, waktu gangguan juga berpengaruh terhadap kestabilan sistem.

Meskipun kestabilan sebuah sistem dapat dilihat secara menyeluruh dan meluas, tetapi untuk tujuan analisis suatu sistem, maka

2.2 Stabilitas sistem Tenaga Listrik

1 Stabilitas *Steady State*

Adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi antara mesin mesin dalam sistem, setelah

mengalami gangguan kecil. Analisis stabilitas *steady-state* menggunakan pendekatan model linear. Stabilitas *steady-state* pada sistem tenaga dapat disebut sebagai kestabilan sinyal kecil (*small signal stability*). Stabilitas *steady state* merupakan sebuah fungsi dari kondisi operasi.

stabilitas *steady state* juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap menjaga sinkronisasi diantara mesin dalam sistem dan saluran external apabila terjadi perubahan beban baik secara normal ataupun lambat. Stabilitas *steady state* bergantung kepada batas-batas transmisi dan kapasitas pembangkitan dan efektifitas perangkat kontrol otomatis, terutama untuk regulasi tegangan automatis (*AVR*) pada generator. Pernyataan diatas juga berlaku untuk kestabilan *transient* dan dinamik.

Apabila beban pada generator meningkat maka, rotasi rotor akan melambat, dan sebaliknya, akan semakin cepat apabila beban menurun. Pada kondisi normal, perubahan sudut rotor akan sedikit mengalami "*overshoot*", yaitu akan sedikit lebih lambat atau lebih cepat. Pada kondisi stabil maka osilasi akan tetap terjadi sampai akhirnya berada pada posisi tertentu untuk kondisi beban yang baru. Apabila rotor berada pada kondisi tetap yang hanya terjadi dalam waktu yang cepat, maka mesin dapat dikatakan dalam keadaan stabil, dan osilasi dikatakan memiliki damping yang baik.

Swing pada kondisi yang telah dijelaskan tersebut biasanya terlalu cepat untuk direspon oleh *governor* pada mesin. Bagaimanapun juga,

sistem eksitasi generator yang cepat beraksi (eksiter dan regulasi tegangan pada generator) akan peka terhadap perubahan tegangan yang menyebabkan osilasi sudut rotor dan memperkuat atau memperlemah medan generator, sehingga mempengaruhi kecepatan mesin untuk mencapai kondisi operasi yang stabil. Kondisi yang telah dijabarkan diatas akan selalu ada pada sistem tenaga listrik karena beban yang ada akan selalu bertambah dan ada pula yang hilang, dan semua generator yang terinterkoneksi harus selalu menyesuaikan energi input, sudut rotor, dan eksitasi agar sesuai dengan kondisi pada saat itu juga.

2. Stabilitas Transien

Adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi setelah megalami gangguan besar yang bersifat mendadak selama sekitar satu “swing” (yang pertama) dengan asumsi bahwa pengatur tegangan otomatis (AVR) dan governor belum bekerja. Analisis Stabilitas transien menggunakan pendekatan model non linear. Stabilitas transien merupakan fungsi dari kondisi operasi dan gangguan.

Kestabilan transien juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mencapai kondisi stabil operasi baru yang dapat diterima setelah sistem mengalami gangguan besar. Analisis kestabilan transien menggunakan pendekatan model nonlinear. Kestabilan transien pada sistem tenaga adalah respon output yang mencapai kondisi operasi steady state yang diizinkan dan sistem yang dapat kembali ke posisi

semula pada saat sistem mengalami gangguan. Kestabilan transien merupakan fungsi dari kondisi operasi dan gangguan. Situasi yang lebih hebat akan terjadi bila pembangkitan atau beban besar hilang dari sistem atau terjadi gangguan pada saluran tranmisi. Pada kasus semacam itu stabilitas *transient* harus cukup kuat untuk mempertahankan diri terhadap kejutan (*shock*) atau perubahan beban yang relatif besar yang terjadi. Stabilitas *transient* adalah kemampuan sistem untuk tetap pada kondisi sinkron (sebelum terjadi aksi dari kontrol *governor*) yang mengikuti gangguan pada sistem.

Setelah hilangnya pembangkitan atau beban besar secara tiba-tiba, keseimbangan antara energi input dan output elektris pada sistem akan hilang. Jika energi input tidak lagi mencukupi, inersia rotor mesin yang masih bekerja, pada periode yang singkat akan melambat. Apabila beban hilang maka energi input pada sistem akan melebihi beban elektris, dan mesin akan bergerak semakin cepat.

Bermacam-macam faktor mempengaruhi stabilitas sistem, seperti kekuatan pada jaringan transmisi didalam sistem dan saluran pada sistem yang berdekatan, karaktristik pada unit pembangkitan, termasuk inersia pada bagian yang berputar, dan properti elektris seperti reaktansi *transient* dan karakteristik saturasi magnetik pada besi stator dan rotor. Faktor penting lainnya adalah kecepatan dimana saluran atau perlengkapan yang terjadi gangguan dapat diputus (*disconnect*) dan, dengan *reclosing* otomatis pada saluran transmisi, yang menentukan

seberapa cepat saluran dapat beroperasi lagi. Sebagaimana pada stabilitas *steady-state*, kecepatan respon pada sistem eksitasi generator merupakan faktor yang penting dalam mempertahankan stabilitas *transient*. Gangguan pada sistem biasanya diikuti oleh perubahan tegangan yang cepat pada sistem, dan pemulihan kembali tegangan dengan cepat menuju ke kondisi normal merupakan hal yang penting dalam mempertahankan stabilitas.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, stabilitas *transient* adalah kemampuan untuk tetap pada kondisi sinkron selama periode terjadinya gangguan dan sebelum adanya reaksi dari *governor*. Pada umumnya ayunan pertama pada rotor mesin akan terjadi selama satu detik setelah gangguan, tetapi waktu yang sebenarnya bergantung pada karakteristik mesin dan sistem transmisi. Setelah periode ini, *governor* akan mulai bereaksi, biasanya sekitar 4 hingga 5 detik, dan stabilitas dinamis akan efektif.

Selama periode peralihan, tegangan terminal, sudut rotor dan frekuensi akan berubah. Besarnya tegangan kumparan medan akan dipengaruhi oleh:

1. Arus induksi pada kumparan peredam (*damper winding*) selama terjadinya perubahan nilai arus pada kumparan jangkar. Konstanta waktu terjadinya arus ini berkisar antara 0.1 detik dan disebut “efek *subtransient*”.

2. Arus induksi pada kumparan medan selama terjadinya perubahan mendadak pada arus kumparan jangkar. Kostanta waktu untuk periode ini berkisar 2 detik dan disebut sebagai “efek *transient*”.

Telaah kestabilan peralihan bertujuan untuk menentukan apakah sistem tadi akan tetap dalam keadaan serempak setelah terjadinya gangguan berat, misalnya gangguan sistem transmisi, perubahan beban yang mendadak, terputusnya unit pembangkit, atau pemutaran saklar (*switching*) saluran. Telaah semacam ini telah dimulai lebih dari 50 tahun yang lalu, tetapi pada saat itu hanya terbatas pada pada pembahasan masalah dinamis yang menyangkut tidak lebih dari dua buah mesin. Sistem daya masa kini jauh lebih luas, ditambah dengan sistem interkoneksi yang rumit dan melibatkan banyak mesin.

Masalah kestabilan peralihan menyangkut gangguan besar yang tidak lagi memungkinkan proses kelinieran, sehingga persamaan tidak linier differensial dan aljabar harus diselesaikan dengan metode langsung atau dengan prosedur literasi. Masalah kestabilan peralihan dapat lebih lanjut dibagi kedalam kestabilan ayunan pertama (*first-swing*) dan ayunan majemuk (*multiswing*). Kestabilan ayunan pertama didasarkan pada model generator yang cukup sederhana tanpa memasukkan sistem pengaturannya. Biasanya periode waktu yang diselidiki adalah detik pertama setelah timbulnya gangguan pada sistem. Bila mesin dikatakan berada dalam kondisi serempak sebelum berakhirnya detik pertama, maka kita katakan sistem ini stabil. Masalah kestabilan ayunan majemuk

mencakup periode telaah yang lebih lama, dan karenanya harus mempertimbangkan juga pengaruh sistem pengaturan generator terhadap kinerja mesin didalam periode waktu yang cukup lama. Model – model mesin dengan perincian yang lebih tinggi harus dibuat untuk menggambarkan kinerjanya dengan tepat.

2.3 PID (*Proportional-Integral-Derivative Controller)*

PID (dari singkatan bahasa *(Proportional-Integral-Derivative Controller*) merupakan controller untuk menentukan presisi suatu system instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada system tersebut. Komponen control PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketinganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Kepopuleran PID sebagai komponen kontrol proses dilatar belakangi terutama oleh kesederhanaan struktur, serta kemudahan dalam melakukan tuning parameter kontrolnya. Pada tingkat pengoperasian, seorang operator tidak dituntut untuk menguasai pengetahuan matematika yang relative rumit, melainkan hanya dibutuhkan pengalaman lapangan serta sedikit pengetahuan teori kontrol dasar saja. Selain sederhana, kepopuleran PID disebabkan juga oleh alasan histories. Dalam hal ini, PID telah diterapkan di industri secara luas jauh sebelum era digital berkembang, yaitu dimulai sekitar tahun 1930-an, dimana saat itu strategi kontrol PID diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog, bahkan banyak diantaranya direalisasikan dengan

menggunakan komponen mekanis dan pneumatis murni.Seiring dengan perkembangan teknologi digital dan solid state, dewasa ini produk PID komersil muncul di pasaran dalam beragam model dan bentuk, yaitu dari sekedar modul jenis special purpose process controller(seperti Temperature Controler, Pressure Controller, dan sebagainya) sampai modul kontrol jenis general purpose process controller atau yang lebih dikenal dengan nama DCS (Distributed Control System). Bahkan perkembangan terakhir, modul PID ini juga umum dijumpai dalam bentuk modul independen pada sistem PLC (Programmable Logic Controller) Walaupun peranannya begitu besar dalam menentukan keberhasilan operasi proses industri, tetapi patut disayangkan sampai saat ini sangat jarang buku berbahasa indonesia yang secara khusus membahas kontrol PID dan implementasinya pada kontrol proses industri. Lebih dari setengah abad, PID telah menjadi tulang punggung keberhasilan pengontrolan beragam variabel proses industri. Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang bergerak dalam bidang proses. Menurut sebuah survey dinyatakan bahwa 97 % industri yang bergerak dalam bidang tersebut menggunakan PID dalam pengontrolannya. Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal, diantaranya:

1. Kesederhanaan struktur kontrol: Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan

(tuning), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitive mudah dipahamioleh operator.

2. Kontrol PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang (yaitu sekitar tahun 1930-an).

3. Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjukkerja relative memuaskan, baik digunakan sebagai sistem Regulator (sistem kontrol dengan Setpoint konstan dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sebagai sistem Servo (sistem kontrol dengan Setpoint yang berubah dan beban cenderung konstan).

Pada awal penggunaannya, strategi kontrol PID untuk tujuan kontrol proses industri umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog, bahkan banyak diantaranya direalisasikan dengan menggunakan komponen mekanis dan pneumatis murni. Seiring dengan perkembangan dunia digital (terutama microprocessor), dewasa ini PID dapat dijumpai dalam berbagai bentuk modul komersil, yaitu mulai dari sekedar modul PID untuk pengontrolan satu jenis variabel proses tertentu saja (special purpose process controller), sampai modul PID untuk tujuan pengontrolan beragam variabel proses (general purporse process controller) atau lebih dikenal dengan nama populer DCS- Distributed Control System, Bahkan perkembangan terakhir, kontrol PID juga telah banyak ditanamkan pada sistem PLC - P rogrammable Logic Controller.

1. **Karakteristik Tanggapan model proses FOPDT Terhadap Kontrol Umpan Balik Relay.**

Berdasarkan karakteristik prosesnya, penggunaan metode kontrol relay untuk proses FOPDT pada titik kerjanya secara praktis akan selalu menghasilkan osilasi output yang seimbang disekitar Setpoint yang diberikan. Walaupun proses ini pada kenyataannya banyak melibatkan ketidaklinearan, tetapi untuk memudahkan analisis, disini dianggap model proses bersifat linear untuk seluruh daerah kerjanya (jangkauan sinyal kontrol antara 0%-100%), sehingga dengan demikian variabel input-output yang muncul pada model matematis sistem Heat Exchanger dapat langsung direpresentasikan dalam bentuk variabel nominalnya (bukan variabel deviasi).

Jika temperature fluida output tersebut akan dikontrol dengan menggunakan prinsip umpan balik relay, maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari terlebih dulu sinyal kontrol bias (CObiasinCOΘ+=Θ.6.0) sedemikian sehingga nilai temperature fluida outputberada disekitar nilai terharapnya (SP). Besar sinyal kontrol bias yang harus diseting untuk sebuah Setpoint tertentu pada dasarnya dapat dicari dengan memecahkan persamaan 3.4 pada keadaan steady-nya:(lihat kembali Bab 1) Misal jika temperature fluida output (Θ) akan diregulasi pada nilai terharap 40 o)(inΘC, dimana temperature fluida inputbernilai 25 o251.6.040xCOx+=C, maka besar sinyal kontrol (CO) yang diperlukan:%256.02540=−=CONilai yang didapat tersebut

selanjutnya dijadikan sinyal bias (CObias) pada sistem kontrol umpan balik relay. Tetapi jika dalam praktek, model matematis proses tidak diketahui secara pasti, maka operator terlebih dulu harus membawa output proses pada titik kerja secara manual (open loop). Setelah output proses menetap pada nilai terharapnya, langkah selanjutnya adalah mengubah mode kontroler menjadi mode Auto (closed loop). Dengan asumsi kontroler yang digunakan memiliki kemampuan bumpless transfer, maka secara otomatis COmanualtersebut oleh kontroler akan disalin menjadi CObias. Pada sisi lain, agar output proses benar-benar berosilasi di daerah kerjanya secara seimbang, maka pada peralihan mode dari Manual ke Auto (mode kontrol relay), kontroler juga harus memiliki kemampuan menyalin nilai PVmenjadi SP. Gambar 3.9 memperlihatkan hubungan output kontroler dengan temperature fluida output hasil simulasi sistem Heat Exchanger untuk nilai SP = 40 oC dengan magnitude relay A sebesar 10% dan temperature fluida input bernilai 25 oC.

2.4 Kestabilan Frekuensi

Pada sistem tenaga listrik, frekuensi merupakan indikator dari keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan total beban sistem. Frekuensi sistem akan turun bila terjadi kekurangan pembangkitan atau kelebihan beban. Penurunan frekuensi yang besar dapat mengakibatkan kegagalan pada unit-unit pembangkitan secara beruntun yang menyebabkan kegagalan sistem secara total. Pelepasan sebagian beban secara otomatis dengan menggunakan UFR (Under Frekuensi Relay) dapat mencegah penurunan frekuensi dan mengembalikannya ke kondisi frekuensi yang normal. Dengan semakin berkembangnya sistem tenaga listrik dan dengan adanya pembangkit-pembangkit baru yang masuk dalam sistem interkoneksi, maka penyetelan relay frekuensi sudah perlu ditinjau kembali. Dapat dilihat pada Gambar 2.4 blok diagram governor untuk pengaturan frekuensi.

2.5 Fuzzy Logic Controller

Perbedaan mendasar antara logika fuzzy dengan logika konvensional terletak pada harga kebenaran. Pada logika konvensional harga kebenaran berharga mutlak “nol/tidak/salah” atau “satu/ya/benar”, sedangkan pada logika fuzzy harga kebenaran diberikan dalam terminology linguistik dengan menyatakan predikat ketidak-jelasan (fuzziness) pada proporsinya. Logika fuzzy dikembangkan dari logika konvensional, pada logika fuzzy terdapat level-level logika antara 0 dan 1

yang menyatakan ke-fuzzi-an logika antara salah dan benar. Dengan kata lain, kebenaran logika fuzzy terletak pada suatu interval.

Bila dibandingkan dengan logika konvensional, kelebihan logika *fuzzy* adalah kemampuannya dalam proses penalaran secara bahasa sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaaan matematik yang rumit. .Himpunan *fuzzy* adalah suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy.*

Untuk pengaturan supply, agar tetap stabil dan tetap bersesuaian dengan keperluan tenaga listrik pada generator terdapat mata alat yaitu Governor. Lebih dari fungsi ini governor juga dapat digambarkan sebagai alat komunikasi antara mesin diesel dengan energi listrik yang dihasilkan. governor merupakan alat pengendali yang berfungsi untuk menstabilkan torsi mekanik yang merupakan input generator. Apabila terjadi perubahan putaran, governor akan berfungsi sebagai umpan balik untuk mencapai keseimbangan baru. Perubahan kebutuhan daya listrik di sisi beban dapat menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi. Fundament Kecepatan Governor Fungsi dasar dari governor adalah sebagai kontrol kecepatan dan/atau beban. Fungsi kontrol frekuensi/beban primer invalve sebagai umpan balik (feed back) error kecepatan (speed error), pada kontrol posisi valve/gate di dalam urutan untuk menjamin kepuasan dan stabilitas operasi parallel multi unit. Penyediaan karakteristik droop untuk kecepatan governor dengan maksud droop memastikan pembagian beban antara unit generator. Adapun Logika fuzzy pertama kali dikembangkan oleh Lotfi

A. Zadeh pada tahun 1965. Teori ini banyak diterapkan di berbagai bidang, antara lain representasi pikiran manusia ke dalam suatu system, banyak alasan mengapa penggunaan logika fuzzy ini sering dipergunakan antara lain, konsep logika fuzzy yang mirip dengan konsep berfikir manusia. System fuzzy dapat merepresentasikan pengetahuan manusia ke dalam bentuk matematis dengan lebih menyerupai cara berfikir manusia, pengontrolan dengan logika fuzzy mempunyai kelebihan yaitu dapat mengontrol system yang kompleks, non-linear, atau system yang sulit di representasikan ke dalam bentuk matematis, selain itu informasi berupa pengetahuan dan pengalaman mempunyai peranan penting dalam mengenali perilaku system di dunia nyata. Logika fuzzy juga memiliki himpunan fuzzy yang mana pada dasarnya, teori himpunan fuzzy merupakan perluasan dari teori himpunan klasik. Dimana dengan logika fuzzy, hasil yang keluar tidak akan selalu konstan dengan input yang ada, cara kerja logika fuzzy secara garis besar terdiri dari input, proses dan output, logika fuzzy merupakan suatu teori himpunan logika yang di kembangkan untuk mengatasi konsep nilai yang terdapat diantara kebanaran (truth) dan kesalahan (false). Dengan menggunakan fuzzy logic nilai yang dihasilkan bukan hanya ya (1) atau tidak (0) tetapi seluruh kemungkinan diantara 0 dan 1.

Dasar logika fuzzy 2.4.1 fungsi ke anggotaan (Membership Function) funsi ke anggotaan merupakan suatu karya yang menunjukkan pemataan titik-titik input data ke dalam nilai ke anggotaanya (disebut juga

dengan derajat ke anggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai. Untuk mendapatkan nilai ke anggotaan dapat menggunakan cara pendekatan fungsi, Ada beberapa fungsi ke anggotaan yang digunakan dalam teori himpunan fuzzy adalah: Representasi linear pada representasi linear, pemetaan input ke derajat ke anggotaanya di gambarkan sebagai suatu garis lurus, bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas, ada 2 keadaan himpunan fuzzy yang linear, pertama, kenaikan himpunan di mulai pada nilai domain yang memiliki derajat ke anggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat ke anggotaan lebih tinggi.

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output, Dimana dengan logika fuzzy, hasil yang keluar tidak akan selalu konstan dengan input yang ada. Cara kerja logika fuzzy secara garis besar terdiri dari input, proses dan output.

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar yang artinya suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan, Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output dan mempunyai nilai kontiniu.

Bentuk dari logika fuzzy, logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy Himpunan yang mengkalibrasi ketidakjelasan. Logika fuzzy didasarkan pada gagasan bahwa segala sesuatu mempunyai nilai derajat. Logika fuzzy merupakan peningkatan dari logika Boolean yang mengenalkan konsep kebenaran sebagian

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Dalam melakukan penelitian kestabilan small signal stability menggunakan fuzzy logic controller pada sistem, di lakukan dengan tiga bagian yang pertama yaitu No Controller, PID Controller dan Fuzzy Logic Controller, dimana perbedaan diantara ketiganya terlihat jelas dari proses komputasi pengolahan data pada Simulink Library yang telah terintegrasi pada perangkat lunak Matrix Laboratory (MATLAB). Studi kasus yang diangkat yaitu Untuk mengetahui small signal stability menggunakan Fuzzy Logic pada gangguan-gangguan kecil yang terjadi pada sistem pembangkit dan untuk mengetahui osilasi elektromekanik apa yang akan terjadi jika tidak diredam dengan baik, menggunkana Fuzzy Logic Controller. dimana sistem FLC (*Fuzzy Logic Controller*) sangat berpengaruh pada gangguan-gangguan yang terjadi pada pembangkit. dan aplikasi metode FLC (*Fuzzy Logic Controller*) yang didesain bertujuan untuk meningkatkan performansi kestabilan frekuensi dan tegangan pada sistem tenaga listrik. FLC (*Fuzzy Logic Controller*) memiliki kelebihan yaitu tidak memerlukan pemodelan sistem, sehingga sangat sesuai untuk mengatasi masalah sistem yang komplek. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa aplikasi metode tersebut sangat berpengaruh positif pada output sistem, yaitu dapat meredam deviasi frekuensi pada saat mengalami perubahan beban yang variatif dalam waktu yang lebih singkat

untuk mencapai kestabilan Adapun data yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PT.PLN (Persero) Wilayah Sulselbar khususnya data yang berhubungan dengan penelitian ini.

- Single line diagram sistem Sulselbar
- Data-data generator sistem Sulselbar
- Data-data beban sistem Sulselbar
- Data-data impedansi saluran transmisi sistem Sulselbar
- Data-data bus sistem Sulselbar

3.2 Lokasi Penelitian

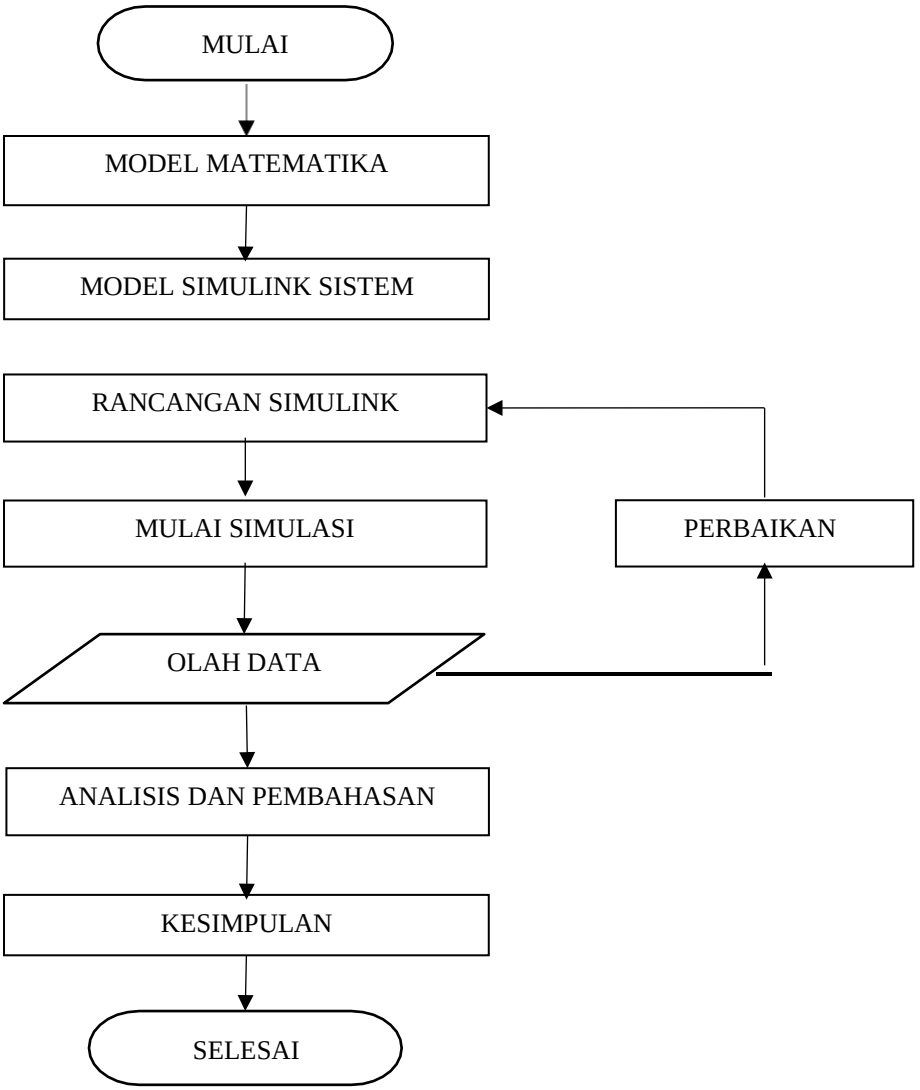
Penelitian tugas akhir ini akan dilaksanakan di PT.PLN (Persero) Wilayah Sulselbar yang berlokasi di jalan jend. Hertasning Makassar, Sulawesi Selatan dan di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang berlokasi di Jl. Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Gowa.

3.3 Waktu Penelitian

Pelekasanaan peneltian tugas akhir ini akan dimulai pada bulan Desember 20

3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dalam diagram alir (*flowchart*) di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Perencanaan Simulasi

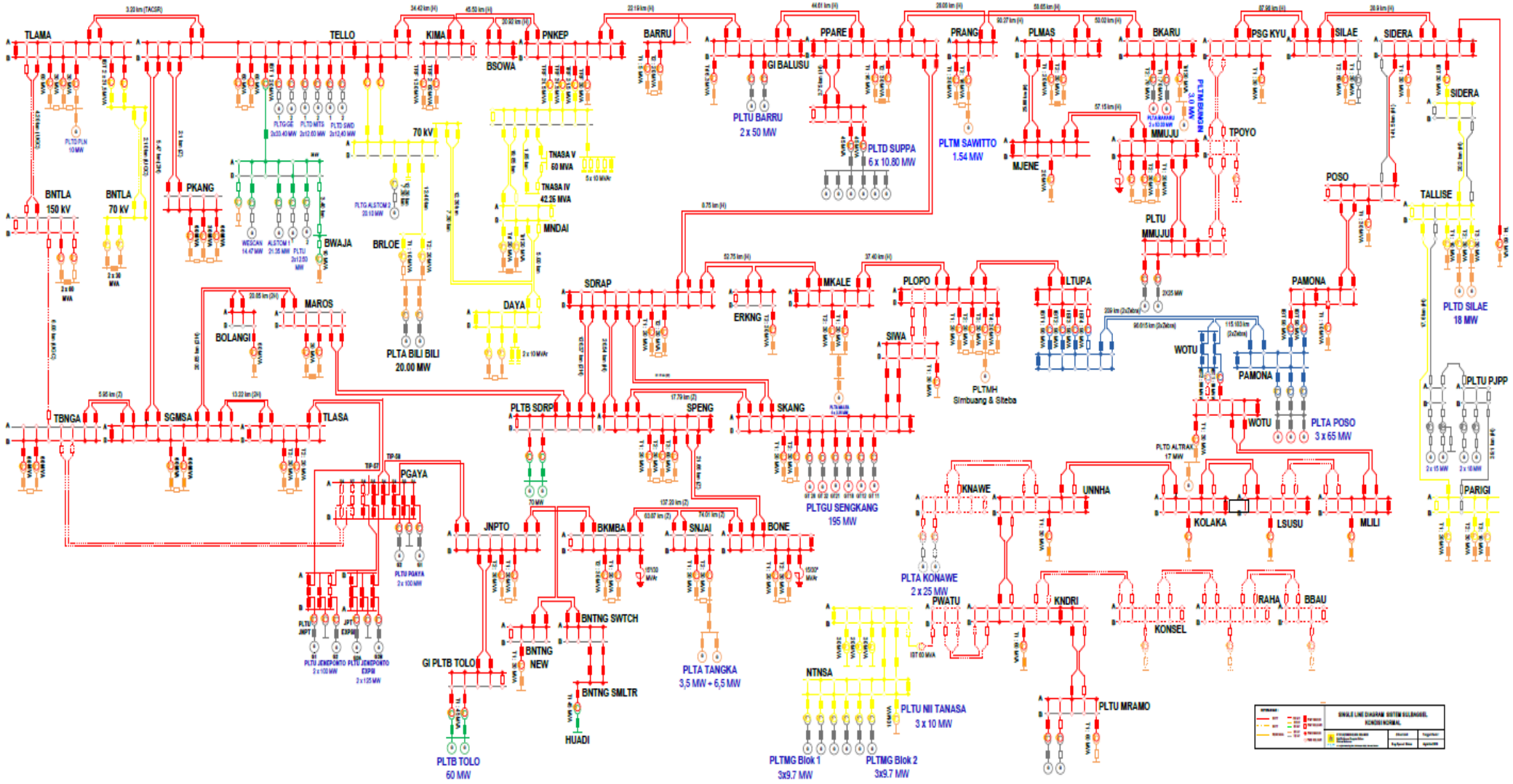
Perencanaan simulasi dilakukan dengan perbandingan dengan tanpa kontrol dan penambahan kontrol berupa PID dan Fuzzy Logic Controller yang di pasang pada sistem. Sebagai perbandingan, penempatan PID dan Fuzzy Logic Controller yang di tempatkan pada generator dengan perubahan beban yang sama untuk melihat titik optimal dari pemasangan PID dan Fuzzy Logic Controller dalam meredam osilasi yang timbul akibat gangguan kecil.

A. Simulasi pada kondisi saat terjadi gangguan sebelum pemasangan control pada sistem tenaga.
B. Simulasi pada kondisi saat terjadi gangguan setelah pemasangan PID pada sistem tenaga.
C. Simulasi pada kondisi saat terjadi gangguan setelah pemasangan Fuzzy Logic Controller pada sistem tenaga.

3.6 Data Kelistrikan Sistem Sulselbar

Studi yang mencakup sistem kelistrikan interkoneksi Sulawesi Selatan dibutuhkan data-data real system kelistrikan Sulselbar. Dalam simulasi tugas akhir ini dibuat terlebih dahulu *Single Line Diagram* Sistem Sulselbar. Artinya untuk memulai membuat simulasi dibutuhkan data *Single Line Diagram* system Sulselbar yang dapat di lihat pada Gambar 3.2. selain itu, untuk lebih mudah melihat nama-nama generator yang dipakai di simulasi ini, di buat data Transformator distribusi dan IBT yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. selain data Transformator distribusi dan IBT

terdapat juga penomoran generator yang dapat dilihat pada Tabel 3.2. data impedansi saluran transmisi yang dapat dilihat pada Tabel 3.3. serta data pembebanan dan pembangkit pada Tabel 3.4.



Gambar 3.2 *Single Line* Diagram sistem Sulselbar

Tabel 3.1. Data-Data Transformator Distribusi dan IBT Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat

PT PLN (Persero) UIKL Sulawesi
Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar
PLN

Data Data Transformator Distribusi dan IBT
Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat Update 2018

NO	UNIT	GARDU INDUK	Trafo	Tegangan Kerja	Daya (MVA)	Reaktansi (MVA_{nom}) $U_s = X$ (%)	DATA INPUT BASE 100 MVA		Pabrikan	Type	Data 2018		tahun	OLTC			K
							REAKTANSI X_{power} (p.u)	REAKTANSI X_{power} (ohm)			Vektor Group	R_{nom} (ohm) V_p / V_s	Operasi	Merk	Type	Tahun	Merk
1.	ULTG Panakkukang	Gi. Panakkukang	Distribusi 1	150/20	30	12,500	0,4167	93,75	GEC. Alsthom		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	V III 200 Y 76 10181 G	2003	
2.	ULTG Panakkukang	Gi. Panakkukang	Distribusi 2	150/20	60	13,282	0,2214	49,81	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	MS111300 Y-72,5 +ED100S		
3.	ULTG Panakkukang	Gi. Panakkukang	Distribusi 3	150/20	60	12,089	0,2015	45,33	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VMIII300Y-72,5/B-10193W	2016	
4.	ULTG Panakkukang	Gi. Borongloe	Distribusi 1	69/20	10	9,130	0,9130	44,74	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40					
5.	ULTG Panakkukang	Gi. Borongloe	Distribusi 2	69/20	20	11,900	0,5950	29,16	Takaoka		Yyn6 (d)	Float/40		TAKAOKA	VII 70 C	1976	
6.	ULTG Panakkukang	Gi. Barawaja	Distribusi 1	30/20	10	10,000	1,0000	9,00	Trafindo		YNyn0(d1)	Float/solid					
7.	ULTG Panakkukang	Gi. Sungguminasa	Distribusi 1	150/20	60	13,200	0,2200	49,50	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40		MR		1997	
8.	ULTG Panakkukang	Gi. Sungguminasa	Distribusi 2	150/20	60	12,088	0,2015	45,33	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VMIII300Y-72,5/B-10193W	2016	
9.	ULTG Panakkukang	Gi. Tallo Lama	IBT 1	150/69	31,5	13,100	0,4159	93,57	AICHI		YNyn0(d1)	solid / 200		ELIN	EL2-55-18	1991	
10.	ULTG Panakkukang	Gi. Tallo Lama	IBT 2	150/69	31,5	13,100	0,4159	93,57	AICHI		YNyn0(d1)	Solid/float		ELIN	EL2-55-18	1991	
11.	ULTG Panakkukang	Gi. Tallo Lama	Distribusi 1	150/20	30	12,730	0,4243	95,48	PASTI		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	MS III Y 300/060/B	1992	
12.	ULTG Panakkukang	Gi. Tallo Lama	Distribusi 2	150/20	30	12,730	0,4243	95,48	PASTI		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	MS III Y 300/72,5	1995	
13.	ULTG Panakkukang	Gi. Tallo Lama	Distribusi 3	150/20	60	12,500	0,2083	46,88	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VVIII400Y-76-10193G	2012	
14.	ULTG Panakkukang	Gi. Bontoala	Distribusi 1	69/20/7	20	12,000	0,6000	29,40	Takaoka		Yy6(d5)	Float/solid		TAKAOKA	WII-700	1976	
15.	ULTG Panakkukang	Gi. Bontoala	Distribusi 2	69/20/7	20	12,000	0,6000	29,40	Takaoka		Yy6(d5)	Float/40		TAKAOKA	WII-700	1976	
16.	ULTG Panakkukang	GIS. Bontoala	Distribusi 1	150/20	60	12,500	0,2083	46,88	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VVIII400Y-76-10193G	2012	
17.	ULTG Panakkukang	GIS. Bontoala	Distribusi 2	150/20	60	12,076	0,2013	45,29	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VMIII300Y-72,5/B-10193W	2016	
18.	ULTG Panakkukang	Gi. Tanjung Bunga	Distribusi 1	150/20	60	13,282	0,2214	49,81	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VVIII400Y-76-10193G	2013	
19.	ULTG Panakkukang	Gi. Tanjung Bunga	Distribusi 2	150/20	60	12,500	0,2083	46,88	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	MSIII300Y-72,5/B-10192G	2007	
20.	ULTG Panakkukang	Gi. Tanjung Bunga	Distribusi 3	150/20	60	12,128	0,2021	45,48	Pauwels		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VMIII300Y-72,5/B-10193W	2016	
21.	ULTG Tello	Gi. Tello	IBT 1	150/30	20	11,070	0,5535	124,54	Meidensha		Yd5	solid/float		MEIDEN	LJND 69/350-17P	1982	
22.	ULTG Tello	Gi. Tello	IBT 3	150/69	31,5	13,100	0,4159	93,57	AICHI		YNyn0(d1)	solid/200		AICHI	EL2-550-18	1991	
23.	ULTG Tello	Gi. Tello	IBT 5	150/69	31,5	13,100	0,4159	93,57	Takaoka		YNyn0(d1)	solid/200		TAKAOKA	U2FDT380/300	1996	
24.	ULTG Tello	Gi. Tello	Distribusi 1	150/20	60	12,500	0,2083	46,88	Unindo		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VRCIII400Y-72,5/B-10181WR	2010	
25.	ULTG Tello	Gi. Tello	Distribusi 2	150/20	60	13,250	0,2208	49,69	Alsthom		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VIII350Y-76-101816WR	2011	
26.	ULTG Tello	Gi. Daya	Distribusi 1	69/20	20	11,620	0,5810	28,47	Hyundai		YNyn6D1	Float/40		MR		1998	
27.	ULTG Tello	Gi. Daya	Distribusi 2	69/20	20	11,900	0,5950	29,16	Takaoka		Yyn6 (d)	Float/40		TAKAOKA	VII-700	1976	
28.	ULTG Tello	Gi. Mandai	Distribusi 1	69/20	20	11,620	0,5810	28,47	Unindo		YNyn0(d1)	Float/40		MR	VIIIY200-060-101926	1992	
29.	ULTG Tello	Gi. Mandai	Distribusi 2	69/20	20	11,740	0,5870	28,76	PASTI		YNyn0(d1)	solid / 40		MR		1989	
30.	ULTG Tello	Gi. Pangkep	IBT 1	150/69	31,5	12,440	0,3949	88,86	Hyundai		YNyn0(d1)	solid / 200		MR	MSIIIY300-060/B-10181W	1989	
31.	ULTG Tello	Gi. Pangkep	IBT 2	150/69	31,5	12,440	0,3949	88,86	Hyundai		YNyn0(d1)	solid/float		MR	VIIIY350-76-10181WR	1995	
32.	ULTG Tello	Gi. Pangkep	IBT 3	150/69	31,5	12,440	0,3949	88,86	Hyundai		YNyn0(d1)	solid / 200		MR	MSIIIY300-060/B-10181W	1989	
33.	ULTG Tello	Gi. Pangkep	Distribusi 1	150/20	30	12,500	0,4167	93,75	GEC. Alsthom		YNyn0(d1)	Solid/40		MR		1998	
34.	ULTG Tello	Gi. Pangkep	Distribusi 2	150/20	20	12,330	0,6165	138,71	PASTI		YNyn0(d1)	Solid/40		MR	MSIII300-060/B-10192W	1992	
35.	ULTG Tello	Gi. Maros	Distribusi 2	150/20	30	12,740	0,4247	95,55	Unindo		YNyn0(d1)	Solid/40		MR	VIII200Y-76-10181WR	2009	
36.	ULTG Tello	Gi. Maros	Distribusi 2	150/20	30	12,493	0,4164	93,70	Pauwels		YNyn0(d1)	Solid/40		MR	VMIII300Y-72,5/B-10193W	2016	
37.	ULTG Tello	Gi. Kima	Distribusi 1	150/20	30	12,500	0,4167	93,75	GEC. Alsthom		YNyn0(d1)	solid / 40		MR	VIII200Y-76-10181G	2003	
38.	ULTG Tello	Gi. Kima	Distribusi 2	150/20													
39.	ULTG Pare	Gi. Bakaru	Distribusi 1	150/20	20	12,330	0,6165	138,71	PASTI		YNyn0(d1)	Solid/40		MR	MS IIIY 300 060/B-10192W	1992	xlpe 1992 12/20 kv

Tabel 3.2. Penomoran Generator Sistem Sulselbar

NO ENERATOR	NAMA GENERATOR	KET
1	PLTU Tello	Syn 1
2	PLTU Barru	Syn 2
3	PLTA Teppo (Pinrang)	Syn 3
4	PLTD Suppa	Syn 4
5	PLTA Bakaru	Syn 5
6	PLTD Makale (Torja)	Syn 6
7	PLTD Palopo	Syn 7
8	PLTA Poso	Syn 8
9	PLTGU Sengkang	Syn 9
10	PLTA Bili-Bili	Syn 10
11	PLTD Sgmnsa	Syn 11
12	PLTD Tallasa	Syn 12
13	PLTU Arena (jeneponto)	Syn 13
14	PLTA Tangka manipi sinjai	Syn 14
15	PLTD Agrekko (Tello Lama)	Syn 15

Sumber : ***PT PLN*** *Persero Wilayah Sulselbar*

Tabel 3.3. Data Saluran Trasmisi 2018 Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat.

PT PLN (Persero) UIKL Sulawesi
Unit Pelayanan Transmisi Sulselrabar
PLN

Data Saluran Trasmisi 2018

Di Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat

NO	ULTG		CC	Teg (kV)	Panjang		Jumlah Tower	Tower Joint	Span	Konduktor	Kemampuan Hantar Arus ACSR Amp	Setting OCR	Data Konduktor				Ground Wire			Keterangan
					km	kms							R'	X'	R0'	X0'	Jml Tarikan	Jenis GSW	Jenis OPGW	
1.	ULTG Panakkukang	Tello - Tallo Lama	2	150	6,400	12,80	19			TACSR 330	1129		0,084	0,346	0,262	0,809				CCC : 1.153 A
2.	ULTG Panakkukang	Tello - Sungguminasa	2	150	10,934	21,87	37			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
3.	ULTG Panakkukang	Sungguminasa - Takalar	2	150	26,430	52,86	81			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
4.	ULTG Panakkukang	Tello-Panakukkang	2	150	4,200	8,40	12			ACCC										
5.	ULTG Panakkukang	Sungguminasa - Tanjung Bunga	2	70	11,900	23,80	36			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
6.	ULTG Panakkukang	Tello - Borongloe	1	70	12,400	12,40	52			ACSR 120	409		0,236	0,433	0,268	1,272				
7.	ULTG Panakkukang	Tallo Lama - Bontoala (SKTT)	2	70	4,200	8,40	-			XLPE/Cu 325	533									Kabel Tanah
8.	ULTG Panakkukang	Tello - Barawaja	1	30	3,400	3,40	18			ACSR 120	409		0,236	0,433	0,268	1,272				
9.	ULTG Panakkukang	Sungguminasa - Maros	1	150	41,690	41,69	143			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
10.	ULTG Panakkukang	Tallo Lama - GIS.Bontoala (SKTT)	2	150																Kabel Tanah
11.	ULTG Panakkukang	Sungguminasa - Bolangi	1	150	9,790	9,79				ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
12.	ULTG Panakkukang	Bolangi - Maros	1	150	31,900	31,90				ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
13.	ULTG Tello	Pangkep - Tello	2	150	45,500	91,00	130			ACSR 240	638		0,111	0,350	0,246	0,875				
14.	ULTG Tello	TIP 47 - Bosowa	2	150	4,920	9,84	16			ACSR 240	638		0,111	0,350	0,246	0,875				
15.	ULTG Tello	Pangkep - Tonasa III	2	70	3,700	7,40	15			ACSR 120	409		0,236	0,433	0,268	1,272				
16.	ULTG Tello	Pangkep - Mandai	2	70	39,700	79,40	143			ACCC HELSINKI 160	775		0,263	0,300	0,632	1,560				
17.	ULTG Tello	Mandai - Daya	2	70	5,000	10,00	20			ACCC HELSINKI 160	775		0,263	0,300	0,632	1,560				
18.	ULTG Tello	Daya - Tello	2	70	7,300	14,60	25			ACCC HELSINKI 160	775		0,263	0,300	0,632	1,560				
19.	ULTG Tello	Maros - Sidrap*	1	150	126,370	126,370	184			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
20.	ULTG Tello	Tonasa III-Tonasa V	1	70			3			ACSR 120	409		0,236	0,433	0,268	1,272				
21.	ULTG Pare	Bakaru - HU	2	150			4			ACSR 240	638		0,1170	0,4090	0,3180	1,0770				
22.	ULTG Pare	Bakaru - Tuppu	2	150	22,226	44,45	66			ACSR 240	638		0,1170	0,4090	0,3180	1,0770				
23.	ULTG Pare	Tuppu - Polmas	2	150	27,788	55,58	64			ACSR 240	638		0,1170	0,4090	0,3180	1,0770				
24.	ULTG Pare	Tuppu - Pinrang	2	150	36,421	72,84	102			ACSR 240	638		0,1170	0,4090	0,3180	1,0770				
25.	ULTG Pare	Pinrang - Parepare	2	150	26,057	52,11	78			ACSR 240	638		0,1230	0,4040	0,3130	0,9930				
26.	ULTG Pare	Parepare - Suppa	2	150	7,500	15,00	25			ACSR 240	638		0,1170	0,4090	0,3290	1,0090				
27.	ULTG Pare	Parepare - Balusu	2	150	44,841	89,68	133			ACSR 240	638		0,1230	0,4040	0,2660	0,9230				
28.	ULTG Pare	Barru - Pangkep	2	150	44,376	88,75	122			ACSR 240	638		0,1230	0,4040	0,2660	0,9230				
29.	ULTG Pare	Balusu-Barru	2	150			14			ACSR 240	638		0,1230	0,4040	0,2660	0,9230				
30.	ULTG Sidrap	Parepare - Sidrap	2	150	17,500	35,00	60			ACSR 240	638		0,1220	0,3990	0,2850	1,0280				
31.	ULTG Sidrap	Sidrap - Soppeng	2	150	53,078	106,16	165			ACSR 240	638		0,1210	0,4000	0,2330	0,8610				
32.	ULTG Sidrap	Soppeng - Bone	2	150	43,322	86,64	136			ACSR 240	638		0,1190	0,3860	0,2590	0,9730				
33.	ULTG Sidrap	Soppeng - Sengkang	2	150	35,579	71,16	101			ACSR 400	785		0,0720	0,3720	0,1510	0,5020				
34.	ULTG Sidrap	Sidrap - Makale	2	150	105,500	211,00	308			ACSR 433	918		0,0730	0,3940	0,1890	0,9310				
35.	ULTG Sidrap	Makale - Palopo	2	150	37,400	74,80	114			ACSR 240	638		0,0730	0,3940	0,1890	0,9310				
36.	ULTG Sidrap	Sengkang - Sidrap	2	150	62,330	124,66	179			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
37.	ULTG Sidrap	Maros - PLTB Sidrap	2	150	118,990	237,980	146			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
38.	ULTG Sidrap	PLTB Sidrap - Sidrap	2	150	13,000	26,000	39			ACSR 2x435	1836		0,0345	0,2875	0,2371	1,2176				
39.	ULTG Sidrap	Sidrap - Enrekang	1	150	53,000	53,000				ACSR 433			0,0730	0,3940	0,1890	0,9310				
40.	ULTG Sidrap	Enrekang - Makale	1	150	54,800	54,800				ACSR 433			0,0730	0,3940	0,1890	0,9310				
41.	ULTG Sidrap	Sengkang - Siwa	2	150	66,520	133,040	193			Hawk 2x240	1276									
42.	ULTG Sidrap	Siwa palopo	2	150	89,711	179,42	259			Hawk 2x240	1276									
43.	ULTG Sidrap	Latuppa - Poso	1	275	212,000	212,000				2xZebra										Milik Poso
44.	ULTG Sidrap	Latuppa - Wotu	1	275	97,000	97,000				2xZebra										Milik Poso
45.	ULTG Sidrap	Wotu - Poso	1	275	115,000	115,000				2xZebra										Milik Poso
46.	ULTG Sidrap	Wotu - Mailli	2	150	46,545	93,090				Hawk 2x240	1276									Belum Operasi
47.	ULTG Sidrap	Mailli - Lasusua	2	150	118,797	237,594				Hawk 2x240	1276									Belum Operasi
48.	ULTG Bulukumba	Bone-Bulukumba	1	150	137,200	137,20				ACSR 240	638		0,1220	0,4080	0,2580	0,9330				
49.	ULTG Bulukumba	Bone - Sinjai	1	150	74,006	74,01	391			ACSR 240	638		0,1160	0,3910	0,2860	0,9150				
50.	ULTG Bulukumba	Sinjai - Bulukumba	1	150	63,866	63,87				ACSR 240	638		0,1340	0,4400	0,3170	1,0890				
51.	ULTG Bulukumba	Bulukumba-Jeneponto	2	150	46,400	92,80	136			ACSR 240	638		0,1340	0,4400	0,3170	1,0890				

Tabel 3.4. Data Pembebanan dan Pembangkit Sistem Sulselbar

21	Barangloe/bili bili	0.94	0.0	11.4	0.0	5.2	0.2	200	50
22	Mandai	1.00	0.0	24.3	2.6	0.0	0.0	0	0
23	Daya	0.98	0.0	24.5	2.8	0.0	0.0	0	0
24	Tello 30	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
25	Barawaja	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
26	Tello Lama	0.97	0.0	19.7	4.7	12.6	0.0	150	50
27	Tello Lama 70	0.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
28	Bontoala	1.00	0.0	26.5	7.7	0.0	0.0	0	0
29	Sungguminasa	0.98	0.0	15.7	3.6	20.0	5.9	150	50
30	Tanjung Bunga	1.00	0.0	55.2	16.7	0.0	0.0	0	0
31	Tallasa	0.99	0.0	20.6	4.7	79.0	39.1	150	50
32	Maros	1.00	0.0	18.6	5.5	0.0	0.0	0	0
33	Pgaya	1.00	0.0	0.0	0.0	196.1	38.6	300	80
34	Jeneponto	1.00	0.0	17.4	3.4	0.0	0.0	0	0
35	Bulukumba	1.00	0.0	27.1	6.5	0.0	0.0	0	0
36	Sinjai	1.00	0.0	21.9	4.6	4.0	0.5	200	50
37	Bone	1.00	0.0	32.1	8.2	0.0	0.0	0	0
38	Makale	1.02	0.0	11.9	1.5	8.2	2.1	200	50
39	Palopo	1.00	0.0	49.2	0.0	4.0	2.0	120	50
40	Ltupa 275	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
41	PLTA Poso	1.00	0.0	0.0	0.0	195.0	27.2	300	50
42	Pamona 275	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0
43	Pamona 150	1.00	0.0	4.9	0.5	0.0	0.0	0	0
44	Poso	1.00	0.0	11.0	1.8	0.0	0.0	0	0

Sumber : ***PT PLN*** *Persero Wilayah Sulselbar*

Penelitian ini terbagi dalam 2 (dua) tahapan, yaitu :

A. Tahap persiapan yang terdiri dari pembuatan model matematika sistem hingga penentuan performasi sistem untuk keadaan loop terbuka.
B. Tahap rancagan bangun sistem kendali PID dan Fuzzy Logic Controller, penetapan desain kreteria, dan analisis hasil performasi sistem dengan Simulink matlab.

Penelitian ini menggunakan pengujian yang terdiri dari 2 (dua) tahapan, yaitu :

A. Tahap pertama, mengimplementasikan model matematika sistem yang telah dibuat kedalam Simulink matlab untuk mendapatkan respon keadaan, Pada tahap ini juga dilakukan pengujian penentuan *range* gangguan.
B. Tahap kedua, melakukan pembuatan FLC (*Fuzzy Logic Controller*). yang dibangun berbasis Simulink Matlab berisi file FIS (*Fuzzy Inference System*), yang dibuat menggunakan FLT (*Fuzzy Logic Toolbox*) matlab.

Penentuan jumlah maksimal aturan *fuzzy* berdasarkan pada jumlah himpunan *Fuzzy* dari kedua variabel *fuzzy* yang digunakan yaitu ada 5 buah, sehingga aturan *fuzzy* maksimal yang dapat dibangun yaitu $5^2 = 25$ aturan, penentuan himpunan *fuzzy* serta fungsi keanggotaan *fuzzy* bersifat bebas, pengujian yang dilakukan dengan input *Error* yaitu [-0.5 5] dan input dError yaitu [-3 3]. Penentuan range kendali *fuzzy* berpengaruh

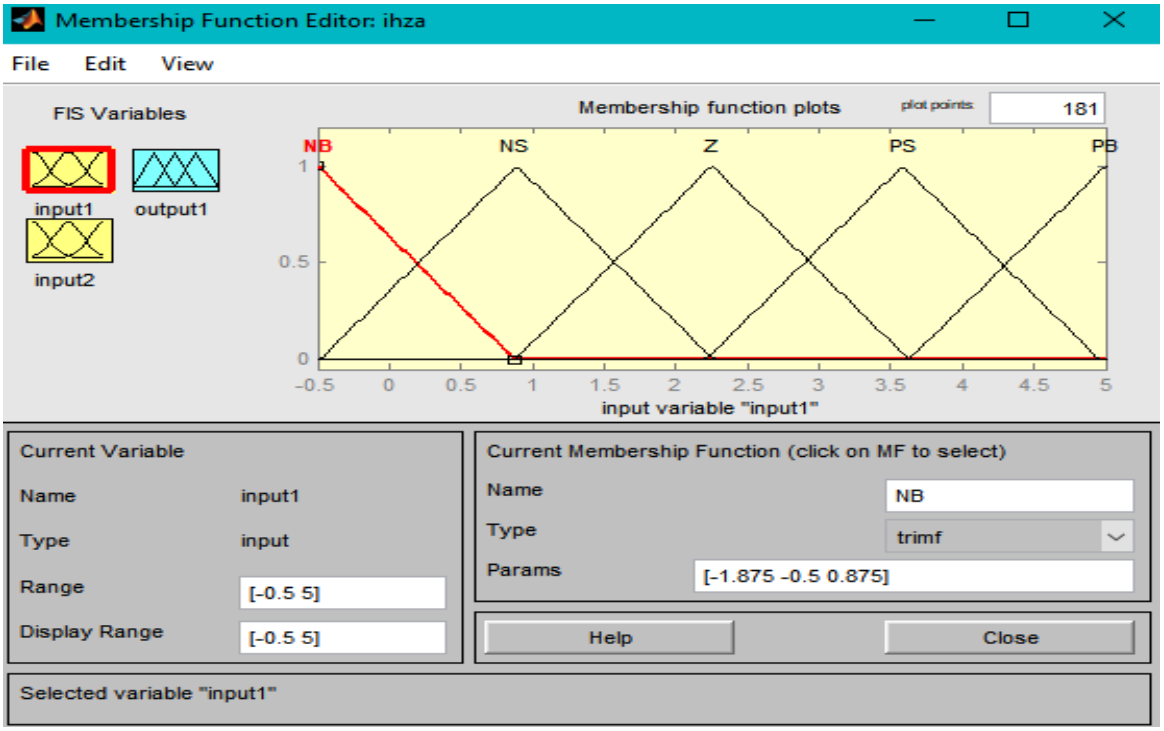
terhadap hasil performasi sistem. himpunan *fuzzy* input Error ditunjukkan pada Gambar 3.3, sedangkan himpunan *fuzzy* input dError dan output gaya secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.

3.3.1. Membentuk Himpunan Fuzzy

a. Variabel linguistik error

Range input I : [-0.5 5]
Negatif Big (NB) : [-1.875-0.5.875]
Negatif Small (NS) : [-0.5 -875 0]
Zero (ZE) : [-0.875 0 0.875]
Positif Small (PS) : [0 0.875 0.5]
Positif Big (PB) : [0.875 0.5 0.5]

Dalam Bahasa pemrograman matlab variabel-variabel tersebut akan di bentuk dalam fungsi segitiga uniform seperti yang ditujukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3. Rentang variabel fungsi keanggotaan kesalahan linguistik.

b. Variable linguistik perubahan error (derror)

Range input II : [-3 3]

Negatif Big (NB) : [-4.5 -3 -1.5]

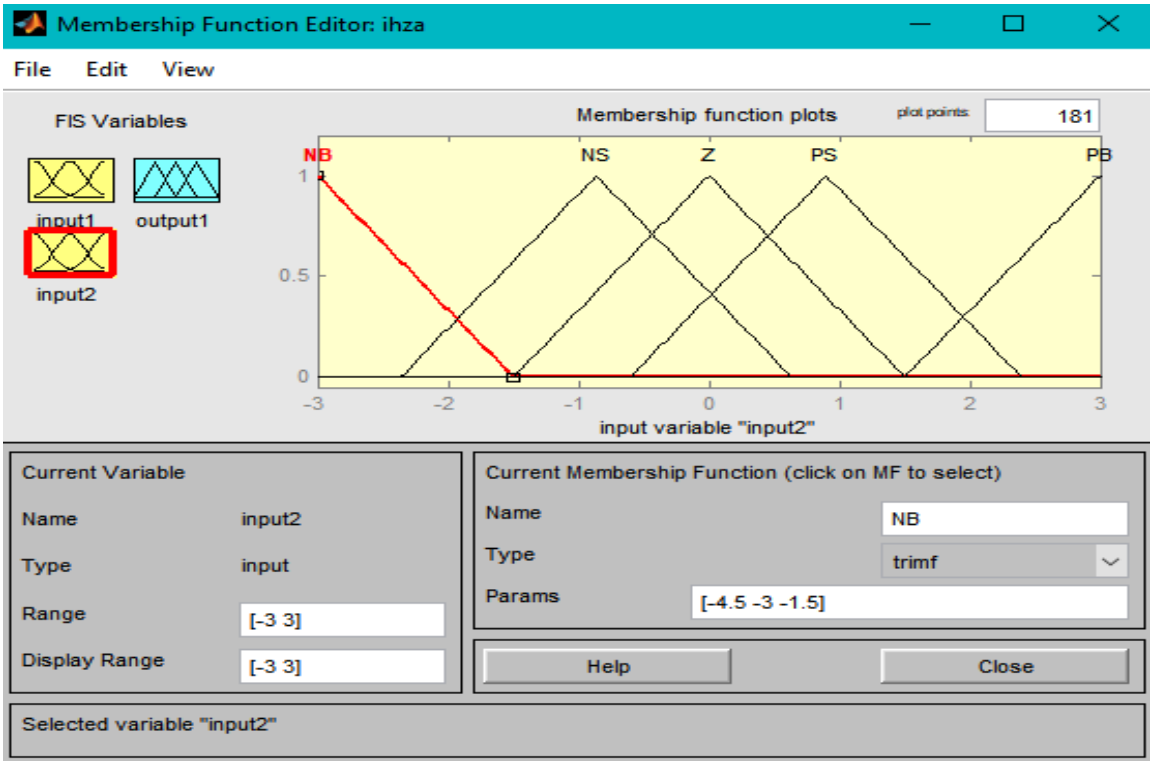
Negatif Small (NS) : [-3 -1.5 0]

Zero (ZE) : [-1.5 0 1.5]

Positif Small (PS) : [0 1.5 3]

Positif Big (PB) : [1.5 3 3]

Dalam Bahasa pemrograman matlab variabel-variabel tersebut akan di bentuk dalam fungsi segitiga uniform seperti yang ditujukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4. Rentang variabel fungsi keanggotaan kesalahan linguistik.

a. Variable linguistik output

Range output : [-1 1]

Negatif Big (NB) : [-1.5 -1 -0.5]

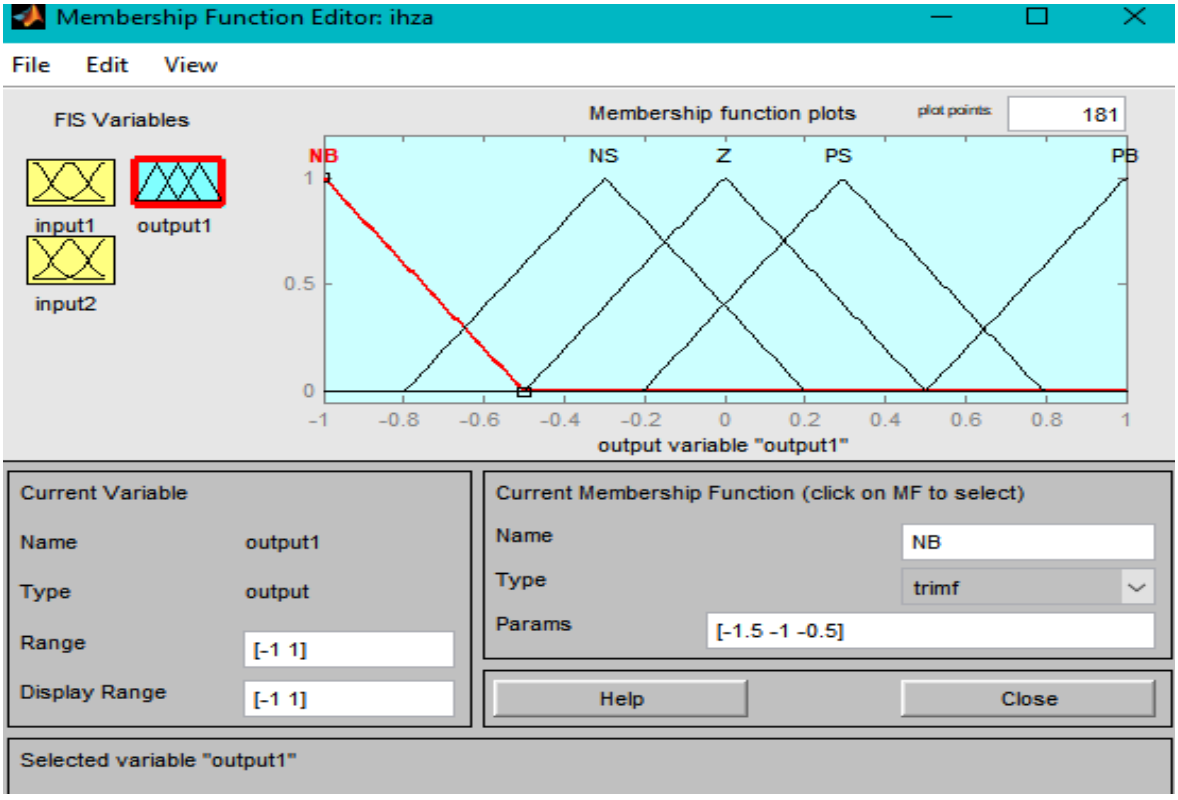
Negatif Small (NS) : [-1 -0.5 -0]

Zero (ZE) : [-0.5 0 0.5]

Positif Small (PS) : [0 0.5 1]

Positif Big (PB) : [0.5 1 1]

Dalam Bahasa pemrograman matlab variabel-variabel tersebut akan di bentuk dalam fungsi segitiga uniform seperti yang ditujukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5. Rentang variabel fungsi keanggotaan keluaran linguistik.

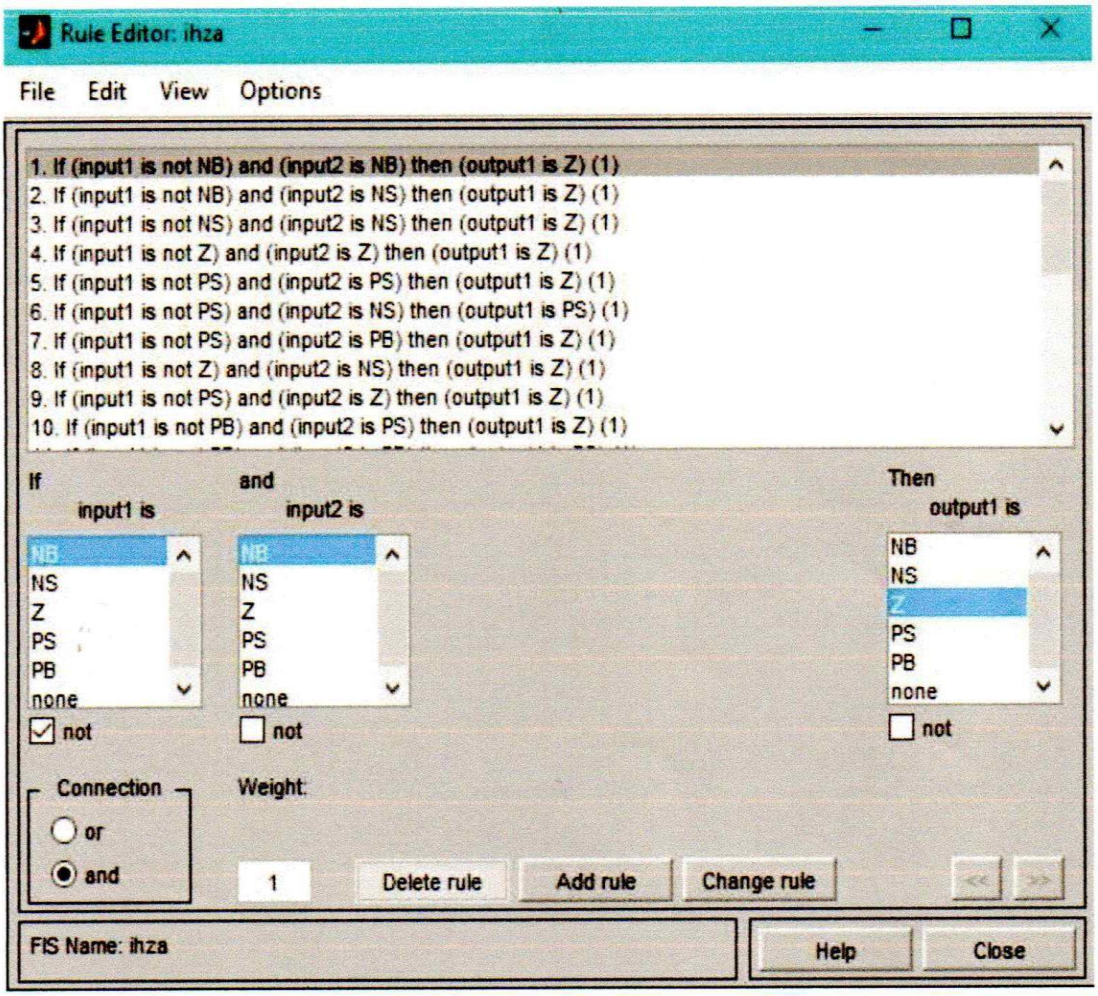
Jumlah aturan *fuzzy* maksimal yang digunakan dalam membangun FLC (*Fuzzy Logic Controller*) untuk sistem unit pembangkit (Sengkang) ditunjukkan pada Tabel 3.5.

E	dE				
	NB	NS	ZE	PB	PS
NB	PB	PB	PB	PB	PB
NS	PB	PS	PS	PS	ZE
ZE	PS	PS	ZE	NS	NS
PB	NS	NS	NS	NS	NS
PS	NB	NS	NS	NS	ZE

Tabel 3.5. Tabel keputusan aturan control *Fuzzy Logic* MacVicar-Whelan.

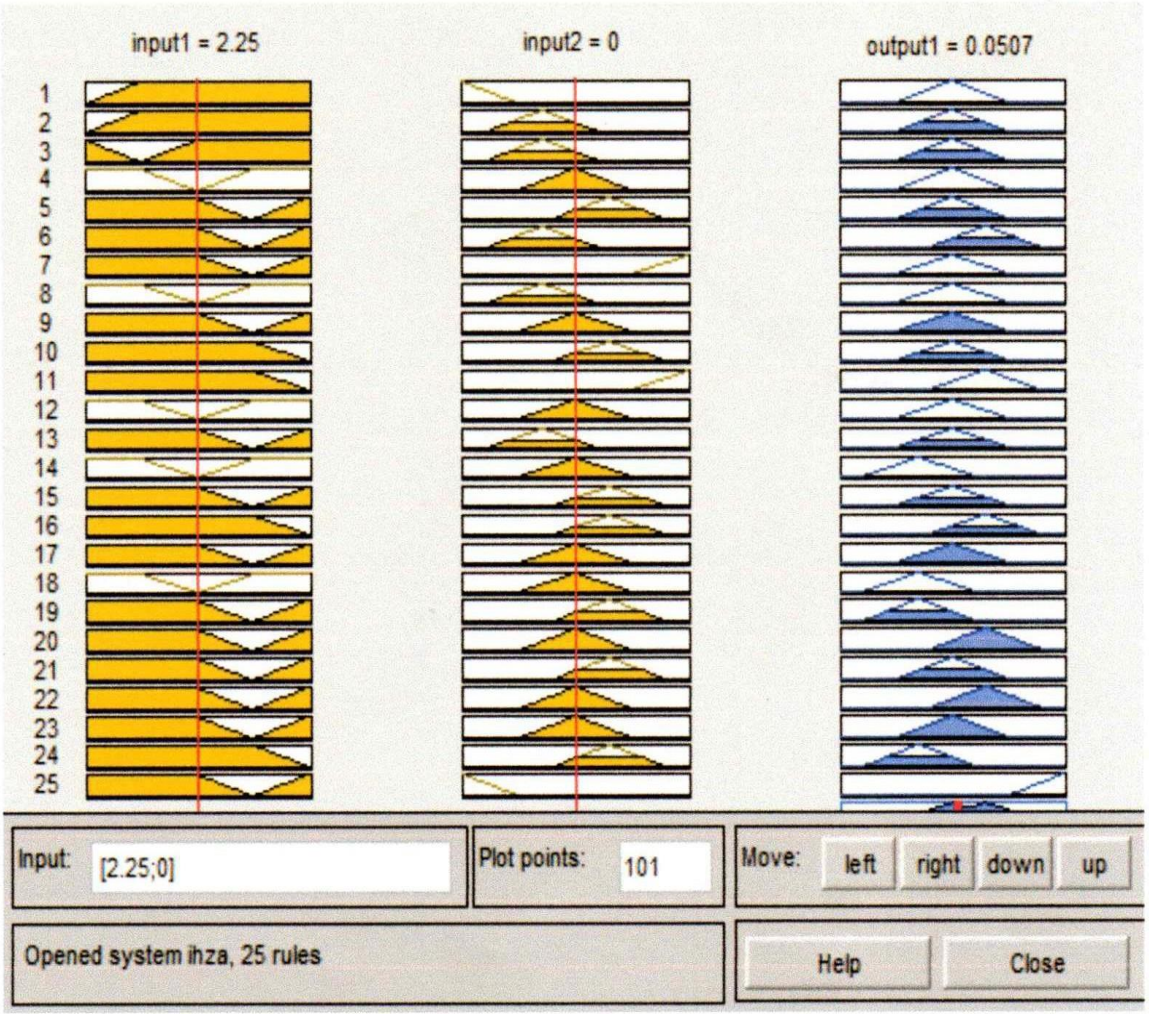
- Membuat Aturan Dasar (Rule Base).

Kemudian menentukan aturan dasar (rule base) untuk menciptakan defuzzifiasi sinyal atur (output) yang diinginkan. Berdasarkan data-data dengan lima variabel input error dan lima variabel perubahan error (derror) sehingga diperoleh dua puluh lima rule base, aplikasi dalam Bahasa pemograman matlab seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Aplikasi rule base dalam bahasa pemograman matlab.

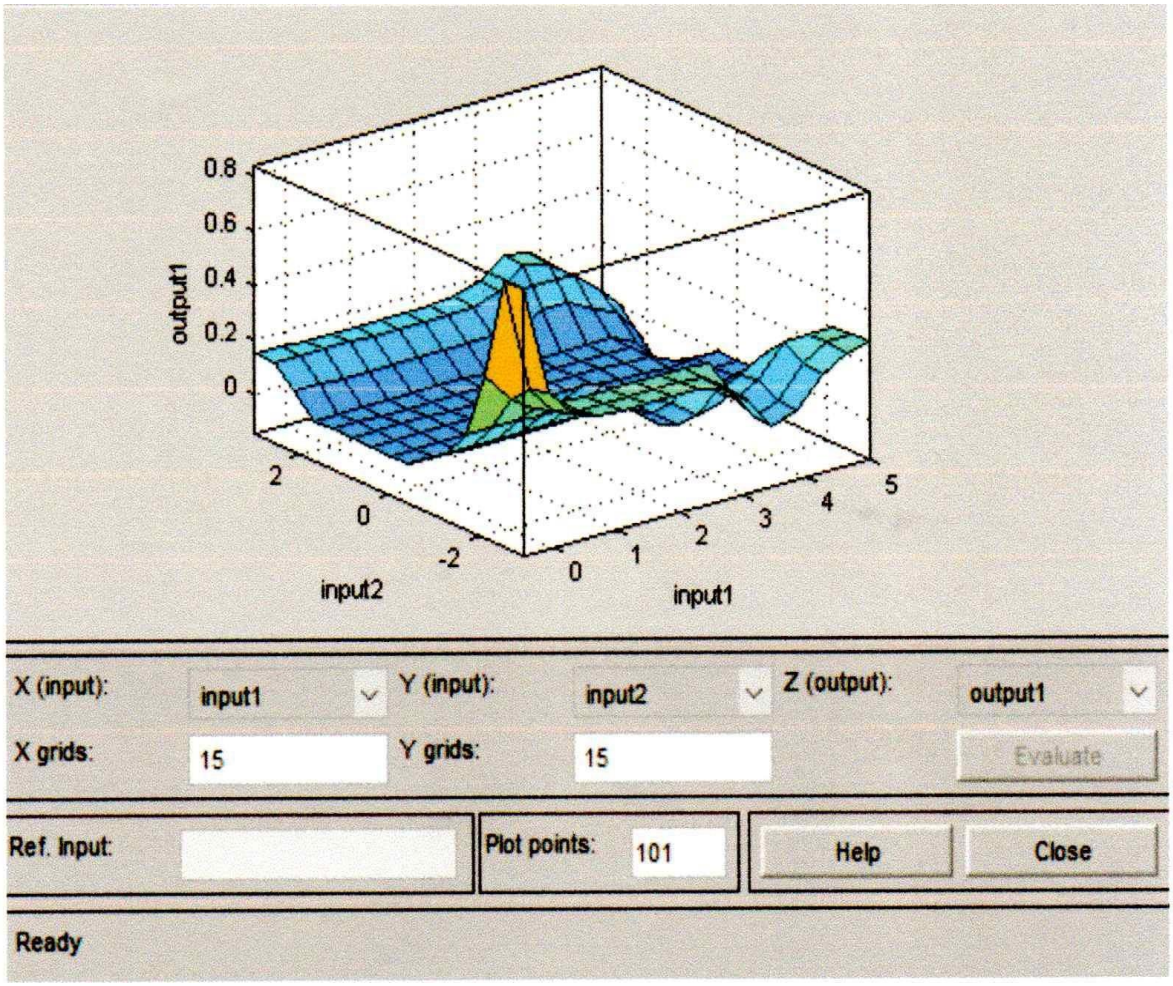
Untuk melihat alur penalaran fuzzy pada sistem yang meliputi pemetaan input yang diberikan ke tiap-tiap variable input, aplikasi operator dan funsi implikasi, komposisi (agregasi) aturan, sampai pada penentuan output tegas pada metode defuzzifikasi, implementasi pemrograman dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. implementasi rule base dalam bahasa pemograman matlab (rule viewer).

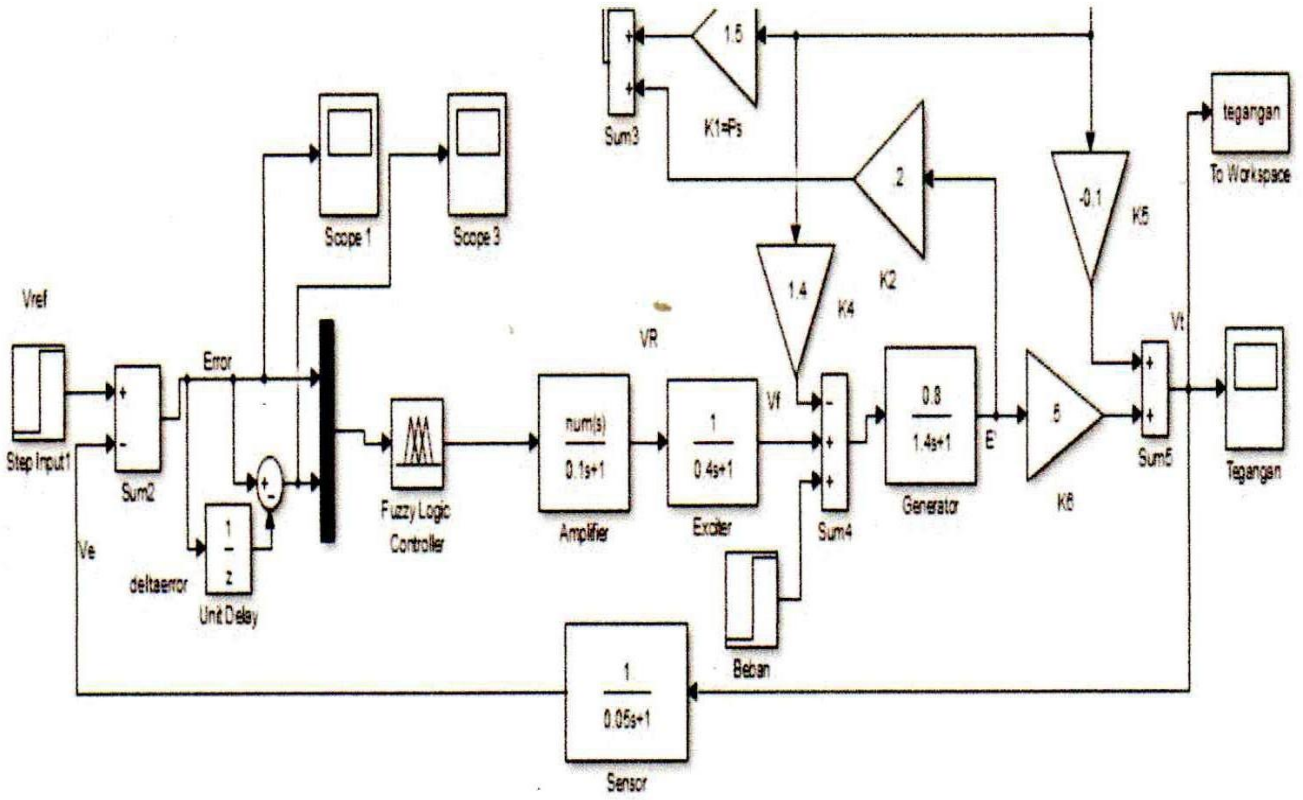
Dengan menggeser garis merah yang ada pada input1 dan input2 ke kiri maupun kekanan , akan membuat perubahan pada outputnya seperti pada Gambar 3.7.

Untuk melihat pemetaan antara variable input dan output, dalam bentuk ruang maka dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. pemetaan dalam bentuk ruang.

Aplikasi sistem fuzzy logic control, untuk pengaturan tegangan dibuat dalam bentuk model Simulink, dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. blok diagram sistem pengaturan tegangan secara keseluruhan.

- Tahap ketiga melakukan analisis menggunakan kendali PID *(Proportional–Integral–Derivative controller)* dan FLC (*Fuzzy Logic Controller)*, hasil analisis kendali PID ditampilkan dalam data penguatan terhadap sstem yang dihasilkan, hasil penelitian pada system unit pembangkit sengkang dengan kendali PID.
- Tahap keempat, membandingkan hasil performasi dari kedua metode kendali yang diamati dari keluaran performasi system yang dihasilkan sehingga dapat memberikan informasi mengenai kendali yang baik dan memenuhi desain, kriteria dengan berbagai macam kelebihan dan kekurangan dalam proses kendalinya.

BAB IV

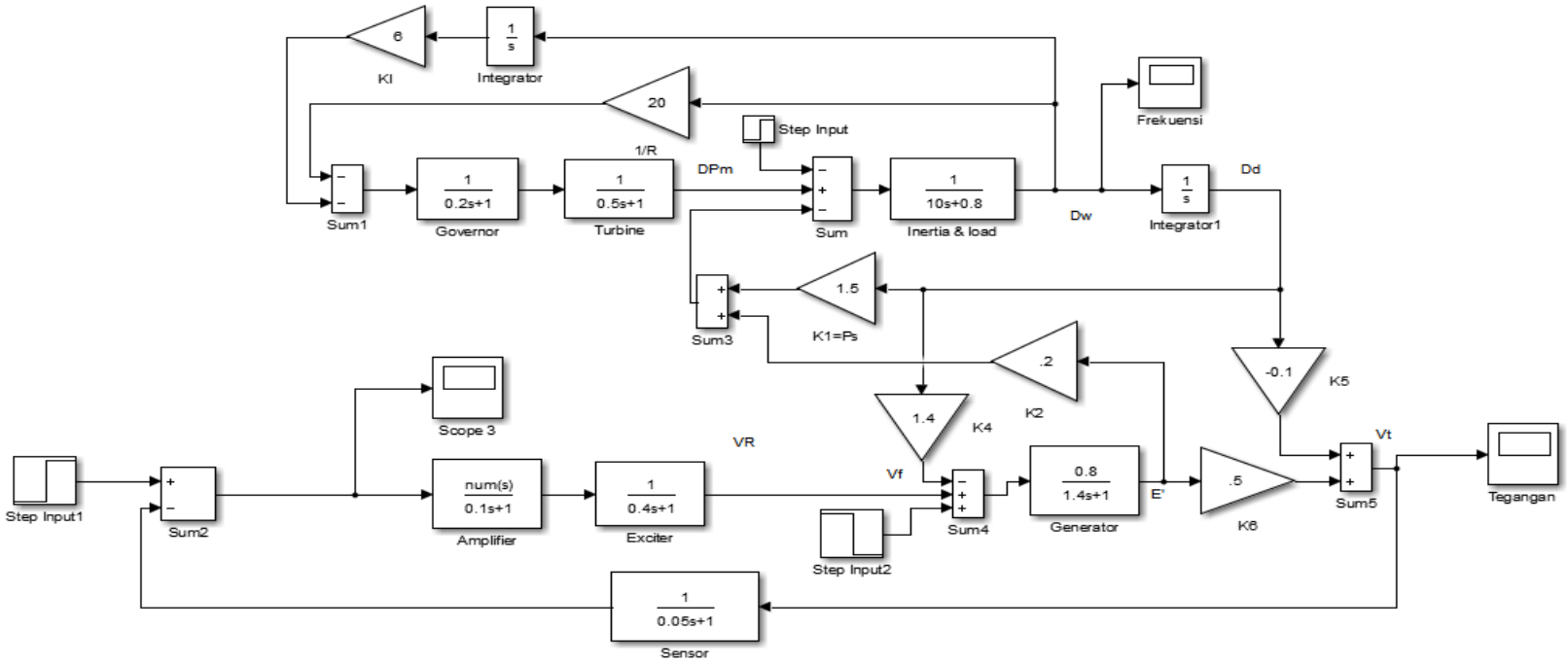
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran umum Simulink pada Matlab.

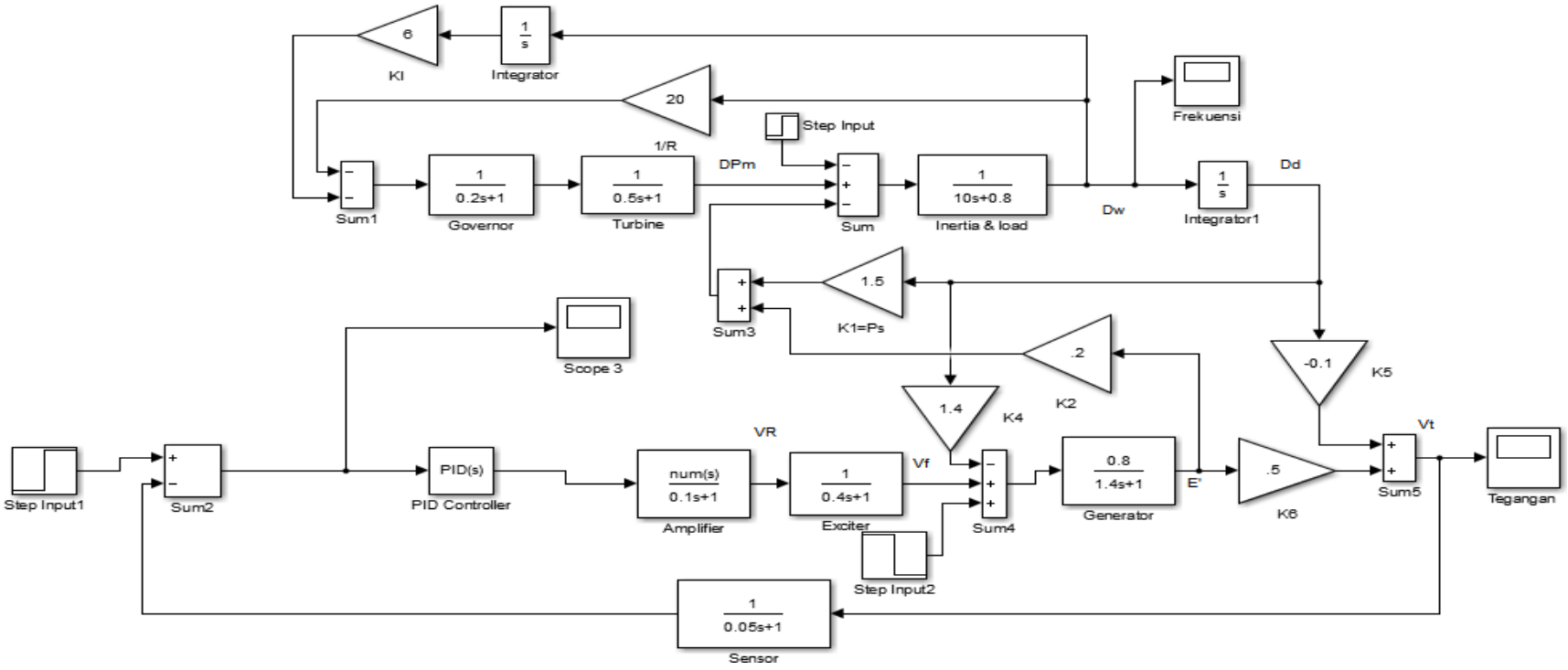
Penambahan PID (*Proportional–Integral–Derivative controller*) dan FLC (*Fuzzy Logic Controller)*. Gangguan pada pembangkit di bangun berdasarkan model matematika yang telah didapatkan dan diimplementasikan dalam Simulink Matlab dengan dua control yang berbeda PID dan Fuzzy Logic Conttroller. Adapun *Fuzzy Logic Controller* merepukan sebuah Tehnik baru dalam dunia kontrol. Secara umum, sistem kendali Fuzzy berbasis pada aturan *Fuzzy* (*rule based Fuzzy*).

Sistem FLC (*Fuzzy Logic Controller)* tidak dimodelkan melalui pemodelan matematika performasi sistem kontrol yang sangat baik, berbagai sistem fisis dapat dijadikan kajian dalam Teknik kontrol, salah satunya yaitu sistem kontrol pada unit pembangkit Sengkang.

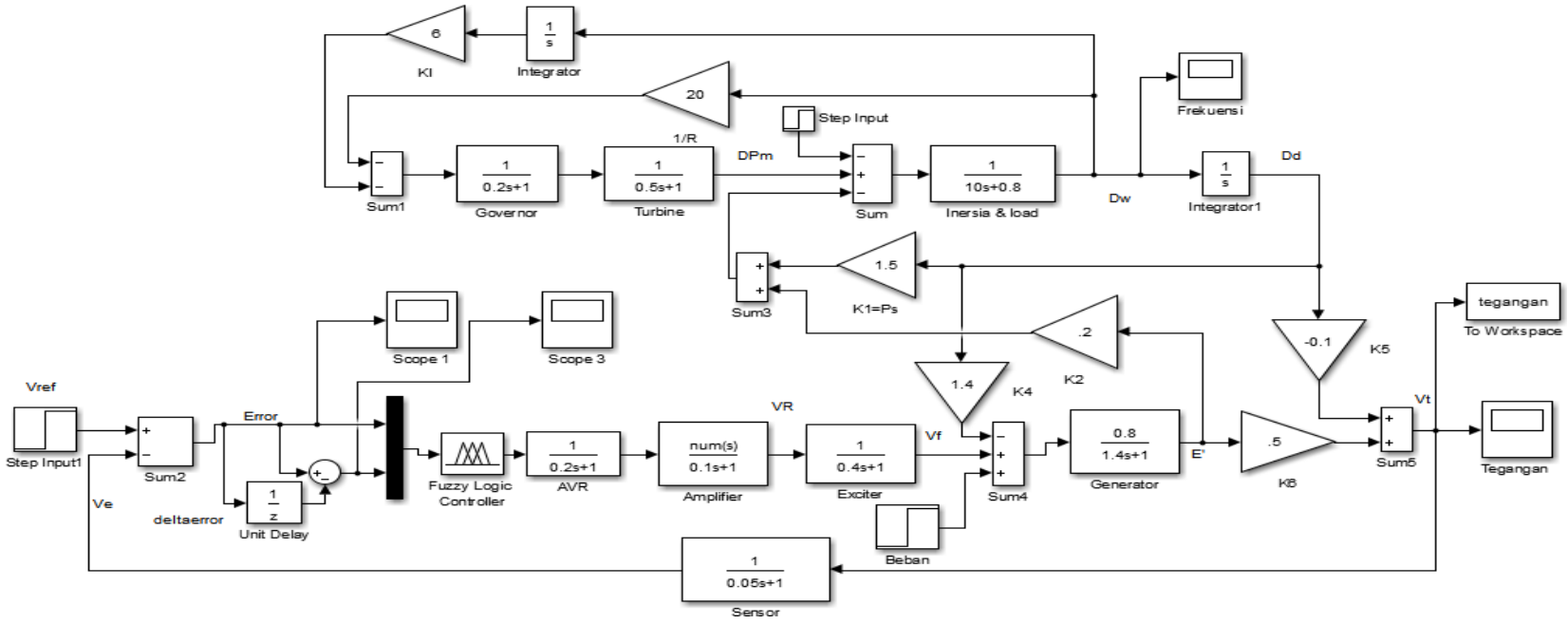
Small Signal Stability yang berlebihan. akan menyebabkan osilasi menjadi tidak stabil jika osilasi ini tidak diantisipasi maka menyebabkan kegagalan fungsi pada pembangkit yang akan mempengaruhi sistem. adapun Sistem yang telah dibangun tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.



Gambar 4.1 Single Line Diagram simulasi tanpa kontrol pada sistem



Gambar 4.2 Single Line Diagram menggunakan kontrol PID

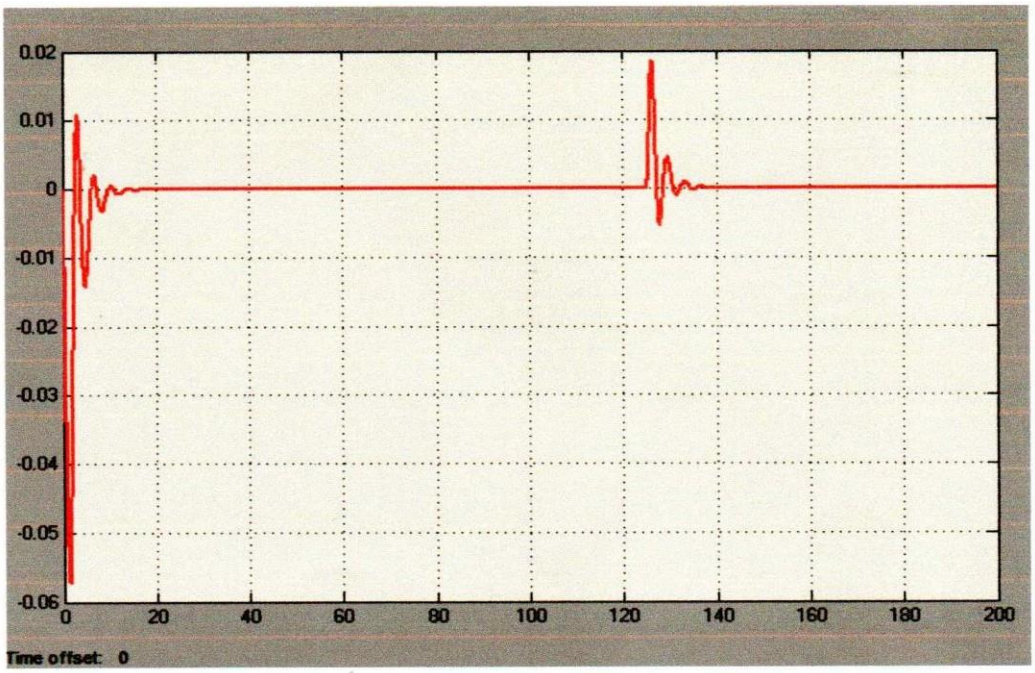


Gambar 4.3 Single Line Diagram menggunakan control fuzzy logic

4.2 Hasil simulasi dan pembahasan.

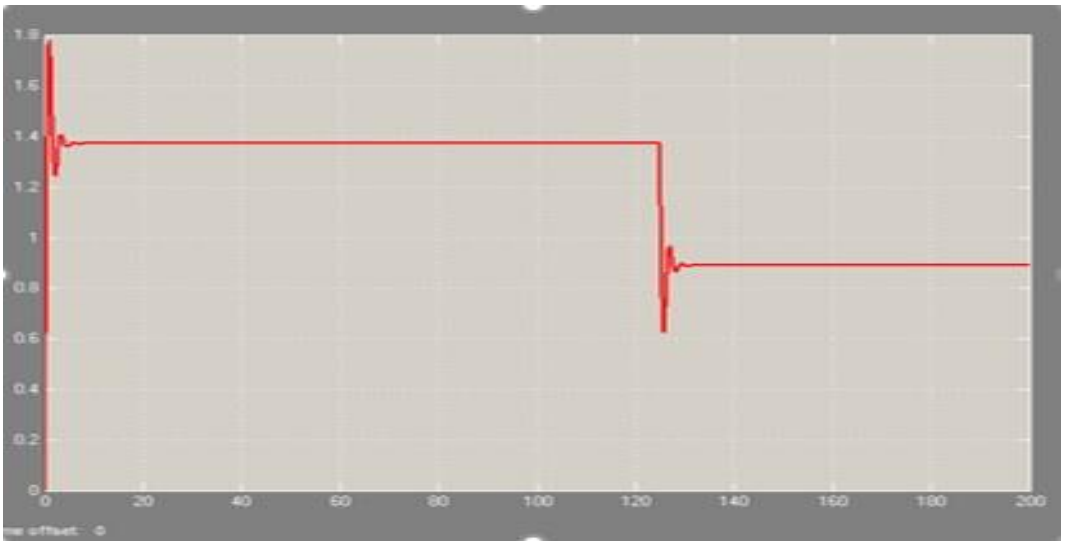
Pada hasil simulasi di perlihatkan rangkaian yang berbeda yaitu tanpa control, PID controller, dan Fuzzy Logic Conroller yang di mana sangat jelas terlihat pengaruh pada setiap control untuk meredam gangguan-gangguan pada unit pembangkit sengkang.

Gambar 4.4. Gangguan sebelum memiliki kontrol kendali pada simulasi frekuensi.



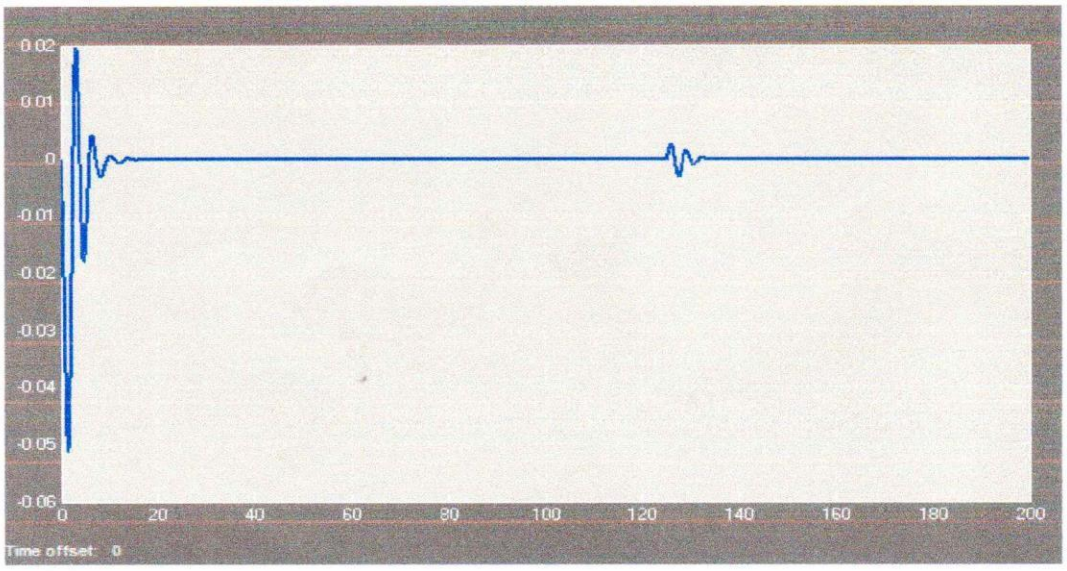
Gambar 4.4. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon tanpa kontrol mengakibatkan osilasi yang berlebihan pada frekuensi sehingga bisa terjadi ketidakstabilan sistem kontrol.

Gambar 4.5. Gangguan sebelum memiliki kontrol kendali pada simulasi tegangan.



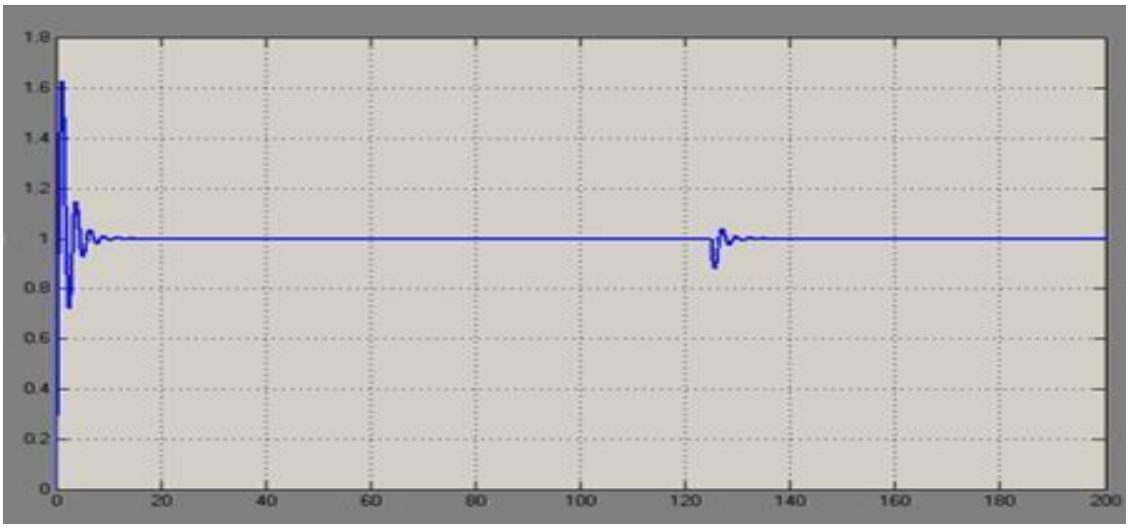
Gambar 4.5. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon tanpa control, tegangan akan mengalami osilasi yang berlebihan sehingga bisa terjadi ketidakstabilan sistem kontrol.

Gambar 4.6. Gangguan yang terjadi pada frekuensi menggunakan kontrol PID.



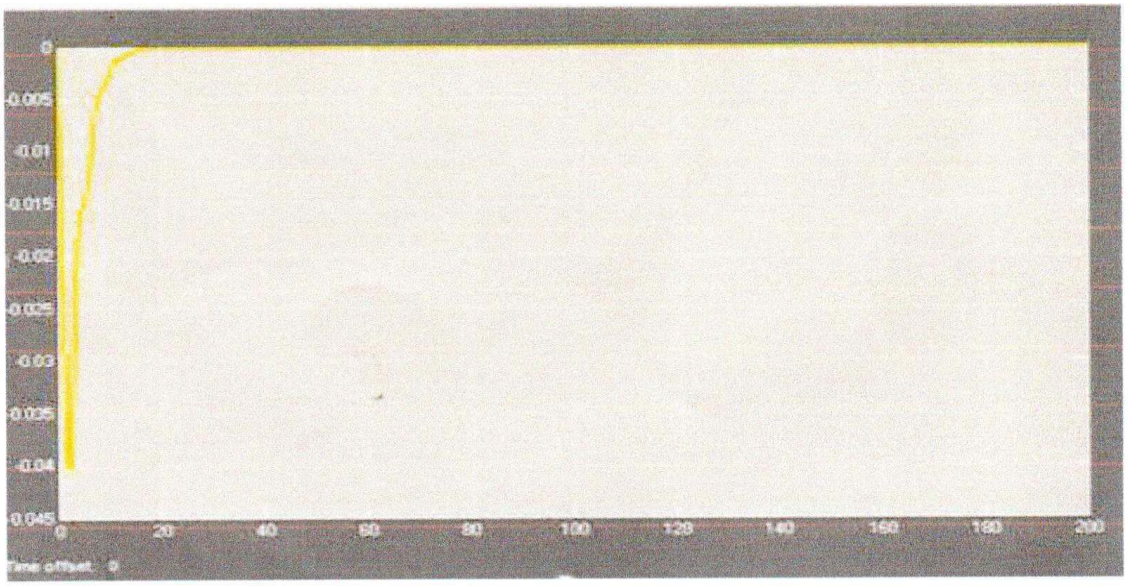
Gambar 4.6. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon control PID sedikit lebih mampu meredam gangguan yang terjadi pada pembangkit.

Gambar 4.7. Gangguan yang terjadi pada tegangan menggunakan kontrol PID.



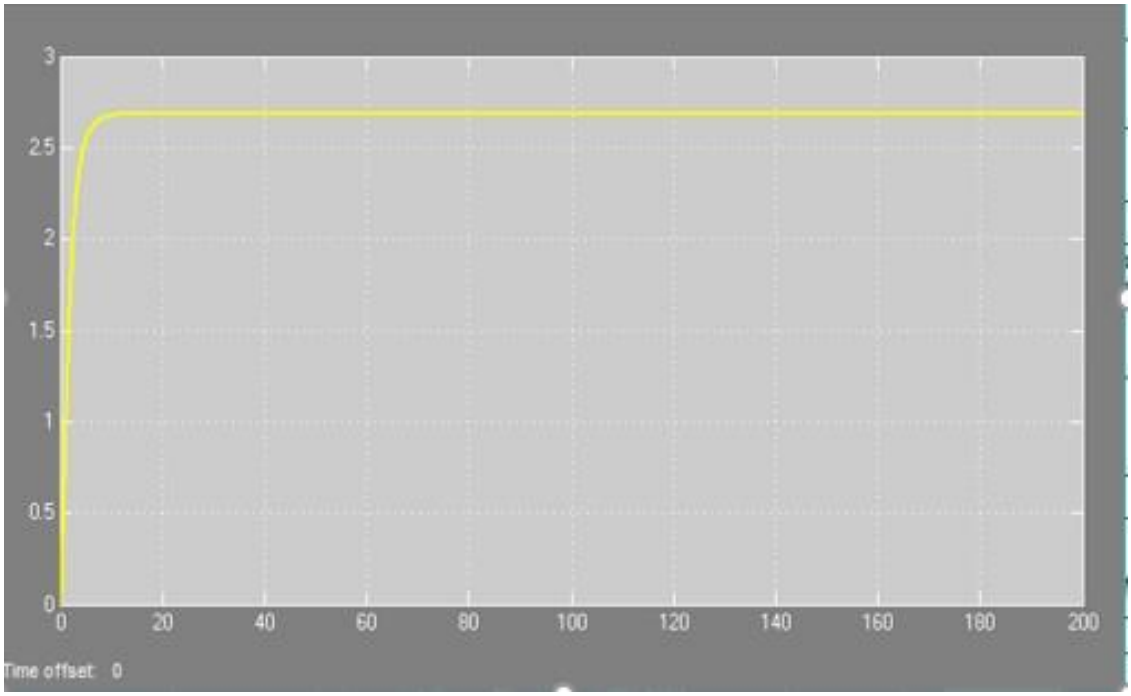
Gambar 4.7. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon control PID sedikit lebih mampu meredam gangguan yang terjadi pada pembangkit.

Gambar 4.8. kenstabilan gangguan yang terjadi pada frekuensi menggunakan kontrol Fuzzy Logic Controller.



Gambar 4.8. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon control *Fuzzy Logic* pada frekuensi mampu mengstabilkan dan meredam osilasi pada sistem kontrol.

Gambar 4.9. kenstabilan gangguan yang terjadi pada tegangan menggunakan kontrol Fuzzy Logic Controller.



Gambar 4.9. memperlihatkan bahwa setelah penambahan beban pada generator, respon control *Fuzzy Logic* pada tegangan mampu mengstabilkan dan meredam osilasi pada sistem kontrol.

BAB V
SIMPULAN DAN SARAN

5.1 SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi menunjukan perbaikan menggunakan kontrol FLC (*Fuzzy Logic Controller*) lebih efektif dimana Fuzzy Logic Controller bisa meredam osilasi yang terjadi pada gangguan generator pada sistem unit pembangkit (Sengkang).

2. Hasil simulasi penempatan nilai range dan display range sangat berpengaruh pada sistem simulasi dimana nilai range dan display range bisa membantu untuk mengstabilkan gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem unit pembangkit (Sengkang).

5.2 SARAN

1. Agar masalah kestabilan pada sistem tenaga listrik tidak terganggu lagi dan kondisi sistem bisa kembali stabil dengan pemasangan Fuzzy Logic Controller pada sistem pembangkit.

2. Untuk penelitian lebih lanjut mengenai kestabilan sistem tenaga listrik bisa dijadikan subjek tersendiri pada lingkup perkuliahan Teknik Energi Listrik.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. John S. Hope. Middle level physics. Pitman Australia 1985.

[2]. Pustaka Pengetahuan Modern, Bintang dan Planet Jakarta: PT. widyadara 1975.

[3]. Imam robandi "*Desain sistem tenaga modern*" penerbit ANDI, Yogyakarta 2006.

[4]. Soeprijanto, Adi. "*Desain controller untuk kestabilan dinamik sistem tenaga listrik*" itspress, Surabaya. 2012.

[5]. Prabha kundur, "*power system stability and control*" , Mc-Graw-Hill, Inc, USA.

[6]. M. yusuf wibisono, imam robandi, heri suryoatmojo, "Desain adaptive PSS berbasis neural networks dan PID controller menggunakan imperialis competitive algorithm (ICA)", tugas akhir jurusan teknik elektro ITS, 2011.

[7]. Kundur P, power system stability and control, McGraw-Hill, Inc, 1994.

[8]. Gatot Suparto, Imam Robandi, Performansi Load Frequency Control (LFC), Proceeding of Conference on Electrical, Electronic, Communication, and Information (CECI) and Seminar on Intelligent Technology and Its Application (SITIA), 17 Juni 2003.

[9]. D.K Sambariya, R Guppta, A K Sharma, "Fuzzy Application To Single Machine Power System Stabilizer" , Journal Of Theorectical and Applied Information Technology, 2009, pp.317-323.

[10]. Grainger, W.D. Stevenson Jr., Power System Analysis, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1994.

[11]. Sri Kusumadewi, Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab, Graha Ilmu, Yogyakarta,2002.

[12]. Achmad Fadlun, Imam Robandi, Aplikasi Fuzzy Logic Control untuk Load Frequency Control, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum Jombang, 2003.

[13]. (sumber: Honeywell, 2000).

[14]. Penulis via E-mail: setiaone.iwan@gmail.com, Kontrol PID untuk proses industry, Semarang, Mei 2008.

[15]. Aji sujatman teknik elektro universitas gunadarma.

LAMPIRAN

DATA UNIT PEMBANGKIT (SENGKANG)

CONs	#	Value	Description
J		6.452	T'd0 (sec)
J + 1		0.021	T''d0 (sec)
J + 2		0.554	T'q0 (sec)
J + 3		0.043	T''q0 (sec)
J + 4		5.56	Inertia, H
J + 5		2	Speed Damping, D
J + 6		2.363	Xd
J + 7		2.182	Xq
J + 8		0.199	X'd
J + 9		0.395	X'q
J + 10		0.204	X''d = X''q
J + 11		0.107	X1
J + 12		0.03	S(1,0)
J + 13		0.4	S(1,2)

EXCITATION MODEL

IEEE Type AC2 Excitation System

CONs	#	Value	Description
J		0.025	TR (sec)
J + 1		1	TB (sec)
J + 2		1	TC (sec)
J + 3		1325	KA
J + 4		0.02	TA (sec)
J + 5		188.7	VA Max
J + 6		-188.7	VA Min
J + 7		1	KB
J + 8		47.2	VR Max
J + 9		-41	VR Min
J + 10		0.5	TE > 0 (sec)
J + 11		3.58	KL
J + 12		0	KH
J + 13		0.0094	KF
J + 14		1	TF > 0 (sec)
J + 15		0	KC
J + 16		0	KD
J + 17		1	KE
J + 18		18.45	VLR
J + 19		5.55	E1
J + 20		1.6	SE(E1)
J + 21		4.16	E2
J + 22		1.48	SE(E2)