ANALISIS INTEGRASI PLTS 15 MWp TERHADAP KESTABILAN TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA JARINGAN 20 KV ELECTRICIDADE DE TIMOR LESTE (EDTL) REGION ADMINISTRATIVO ESPESIAL OECUSSE AMBENO (RAEOA) – TIMOR LESTE

TESIS

Oleh:

JOSE ALEXANDRE BANA S.T

NIM. 23131004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

PEMINATAN ENERGI LISTRIK

PROGRAM PASCASARJANA

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

AGUSTUS

2025

ANALISIS INTEGRASI PLTS 15 MWp TERHADAP KESTABILAN TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA JARINGAN 20 KV

Electricidade De Timor Leste (EDTL) Region Administrativo Espesial Oecusse Ambeno (RAEOA) – TIMOR LESTE

TESIS

Diajukan kepada
Institut Teknologi Nasional Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro
Peminatann Teknik Tenaga Elektrik

Oleh

JOSE ALEXANDRE BANA S.T
NIM. 23131004

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN ENERGI LISTRIK
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
AGUSTUS
2025

Tesis oleh JOSÉ ALEXANDRE BANA S.T, NIM 23131004, ini telah diperiksa dan disetujui dalam ujian:

Malang, 22 Agustus 2025

Pembimbing I

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

Pembimbing II

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

Pembimbing III

Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph. D
NIP.198003012005011002

Mengetahui:
Institut Teknologi Nasional Malang
Program Pascasarjana (PPs)

Direktur PPs ITN Malang

Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT.
NIP. Y. 1018500108

Ka. Prodi TE PPs ITN Malang

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

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

PT. 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	: JOSE ALEXANDRE BANA S.T
NIM	: 23.131.004
PROGRAM STUDI	: Magister Teknik Elektro
PEMINATAN	: Teknik Tenaga Elektrik
JUDUL	: ANALISIS INTEGRASI PLTS 15 MWp TERHADAP KESTABILAN TEGANGAN DAN FREKUENSI PADA JARINGAN 20 KV Electricidade De Timor Leste (EDTL) Region Administrativo Espesial Oecusse Ambeno (RAEOA) – TIMOR LESTE

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Ujian Tesis Jenjang Program Studi Pascasarjana Magister Teknik (S-2)

Pada Hari	: Jumat
Tanggal	: 22 Agustus 2025
Dengan Nilai	:

PANITIA UJIAN TESIS

Ketua

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

Sekretaris

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

PENGUJI I

(Prof. Dr. Eng. Ir. I Made Wartana, MT.)
NIP. 19610503 199202 1 001

PENGUJI II

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

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 2025



JOSE ALEXANDRE BANA S.T

NIM. 23.131.004

ABSTRAK

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dan menurunkan emisi karbon, Pemerintah Timor-Leste merencanakan integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 15 MWp yang terhubung ke jaringan (on-grid) pada sistem kelistrikan Electricidade de Timor-Leste (EDTL) di Região Administrativa Especial de Oé-Cusse Ambeno (RAEOA). Meskipun pembangkit listrik tenaga surya menawarkan alternatif energi yang berkelanjutan, karakteristik intermitensi dan penggunaan inverter dalam sistem pembangkitannya dapat memengaruhi kestabilan tegangan dan frekuensi, khususnya pada sistem tenaga listrik yang lemah dan terisolasi. Penelitian ini mengkaji dampak integrasi PLTS 15 MWp terhadap jaringan distribusi 20 kV EDTL RAEOA. Analisis dilakukan melalui simulasi kondisi tunak (*steady-state*) dan dinamik untuk mengevaluasi kinerja sistem sebelum dan setelah integrasi PLTS. Kestabilan tegangan dianalisis berdasarkan profil tegangan setiap bus dan *Fast Voltage Stability Index* (FVSI), sedangkan kestabilan frekuensi dievaluasi melalui parameter inersia ekuivalen sistem (H_{eq}) dan *Rate of Change of Frequency* (RoCoF). Analisis komparatif digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh penetrasi PLTS yang tinggi terhadap regulasi tegangan, distribusi daya reaktif, dan respons frekuensi sistem akibat gangguan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar teknis dalam mengevaluasi kelayakan integrasi PLTS skala besar serta mendukung pengembangan energi terbarukan yang andal pada jaringan distribusi terisolasi yang didominasi pembangkit listrik tenaga diesel.

Kata kunci: Stabilitas Tegangan, Profil Frekuensi, Energi Baru dan Terbarukan, Respons Stabilitas Tegangan dan Frekuensi.

ABSTRACT

To reduce dependence on imported diesel fuel and associated carbon emissions, the Government of Timor-Leste plans to integrate a 15 MWp grid-connected solar photovoltaic (PV) power plant into the Electricidade de Timor-Leste (EDTL) power system in the Região Administrativa Especial de Oé-Cusse Ambeno (RAEOA). Although PV generation offers a sustainable alternative to conventional diesel generation, its intermittent output and inverter-based characteristics may affect voltage and frequency stability, particularly in weak and isolated power systems. This study investigates the impact of integrating the proposed 15 MWp PV plant into the existing 20 kV EDTL RAEOA distribution network. Steady-state load-flow analysis and dynamic simulations are conducted to evaluate system performance under pre-integration and post-integration conditions. Voltage stability is assessed using bus voltage profiles and the Fast Voltage Stability Index (FVSI), while frequency stability is evaluated through equivalent system inertia (H_{eq}) and Rate of Change of Frequency (RoCoF). The comparative assessment identifies the effects of high PV penetration on voltage regulation, reactive power distribution, and frequency response under system disturbances. The findings provide a technical basis for evaluating the feasibility of large-scale PV integration and supporting reliable renewable energy development in isolated diesel-dominated distribution networks.

Keywords: Voltage Stability, Frequency Profile, New and Renewable Energy, Voltage and Frequency Stability Response.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul "Analisis Integrasi PLTS 15 MWp Terhadap Kestabilan Tegangan Dan Frekuensi Pada Jaringan 20 KV Electricidade De Timor Leste (EDTL) Region Administrativo Espesial Oecusse Ambeno (RAEOA) –Timor Leste, Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister Teknik elektro di Institut Teknologi Nasional Malang, fakultas teknologi Industri. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moral maupun material sehingga proposal penelitian ini dapat selesai.

1. Kedua orang tua saya, Bapak Alexandre Babu Bana, Ibu Lucia Ulan, Istriku Antonia Sousa Corbafo dan 5 Anak2 tercinta kami 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. Abraham Lomi, MSEE, IPU, ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing I
6. Bapak Dr. Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT. selaku dosen pembimbing II
7. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph. D, selaku dosen pembimbing III
8. Segenap karyawan administrasi dan perpustakaan yang telah memberikan bantuannya dalam penulisan tesis.
9. Teman-teman atau rekan-rekan Program S-2 Teknik Elektro atas dorongan moral yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa proposal tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang didapatkan. Laporan proposal tesis ini juga tak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada keseempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada bapak pembimbing 1, pembimbing 2, dan Pembimbing 3 saya yang telah meluangkan waktu memberi dukungan, bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan proposal tesis saya ini. Orang tua tercinta, keluarga dan istri serta anak – anak yang telah memberi dukungan dan

memotivasi dalam menyelesaikan laporan proposal tesis saya dan dukungan doa yang telah diberikan semua phak yang tidak bisa saya sebutkan satu - persatu saya berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa mengaruniakan Rahmat dan hidayah-Nya kepada mereka semua. Semoga proposal tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Malang, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK I
KATA PENGANTAR III
DAFTAR ISI V
DAFTAR GAMBAR VII
DAFTAR TABEL VIII
DAFTAR LAMPIRAN IX
ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN X
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 LATAR BELAKANG 1
1.2 RUMUSAN MASALAH 4
1.3 TUJUAN PENELITIAN 4
1.4 BATASAN MASALAH 4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 TEKNOLOGI PLTS DI EDTL RAEOA – TIMOR LESTE 6
2.2 JARINGAN 20 KV PEMBANGKIT DIESEL EDTL RAEOA TIMOR LESTE 7
2.2.1 Faktor Beban (Load factor) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel 7
2.2.2 Komponen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) 8
2.2.3 Motor Penggerak Sistem Diesel 10
2.2.4 Kerja Pararel Generator 12
2.3 KESTABILAM SISTEM TENAGA LISTRIK 12
2.4 GANGGUAN YANG MEMPENGARUHI KESTABILAN 16
2.4.1 Perubahan beban dalam waktu singkat 16
2.4.2 Hubung Singkat 16
2.4.3 Standart Voltage Sagging 17
2.4.4 Standart Frekuensi 18
2.4.5 Standart Critical Clearing Time 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 21
3.1 TAHAP-TAHAP PENELITIAN 21
3.2 OBJEK PENELITIAN 24
3.3 DATA PENELITIAN 24
3.5 PEMODELAM PLTS DI EDL RAEOA-TIMOR LESTE 43
3.6 SIMULASI ETAP 45
BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENGUJIAN 49
4.1 ANALISIS PENELITIAN 49
4.1.3 Desain Model Sistem 52
4.1.4 Struktur Jaringan Tanpa PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 52
4.1.5 Struktur Jaringan Dengan PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 15 MW 53

4.1.6 Parameter Umum Sistem 53
4.1.7 Diagram Satu Garis 54
4.1.8 Alur Simulasi dalam ETAP 54
4.1.9 Skenario Simulasi 55
4.1.10 Skenario 1 – Sistem Tanpa PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 55
4.1.11 Skenario 2 – Sistem Dengan Integrasi PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 15 MW 56
4.1.12 Tujuan Komparatif 56
4.1.13 Metodologi Simulasi 57
4.2 HASIL SIMULASI 57
4.2.1 SISTEM TEGANGAN TANPA PLTS DI EDTL RAEOA – TIMOR LESTE 57
4.2.2 Sistem Tegangan Dengan PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 63
4.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Simulasi dan Kestabilan Sistem 68
4.2.4 Lokasi Titik Interkoneksi PLTS DI EDTL RAEOA-TIMOR LESTE 68
4.2.5 Kapasitas PLTS terhadap Total Daya Sistem 70
4.2.6 Pengaturan Inverter pada PLTS DI EDTL RAEOA-TIMOR LESTE 70
4.2.7 Profil dan Jenis Sistem Beban 70
4.2.8 Topologi dan Impedansi Sistem Distribusi 71
4.2.9 Asumsi Simulasi (Steady-State vs Transien) 71
4.2.10 Kualitas Data Masukan dan Parameter Sistem 71
4.3 ANALISIS HASIL 72
4.3.1 Hasil Analisis Dinamika Frekuensi BUS 20 KV untuk CB-F2 Open 72
4.3.2 Hasil Analisis Frekuensi BUS 20 KV UNTUK CB-F2 dan CB-F4 73
4.3.3 Hasil Analisis 20 KV untuk CB 1 di Open 75
4.3.4 Hasil Analisis Frekuensi Bus 20 KV Untuk CB18 dan CB1 PLTS Open Sistem 76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 78
5.1 KESIMPULAN 78
5.2 SARAN 79
DAFTAR PUSTAKA 80

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2. 1 SKEMA UMUM SISTEM PLTD 8
GAMBAR 2. 2 SKEMA SISTEM PLTD DI EDTL RAEOA,TIMOR - LESTE 8
GAMBAR 2. 3 PRINSIP KERJA MESIN DIESEL 11
GAMBAR 2. 4 KLASIFIKASI KESTABILAN SISTEM TENAGA LISTRIK 14
GAMBAR 2. 5 KURVA SUDUT DAYA KARAKTERISTIK RESPON GENERATOR PADA KEADAAN GANGGUAN 15
GAMBAR 2. 6 STANDART VOLTAGE SAGGING MENURUT SEMI F47 18
GAMBAR 2. 7 BATAS OPERASI FREKUENSI ABNORMAL UNTUK STEAM TURBIN GENERATOR 18
GAMBAR 3. 1 FLOWCHART PENETLITIAN 23
GAMBAR 3. 2 SINGLE LINE INTEGRASI PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE EDTL RAEOA 30
GAMBAR 3. 3 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 1 32
GAMBAR 3. 4 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 2 33
GAMBAR 3. 5 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 3 34
GAMBAR 3. 6 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 4 35
GAMBAR 3. 7 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 4 (LANJUTAN) 36
GAMBAR 3. 8 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 4 (LANJUTAN) 37
GAMBAR 3. 9 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 4 (LANJUTAN) 38
GAMBAR 3. 10 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 4 (LANJUTAN) 39
GAMBAR 3. 11 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 5 40
GAMBAR 3. 12 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 5 (LANJUTAN) 41
GAMBAR 3. 13 SINGLE LINE DIAGRAM FEEDER 5 (LANJUTAN) 42
GAMBAR 3. 14 MODEL PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 44
GAMBAR 3. 15 PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE TIDAK TEHUBUNG 46
GAMBAR 3. 16 PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE TERHUBUNG 47
GAMBAR 4. 1 GRAFIK SIMULASI TANPA PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 62
GAMBAR 4. 2 GRAFIK SIMULASI DENGAN PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 67
GAMBAR 4. 3 TITIK LOKASI PLTS EDTL RAEOA 69
GAMBAR 4. 4 RAEOA TIMOR LESTE 69
GAMBAR 4. 5 HASIL GRAFIK BUS 20 KV CB-F2 73
GAMBAR 4. 6 HASIL GRAFIK BUS 20 KV CB-F2 DAN CBF4 74
GAMBAR 4. 7 HASIL GRAFIK BUS 20 KV CB1 DI OPEN 75
GAMBAR 4. 8 GAMBAR HASIL GRAFIK FREKUENSI BUS 20 KV CB 18 DAN CB-1 PLTS OPEN SISTEM 77

DAFTAR TABEL

TABEL 2. 1 VOLTAGE SAGGING MENURUT STANDART SEMI F47 17
TABEL 2. 2 BATAS RENTANG FREKUENSI OPERASI 19
TABEL 3. 1 PARAMETER JARINGAN 20 KV EDTL 25
TABEL 3. 2 DATA TRAFO FEEDER 1 25
TABEL 3. 3 DATA TRAFO FEEDER 2 25
TABEL 3. 4 DATA TRAFO FEEDER 3 26
TABEL 3. 5 DATA TRAFO FEEDER 4 27
TABEL 3. 6 DATA TRAFO FEEDER 5 28
TABEL 4. 1 ALAT SIMULASI 50
TABEL 4. 2 PARAMETER SISTEM 53
TABEL 4. 3 HASIL SIMULASI TEGANGAN TANPA PLTS DI EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 57
TABEL 4. 4 HASIL SIMULASI TEGANGAN DENGAN PLTS EDTL RAEOA - TIMOR LESTE 63
TABEL 4. 5 HASIL FREKUENSI BUS 20 KV CB-F2 72
TABEL 4. 6 HASIL FREKUENSI BUS 20 KV CB-F2 DAN CB-F4 OPEN SISTEM 73
TABEL 4. 7 BUS 20 KV CB1 OPEN SISTEM 75
TABEL 4. 8 TABEL HASIL FREKUENSI BUS 20 KV CB 18 DAN CB-1 PLTS OPEN SISTEM 76

DAFTAR LAMPIRAN

ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN