



Institut Teknologi Nasional Malang

TUGAS AKHIR – TEKNIK ENERGI LISTRIK

PENGARUH INTEGRASI PLTS KAPASITAS 4×25 MW TERHADAP STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK 150 KV BALI

Vincentius Davis Krisnaputra
NIM 2112046

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, IPU, ASEAN Eng
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2025



Institut Teknologi Nasional Malang

TUGAS AKHIR – TEKNIK ENERGI LISTRIK

PENGARUH INTEGRASI PLTS KAPASITAS 4×25 MW TERHADAP STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK 150 KV BALI

Vincentius Davis Krisnaputra
NIM 2112046

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, IPU, ASEAN Eng
Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Juli 2025

**PENGARUH INTEGRASI PLTS KAPASITAS 4×25 MW
TERHADAP STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK
150 KV BALI**

SKRIPSI

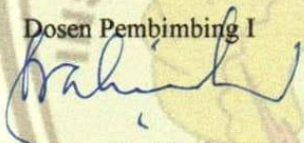
**Vincentius Davis Krisnaputra
2112046**

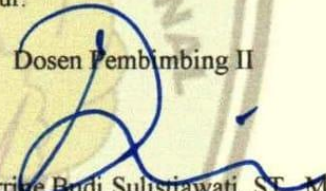
Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi Teknik Elektro S-1
Peminatan Teknik Energi Listrik
Institut Teknologi Nasional Malang

Diperiksa dan Disetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


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


Dr. Iriye Budi Sulistiawati, ST., MT.
NIP. 19770615 200501 2 002

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1




Dr. Irmawati Suryani Faradisa, ST., MT.
NIP. P. 1030000365

MALANG
Juli 2025

PENGARUH INTEGRASI PLTS KAPASITAS 4×25 MW TERHADAP STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK 150 KV BALI

Vincentius Davis Krisnaputra, NIM: 2112046

**Dosen Pembimbing I: Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE,
IPU, ASEAN Eng**

Dosen Pembimbing II: Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas dampak integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kapasitas total 100 MW (4×25 MW) terhadap kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik pada jaringan transmisi 150 kV di Bali. Seiring meningkatnya penetrasi energi terbarukan dalam sistem kelistrikan, tantangan terkait kestabilan sistem—khususnya kestabilan frekuensi—menjadi isu yang semakin krusial, terutama karena karakteristik PLTS yang tidak menyumbang inersia seperti halnya pembangkit konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana integrasi PLTS mempengaruhi respon sistem terhadap gangguan, peningkatan beban, dan pelepasan unit pembangkit eksisting. Metodologi yang digunakan adalah simulasi menggunakan perangkat lunak DigSILENT PowerFactory, melalui studi *Load Flow* dan *RMS Simulation* untuk mengevaluasi perubahan nilai frekuensi dan laju perubahan frekuensi (*Rate of Change of Frequency/ROCOF*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tanpa pengaturan proteksi yang tepat, integrasi PLTS dapat menyebabkan sistem mengalami penurunan frekuensi yang signifikan dan peningkatan ROCOF secara drastis. Oleh karena itu, penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas pengaturan relay proteksi (frekuensi rendah, df/dt , dan tegangan rendah) dalam mempertahankan stabilitas sistem. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan penerapan strategi proteksi yang sesuai, integrasi PLTS dalam skala besar masih memungkinkan dilakukan tanpa mengorbankan kestabilan frekuensi sistem tenaga, sekaligus mendukung tujuan transisi energi menuju sumber daya yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Kata kunci: PLTS, kestabilan frekuensi, DigSILENT PowerFactory, sistem tenaga listrik, ROCOF, relay proteksi

ANALYSIS OF THE IMPACT OF 4×25 MW SOLAR POWER PLANT INTEGRATION ON THE STABILITY OF THE 150 KV BALI POWER SYSTEM

Vincentius Davis Krisnaputra, NIM: 2112046

**Dosen Pembimbing I: Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE,
IPU, ASEAN Eng**

Dosen Pembimbing II: Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

ABSTRACT

This study investigates the impact of integrating a 100 MW capacity Solar Power Plant (PLTS), composed of four 25 MW units, on the frequency stability of the 150 kV transmission system in Bali, Indonesia. As renewable energy penetration increases within modern power systems, maintaining system stability—particularly frequency stability—poses a significant challenge, mainly because photovoltaic (PV) systems contribute no rotational inertia, unlike conventional generators. The objective of this research is to analyze how PLTS integration affects system response under various disturbances, including generator disconnection and load increment scenarios. The methodology employed involves simulations using DigSILENT PowerFactory software through *Load Flow* and *RMS Simulation* studies, to assess system frequency deviations and *Rate of Change of Frequency (ROCOF)* under different conditions. The simulation results indicate that without appropriate protection schemes, the integration of large-scale PLTS can lead to severe frequency drops and high ROCOF values, threatening system stability. To address this, the study also evaluates the effectiveness of frequency-based and voltage-based relay settings (underfrequency, df/dt, and undervoltage relays). The findings confirm that with proper protection configurations, large-scale solar integration is feasible without compromising system frequency stability, thereby supporting the broader objective of energy transition towards cleaner and more sustainable sources.

Keywords: PLTS, frequency stability, DigSILENT PowerFactory, power system, ROCOF, protection relay.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa oleh anugrah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia yang besar, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mengingatkan dan memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dan Ibu selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Ibu Dr. Irmalia Suryani Faradisa S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, IPU, ASEAN Eng dan Ibu Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT. yang membantu pengarahan dalam pengerjaan skripsi.
6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro S-1 yang memberikan ilmu dan senantiasa membantu setiap kesulitan yang penulis temui.
7. Teman-teman Program Studi Teknik Elektro ITN angkatan 2021 yang selalu mendukung satu sama lain.
8. Teman-teman alumni yang telah membagi ilmu semasa perkuliahan, serta membantu penulis dalam pengerjaan skripsi.
9. Sahabat terbaik penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu-satu, yang selalu memberi dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Namun demikian, jika masih ditemui kekurangan atau kesalahan dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun untuk menambah kesempurnaan laporan skripsi ini sehingga dapat bermanfaat bagi rekan mahasiswa dan pembaca lainnya

Malang, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah.....	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
BAB II Tinjauan Pustaka	11
2.1 Penelitian Terdahulu	11
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	13
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On-Grid	14
2.2.1 Kualitas Daya (<i>Power Quality</i>).....	14
2.2.2 Stabilitas Jaringan (<i>Grid Stability</i>).....	15
2.2.3 Proteksi Jaringan (<i>Grid Protection</i>)	16
2.2.4 Standar dan Regulasi	17
2.2.5 Pertimbangan Desain Sistem	18
2.4 Sistem Jaringan Listrik	19
2.5 Integrasi Sistem Tenaga Listrik	24
2.6 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik	26
2.7 Frekuensi Sistem Tenaga Listrik.....	27
2.8 Kestabilan Frekuensi Sistem Tenaga Listrik	30
2.9 Rate of Change of Frequency	32
2.10 Metode Analisis Kestabilan	34
2.11 DigSilent PowerFactory.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.2 Tahap Penelitian	38
3.3 Flowchart.....	40
3.4 Skenario Simulasi	42
3.5 Uji Metode Sistem IEEE (14 Bus).....	42
3.6 Single Line Diagram Bali	51
3.6.1 Data Generator	52
3.6.2 Data Beban.....	52
3.6.3 Data Saluran.....	55

3.6.4 PLTS 4x25 MW	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1 RMS (Root Mean Square) Simulation	61
4.1.1 Respon Frekuensi Sistem Terhadap Injeksi Daya.....	61
4.1.2 Integrasi PV 4x25MW dengan Setting Nilai Relay	71
4.1.3 Integrasi PV 4x25MW Kondisi Generator	75
4.1.4 Integrasi PV 4x25MW Tanpa dan Dengan Penambahan Beban.....	77
4.1.5 Integrasi PV 4x25MW Keadaan Pelepasan Salah Satu Generator Gilimanuk dan Pemaron.....	86
4.2 Analisis Rocof Total.....	88
4.2.1 Grafik Rocof Integrasi PV	88
4.2.2 Grafik Rocof Keadaan Generator.....	89
4.2.3 Grafik Rocof Penambahan Beban.....	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	13
Gambar 2. 2 PLTS On-Grid Skala Utilitas.....	18
Gambar 2. 3 Sistem Jaringan Listrik.....	23
Gambar 2. 4 Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik.....	27
Gambar 2. 5 Gelombang Frekuensi Sistem Tenaga Listrik.	30
Gambar 2. 6 Diagram Perubahan Beban terhadap Perubahan Nilai Frekuensi Sistem Tenaga Listrik.	32
Gambar 2. 7 Typical frequency evolution of a power system.....	34
Gambar 3. 1 Flowchart Proses.....	38
Gambar 3. 2 Flowchart Alir Analisis.....	40
Gambar 3. 3 SLD IEEE 14 Bus Tanpa PLTS	44
Gambar 3. 4 SLD IEEE 14 Bus Penambahan PLTS	44
Gambar 3. 5 Grafik Nilai Magnitudo Tegangan Tanpa PLTS (dalam satuan p.u.)	45
Gambar 3. 6 Grafik Nilai Magnitudo Tegangan dengan PLTS (dalam satuan p.u.)	45
Gambar 3. 7 Grafik Daya Aktif dan Reaktif oleh Generator Tanpa PLTS	47
Gambar 3. 8 Grafik Daya Aktif dan Reaktif oleh Generator dengan PLTS	47
Gambar 3. 9 Grafik Frekuensi Sistem Tanpa PLTS	49
Gambar 3. 10 Grafik Frekuensi Sistem dengan PLTS.....	50
Gambar 3. 11 Single Line Diagram Bali.....	57
Gambar 3. 12 PLTS yang terhubung sistem Bali	58
Gambar 3. 13 PLTS yang terhubung sistem Bali	58
Gambar 4. 1 Respon Frekuensi Sistem Terhadap Injeksi PV	62
Gambar 4. 2 Grafik Frekuensi Sistem Terinjeksi PV	64
Gambar 4. 3 Tampilan Frekuensi Sistem Terintegrasi PLTS	68
Gambar 4. 4 Tampilan Keadaan Transien Frekuensi.....	69
Gambar 4. 5 Tampilan Keadaan Stabil Frekuensi.....	69
Gambar 4. 6 Grafik Relay Bekerja pada Bus Negara	73
Gambar 4. 7 Tampilan Frekuensi Sistem Terintegrasi PV kondisi Generator.....	75
Gambar 4. 8 Tampilan Frekuensi Puncak Keadaan Transien	76
Gambar 4. 9 Tampilan Frekuensi Lembah Keadaan Transien	76
Gambar 4. 10 Tampilan Frekuensi Stabil	77
Gambar 4. 11 Tampilan Frekuensi Tanpa Penambahan Beban	78

Gambar 4. 12 Tampilan Frekuensi Sistem Terintegrasi PV Penambahan Beban 20%	79
Gambar 4. 13 Tampilan Frekuensi Puncak Penambahan Beban 20%... ..	79
Gambar 4. 14 Tampilan Frekuensi Lembah Penambahan Beban 20%	80
Gambar 4. 15 Tampilan Frekuensi Stabil Penambahan Beban 20%	80
Gambar 4. 16 Tampilan Frekuensi Sistem Terintegrasi PV Penambahan Beban 40%	81
Gambar 4. 17 Tampilan Frekuensi Puncak Penambahan Beban 40%... ..	81
Gambar 4. 18 Tampilan Frekuensi Lembah Penambahan Beban 40%	82
Gambar 4. 19 Tampilan Frekuensi Stabil Penambahan Beban 40%	82
Gambar 4. 20 Tampilan Frekuensi Sistem Terintegrasi PV Penambahan Beban 60%	83
Gambar 4. 21 Tampilan Frekuensi Puncak Penambahan Beban 60%... ..	83
Gambar 4. 22 Tampilan Frekuensi Lembah Penambahan Beban 60%	84
Gambar 4. 23 Tampilan Frekuensi Stabil Penambahan Beban 60%	84
Gambar 4. 24 Tampilan Frekuensi Penambahan Beban Maximal Sebesar 540%	85
Gambar 4. 25 Tampilan Frekuensi Stabil Pelepasan Satu Generator	87
Gambar 4. 26 Tampilan Frekuensi Blackout Pelepasan Lima Generator	87
Gambar 4. 27 Grafik Rocof Integrasi PV	89
Gambar 4. 28 Grafik Rocof Keadaan Generator	90
Gambar 4. 29 Grafik Rocof Penambahan Beban 20%, 40%, dan 60%	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Generator	52
Tabel 3. 2 Data Beban	53
Tabel 3. 3 Data Saluran	55
Tabel 4. 1 Tabel Nilai Frekuensi	62
Tabel 4. 2 Tabel Analisa Rocof	65
Tabel 4. 3 Tabel Nilai Frekuensi	67
Tabel 4. 4 Analisa Rocof Setiap PV terinjeksi Sistem Bali	70
Tabel 4. 5 Nilai Rating Relay	72
Tabel 4. 6 Tabel Nilai Frekuensi	73
Tabel 4. 7 Analisa Rocof Setiap Generator setelah injeksi PV	77
Tabel 4. 8 Analisa Rocof Setiap Generator Event Load 20%, 40%, dan 60% terinjeksi 4 PV	84



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 SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama : Vincentius Davis Krisnaputra
NIM : 2112046
Program Studi : Teknik Elektro S1
Peminatan : Teknik Energi Listrik
Masa Bimbingan : Semester Genap 2024/2025
Judul Skripsi : Pengaruh Integrasi PLTS Kapasitas 4x25 MW
Terhadap Stabilitas Sistem Tenaga Listrik 150
kV Bali

Diperlihatkan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu
(S-1) pada:

Hari : Kamis
Tanggal : 31 Juli 2025
Nilai : 82.05

Majelis Penguji

Ketua

Dr. Irrine Budi Sulistiawati, ST., MT.

NIP. 19770615 200501 2 002

Anggota Penguji

Penguji I

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

NIP. 19610503 199202 1 001

Penguji II

Ir. Ni Putu Agustini, MT.

NIP.Y. 1030100371

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Vincentius Davis Krisnaputra
NIM : 2112046
Jurusan / Peminatan : Teknik Elektro S-1 / Energi Listrik
ID KTP / Paspor : 3507130602030001
Alamat : Perumahan De Salvia B11, Kelurahan
Tanjungrejo, Kecamatan Sukun, Kota Malang
Judul Skripsi : Pengaruh Integrasi PLTS Kapasitas 4x25 MW
Terhadap Stabilitas Sistem Tenaga Listrik 150 kV
Bali

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya buat merupakan hasil karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari orang lain. Dalam skripsi ini tidak memuat karya orang lain kecuali dicantumkan sumber yang digunakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, maka saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S-1) di batalkan, serta di proses sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, 11 September 2025
Yang membuat pernyataan



Vincentius Davis
Krisnaputra
2112046