

**ANALISA DINAMIK *ISLANDING OPERATION* PADA
SISTEM TARAHAN DENGAN *HIGH-PV PENETRATION***

(SKRIPSI)

Oleh

MUHAMMAD ADRIAN RELANDO

1915031056



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

ABSTRAK

ANALISA DINAMIK *ISLANDING OPERATION* PADA SISTEM TARAHAN DENGAN *HIGH-PV PENETRATION*

Oleh

MUHAMMAD ADRIAN RELANDO

Ketersediaan energi konvensional setiap waktu akan semakin berkurang akibat pemakaian secara terus menerus. Sehingga diperlukan energi alternatif seperti energi matahari, akan tetapi energi matahari (PLTS) tidak memiliki bagian yang berputar seperti pembangkit konvensional dan ditambah PLTS memiliki sifat *intermittent* yang berdampak mengurangi performa sistem, jika dilakukannya skala penetrasi PLTS yang besar ke *grid* PLN. *Island* Tarahan merupakan sebuah subsistem lumpung yang terbentuk setelah terjadinya *islanding operation* pada sistem Lampung. Pada penelitian ini dilakukan analisis studi stabilitas sistem dengan adanya PLTS pada jaringan transmisi 150kV Sistem Tarahan, untuk menganalisis pengaruh respon pada sistem tarahan ketika dipenetrasi oleh PLTS dengan skala besar. Terdapat 3 parameter yang akan dilakukan pada simulasi yaitu, respon frekuensi, tegangan, dan *speed* generator ketika terjadi perubahan pada sistem serta menggunakan *DigSILENT Powerfactory* sebagai perangkat lunak. Data masukkan perangkat lunak berasal dari PT. PLN (Persero) P3B UPT Tanjung Karang. Dimana terdapat 5 studi kasus dengan 3-4 skenario disetiap kasus untuk melihat pengaruh penetrasi PLTS ke *grid*. Hasil simulasi aliran daya menunjukkan ketika level penetrasi PLTS sebesar 0-30%, bahwa kondisi tegangan setiap gardu induk masih dalam kondisi aman dalam Batasan -10% dan +5%. Pada simulasi *optimal power flow* menunjukkan bahwa pembangkit mengalami *redispatch* ketika adanya penetrasi PLTS ke sistem Tarahan, dan pada simulasi stabilitas sistem dengan 5 studi kasus menunjukkan bahwa respon frekuensi, tegangan, dan *speed* generator mengalami *droop* yang semakin besar seiring besarnya level penetrasi PLTS ke sistem. Hal tersebut dikarenakan inersia sistem menjadi semakin rendah ketika ada penetrasi PLTS ke sistem Tarahan.

Kata kunci: PLTS, *Islanding Operation*, Aliran Daya, Stabilitas, *DigSILENT PowerFactory*

ABSTRACT

ANALYSIS DYNAMIC ISLANDING OPERATION OF TARAHAH SYSTEM WITH HIGH-PV PENETRATION

By

MUHAMMAD ADRIAN RELANDO

Availability of conventional energy will decrease over time due to continuous use. So that alternative energy is needed such as solar energy, but solar energy (PLTS) does not have rotating parts like conventional plants and in addition PLTS has intermittent properties which have the effect of reducing system performance, if large-scale PLTS penetration is carried out into the grid PLN. Tarahan Island is a Lampung subsystem that was formed after the islanding operation in the Lampung system. In this research, an analysis of system stability studies was carried out in the presence of PLTS on the grid transmission 150kV Tarahan System, to analysis the effect of the response on the tarahan system when it is penetrated by a large-scale PLTS. There are 3 parameters that will be carried out in the simulation, namely frequency response, voltage, and generator speed when occur perturbation in the system and using the DIgSILENT Powerfactory software. Software input data is given by PT. PLN (Persero) P3B UPT Tanjung Karang. Where there are 5 case studies with 3-4 scenarios in each case to see the effect of PLTS penetration into the grid. The results of the load flow simulation show that when the PLTS penetration level is 0-30%, the voltage condition of each substation is still safe within the limit of -10% to +5%. In the optimal power flow simulation, it can be seen that the generator experiences redispatch when the penetration PLTS into the Tarahan system, and the system stability simulation with 5 case studies shows that the frequency response, voltage, and generator speed experience a greater droop as the penetration level of PLTS to the system increases. This is because the system inertia becomes lower when there is PLTS penetration into the Tarahan system.

Keyword : PLTS, Islanding Operation, Load Flow, Stability, DIgSILENT PowerFactory

**ANALISA DINAMIK *ISLANDING OPERATION* PADA SISTEM
TARAHAN DENGAN *HIGH-PV PENETRATION***

Oleh

Muhammad Adrian Relando

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **ANALISA DINAMIK ISLANDING OPERATION
PADA SISTEM TARAHDAN DENGAN HIGH-PV
PENETRATION**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Adrian Relando**

Nomor Pokok Mahasiswa: **1915031056**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



1. **Komisi Pembimbing**

Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng. **Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.**
NIP 197007192000121001 NIP 198806242019031015

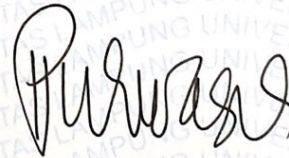
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP 197103141999032001

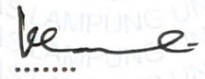


Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 197404222000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.**



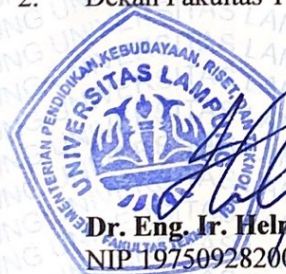
Sekretaris : **Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T.,
M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 September 2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Oktober 2023



Muhammad Adrian Relando
NPM 1915031056

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 16 Juli 2001, sebagai anak kesatu dari dua bersaudara, dari bapak Reskon dan ibu Agus Hidayani.

Riwayat Pendidikan penulis dimulai dari SD Muhammadiyah 1 Bandar Lampung pada tahun 2007 hingga 2013, SMP Negeri 22 Bandar Lampung pada tahun 2013 hingga 2016, dan SMA Negeri 9 Bandar Lampung pada tahun 2016 hingga tahun 2019.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis berkesempatan menjadi asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2021. Selain itu, penulis juga bergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) yang pada tahun 2020 diamanahkan sebagai anggota Divisi Pengabdian Masyarakat dan pada tahun 2021 diamanahkan sebagai Kepala Divisi Pengabdian Masyarakat. Penulis juga tergabung dalam organisasi BEM-FT yang diamanahkan sebagai Staff Kajian Strategis pada tahun 2021 serta *Society Renewable Energy* (SRE) yang diamanahkan sebagai staff finance pada tahun 2023. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Bukit Asam (Persero), Pelabuhan Tarahan dalam divisi *Electrical Engineering* dan membuat laporan yang berjudul “Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa 6 KV/1000 HP Sebagai Penggerak *Secondary Crusher phase 1* PT. Bukit Asam, Tbk., Unit Pelabuhan Tarahan”. Pada tahun 2022, penulis melaksanakan Magang di PT. Syntek Otomasi Indonesia, Jakarta dalam divisi *Operational & Maintenance* serta melakukan *Commisioning* PLTS *On-grid* 6MWp di PT. Astra Honda Motor *Plant 4* dan *Plant 5*, Cikampek.

**“Ku Persembahkan dan ku dedikasikan Skripsi ini untuk Kedua
Orangtua saya, Ayahanda Reskon dan Ibunda Agus Hidayani
yang memberikan semua hal terbaik demi anaknya untuk
mencapai kesuksesan”**

MOTTO

“Bersemangatlal atas hal-hal yang bermanfaat bagimu.

**Minta tolonglah kepada Allah, dan jangan engkau
lemah.”**

(HR. Muslim)

**“Sungguh, Allah memberi rezeki kepada siapa yang
dikehendaki-Nya tanpa batas.”**

(QS. Ali Imran:37)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan nikmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Tugas akhir dengan judul “Analisa Dinamik *Islanding Operation* pada Sistem Tarahan dengan *High-PV Penetration*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M.sc., Ph.D.Eng., selaku dosen pembimbing utama yang selalu memberikan motivasi dan pandangan kehidupan, mengarahkan dan membimbing dengan tulus dan penuh kesabaran.
5. Bapak Zulmiftah Huda, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan saran, bimbingan dan arahan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, kritik dan arahan.

7. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus bagi penulis selama perkuliahan.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.
9. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
10. Kak Yogi 2014, Kak Ridwan 2015, dan Kak yoel 2017 selaku alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah berkenan membantu penulis untuk bisa mendapatkan data-data penelitian serta melakukan diskusi dengan baik dan ramah.
11. Kak Claysius Dewanata Widjaja Selaku *Power System Engineer, National Grid, England*, dan Muhammad Al Hadi yang telah berkenan melakukan diskusi dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
12. Teruntuk NPM. 1913033047, terimakasih selalu menjadi *support system* dan telah banyak memberikan dorongan, bantuan, dan doa selama penulisan skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
13. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik; Pak Rahman atas kerjasamanya selama menjadi asisten laboratorium; Al Hadi, Aqila, Muchlas, Adam, Fatur, Adhi, Natasya, dan Khairan sebagai asisten laboratorium semoga segera menyusul dan dipermudah segala urusan tugas akhir, dan tidak lupa adik-adik 2020, Rizki, Aymanul, Arnes, Ipna, dan syawal.

14. Keluarga besar Angkatan ETERNITY 2019, yang telah memberikan banyak motivasi, nilai-nilai sosial, dan bantuan dalam berbagai hal.
15. Keluarga besar HIMATRO UNILA, yang telah menjadi wadah dalam mengembangkan nilai-nilai organisasi bagi penulis.
16. Semua pihak yang terlibat dalam proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini penulis ucapkan terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan masyarakat pada umumnya.

Bandar lampung, 2 Oktober 2023

Muhammad Adrian Relando

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.2.1 Sistem Pembangkitan	6
2.2.2 Sistem Transmisi	6
2.2.3 Sistem Distribusi	8
2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik.....	8
2.3.1 Stabilitas Sudut Rotor	10
2.3.2 Stabilitas frekuensi (<i>Frequency Stability</i>).....	10
2.3.3 Stabilitas Tegangan (<i>Voltage Stability</i>).....	12
2.4 <i>Islanding Operation</i>	12
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	12
2.5.1 Interkoneksi PLTS ke Jaringan Tegangan Menengah	13
2.5.2 Dampak pada Stabilitas Sistem Tenaga	14
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15

3.3	Tahapan Penelitian	16
3.4	Simulasi dan Pemodelan	17
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	20
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1	Sistem Tenaga Listrik Lampung	21
4.2	Sistem Tarahan	21
4.3	Pembangkit Listrik Tenaga Surya	24
4.4	Simulasi Aliran Daya	25
4.5	Simulasi Kestabilan.....	27
4.5.1	Studi Kasus 1 : PLTU 3 New Tarahan padam	28
4.5.1.1	Respon frekuensi saat PLTU 3 New Tarahan Padam	29
4.5.1.2	Respon tegangan saat PLTU 3 New Tarahan Padam.....	30
4.5.1.3	Respon <i>speed</i> generator saat PLTU 3 New Tarahan Padam	33
4.5.2	Studi Kasus 2 : PLTS Padam	36
4.5.2.1	Respon frekuensi saat PLTS Padam.....	37
4.5.2.2	Respon tegangan saat PLTS Padam	38
4.5.2.3	Respon <i>speed</i> generator saat PLTS Padam	41
4.5.3	Studi Kasus 3 : 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	43
4.5.3.1	Respon frekuensi saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	44
4.5.3.2	Respon tegangan saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	45
4.5.3.3	Respon <i>speed</i> generator saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	48
4.5.4	Studi Kasus 4 : Beban naik	51
4.5.4.1	Respon frekuensi saat beban naik	52
4.5.4.2	Respon tegangan saat beban naik	53
4.5.4.3	Respon <i>speed</i> generator saat beban naik	56
4.5.5	Studi Kasus 5 : PLTS <i>intermittent</i>	59
4.5.5.1	Respon frekuensi saat PLTS <i>intermittent</i>	60
4.5.5.2	Respon tegangan saat PLTS <i>intermittent</i>	61
4.5.5.3	Respon <i>speed</i> generator saat PLTS <i>intermittent</i>	64
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	10
Gambar 3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya	13
Gambar 4. Skema Sistem Tarahan tanpa penetrasi PLTS.....	18
Gambar 5. Skema Sistem tarahan dengan penetrasi PLTS.....	19
Gambar 6. Diagram alir penelitian	20
Gambar 7. Studi kasus PLTU 3 New Tarahan Padam	28
Gambar 8. Respon frekuensi pada saat PLTU 3 New Tarahan Padam.....	29
Gambar 9. Respon tegangan saat PLTU 3 New tarahan Padam (0% PV Penetration)	30
Gambar 10. Respon tegangan saat PLTU 3 Ntarahan Padam (10% <i>PV Penetration</i>).....	31
Gambar 11. Respon tegangan saat PLTU 3 Ntarahan Padam (20% <i>PV Penetration</i>).....	32
Gambar 12. Respon tegangan saat PLTU 3 Ntarahan Padam (30% <i>PV Penetration</i>).....	33
Gambar 13. Respon Speed Generator saat PLTU 3 New Tarahan Padam ketika (a) 0% <i>PV Penetration</i> , (b) 10% <i>PV Penetration</i> , (c) 20% <i>PV Penetration</i> , dan (d) 30% <i>PV Penetration</i>	35
Gambar 14. Studi kasus PLTS padam	36
Gambar 15. Respon Frekuensi saat PLTS Padam.....	37
Gambar 16. Respon tegangan saat PLTS Padam (10% <i>PV Penetration</i>)	38
Gambar 17. Respon tegangan saat PLTS Padam (20% <i>PV Penetration</i>)	39
Gambar 18. Respon tegangan saat PLTS Padam (30% <i>PV Penetration</i>)	40
Gambar 19. Respon <i>speed</i> generator saat PLTS Padam ketika (a) 10% <i>PV Penetration</i> , (b) 20% <i>PV Penetration</i> , dan (c) 30% <i>PV Penetration</i>	42
Gambar 20. Studi kasus 2 saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	43

Gambar 21. Respon frekuensi saat 2 saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	44
Gambar 22. Respon tegangan saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i> (0% <i>PV Penetration</i>)	45
Gambar 23. Respon tegangan saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i> (10% <i>PV Penetration</i>)	46
Gambar 24. Respon tegangan saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i> (20% <i>PV Penetration</i>)	47
Gambar 25. Respon tegangan saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i> (30% <i>PV Penetration</i>)	48
Gambar 26. Respon <i>speed</i> generator saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo - Kalianda <i>trip</i> ketika (a) 0% <i>PV Penetration</i> , (b) 10% <i>PV Penetration</i> , (c) 20% <i>PV Penetration</i> , (d) 30% <i>PV Penetration</i>	50
Gambar 27. Studi kasus Beban naik	51
Gambar 28. Respon frekuensi saat beban naik	52
Gambar 29. Respon tegangan saat beban naik (0% <i>PV Penetration</i>)	53
Gambar 30. Respon tegangan saat beban naik (10% <i>PV Penetration</i>)	54
Gambar 31. Respon tegangan saat beban naik (20% <i>PV Penetration</i>)	55
Gambar 32. Respon tegangan saat beban naik (30% <i>PV Penetration</i>)	56
Gambar 33. Respon <i>speed</i> generator saat beban naik ketika (a) 0% <i>PV Penetration</i> , (b) 10% <i>PV Penetration</i> , (c) 20% <i>PV Penetration</i> , dan (d) 30% <i>PV Penetration</i>	58
Gambar 34. Studi kasus PLTS <i>intermittent</i>	59
Gambar 35. Respon frekuensi saat PLTS <i>intermittent</i>	60
Gambar 36. Respon tegangan saat PLTS <i>intermittent</i> droop 33% (berawan)	61
Gambar 37. Respon tegangan saat PLTS <i>intermittent</i> droop 66% (Hujan)	62
Gambar 38. Respon tegangan saat PLTS <i>intermittent</i> droop 100% (Gelap)	63
Gambar 39. Respon <i>speed</i> generator saat PLTS <i>intermittent</i> ketika (a) berawan droop 33%, (b) hujan droop 66%, dan (c) gelap droop 100%	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jadwal penelitian.....	15
Tabel 2. Data Pembangkit Sistem Tarahan.....	22
Tabel 3. Data Pembebanan Sistem Tarahan.....	22
Tabel 4. Data Saluran Transmisi Sistem Tarahan.....	23
Tabel 5. Level penetrasi PLTS.....	24
Tabel 6. Spesifikasi <i>PV Module LR5-72HPH-550M</i>	24
Tabel 7. Daya Aktif Pembangkit pada Sistem Tarahan.....	26
Tabel 8. Inersia Pembangkit pada Sistem Tarahan.....	26
Tabel 9. Rugi-Rugi Daya Aktif dan Daya Reaktif pada Sistem Tarahan.....	27
Tabel 10. Tegangan Gardu Induk Pada sistem Tarahan.....	27
Tabel 11. Studi kasus.....	28
Tabel 12. Perbandingan respon frekuensi saat PLTU Padam.....	30
Tabel 13. Perbandingan respon <i>speed</i> generator saat PLTU Padam.....	36
Tabel 14. Perbandingan respon frekuensi saat PLTS Padam.....	38
Tabel 15. Perbandingan respon <i>speed</i> generator saat PLTS padam.....	43
Tabel 16. Perbandingan respon frekuensi saat 2 saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	45
Tabel 17. Perbandingan respon <i>speed</i> generator saat 2 Saluran transmisi Sidomulyo-Kalianda <i>trip</i>	51
Tabel 18. Perbandingan respon frekuensi saat beban naik.....	53
Tabel 19. Perbandingan respon <i>speed</i> generator saat beban naik.....	59
Tabel 20. Perbandingan respon frekuensi saat PLTS <i>intermittent</i>	61
Tabel 21. Perbandingan respon generator saat PLTS <i>intermittent</i>	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang begitu meningkat tiap tahunnya mengakibatkan kebutuhan energi listrik juga mengalami peningkatan. Konsumsi energi listrik per kapita nasional di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 178,6 GWh dari tahun 2015 yang hanya 909,91 GWh dengan rasio elektrifikasi 88,30% menjadi 1.099,51 GWh di tahun 2020 dengan rasio elektrifikasi sebesar 99,20% [1]. Energi listrik saat ini menjadi suatu kebutuhan pokok serta memainkan peranan penting dalam kehidupan manusia.

Ketersediaan sumber energi alam seperti batubara, gas bumi, dan minyak alam yang digunakan sebagai bahan bakar utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel setiap waktu semakin berkurang akibat pemakaian secara terus menerus. Sehingga diperlukannya pemanfaatan energi alternatif lainnya untuk melayani permintaan beban yang terus naik. Salah satu energi alternatif yang bisa dimanfaatkan sebagai pemasok ialah energi matahari. Sehingga terbentuk sistem kelistrikan dengan beberapa pusat pembangkit yang saling terintegrasi.

Letak Indonesia yang berada digaris khatulistiwa ini membuat dampak positif untuk pemasangan energi matahari dikarenakan memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup bagus. Energi matahari atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tidak memiliki bagian yang berputar seperti pembangkit konvensional, sehingga tidak memiliki inersia. Ditambah, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) ini memiliki sifat *intermittent* (sifat energi yang tidak terus-menerus atau tidak stabil) sehingga membuat kekhawatiran PLN terhadap penetrasi PLTS yang berdampak mengurangi performa sistem, jika dilakukannya skala penetrasi PLTS yang besar ke *grid* PLN [2].

Kondisi kelistrikan pada Sistem Lampung dilihat dari segi beban (*Load*) dan pembangkit (*supply*) mengalami kekurangan *supply*, dimana pada sistem lampung ini jumlah beban lebih besar daripada jumlah pembangkitnya. Sistem lampung terinterkoneksi pada sistem sumsel yang memiliki daya lebih besar dibanding bebannya. Oleh karena itu, sistem sumsel akan menyalurkan kekurangan daya pada sistem lampung agar terjadi kesetimbangan antara beban dan daya pada sistem lampung.

Lepasnya saluran interkoneksi Sumsel-Lampung akan berdampak terhadap penurunan mutu dan keandalan sistem serta menyebabkan sistem menjadi padam total (*blackout*), oleh karena itu dibutuhkan *islanding operation* untuk mengatasi persoalan tersebut [8]. *Islanding operation* merupakan bagian dari sistem kelistrikan yang terpisah dari sistem interkoneksi yang tetap beroperasi serta berfungsi untuk mempertahankan pembangkit yang beroperasi sebelum sistem mengalami padam total (*blackout*).

Berdasarkan pada SOP Pemulihan Sistem Sumbagsel tahun 2022, terdapat 3 island pada sistem lampung, yaitu *island* lampung, *island* besai-ulubelu, dan *island* tarahan. Dari uraian diatas, pada penelitian ini akan membahas mengenai analisa stabilitas dinamik pada sistem serta respon generator ketika terjadi perubahan (*perturbation*) dalam kondisi *islanding operation* pada sistem tarahan dengan adanya *High-PV Penetration* dengan menggunakan perangkat lunak komputasi *power system*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis keadaan stabilitas dinamik pada sistem ketika terjadi gangguan dalam posisi *islanding operation* pada *island* tarahan dengan *High-PV Penetration*.
2. Untuk menganalisis respon generator ketika terjadi gangguan dalam posisi *islanding operation* pada *island* tarahan dengan *High-PV Penetration*.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana keadaan stabilitas dinamik sistem ketika terjadi gangguan dalam posisi *islanding operation* pada *island tarahan* tanpa *PV-Penetration*?
2. Bagaimana keadaan stabilitas dinamik sistem ketika terjadi gangguan dalam posisi *islanding operation* pada *island tarahan* dengan *High-PV Penetration*?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian, hanya membahas *island tarahan* yang telah terbentuk ketika terjadi *islanding operation*, berdasarkan SOP pemulihan PLN UP2B Sumbagsel.
2. Parameter yang diamati untuk keadaan stabilitas sistem adalah tegangan bus dan frekuensi sistem.
3. Model dinamik PLTS menggunakan data *default* pada perangkat lunak komputasi *Power System*.
4. Governor dan AVR generator menggunakan data *default* pada perangkat lunak komputasi *Power System*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi operator sistem tenaga listrik yang ingin memasang PLTS *on-grid* dalam skala besar.

1.6 Hipotesis

Penetrasi PV dalam skala besar pada sistem, dapat memperburuk keadaan stabilitas sistem apabila total inersia menjadi sangat rendah, sehingga tidak mampu meredam osilasi sistem untuk kembali *steady-state*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan akhir bertujuan guna memberikan suatu gambaran secara sederhana terkait pembahasan yang ada dalam tugas akhir skripsi dan untuk memudahkan dalam memahami isi yang disajikan dalam skripsi ini. Adapun sistematika yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian yang bersumber dari buku manual, jurnal ilmiah dan artikel internet.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan waktu dan tempat, alat dan bahan, pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil data komputasi dan pembahasan dari penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil pembahasan masalah yang dikaji dalam penelitian tugas akhir dan berisi saran penulis untuk meningkatkan wawasan bagi pembaca.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tongle Ding [9] dalam penelitian yang berjudul “*Dynamic Modeling and Simulation Analysis on Micro-grid Based on DIgSILENT*”. Pada penelitian ini model dinamik pada sumber *micro-generation* dibangun berdasarkan model matematis mereka (model mikro turbin, turbin angin, sistem PV, dan sistem BESS). Karakteristik dinamik pada response frekuensi dan tegangan dibuat dibawah mode operasi switch pada *micro-grid* anantara mode terhubung jaringan dan mode *island*. Pada penelitian ini, BESS dapat meningkatkan respon kecepatan *micro-grid* dan meredam fluktuasi frekuensi yang disebabkan oleh response dinamik micro-turbin yang lambat.

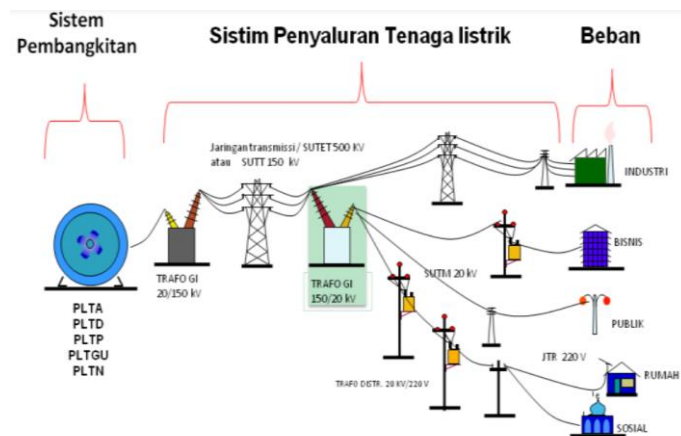
Eftekharnejad Sara [10] dalam penelitian yang berjudul “*Impact of Increased Penetration of Photovoltaic Generation on Power Systems*”. Pada penelitian ini mempelajari dampak peningkatan penetrasi PV pada kinerja statis serta stabilitas sistem tenaga besar, khususnya sistem transmisi. Sistem yang digunakan ialah sistem interkoneksi *Western U.S.* Analisis dinamik yang dilakukan menunjukkan bahwa penetrasi pv yang besar dapat berdampak merugikan dan menguntungkan pada sistem transmisi. Hasil simulasi mengungkapkan bahwa tingkat penetrasi PV, topologi sistem, jenis gangguan serta lokasi gangguan merupakan faktor penting dalam menentukan sifat dampak penetrasi PV yang tinggi dalam sistem.

R.L. Sinder [11] dalam penelitian yang berjudul “*Impact of Photovoltaic System on Voltage Stability in Islanded Distribution Network*”. Pada penelitian ini menganalisis pengaruh *photovoltaic* (PV) terhadap stabilitas tegangan pada jaringan *islanded distribution*. Sistem yang digunakan pada studi kasus ini ialah standar IEEE 16 bus yang sudah dimodifikasi. Pada penelitian ini juga menjelaskan perilaku frekuensi terhadap peningkatan daya pada *photovoltaic*.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan kesatuan interkoneksi yang terdiri dari pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu sama lain dihubungkan dengan jaringan transmisi [3]. Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari beberapa subsistem yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, gardu induk, sistem distribusi, dan beban [4].

Sistem tenaga listrik merupakan gabungan dari beberapa komponen yaitu generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk sebuah sistem [4]. Skema sistem tenaga listrik dapat digambarkan seperti di bawah ini.



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

2.2.1 Sistem Pembangkitan

Sistem pembangkitan merupakan sebuah subsistem dari sistem tenaga listrik yang membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah dari energi primer menjadi energi listrik. Pembangkit listrik yang pada kerjanya terdapat *prime mover* dan generator. Sistem pembangkit berdasarkan energi primer terbagi menjadi dua yaitu energi konvensional dan energi terbarukan [5].

2.2.2 Sistem Transmisi

Sistem Transmisi digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit listrik sampai pusat beban. Terdapat dua kategori saluran transmisi yaitu transmisi saluran udara (*Overhead Lines*) dan transmisi saluran kabel tanah (*Underground cable*) [6].

Untuk keperluan analisis dan perhitungan, saluran transmisi terbagi atas 3 kelas berdasarkan panjang salurannya, antara lain [6]:

1. Saluran Pendek (<80km).
2. Saluran Menengah (80-255km).
3. Saluran Panjang (>250km)

Berdasarkan level tegangan, PLN memiliki aturan mengenai klasifikasi level tegangan pada saluran transmisi yang tertuang dalam SPLN 1;1955, yaitu [7]:

1. Tegangan Rendah (TR) : 100V - 1KV
2. Tegangan Menengah (TM) : 1KV – 35KV
3. Tegangan Tinggi (TT) : 35KV – 245KV
4. Tegangan Ekstra Tinggi (TET) : >245KV

Pemilihan jenis saluran transmisi sangat ditentukan oleh jumlah energi yang akan disalurkan dan jarak atau panjang saluran transmisinya. Pada saluran transmisi, semakin tinggi level tegangan yang digunakan, maka arus yang mengalir akan semakin kecil, sesuai dengan rumus:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Dimana:

P = Daya yang dikirimkan (*watt*)

V = Tegangan saluran (*volt*)

I = Arus yang mengalir pada saluran (*ampere*)

Dengan semakin kecil arus yang mengalir pada saluran, diharapkan rugi-rugi daya pada saluran semakin kecil, sesuai dengan rumus:

$$P_{losses} = I^2 \times R \quad (2.2)$$

Dimana:

P_{losses} = Rugi-rugi daya

I = Arus saluran (*Ampere*)

R = Resistansi saluran (Ω)

2.2.3 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian yang menghubungkan antar gardu distribusi dengan konsumen. Listrik dari saluran transmisi tegangan tinggi pada gardu diubah menjadi tegangan menengah (tegangan distribusi primer) berada dalam range 4-34.5kV dan menyuplai beban di suatu wilayah. Kemudian diturunkan lagi menjadi tegangan rendah (tegangan distribusi sekunder) untuk komersial dan konsumen perumahan.

Berdasarkan pada level tegangannya, jaringan distribusi dibagi menjadi 2, yaitu [12]:

1. Jaringan distribusi primer (Tegangan Menengah) yaitu awal penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik ke konsumen untuk sistem pendistribusian secara langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tidak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi primer memiliki tegangan sistem sebesar 20kV.
2. Jaringan distribusi sekunder (Tegangan Rendah) yaitu jaringan tenaga listrik lang langsung berhubungan dengan konsumen dimana letaknya berada antara titik sekunder transformator distribusi dengan beban. Jaringan distribusi sekunder memiliki tegangan sistem kurang dari 1 kV ($<1\text{kV}$)

2.3 Kestabilan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan suatu kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mencapai kondisi setimbangnya kembali setelah terjadi gangguan pada sistem.

Sistem tenaga listrik memiliki variasi beban yang dinamis dimana setiap waktu akan berubah-ubah, dengan adanya perubahan ini pasokan daya listrik harus dipasok sesuai dengan besaran daya yang sesuai, jika pada saat tertentu terjadi kenaikan atau penurunan beban yang tidak terduga maka perubahan ini sudah dapat

dikategorikan ke dalam gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu kondisi tidak seimbang (*unbalance*) antara pasokan listrik dengan permintaan energi listrik akibat adanya gangguan pada pembangkit ataupun pada sistem transmisi sehingga mengakibatkan kinerja dari pembangkit lain menjadi lebih berat. Untuk itu diperlukan satu penelaahan kestabilan agar pembangkit yang mengalami gangguan tidak terlepas dari sistem.

Secara umum stabilitas pada suatu sistem tenaga digolongkan kedalam tiga jenis, tergantung pada sifat dan besarnya suatu gangguan yaitu [13];

1. Kestabilan keadaan tetap (*Steady State Stability*)

Kestabilan keadaan tetap merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mencapai kondisi stabil pada kondisi operasi baru yang sama atau identik dengan kondisi sebelum terjadi gangguan.

2. Kestabilan dinamis (*Dynamic Stability*)

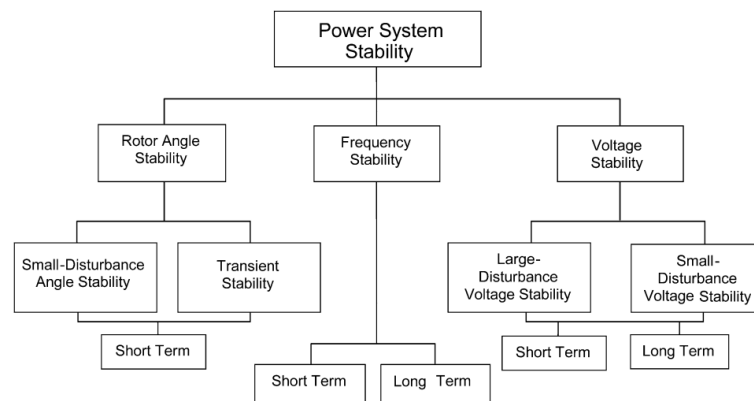
Kestabilan dinamis merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke titik keseimbangan setelah timbul gangguan yang relatif kecil secara tiba-tiba dalam waktu yang lama.

3. Kestabilan peralihan (*Transient Stability*)

Kestabilan peralihan merupakan kemampuan sistem untuk mencapai titik keseimbangan atau sinkronisasi setelah mengalami gangguan yang besar sehingga sistem kehilangan kestabilan karena gangguan terjadi diatas kemampuan sistem.

Terdapat dua gangguan kestabilan yaitu gangguan besar (*large disturbance*) dan gangguan kecil (*small disturbance*). Kegagalan sistem transmisi, perubahan beban mendadak, kehilangan unit pembangkit, dan peralihan saluran merupakan contoh dari gangguan besar sedangkan perubahan gain regulator tegangan otomatis pada sistem eksitasi unit pembangkit besar dapat menjadi contoh gangguan kecil [14].

Klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa kategori dan subkategori yang ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2. Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

2.3.1 Stabilitas Sudut Rotor

Stabilitas sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sistem tenaga yang saling berhubungan untuk tetap sinkron setelah mengalami gangguan. Hal ini tergantung pada kemampuan untuk mengembalikan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik dari setiap mesin sinkron yang ada pada sistem. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi yaitu peningkatan ayunan sudut beberapa generator yang menyebabkan hilangnya sinkronisasi dengan generator lain.

Hilangnya sinkronisasi dapat terjadi antara satu mesin dan seluruh sistem atau antara kelompok mesin dengan sinkronisme dipertahankan dalam setiap kelompok setelah memisahkan satu sama lain. Stabilitas sudut rotor terbagi menjadi 2 yaitu sudut rotor karena gangguan kecil (stabilitas sudut rotor karena gangguan kecil) dan stabilitas transient (stabilitas sudut rotor karena gangguan besar).

2.3.2 Stabilitas frekuensi (*Frequency Stability*)

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi tetap setelah terjadi gangguan sistem parah yang mengakibatkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkit dengan beban. Ketidakstabilan yang dapat terjadi berupa perubahan frekuensi yang terus menerus yang mengakibatkan pembangkit dan/atau beban mengalami trip.

Inersia sistem sering dianggap sebagai salah satu parameter sistem vital yang mendasari operasi tersinkronisasi sistem tenaga. Inersia dalam massa berputar generator sinkron menentukan respon frekuensi terhadap ketidakseimbangan pada sistem. Ketika terjadi ketidakseimbangan, generator akan menyerap atau melepaskan energi kinetik ke dalam grid untuk menahan penyimpangan frekuensi. Inersia berfungsi untuk meredam perubahan frekuensi [15]. Ketidakseimbangan pembangkit dengan beban dijelaskan pada persamaan.

$$P_g - P_l = \frac{d(\frac{1}{2}J_{system}.\omega_{el}^2)}{dt} \quad (2.3)$$

Dimana:

P_g = daya generator,

P_l = daya beban,

J_{system} = inersia pada sistem,

ω_{el} = frekuensi sudut.

Sisi kanan persamaan (2.3) adalah turunan dari energi kinetik yang tersimpan disemua generator. Energi kinetic yang disimpan dalam shaft generator tunggal sering dinyatakan dengan *power rating* dan disebut konstanta inersia (H_{gen}):

$$H_{gen} = \frac{\frac{J_{gen}}{p^2}.\omega_{el,0}^2}{2.S_{gen}} \quad (2.4)$$

Dimana:

S_{gen} = daya semu nominal generator,

$\omega_{el,0}$ = system frekuensi nominal,

p = jumlah pasang kutub.

Konstanta inersia diukur dalam hitungan detik dan biasanya berkisar antara 2-9 detik untuk pembangkit listrik besar [14].

Pada stabilitas frekuensi, Governor diperlukan untuk menjaga kestabilan sistem dengan cara mengendalikan kecepatan pada generator yang digunakan untuk menjaga kecepatan agar tetap stabil. Sehingga governor merupakan salah satu bagian penting dalam pengendalian mesin.

2.3.3 Stabilitas Tegangan (*Voltage Stability*)

Stabilitas tegangan mengacu pada kemampuan dari sistem tenaga mempertahankan nilai tegangan pada semua bus dalam sistem setelah mengalami gangguan dari kondisi operasi awal. Kenaikan atau penurunan secara signifikan nilai tegangan pada bus dapat berakibatkan lepasnya beberapa beban pada suatu area, *voltage collapse*, dan trip pada saluran transmisi.

Faktor utama yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan ialah ketidakmampuan sistem tenaga untuk menjaga keseimbangan daya reaktif (Q). Tegangan sistem dikatakan stabil apabila semua bus pada sistem memiliki kondisi operasi dimana besaran tegangan pada suatu bus naik ketika terjadi kenaikan injeksi daya reaktif pada bus tersebut. Sistem dikatakan tidak stabil apabila ada satu bus dalam sistem yang mengalami penurunan tegangan ketika daya reaktif diinjeksikan di bus tersebut. Dengan demikian, maka sistem tenaga listrik memiliki hubungan yang sebanding antara daya reaktif (Q) dengan tegangan (V) bus ketika sistem memiliki kestabilan tegangan.

2.4 *Islanding Operation*

Islanding operation merupakan operasi pemisahan unit pembangkit dari sistem tenaga secara otomatis, dimana sistem tenaga hanya memikul beban terbatas sesuai dengan kemampuan unit pembangkitnya. Hal ini dilakukan apabila sebuah sistem mengalami gangguan [16]. *Islanding operation* dapat dilakukan dengan membuka beberapa pemutus tenaga di gardu induk tertentu secara otomatis menggunakan UFR, sehingga terbentuk suatu sistem yang terisolasi dari sistem interkoneksi. Suatu *islanding operation* dikatakan optimal apabila memiliki keseimbangan antara pembangkit (*supply*) dengan beban (*demand*).

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu jenis energi baru terbarukan (EBT) yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai penghasil energi

listrik. Teknologi PV (*photovoltaic*) menjadi komponen yang mampu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi surya merupakan salah satu energi baru terbarukan (EBT) yang tak terbatas niainya karena matahari akan terus bersinar mengelilingi bumi.



Gambar 3. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Interkoneksi PLTS ke Jaringan Tegangan Menengah

Interkoneksi PLTS ke jaringan distribusi tegangan menengah memberikan dampak perbaikan level tegangan pada sisi beban. Interkoneksi sistem ini juga dapat menghasilkan kondisi aliran daya yang dapat menyebabkan penurunan nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada seluruh penyulang [17]. Sistem PLTS yang digunakan merupakan sistem dengan kapasitas yang cukup besar agar dapat melakukan penetrasi yang baik ke *grid*.

Level penetrasi PV ke grid, dinyatakan dengan rumus [7]:

$$\%PEN = \frac{P_{pv}}{P_{Load} + P_{Losses}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana :

$\%PEN$ = Level Penetrasi PV

P_{pv} = Total Daya PV (MW)

P_{Load} = Total Beban (MW)

P_{Losses} = Total rugi-rugi daya (MW)

Penetrasi PLTS ke jaringan memiliki tantangan besar dalam keadaan sifat intermittent yang dimiliki oleh plts dan rendahnya inersia. Hasil dari sistem PLTS bergantung dengan besarnya energi matahari yang diterima oleh modul sel surya pada lokasi dan waktu tertentu. Besar atau kecilnya energi yang

dihasilkan oleh PLTS dapat menyebabkan ketidakstabilan pada jaringan utilitas listrik yang terhubung [18].

2.5.2 Dampak pada Stabilitas Sistem Tenaga

Penetrasi PLTS yang besar dapat mengakibatkan pergantian unit pembangkit skala besar dengan sistem PV terdistribusi yang dapat membatasi ketersediaan daya reaktif (Q), dikarenakan PV diasumsikan sebagai sumber daya aktif saja. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dinamis dari sistem khususnya ketika catu daya reaktif ke beban terganggu selama gangguan sistem. Penetrasi PV yang meningkat juga akan menghasilkan inersia yang berkurang di dalam sistem yang mungkin menjadi alasan potensi masalah stabilitas. Masalah-masalah ini terutama terjadi ketika gangguan dalam sistem seperti hilangnya unit pembangkit, lepasnya saluran, dll [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tugas akhir ini dimulai sejak bulan Januari 2023 dan direncanakan selesai pada bulan Juli 2023, bertempat di Perpustakaan Universitas Lampung.

Tabel 1. Jadwal penelitian

No	Kegiatan	Waktu								
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept
1	Studi Literatur dan bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Pengambilan data		■	■						
3	Pembuatan proposal			■	■					
4	Seminar Proposal					■				
5	Pengolahan data, dan pembuatan simualasi		■	■	■					
6	Evaluasi hasil simulasi				■	■	■	■		
7	Penyusunan Laporan							■	■	
8	Seminar Hasil								■	
9	Ujian Komprehensif									■

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Unit Laptop AsusVivobook dengan spesifikasi *Processsor Intel (R) Core I7*
2. Perangkat lunak komputasi *power system*.
3. Data-data pembangkit, trafo, beban, dan saluran transmisi pada jaringan sistem tarahan

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari serta mengkaji literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir, yaitu mengenai stabilitas dinamik sistem ketika terjadi gangguan, pengaruh penetrasi pv ke grid dan cara memodelkan komponen-komponen ke dalam perangkat lunak komputasi *power system*. Literatur tersebut diambil dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal ilmiah dan laporan-laporan penelitian terdahulu.

2. Studi Bimbingan

Pada tahap ini penulis melakukan diskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing guna menambah wawasan dan mengenai permasalahan-permasalahan yang dihadapi selama proses pengerjaan penelitian.

3. Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Penulis mengumpulkan data-data yang dibutuhkan penelitian yang akan digunakan untuk analisis menggunakan perangkat lunak. Adapun data-data yang dibutuhkan untuk penelitian ini meliputi:

- a. Data pembangkit berupa kapasitas dari masing-masing pembangkit di sistem lumpung, daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), reaktansi (X), dan konstanta inersia (H).
- b. Data masing-masing trafo berupa kapasitas trafo, reaktansi trafo, Short-circuit impedance.
- c. Data beban pada Sistem Tarahan.
- d. Data saluran transmisi berupa Impedansi urutan positif (+) dan urutan nol (0), tipe konduktor, ukuran penampang konduktor, dan Panjang konduktor.

4. Simulasi dan Analisis

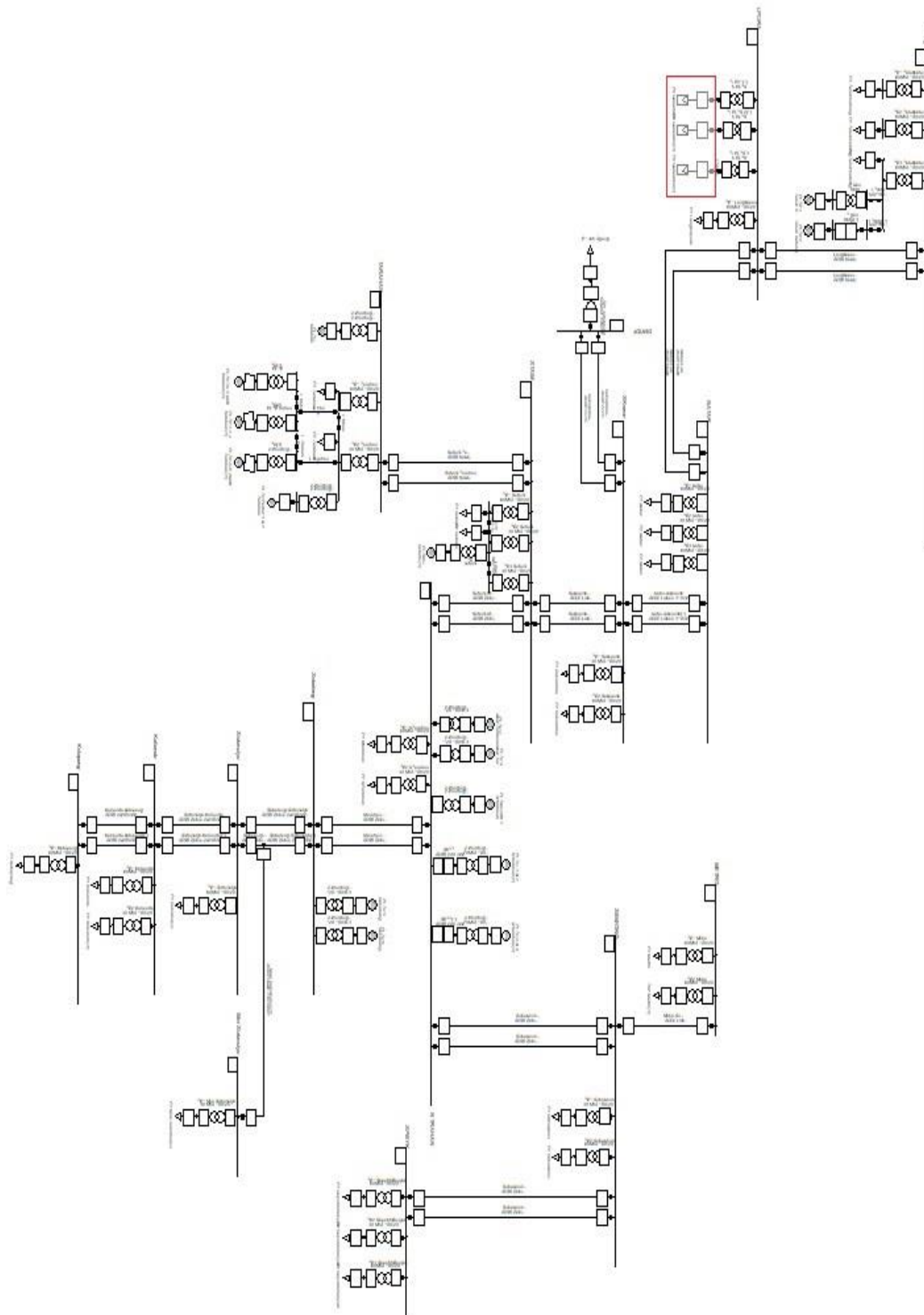
Data-data yang telah dimodelkan ke perangkat lunak komputasi *power system*, kemudian dilakukan simulasi *load flow* terlebih dahulu kemudian dilakukannya simulasi dinamik untuk mengetahui keadaan sistem dan respon generator ketika terjadi gangguan dengan *High-PV Penetration*.

5. Penulisan Laporan

Perancangan penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan proposal penelitian. Lalu, hasil penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan akhir penelitian/ skripsi. Laporan ini merupakan dokumentasi pengerjaan penelitian tugas akhir dan dapat dipertanggung jawabkan sebagaimana mestinya.

3.4 Simulasi dan Pemodelan

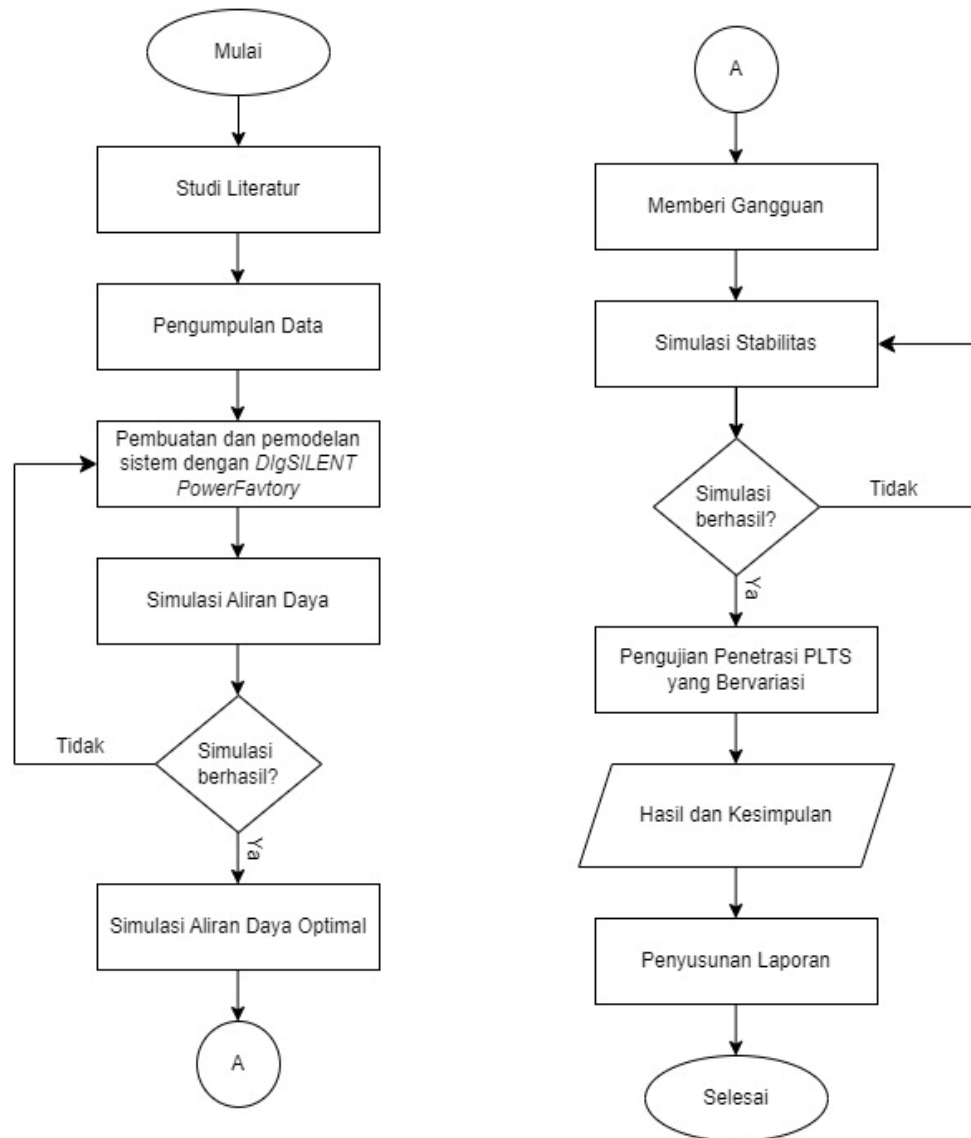
Pada tugas akhir ini dilakukan dalam 5 studi kasus dan 4 skenario, skenario pertama adalah ketika *island* tarahan mengalami gangguan tanpa adanya penetrasi PLTS, skenario yang kedua adalah ketika terjadi gangguan dengan 10% penetrasi PLTS, skenario ketiga adalah Ketika terjadi gangguan dengan 20% penetrasi PLTS, dan skenario yang keempat adalah ketika terjadi gangguan dengan 30% penetrasi PLTS. Berikut ini adalah model yang akan dibuat.



Gambar 5. Skema Sistem tarahan dengan penetrasi PLTS

3.5 Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian penelitian ini terdapat beberapa tahapan, untuk mempermudah dalam melaksanakannya diperlukan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 6. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Island tarahan ketika terjadi injeksi dengan level penetrasi PV sebesar 0 - 30% saat terjadinya perubahan pada sistem, respon frekuensi dan tegangan sistem akan kembali stabil ketitik *equilibrium* baru. Akan tetapi, semakin besar level penetrasi *PV* maka frekuensi *droop* dan tegangan *droop* akan semakin tinggi atau semakin menjauhi frekuensi dan tegangan awal sistem. Hal ini disebabkan karena inersia sistem semakin berkurang ketika penetrasi *PV* semakin besar, yang menyebabkan sistem semakin sulit untuk meredam pergeseran frekuensi dan tegangan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat membahas mengenai penambahan *battery storage* pada sistem tarahan untuk *study stability system*, serta membahas secara spesifik model dinamik pada PLTS dan *battery storage*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Energi, K., & Mineral, S. D. (2021). Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2020.
- [2] Tan, Y. T., & Kirschen, D. S. (2007, June). Impact on the power system of a large penetration of photovoltaic generation. In *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting* (pp. 1-8). IEEE.
- [3] Marsudi, D. (2006). *Operasi sistem tenaga listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 8.
- [4] Wibowo, Sigi Syah. (2018). “*Sistem tenaga Listrik,*” *Analisa Sistem Tenaga*. Malang: Polinema Press, Pp.2-10.
- [5] Hasanah, A. W., Makkulau, A., & Fadhilah, Z. F. (2015). Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Di Pulau Jawa. *SUTET*, 5(1), 8-13.
- [6] S. S. Wibowo. (2018). *Analisa Sistem Tenaga*, 1st ed. Malang: Polinema Press.
- [7] Ebad, M., & Grady, W. M. (2016). An approach for assessing high-penetration PV impact on distribution feeders. *Electric Power Systems Research*, 133, 347-354.
- [8] Arif Hidayat. (2020). “*Smart Grid Load Emulator dengan Kemampuan Automatic Load Shedding dan Auto Reconfiguration*” *Skripsi*, Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- [9] Ding, T., Wang, G., & Li, H. (2011, October). Dynamic modeling and simulation analysis on micro-grid based on DIGSILENT. In *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection* (Vol. 2, pp. 1240-1245). IEEE.

- [10] Eftekharnjad, S., Vittal, V., Heydt, G. T., Keel, B., & Loehr, J. (2012). Impact of increased penetration of photovoltaic generation on power systems. *IEEE transactions on power systems*, 28(2), 893-901.
- [11] Sinder, R. L., Assis, T. M. L., & Taranto, G. N. (2019). Impact of photovoltaic systems on voltage stability in islanded distribution networks. *The Journal of Engineering*, 2019(18), 5023-5027.
- [12] Suswanto, D. (2009). *Sistem distribusi tenaga listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- [13] Kundur, Prabha. (1994). *Power System Stability and Control*. USA: McGraw-Hill
- [14] Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (1994). *Power system analysis*. McGraw-Hill series in electrical and computer engineering.
- [15] Tielens, P., & Van Hertem, D. (2012). Grid inertia and frequency control in power systems with high penetration of renewables. In *Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering*, Date: 2012/04/16-2012/04/17, Location: Delft, The Netherlands.
- [16] Amini, H., & Reza-Alikhani, H. R. (2013). Using The Rate Of Change Of Frequency And Threshold Frequencies In Load Shedding In A DGFED Islanded System. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 11(4), 197.
- [17] Zainuddin, M. (2017). Pengaruh Masuknya PLTS On Grid Skala besar Pada Sistem Distribusi 20 kV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya. *Universitas Ichsan, Gorontalo*.
- [18] Nwaigwe, K. N., Mutabilwa, P., & Dintwa, E. (2019). An overview of solar power (PV systems) integration into electricity grids. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(3), 62