

**ANALISIS STABILITAS TEGANGAN TRANSIEN PADA SISTEM
INTERKONEKSI KELISTRIKAN 150 KV SULAWESI BAGIAN
SELATAN**

TESIS



Oleh :
MUHAMMAD WAHYU SOLIHIN
NIM. 22.131.004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK TENAGA ELEKTRIK

PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2024

**ANALISA STABILITAS TEGANGAN 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

MUHAMMAD WAHYU SOLIHIN

NIM. 22.131.004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

KONSENTRASI TEKNIK TENAGA ELEKTRIK

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

OKTOBER

2024



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

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

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 : MUHAMMAD WAHYU SOLIHIN
NIM : 22.131.004
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro
PEMINATAN : Teknik Tenaga Elektrik
JUDUL : **ANALISIS STABILITAS TEGANGAN TRANSIEN PADA
SISTEM INTERKONEKSI KELISTRIKAN 150 KV
SULAWESI BAGIAN SELATAN**

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

Pada Hari : SENIN

Tanggal : 9 AGUSTUS 2024

Dengan Nilai :

PANITIA UJIAN TESIS

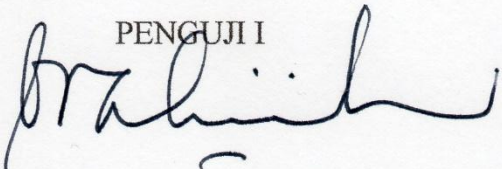
Ketua

Sekretaris

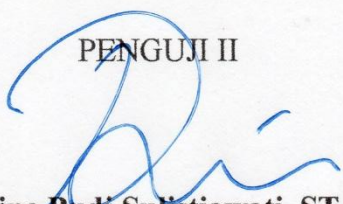

(Dr. Michael Ardita, ST., MT)
NIP. P. 1031000434


(Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT)
NIP. Y. 1028700171

PENGUJI I


(Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE., IPU, ASEAN. Eng)
NIP. Y. 1018500108

PENGUJI II


(Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT)
NIP. 19770615 200501 2 002



Tesis oleh **MUHAMMD WAHYU SOLIHIN. NIM 22.131.004**, ini telah diperiksa dan disetujui dalam ujian :

Malang, Oktober 2024

Pembimbing I



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

NIP. 19610503 199202 1 001

Pembimbing II



(Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT)

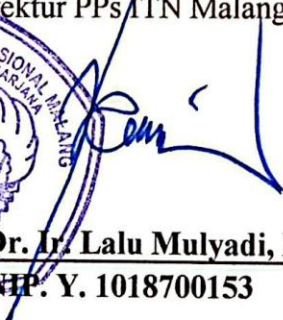
NIP. Y. 1028700171

Mengetahui :

Institut Teknologi Nasional Malang

Program Pascasarjana

Direktur PPs ITN Malang



(Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT)

NIP. Y. 1018700153

Kaprodi TE PPs ITN Malang



(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, Oktober 2024



Muhammad Wahyu Solihin
NIM. 22.131.004

ABSTRAK

Muhammad Wahyu Solihin, Program Studi Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang, Agustus 2024, “Analisa Stabilitas Tegangan Transien Pada Sistem Interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan”, Tesis, Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT., Pembimbing II : Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Permasalahan yang sering terjadi pada sistem grid adalah kestabilan sistem, yaitu kemampuan sistem untuk kembali ke kondisi steady state setelah mengalami gangguan seperti pemindahan beban atau kehilangan pembangkitan yang signifikan, operasi switching, perubahan beban yang mendadak, dan gangguan. Analisis transien membantu menentukan skema operasi rele yang diperlukan, waktu trip pemutus sirkuit kritis, dan kemampuan transfer antar sistem yang harus diredam dan diselaraskan dalam waktu tertentu agar stabil. Penelitian ini menganalisis kestabilan tegangan transien untuk mengetahui keandalan sistem ketika terjadi gangguan dengan melakukan simulasi dan analisis gangguan transien untuk menentukan Critical Clearing Time (CCT) sehingga diperoleh kondisi stabil pada sistem yang diuji. Metode yang diusulkan meliputi tiga kasus pengujian sistem kelistrikan 150 kV Sulawesi Selatan untuk mendapatkan hasil praktis kestabilan tegangan transien dengan menggunakan alat bantu ETAP Power Stations 19.0.1, masing-masing adalah trip generator berkapasitas besar dari sistem grid (kasus-1), lepasnya salah satu saluran hubung singkat (kasus-2) dan lepasnya saluran hubung singkat yang terhubung dengan generator (kasus-3). Perubahan respons tegangan transien diamati dan dianalisis selama interval waktu tertentu. Apabila sistem tidak stabil sesuai dengan standar yang diizinkan, maka waktu CB trip ditambahkan hingga sistem kembali stabil sesuai dengan CCT. Dari ketiga test case yang dilakukan, didapatkan hasil saat saluran hubung singkat ganda antara GI Bulukumba - GI Bantaeng CB 9 dan 10 dilepaskan dengan beban berkapasitas besar. Saluran hubung singkat ganda antara bus GI yang sama yaitu bus GI Switch Bantaeng CB 20 dilepas dengan beban kapasitas kecil, nilai tegangan steady state sistem sebesar 150 kV masih berada dalam batas aman sesuai dengan standar Sulawesi Grid Code. Namun, ketika salah satu generator Jeneponto unit 4 mengalami trip, sistem tidak dapat kembali ke kondisi steady state karena generator ini merupakan catu daya terbesar pada sistem grid sistem. Oleh karena itu, harus diantisipasi agar generator tersebut tidak mengalami pemadaman.

Kata Kunci : interkoneksi, waktu pemutus kritis, stabilitas tegangan, stabilitas sistem, gangguan transien

ABSTRACT

Muhammad Wahyu Solihin, Electrical Engineering Study Programme, Postgraduate Programme, National Institute of Technology Malang, August 2024, "Transient Voltage Stability Analysis of the South Sulawesi Interconnection System", Thesis, Advisor I : Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT, Advisor II: Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT.

Problems that often occur in grid systems are system stability, namely the ability of the system to return to steady state conditions after experiencing disturbances such as load shifting or significant loss of generation, switching operations, sudden load changes, and disturbances. Transient analysis helps determine the required relay operation scheme, critical circuit breaker tripping time, and inter-system transfer capabilities that must be reduced and aligned within a particular time to be stable. This study analyzes the transient voltage stability to determine the system's reliability when a disturbance occurs by simulating and analyzing transient disturbances to determine the Critical Clearing Time (CCT) so that stable conditions are obtained in the system being tested. The proposed method includes three test cases of the 150 kV South Sulawesi electrical system to get practical results of transient voltage stability using the ETAP Power Stations 19.0.1 tool, each of which is the trip of a large-capacity generator from the grid system (case-1), the release of one of the double-circuit lines (case-2) and the release of the double-circuit line connected to the generator (case-3). Changes in the transient voltage response are observed and analyzed over a specific time interval. If the system is unstable based on the permitted standard, the CB trip time is added until the system is stable again based on the CCT. From the three test cases carried out, it was obtained when the double-circuit line between Bulukumba GI-Switch CB 9 and 10 Bantaeng was released with a large capacity load. The double-circuit line between the same GI bus-switch CB 20 bus Bantaeng was released with a small capacity load, and the system's steady state voltage value of 150 kV was still within the safe limit according to the Sulawesi Grid Code standard. However, when one of the Jeneponto unit 4 generators tripped, the system could not return to steady state conditions because this generator is the largest power supply in the system grid system. Hence, anticipation must be anticipated so the generator does not experience a blackout.

Keywords : interconnection, Critical Clearing Time, voltage stability, system stability, transient disturbance

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. Kedua orang tua saya, Bapak Suharman dan Ibu Mawarti 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 Made Wartana, MT. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. selaku dosen pembimbing II
7. Segenap dosen-dosen, karyawan administrasi dan perpustakaan yang telah memberikan bantuannya dalam penulisan tesis.
8. Serta rekan-rekan Program S-2 Teknik Elektro atas dorongan moril yang telah diberikan.

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, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	I
ABSTRACT	II
KATA PENGANTAR.....	III
DAFTAR ISI	IV
DAFTAR TABEL	VI
DAFTAR GAMBAR.....	VII
ARTI SINGKATAN, SIMBOL DAN ISTILAH	VIII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gangguan Yang Mempengaruhi Kestabilan	8
2.2.1 Perubahan beban dalam waktu singkat.....	8
2.2.2 Hubung Singkat	9
2.3 Critical Clearing Time (CCT).....	9
2.4 Standar Yang Berhubungan Dengan Kestabilan Transien.....	9
2.4.1 Standart Voltage Sagging	9
2.4.2 Standart Frekuensi	11
2.4.3 Standart Critical Clearing Time.....	12
2.4.4 Standart Undervoltage	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Metodologi Simulasi	14
BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS	18
4.1 Data Sistem Kelistrikan Interkoneksi 150 kV Sulbagsel	18
4.2 Data Saluran Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	18
4.3 Kapasitas Pembangkitan Sulbagsel Sultra 2021	20
4.4 Data Beban Sulbasel	27
4.5 Data Kontrol Generator.....	35
4.5.1 Tabel Data <i>Inertia</i> Generator.....	38
4.5.2 Tabel Data <i>Exciter</i> / AVR Generator	39
4.6 Studi kasus stabilitas transien sistem interkoneksi Sulbagsel.....	45
4.7 Simulasi Stabilitas Transien.....	46
4.7.1 Kasus 1 Generator Jeneponto Unit 4 Kapasitas 125 MW Off (Semua Pembangkit Sulbagsel On) : Generator Jeneponto Unit 4 Kapasitas 125 MW trip (t = 1s), Critical Fault Clearing Time (t = 1,2 s).....	46

4.7.2 Kasus 2 <i>Fault One-Circuit Tripping of the Double-Circuit</i> <i>Interconnection Transmission Line</i> ($t = 2s$).....	47
4.7.3 Kasus 3 <i>Fault Double-Circuit Tripping of Interconnection Transmission</i> <i>Line</i> ($t = 2s$)	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Voltage Sagging</i> menurut Standart SEMI F47	10
Tabel 2. 2 Batas Rentang Frekuensi Operasi [40]	11
Tabel 2. 3 Standar Toleransi Tegangan menurut Grid Code Sulawesi	12
Tabel 4. 1 Data Saluran Trasmisi Di Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara dan Sulawesi Barat..	19
Tabel 4. 2 Daya Mampu Pembangkit PLN.....	21
Tabel 4. 3 Daya Mampu Pembangkit IPP	24
Tabel 4. 4 Pembebanan Trafo Distribusi	27
Tabel 4. 5 Pembebanan Trafo Distribusi	31
Tabel 4. 6 Pembebanan Trafo IBT	32
Tabel 4. 7 Pemodelan dinamis untuk unit generator pada sistem interkoneksi Sulbagsel 150 kV	35
Tabel 4. 8 Perbedaan Peran Inertia dan Exciter dalam Simulasi ETAP.....	37
Tabel 4. 9 Data <i>Inertia</i> Generator.....	38
Tabel 4. 10 Data <i>Exciter</i> / AVR Generator	39
Tabel 4. 11 Studi Kasus Stabilitas Transien	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga Listrik [23]	6
Gambar 2. 2 Kurva Sudut Daya Karakteristik Respon Generator pada Keadaan Gangguan [29]	8
Gambar 2. 3 <i>Standart Voltage Sagging</i> menurut SEMI F47	10
Gambar 2. 4 Batas Operasi Frekuensi Abnormal untuk <i>Steam Turbin Generator</i>	11
Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian	16
Gambar 4. 1 Sistem Interkoneksi Sulbagsel 2021	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2 Inertia pembangkit JPTO#1	40
Gambar 4. 3 Inertia pembangkit JPTO#2	40
Gambar 4. 4 Inertia pembangkit JPTO#3	40
Gambar 4. 5 Inertia pembangkit JPTO#4	41
Gambar 4. 6 Inertia PLTA Tangka	41
Gambar 4. 7 Inertia PNGY#1	41
Gambar 4. 8 Inertia PNGY#2	42
Gambar 4. 9 Exciter JPTO#1	42
Gambar 4. 10 Exciter JPTO#2	42
Gambar 4. 11 Exciter JPTO#3	43
Gambar 4. 12 Exciter JPTO#4	43
Gambar 4. 13 Exciter PNGY 1	44
Gambar 4. 14 Exciter PNGY 2	44
Gambar 4. 15 Exciter PLTA Tangka	44
Gambar 4. 16 Respon tegangan ketika generator Jeneponto unit 4 trip	47
Gambar 4. 17 respon tegangan ketika CB 10 saluran GI Bulukumba-GI Bantaeng Switch <i>trip</i>	48
Gambar 4. 18 respon tegangan ketika CB 20 saluran bus GI Jeneponto – bus GI Bantaeng <i>New trip</i>	49
Gambar 4. 19 respon tegangan ketika CB 33 & 36 saluran PLTU Jeneponto unit 1 & unit 2- bus GI Talasa <i>trip</i>	50
Gambar 4. 20 respon tegangan ketika CB 80 & 81 saluran bus PLTU Jeneponto unit 1 & unit 2 – bus GI Punagaya <i>trip</i>	51

ARTI SINGKATAN, SIMBOL DAN ISTILAH

CB	: Circuit Breaker
CCT	: Critical Clearing Time
ETAP	: Electrical Transient and Analysis Program
GI	: Gardu Induk
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
PLTU	: Pembangkit Listrik Tenaga Uap
RUPTL	: Rencana Usaha Penyedia Tenaga Listrik
SLD	: Single Line Diagram
Sulbagsel	: Sulawesi Bagian Selatan

Daftar Simbol

kV	: kilo Volt
MW	: Mega Watt
P	: Daya (watt)
V_{∞}	: Tegangan infinite bus (volt)
δ	: Tegangan terminal mesin (volt)

Daftar Istilah

<i>Grid</i>	: Sejumlah besar unit pembangkit dan pusat beban ini saling terhubung
<i>Exciter</i>	: Mensuplai atau menghasilkan tegangan listrik untuk di alirkan ke gulungan rotor utama pada generator agar gulungan rotor dapat mengubah listrik tersebut menjadi medan magnet
<i>Grid Code</i>	: Serangkaian aturan, persyaratan, dan standar yang bersifat dinamis dan adaptif untuk memastikan jaringan sistem tenaga listrik yang aman, andal, dan efisien dalam memenuhi kebutuhan penyediaan tenaga listrik
<i>Load flow</i>	: Aliran daya
<i>Load switching</i>	: Berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan jaringan listrik
<i>Power quality</i>	: Kualitas daya
<i>Steady state</i>	: Kemampuan suatu sistem tenaga listrik mempertahankan sinkronisasi antara mesin-mesin dalam sistem setelah mengalami gangguan kecil (fluktuasi beban)
<i>Trip</i>	: Terlepasnya jaringan transmisi listrik, suatu subsistem jaringan melepaskan diri dari sistem jaringan lainnya
<i>Voltage</i>	: Tegangan