

**ANALISA STABILITAS FREKUENSI TRANSIEN PADA SISTEM
INTERKONEKSI SULAWESI BAGIAN SELATAN**

TESIS



Oleh :
KHOIRUL FAHMI EFENDI
NIM. 22.131.002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK TENAGA ELEKTRIK

PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2024

**ANALISA STABILITAS FREKUENSI TRANSIEN PADA SISTEM
INTERKONEKSI SULAWESI BAGIAN SELATAN**

TESIS

Diajukan kepada

Institut Teknologi Nasional Malang

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro
Peminatann Teknik Tenaga Elektrik**

Oleh

KHOIRUL FAHMI EFENDI

NIM. 22.131.002

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

KONSENTRASI TEKNIK TENAGA ELEKTRIK

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

AGUSTUS

2024



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN TESIS

PROGRAM STUDI : **MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

NAMA	: KHOIRUL FAHMI EFENDI
NIM	: 22.131.002
PROGRAM STUDI	: Teknik Elektro
PEMINATAN	: Teknik Tenaga Elektrik
JUDUL	: ANALISA STABILITAS FREKUENSI TRANSIEN PADA SISTEM INTERKONEKSI SULAWESI BAGIAN SELATAN

Di Pertahankan Dihadapan Tim Penguji Ujian Tesis Jenjang Program Studi Pascasarjana
Magister Teknik (S-2)

Pada Hari : SENIN

Tanggal : 9 AGUSTUS 2024

Dengan Nilai :

PANITIA UJIAN TESIS

Ketua

Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE

NIP.Y. 1018500108

Penguji I

Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT

NIP. 196105031992021001

Sekretaris

Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT

NIP.Y. 1028700171

Penguji II

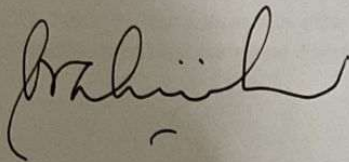
Awan Uji Krismanto, MT., Ph.D

NIP. 198003012005011002

Tesis oleh **KHOIRUL FAHMI EFENDI, NIM 22.131.002**, ini telah diperiksa dan disetujui dalam ujian :

Malang, Agustus 2024

Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE
NIP.Y. 1018500108

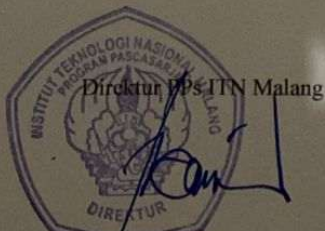
Pembimbing II



Dr. Ir. Widodo Pudji Muljianto, MT
NIP.Y.1028700171

Mengetahui :

Institut Teknologi Nasional Malang
Program Pascasarjana



(Prof. Dr. Ir. Lalu Mulvadi, MT.)
NIP. Y. 1018500108



(Dr. Michael Ardita, ST., MT.)
NIP. P. 1031000434

PERNYATAAN

ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur "*plagiasi*", saya bersedia Tesis ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Magister Teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Agustus 2024



KHOIRUL FAHMI/EFENDI

NIM. 22.131.002

ABSTRAK

Khoirul Fahmi Efendi , Program Studi Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang, Agustus 2024, “Analisa Stabilitas Frekuensi Transien Pada Sistem Interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan”, Tesis, Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE., Pembimbing II : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Sistem tenaga listrik merupakan sistem interkoneksi antara pusat pembangkit, transmisi dan beban. Dimana sejumlah besar unit pembangkit dan pusat beban ini saling terhubung sehingga menimbulkan jaringan listrik yang kompleks disebut *grid*. Salah satu permasalahan yang sering ditemui pada sistem tenaga listrik yaitu masalah kestabilan dan kemampuan sistem tersebut kembali pada operasi normal atau stabil (*steady state*) setelah mengalami *load switching* beban besar atau beberapa gangguan besar tersebut yaitu, *loss of generation*, operasi *switching*, perubahan beban secara tiba-tiba, dan adanya kesalahan seperti hubung singkat. Analisis transien berguna untuk melakukan penentuan skema operasi rele yang dibutuhkan, waktu pemutusan kritis untuk *circuit breaker*, kapabilitas mentransfer antar sistem harus diredam dan diselaraskan dalam waktu tertentu agar dapat dikatakan stabil. Penelitian ini bertujuan menganalisa stabilitas transien tegangan untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi gangguan menggunakan *software* ETAP 19.0.1 mensimulasikan dan menganalisa gangguan transien serta menentukan CCT (*Critical Clearing Time*) untuk mendapatkan kondisi yang stabil pada sistem interkoneksi Sulbagsel.

Kata Kunci : sistem interkoneksi, stabilitas transien, waktu pemutusan kritis

ABSTRACT

Khoirul Fahmi Efendi, Electrical Engineering Study Programme, Postgraduate Programme, National Institute of Technology Malang, August 2024, "Transient Frequency Stability Analysis of the South Sulawesi Interconnection System", Thesis, Advisor I : : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, Advisor II: Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

The power system is an interconnected system of generation, transmission and load centres. Where a large number of generating units and load centres are interconnected to create a complex electrical network called a grid. One of the problems often encountered in power systems is the problem of stability and the ability of the system to return to normal or stable operation (steady state) after experiencing a large load switching load or several large disturbances, namely, loss of generation, switching operations, sudden load changes, and faults such as short circuits. Transient analysis is useful for determining the required relay operation scheme, critical disconnection time for circuit breakers, transfer capability between systems must be reduced and harmonised within a certain time to be considered stable. This study aims to analyse voltage transient stability to determine the reliability of the system when a disturbance occurs using ETAP 19.0.1 software to simulate and analyse transient disturbances and determine CCT (Critical Clearing Time) to obtain a stable condition in the Sulbagesel interconnection system.

Keywords : Interconnected Systems, Transient Stability, Critical Clearing Time

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya dalam menyelesaikan tesis ini dengan judul “Analisa Stabilitas Tegangan Transien Pada Sistem Interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan.”

Tesis ini merupakan persyaratan akademis dalam memperoleh gelar Magister Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Tesis ini tidak akan berhasil dengan baik tanpa adanya bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tidak lupa peneliti mengucapkan banyak terima kasih yang terhingga kepada :

1. Istri saya, Ulfa Ghoridotul Bahiya yang selalu mendukung, mendoakan serta memberikan dorongan kepada penulis dari awal hingga tesis ini selesai.
2. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT, selaku Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Michael Ardita, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. I Abraham Lomi, MSEE. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. selaku dosen pembimbing II
7. Segenap karyawan administrasi dan perpustakaan yang telah memberikan bantuannya dalam penulisan tesis.

Dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan – kekurangan walaupun peneliti sudah berusaha menampilkan yang terbaik. Oleh karena itu peneliti membutuhkan saran dan kritik dari pembaca demi penyempurnaan tesis ini, dan kami berharap semoga bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR	
ISI.....	ii
ABSTRAK.....	5
ABSTRACT	6
KATA PENGANTAR	7
DAFTAR ISI	8
DAFTAR TABEL.....	10
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR LAMPIRAN	12
ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN	13
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.3 Tujuan Penelitian	15
1.4 Batasan Masalah.....	15
1.5 Sistematika Penulisan	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	17
2.2 Gangguan Yang Mempengaruhi Kestabilan	20
2.2.1 Perubahan beban dalam waktu singkat.....	20
2.2.2 Hubung Singkat	21
2.3 Critical Clearing Time (CCT).....	21
2.4 Standar Yang Berhubungan Dengan Kestabilan Transien.....	21
2.4.1 Standart Voltage Sagging	21
2.4.2 Standart Frekuensi	23
2.4.3 Standart Critical Clearing Time.....	24
2.4.4 Standart Undervoltage	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Data Sistem Kelistrikan Interkoneksi Sulbagsel	25
3.2 Data Saluran Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	25
3.3 Kapasitas Pembangkitan Sulbagsel Sultra 2021	27
3.4 Data Beban Sulbasel.....	29
3.5 Data Kontrol Generator.....	32
3.6 Metodologi Simulasi	32
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	34
4.1 Studi kasus stabilitas transien sistem interkoneksi Sulbagsel.....	34
4.2 Simulasi Stabilitas Transien	35
4.2.1 Kasus 1 JPTO#4 Off (Semua Pembangkit Sulbagsel On) : JPTO#4 <i>Delete</i> ($t = 2s$)	
35	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Voltage Sagging</i> menurut Standart SEMI F47	22
Tabel 2. 2 Batas Rentang Frekuensi Operasi.....	24
Tabel 2. 3 Standar Toleransi Tegangan menurut PLN Grid Code Sulawesi.....	24
Tabel 3. 1 Data Saluran Trasmisi Di Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara dan Sulawesi Barat..	25
Tabel 3. 2 Daya Mampu Pembangkit PLN	27
Tabel 3. 3 Daya Mampu Pembangkit IPP	28
Tabel 3. 4 Pembebanan Trafo Distribusi	29
Tabel 3. 5 Pembebanan Trafo Distribusi	31
Tabel 3. 6 Pembebanan Trafo IBT	31
Tabel 3. 7 Pemodelan dinamis untuk unit generator pada sistem interkoneksi Sulbagsel 150 kV	32
Tabel 4. 1 Studi Kasus Stabilitas Transien	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [5]	18
Gambar 2. 2 Kurva Sudut Daya Karakteristik Respon Generator pada Keadaan Gangguan [8]	20
Gambar 2. 3 <i>Standart Voltage Sagging</i> menurut SEMI F47	22
Gambar 2. 4 Batas Operasi Frekuensi Abnormal untuk <i>Steam Turbin Generator</i>	23
Gambar 3. 1 Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	25
Gambar 3. 2 Flowchart Metodologi	33

ABSTRAK

Khoirul Fahmi Efendi , Program Studi Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang, Agustus 2024, “Analisa Stabilitas Frekuensi Transien Pada Sistem Interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan”, Tesis, Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE., Pembimbing II : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Sistem tenaga listrik merupakan sistem interkoneksi antara pusat pembangkit, transmisi dan beban. Dimana sejumlah besar unit pembangkit dan pusat beban ini saling terhubung sehingga menimbulkan jaringan listrik yang kompleks disebut *grid*. Salah satu permasalahan yang sering ditemui pada sistem tenaga listrik yaitu masalah kestabilan dan kemampuan sistem tersebut kembali pada operasi normal atau stabil (*steady state*) setelah mengalami *load switching* beban besar atau beberapa gangguan besar tersebut yaitu, *loss of generation*, operasi *switching*, perubahan beban secara tiba-tiba, dan adanya kesalahan seperti hubung singkat. Analisis transien berguna untuk melakukan penentuan skema operasi rele yang dibutuhkan, waktu pemutusan kritis untuk *circuit breaker*, kapabilitas mentransfer antar sistem harus diredam dan diselaraskan dalam waktu tertentu agar dapat dikatakan stabil. Penelitian ini bertujuan menganalisa stabilitas transien tegangan untuk mengetahui keandalan sistem saat terjadi gangguan menggunakan *software* ETAP 19.0.1 mensimulasikan dan menganalisa gangguan transien serta menentukan CCT (*Critical Clearing Time*) untuk mendapatkan kondisi yang stabil pada sistem interkoneksi Sulbagsel.

Kata Kunci : sistem interkoneksi, stabilitas transien, waktu pemutusan kritis

ABSTRACT

Khoirul Fahmi Efendi, Electrical Engineering Study Programme, Postgraduate Programme, National Institute of Technology Malang, August 2024, "Transient Frecuency Stability Analysis of the South Sulawesi Interconnection System", Thesis, Advisor I : : Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, Advisor II: Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

The power system is an interconnected system of generation, transmission and load centres. Where a large number of generating units and load centres are interconnected to create a complex electrical network called a grid. One of the problems often encountered in power systems is the problem of stability and the ability of the system to return to normal or stable operation (steady state) after experiencing a large load switching load or several large disturbances, namely, loss of generation, switching operations, sudden load changes, and faults such as short circuits. Transient analysis is useful for determining the required relay operation scheme, critical disconnection time for circuit breakers, transfer capability between systems must be reduced and harmonised within a certain time to be considered stable. This study aims to analyse voltage transient stability to determine the reliability of the system when a disturbance occurs using ETAP 19.0.1 software to simulate and analyse transient disturbances and determine CCT (Critical Clearing Time) to obtain a stable condition in the Sulbagsel interconnection system.

Keywords : Interconnected Systems, Transient Stability, Critical Clearing Time

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya dalam menyelesaikan tesis ini dengan judul “Analisa Stabilitas Tegangan Transien Pada Sistem Interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan.”

Tesis ini merupakan persyaratan akademis dalam memperoleh gelar Magister Teknik Elektro di Institut Teknologi Nasional Malang.

Tesis ini tidak akan berhasil dengan baik tanpa adanya bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tidak lupa peneliti mengucapkan banyak terima kasih yang terhingga kepada :

1. Istri saya, Ulfa Ghoridotul Bahiya yang selalu mendukung, mendoakan serta memberikan dorongan kepada penulis dari awal hingga tesis ini selesai.
2. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT, selaku Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Dr. Michael Ardita, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. I Abraham Lomi, MSEE. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. selaku dosen pembimbing II
7. Segenap karyawan administrasi dan perpustakaan yang telah memberikan bantuannya dalam penulisan tesis.

Dalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan – kekurangan walaupun peneliti sudah berusaha menampilkan yang terbaik. Oleh karena itu peneliti membutuhkan saran dan kritik dari pembaca demi penyempurnaan tesis ini, dan kami berharap semoga bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Agustus 2024

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR	
ISI.....	ii
ABSTRAK.....	5
ABSTRACT	6
KATA PENGANTAR	7
DAFTAR ISI	8
DAFTAR TABEL.....	10
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR LAMPIRAN	12
ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN	13
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.3 Tujuan Penelitian	15
1.4 Batasan Masalah.....	15
1.5 Sistematika Penulisan	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	17
2.2 Gangguan Yang Mempengaruhi Kestabilan	20
2.2.1 Perubahan beban dalam waktu singkat.....	20
2.2.2 Hubung Singkat	21
2.3 Critical Clearing Time (CCT).....	21
2.4 Standar Yang Berhubungan Dengan Kestabilan Transien.....	21
2.4.1 Standart Voltage Sagging	21
2.4.2 Standart Frekuensi	23
2.4.3 Standart Critical Clearing Time.....	24
2.4.4 Standart Undervoltage	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Data Sistem Kelistrikan Interkoneksi Sulbagsel	25
3.2 Data Saluran Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	25
3.3 Kapasitas Pembangkitan Sulbagsel Sultra 2021	27
3.4 Data Beban Sulbasel.....	29
3.5 Data Kontrol Generator.....	32
3.6 Metodologi Simulasi	32
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	34
4.1 Studi kasus stabilitas transien sistem interkoneksi Sulbagsel.....	34
4.2 Simulasi Stabilitas Transien	35
4.2.1 Kasus 1 JPTO#4 Off (Semua Pembangkit Sulbagsel On) : JPTO#4 <i>Delete</i> ($t = 2s$)	
35	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Voltage Sagging</i> menurut Standart SEMI F47	22
Tabel 2. 2 Batas Rentang Frekuensi Operasi.....	24
Tabel 2. 3 Standar Toleransi Tegangan menurut PLN Grid Code Sulawesi.....	24
Tabel 3. 1 Data Saluran Trasmisi Di Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara dan Sulawesi Barat..	25
Tabel 3. 2 Daya Mampu Pembangkit PLN	27
Tabel 3. 3 Daya Mampu Pembangkit IPP	28
Tabel 3. 4 Pembebanan Trafo Distribusi	29
Tabel 3. 5 Pembebanan Trafo Distribusi	31
Tabel 3. 6 Pembebanan Trafo IBT	31
Tabel 3. 7 Pemodelan dinamis untuk unit generator pada sistem interkoneksi Sulbagsel 150 kV	32
Tabel 4. 1 Studi Kasus Stabilitas Transien	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [5]	18
Gambar 2. 2 Kurva Sudut Daya Karakteristik Respon Generator pada Keadaan Gangguan [8]	20
Gambar 2. 3 <i>Standart Voltage Sagging</i> menurut SEMI F47	22
Gambar 2. 4 Batas Operasi Frekuensi Abnormal untuk <i>Steam Turbin Generator</i>	23
Gambar 3. 1 Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	25
Gambar 3. 2 Flowchart Metodologi	33