

ANALISA KESTABILAN FREKUENSI AKIBAT INTEGRASI PLTS 100 MW PADA SISTEM TENAGA LISTRIK 150 KV

¹ Vincentius Davis Krisnaputra, ² Abraham Lomi, ³ Irrine Budi Sulistiawati

Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Malang

¹daviskrisna5@gmail.com, ² abraham@lecturer.itn.ac.id, ³ Irrine@lecture.itn.ac.id

Abstract—This study analyzes the impact of integrating a 100 MW Solar Power Plant (PLTS) (4×25 MW) on the frequency stability of the power system in the 150 kV transmission network in Bali. Simulations were conducted using DigSILENT PowerFactory software employing Load Flow and RMS Simulation methods, covering disturbance scenarios such as load increases up to 60%, generator outages (Gilimanuk and Pamaran), and the effect of system protection settings. Results show that without proper protection settings, the integration of PLTS leads to a frequency drop below the minimum threshold (47.76 Hz) and a high Rate of Change of Frequency (ROCOF) (-1.21 Hz/s), which poses a risk of system disconnection. After configuring protective relays (underfrequency, undervoltage, and df/dt), the system stability improved; frequency was maintained within the 48–52 Hz range, and ROCOF decreased below -0.5 Hz/s. Therefore, large-scale PLTS integration can be safely implemented without compromising system stability, provided that appropriate protection configurations are in place. This research supports the implementation of clean energy in Bali and serves as a reference for integrating renewable energy sources into existing power systems.

Keywords— PLTS, Frequency stability, DigSILENT PowerFactory, Power System, RoCoF, Protection Relay

Abstrak— Penelitian ini menganalisis dampak integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas total 100 MW (4×25 MW) terhadap kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik pada jaringan transmisi 150 kV di Bali. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *DigSILENT PowerFactory* dengan metode *Load Flow* dan *RMS Simulation*, mencakup skenario gangguan seperti penambahan beban hingga 60%, pelepasan pembangkit (Gilimanuk dan Pamaran), serta pengaruh setelah proteksi sistem. Hasil menunjukkan bahwa tanpa pengaturan proteksi, integrasi PLTS menyebabkan penurunan frekuensi di bawah batas minimum (47,76 Hz) dan ROCOF tinggi (-1,21 Hz/s), berisiko menimbulkan pemutusan sistem. Setelah dilakukan pengaturan relay proteksi (underfrequency, undervoltage, dan df/dt), kestabilan membaik; frekuensi dapat dijaga dalam rentang 48–52 Hz, dan ROCOF turun di bawah -0,5 Hz/s. Dengan demikian, integrasi PLTS skala besar masih dapat dilakukan tanpa mengganggu kestabilan sistem, selama dilengkapi konfigurasi proteksi yang tepat. Penelitian ini mendukung implementasi energi bersih di Bali dan menjadi acuan dalam integrasi pembangkit terbarukan ke sistem eksisting.

Kata Kunci— PLTS, Kestabilan frekuensi, DigSilent Powerfactory, Sistem Tenaga Listrik, RoCoF, Relay Proteksi

I. PENDAHULUAN

Integrasi sistem tenaga listrik adalah proses penggabungan berbagai sumber energi untuk menciptakan jaringan yang efisien dan andal dalam penyediaan listrik. Konsep ini melibatkan penggunaan teknologi modern untuk menghubungkan pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, dan hidro, dengan jaringan distribusi atau transmisi yang ada. Integrasi kestabilan sistem tenaga listrik merujuk pada upaya untuk menjaga sistem kelistrikan tetap berfungsi secara stabil dan dapat mengatasi gangguan atau fluktuasi beban[1]. Secara umum, integrasi kestabilan sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi beberapa jenis, di antaranya stabilitas tegangan, stabilitas frekuensi, stabilitas dinamis, stabilitas kekuatan, stabilitas transien, dan stabilitas sistem terintegrasi. Stabilitas tegangan berkaitan dengan kemampuan sistem untuk menjaga tegangan tetap dalam batas yang dapat diterima meskipun terjadi gangguan pada sistem. Ketika terjadi peningkatan atau penurunan beban, sistem harus dapat mengatur tegangan untuk mencegah kerusakan atau penurunan kualitas daya. Stabilitas frekuensi berkaitan dengan kemampuan sistem untuk menjaga frekuensi tetap pada nilai nominal (biasanya 50 Hz atau 60 Hz) meskipun terjadi perubahan beban. Ketika beban sistem berubah, frekuensi bisa naik atau turun[2]. Sistem harus mampu mengembalikan keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan daya yang dikonsumsi untuk menjaga frekuensi tetap stabil. Stabilitas dinamis ini merujuk pada kemampuan sistem untuk tetap stabil setelah adanya gangguan, seperti pemadaman pembangkit atau gangguan pada jaringan transmisi. Sistem harus dapat kembali ke

kondisi operasi normal setelah terjadi gangguan tanpa mengalami kegagalan atau kerusakan. Stabilitas kekuatan ini mengacu pada kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghindari pergeseran sudut rotor generator yang dapat menyebabkan terputusnya koneksi antar unit pembangkit atau jaringan. Ketika terjadi gangguan, sudut rotor antara generator yang terhubung harus dapat disesuaikan untuk mencegah terjadinya kehilangan sinkronisasi. Stabilitas transien berkaitan dengan kemampuan sistem untuk memulihkan operasi normal setelah gangguan besar, seperti pemadaman pembangkit atau sambungan yang terputus. Ini memerlukan analisis cepat untuk mencegah terjadinya kerusakan jangka panjang atau keruntuhan sistem[3]. Stabilitas sistem terintegrasi dalam konteks modern, ini juga mencakup integrasi berbagai sumber energi, seperti energi terbarukan (surya) dan energi konvensional (pembangkit berbahan bakar fosil) ke dalam grid tenaga listrik. Sistem yang lebih terintegrasi membutuhkan pendekatan baru untuk mengelola kestabilan, karena sumber energi terbarukan dapat menyebabkan fluktuasi yang lebih besar dalam daya yang dihasilkan[3].

Stabilitas sistem terintegrasi dalam konteks sistem tenaga listrik merujuk pada kemampuan sistem kelistrikan untuk beroperasi secara stabil meskipun ada integrasi berbagai jenis sumber daya pembangkit listrik yang berbeda, baik itu sumber daya konvensional (seperti pembangkit berbahan bakar fosil) maupun sumber energi terbarukan (seperti tenaga surya)[4].

Integrasi energi terbarukan ini membawa tantangan tersendiri dalam hal kestabilan sistem tenaga listrik. Beberapa poin penting dalam stabilitas sistem terintegrasi yaitu Keterbatasan sumber energi terbarukan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya sangat bergantung pada kondisi cuaca dan waktu. Misalnya, pembangkit tenaga surya hanya menghasilkan daya pada siang hari dan hanya ketika ada sinar matahari. Fluktuasi daya yang dihasilkan oleh sumber-sumber ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan daya, yang dapat memengaruhi frekuensi sistem[5].

Kestabilan frekuensi pada sistem tenaga listrik sangat penting karena frekuensi yang stabil adalah indikator utama dari keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan daya yang dikonsumsi dalam sistem tersebut. Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, daya yang dihasilkan oleh pembangkit harus sama dengan daya yang dikonsumsi oleh beban, dan frekuensi sistem (biasanya 50 Hz atau 60 Hz tergantung wilayah) harus tetap stabil. Kestabilan frekuensi adalah aspek krusial dalam operasional sistem tenaga listrik yang memastikan bahwa pasokan daya tetap seimbang dengan permintaan, serta menjaga integritas, efisiensi, dan keandalan sistem. Fluktuasi frekuensi yang besar dapat menyebabkan kerusakan peralatan, gangguan pada kualitas daya, dan potensi keruntuhan sistem. Pengelolaan kestabilan frekuensi sangat penting, terutama ketika mengintegrasikan sumber daya terbarukan yang sering kali berfluktuasi dalam pembangkitan daya[5].

Perubahan nilai frekuensi merupakan akibat dari semakin tingginya kebutuhan beban, yang memberikan pengaruh yang semakin besar terhadap kestabilan frekuensi suatu sistem. Dimana suatu frekuensi sistem yang ditetapkan memiliki standar batas yaitu 4% dari frekuensi nominal yaitu $48H_z \leq u \leq 52H_z$ [5].

Sistem tenaga listrik memiliki standar batas frekuensi antara 48 Hz hingga 52 Hz, atau dengan kata lain memiliki toleransi sebesar $\pm 4\%$ dari frekuensi nominal 50 Hz, berasal dari ketentuan yang berlaku dalam standar operasional sistem kelistrikan, baik secara nasional maupun internasional. Secara nasional, batas ini tercantum dalam dokumen-dokumen teknis milik PT PLN (Persero), seperti Grid Code Indonesia dan panduan teknis interkoneksi pembangkit, yang dikeluarkan oleh Pusat Pengatur Beban (P2B). Dalam dokumen-dokumen tersebut, disebutkan bahwa frekuensi sistem listrik Indonesia harus dijaga dalam batas normal, biasanya 49,5 – 50,5 Hz, namun dalam kondisi darurat atau kontinjensi, toleransi maksimum yang masih dapat diterima adalah antara 48 Hz sampai 52 Hz. Sementara itu, secara internasional, batas $\pm 4\%$ ini juga diakui dalam beberapa standar seperti IEEE Std 1159 yang membahas kualitas daya listrik, serta IEC 60038 dari International Electrotechnical Commission yang menetapkan tegangan dan frekuensi nominal sistem kelistrikan. Di wilayah Eropa, misalnya, dalam aturan jaringan listrik ENTSO-E, batas frekuensi operasional mutlak juga ditetapkan antara 47,5 Hz hingga 52 Hz. Dengan demikian, batas frekuensi 48 Hz hingga 52 Hz merupakan standar yang diakui baik oleh PLN di tingkat nasional maupun oleh lembaga-lembaga internasional untuk menjaga kestabilan dan keandalan sistem tenaga listrik[6].

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

Penelitian ini difokuskan untuk meneliti kestabilan tegangan pada sistem kelistrikan Bali 150kV dengan adanya integrasi PLTS yang berkapasitas 4x25 MWp. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kajian literatur

Yaitu kajian pustaka yang mempelajari teori-teori terkait kemudian referensi berupa buku-buku dan jurnal Internasional yang ada dan berhubungan dengan penelitian ini.

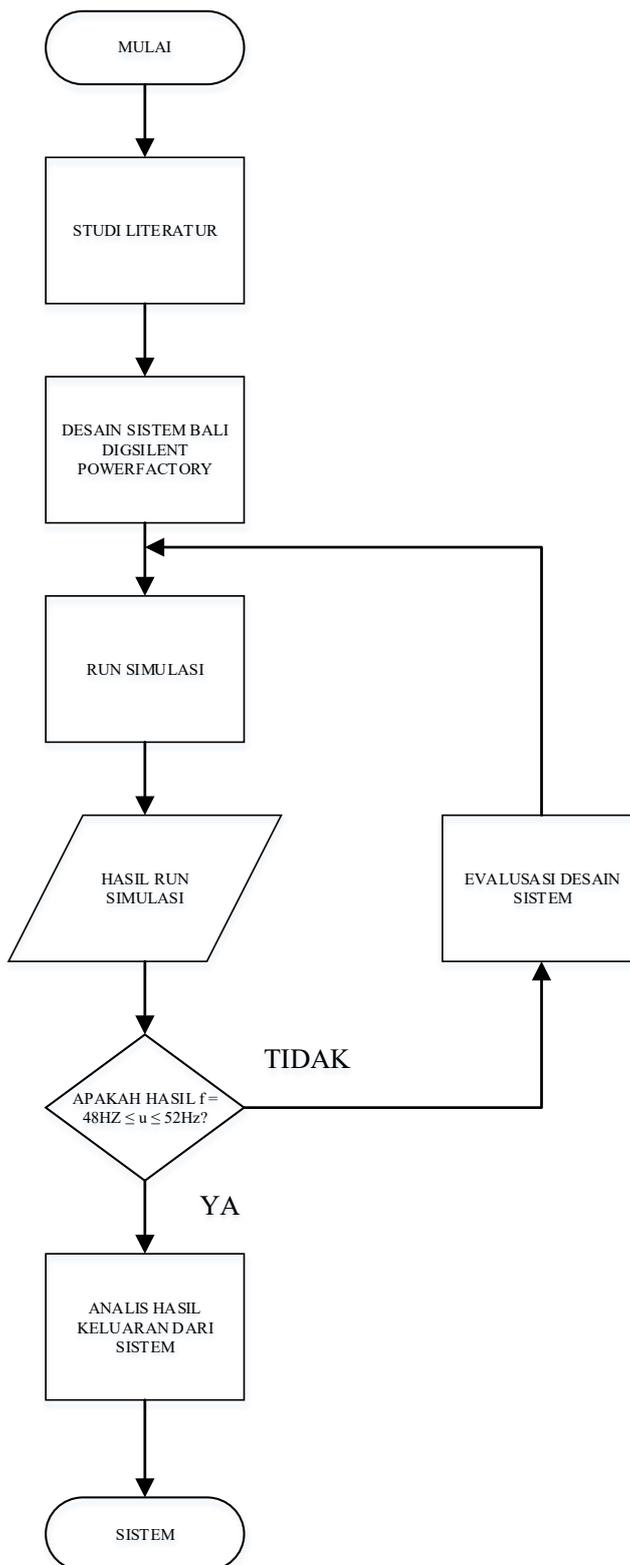
2. Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sistem jaringan transmisi berupa single line diagram, data trafo, data generator, data beban, data saluran transmisi, data parameter mesin. Kemudian untuk data PV yang terpasang yaitu sebesar 4x25 MWp. Setelah itu dari data yang didapatkan single line dan parameter tersebut disimulasikan dengan bantuan software DigSILENT PowerFactory 15.1.

3. Analisa

Hasil simulasi yang didapatkan akan digunakan sebagai bahan untuk melakukan Analisa kestabilan frekuensi baik pada kondisi normal maupun setelah sistem transmisi tersebut diinjeksi daya PLTS sebesar 4x25 MWp

B. Gambar dan Tabel

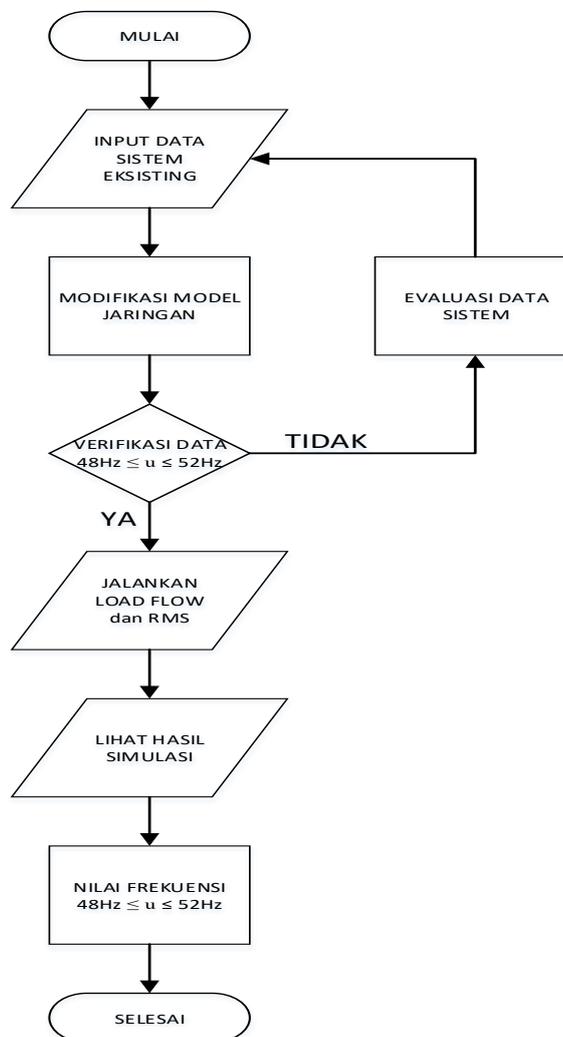


Gambar 1 Flowchart Alur Analisis

Flowchart gambar 1 yang menggambarkan secara sistematis tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian mengenai analisis kestabilan sistem tenaga listrik akibat integrasi PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) di sistem transmisi Bali menggunakan perangkat lunak DIgSILENT PowerFactory.

Berikut penjelasan dari setiap langkah pada flowchart:

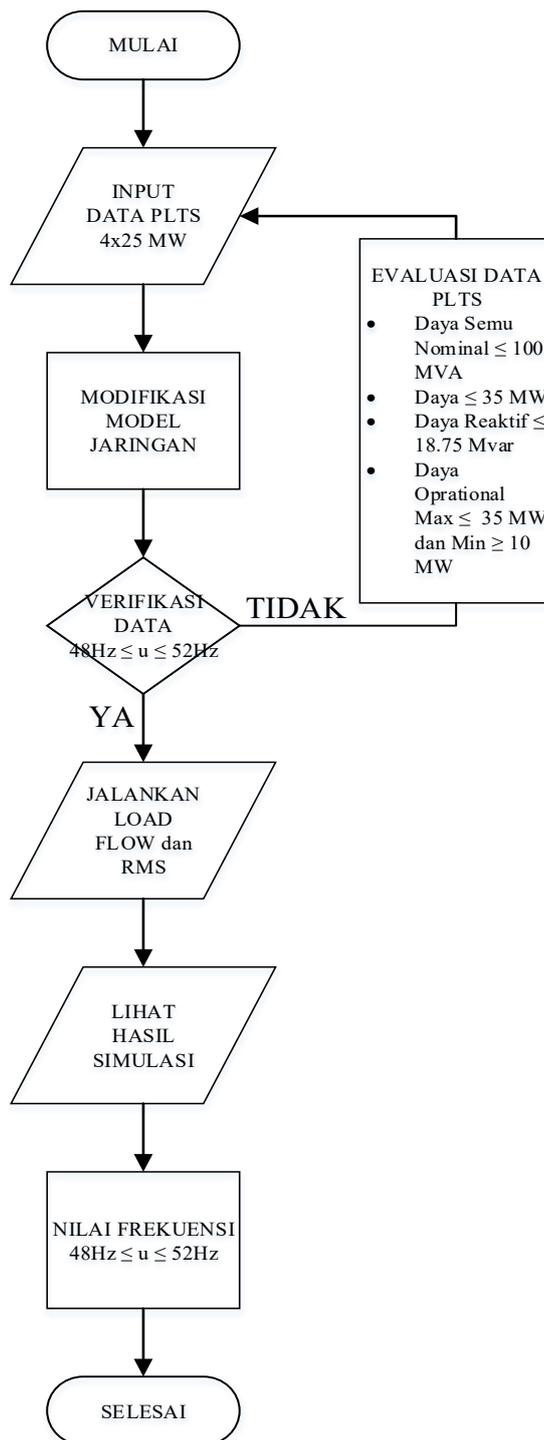
1. Mulai
2. Langkah pertama adalah melakukan studi literatur untuk memahami teori dasar dan informasi yang relevan dengan sistem yang akan di buat.
3. Setelah studi literatur, desain sistem dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Simulink. Pada tahap ini, model sistem yang akan disimulasikan dibuat berdasarkan literatur yang telah dipelajari.
4. Setelah desain sistem selesai, simulasi dijalankan di DigSilent PowerFactory untuk melihat bagaimana sistem bekerja dan untuk mendapatkan hasil dari simulasi tersebut.
5. Hasil dari simulasi berupa grafik frekuensi.
6. Apakah hasil $f = 48\text{HZ} \leq u \leq 52\text{Hz}$?
 - 1) Jika Ya, maka proses dilanjutkan ke poin 7.
 - 2) Jika hasil simulasi tidak sesuai, desain sistem dievaluasi dan diperbaiki berdasarkan analisis hasil sebelumnya. Setelah evaluasi dan revisi desain dilakukan, kemudian proses kembali ke poin 4.
7. Setelah itu, hasil yang diperoleh akan dianalisa dan dibuat kesimpulannya.
8. Selesai



Gambar 2 Flowchart Sistem Eksisting Tanpa Integrasi PLTS

Flowchart pada gambar 2 menggambarkan proses analisis kestabilan sistem tenaga listrik mulai dari input data, modifikasi jaringan, hingga simulasi dan evaluasi frekuensi. Jika data atau hasil simulasi tidak berada dalam rentang frekuensi 48–52 Hz, sistem dievaluasi dan diperbaiki. Proses berakhir ketika hasil simulasi menunjukkan frekuensi yang stabil.

1. Mulai (Start)
Input Data Sistem Eksisting
Data pembangkit (PLTG, PLTDG, interkoneksi Jawa-Bali), Data jaringan (bus, trafo, impedansi saluran), Data beban (lokasi, daya aktif dan reaktif)
2. Buat Model Jaringan
Buat single line diagram di software DIgSILENT
3. Verifikasi Data
Periksa konsistensi data (unit, nilai impedansi, lokasi beban). Pastikan tidak ada bus/saluran yang tidak terkoneksi
4. Jalankan Load Flow (Aliran Daya)
Pilih metode (Newton-Raphson, Gauss-Seidel, Fast Decoupled)
5. Lihat Hasil Simulasi
Nilai Tegangan per Bus (kV, dalam % dari nominal), Nilai Arus per Saluran (A, dibandingkan dengan rating), Aliran Daya Aktif dan Reaktif (MW, MVar per saluran dan bus), Nilai Frekuensi (Hz)
6. Evaluasi Kinerja Sistem
Apakah ada bus dengan tegangan <0.95 pu atau >1.05 pu?, Apakah arus melebihi kapasitas saluran?, Apakah distribusi daya seimbang?
7. Simpan Hasil Sebagai Baseline
Digunakan untuk perbandingan setelah injeksi PLTS
8. Selesai (End)



Gambar 3 Flowchart Sistem Eksisting Integrasi PLTS 4x25 MW

Flowchart pada gambar 3 menjelaskan proses analisis integrasi PLTS 100 MW ke sistem tenaga listrik. Dimulai dari input data, modifikasi jaringan, dan evaluasi kriteria teknis PLTS, proses berlanjut ke simulasi aliran daya dan analisis kestabilan frekuensi. Proses selesai jika hasil simulasi menunjukkan frekuensi dalam rentang 48–52 Hz.

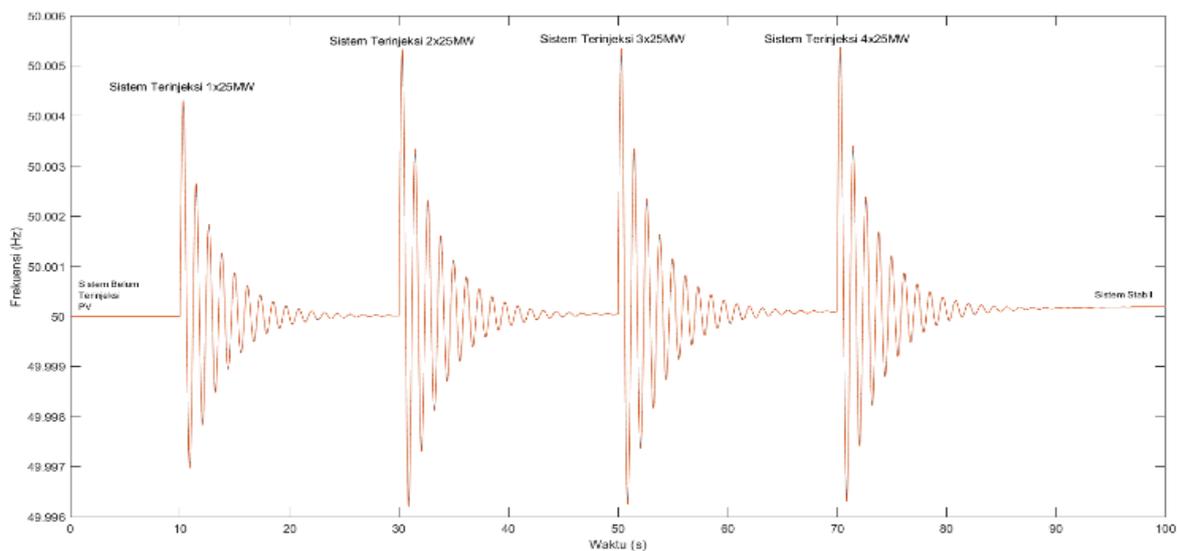
1. Mulai
Langkah awal dari keseluruhan proses simulasi. Menandai dimulainya analisis terhadap sistem yang telah dimodifikasi dengan penambahan PLTS.
2. Input Data PLTS
Pada tahap ini, data teknis dari PLTS dimasukkan ke dalam sistem. Data tersebut meliputi kapasitas daya, lokasi penyambungan, karakteristik output, serta parameter sistem inverter.
3. Modifikasi Model Jaringan
Jaringan kelistrikan yang sebelumnya hanya terdiri dari pembangkit eksisting dimodifikasi untuk mencerminkan kondisi aktual yang telah terinjeksi oleh PLTS 4x25 MW. Ini meliputi penambahan node, generator baru, serta koneksi ke bus sistem.
4. Verifikasi Data
Semua data, termasuk hasil modifikasi jaringan dan parameter PLTS, diverifikasi untuk memastikan tidak ada kesalahan input yang dapat menyebabkan hasil analisis menjadi tidak valid.
5. Jalankan Load Flow (Aliran Daya)
Simulasi aliran daya dijalankan untuk mengetahui bagaimana distribusi tegangan, arus, dan daya pada sistem yang telah dimodifikasi. Ini adalah tahap inti dari analisis sistem tenaga.
6. Lihat Hasil Simulasi
Hasil dari simulasi load flow ditinjau untuk mengevaluasi dampak injeksi PLTS terhadap sistem. Termasuk apakah ada perubahan signifikan pada tegangan bus, arus pada jalur transmisi, distribusi daya, dan frekuensi sistem.
 - 1) Jika hasil simulasi tidak sesuai, desain sistem dievaluasi dan diperbaiki berdasarkan analisis hasil sebelumnya. Setelah evaluasi dan revisi desain dilakukan, kemudian proses kembali ke poin 4.
7. Selesai

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV membahas hasil simulasi dan analisis dampak integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 4×25 MW ke dalam sistem transmisi 150 kV Bali, dengan fokus pada kestabilan frekuensi sistem tenaga listrik. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak DIGSILENT PowerFactory 15.1, dan terdiri dari beberapa studi kasus penting yang dijelaskan secara rinci berikut ini:

A. RMS Simulation

Bab 4.1 ini berisi simulasi RMS (Root Mean Square) untuk menganalisis respon sistem tenaga listrik Bali terhadap integrasi PLTS. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak DIGSILENT PowerFactory dan mencakup beberapa skenario (case). Tujuannya adalah melihat bagaimana sistem bereaksi dari sisi frekuensi, osilasi, serta efektivitas proteksi saat terjadi gangguan.



Gambar 4 Respon Frekuensi Sistem Terhadap Injeksi Daya

Grafik ini menunjukkan bagaimana frekuensi sistem beradaptasi terhadap penambahan kapasitas pembangkit secara bertahap. Setiap penambahan daya (1x25MW, 2x25MW, dll.) meningkatkan frekuensi secara signifikan, menunjukkan dampak positif dari integrasi sumber energi. Oscilasi yang terjadi setelah setiap penambahan menunjukkan dinamika sistem yang semakin stabil seiring berjalannya waktu. Melalui grafik ini, kita dapat menyimpulkan pentingnya pengelolaan frekuensi dalam sistem energi yang terintegrasi agar tetap stabil dan efisien.

- 1) Respon Frekuensi Terhadap Injeksi Daya
 - a) Menguji efek injeksi daya dari PLTS 1x25 MW hingga 4x25 MW.
 - b) Terjadi kenaikan dan penurunan frekuensi sesaat (transien), lalu sistem kembali stabil.
 - c) Makin besar kapasitas PV, makin besar fluktuasi awal.

Tabel 1 Tabel Nilai Frekuensi

Kondisi	Waktu (s)	Nilai Lembah (Hz)	Nilai Puncak (Hz)	Stabil (Hz)
1x25 MW	10	49.996	50.004	50
2x25 MW	30	49.997	50.006	50
3x25 MW	50	49.997	50.006	50
4x25 MW	70	49.997	50.006	50

Pada tabel 1 terlihat bahwa setiap skenario integrasi PLTS (1x25 MW hingga 4x25 MW) menghasilkan deviasi frekuensi sangat kecil. Nilai lembah terendah tercatat 49.996 Hz dan nilai puncak tertinggi 50.006 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS tidak menyebabkan frekuensi keluar dari standar 48–52 Hz. Waktu stabilisasi juga relatif cepat (<1 detik), menandakan sistem Bali memiliki ketahanan yang baik terhadap fluktuasi daya surya.

Tabel 2 Tabel Nilai Rocof

Injeksi Daya	Δf (Hz)	Δt (s)	RoCoF (Hz/s)	Stabilitas
Tidak Terinjeksi	0	10	0	Stabil
1x25 MW	0.002	10	0.0002	Sangat Stabil
2x25 MW	0.0035	10	0.00035	Stabil
3x25 MW	0.005	10	0.0005	Stabil
4x25 MW	0.006	10	0.0006	Masih Stabil

Pada tabel 2 Nilai ROCOF meningkat seiring dengan bertambahnya daya PLTS, dari 0.0002 Hz/s (1x25 MW) hingga 0.0006 Hz/s (4x25 MW). Namun, nilai ini masih jauh di bawah batas kritis yang umum digunakan di sistem tenaga listrik (± 0.5 Hz/s sesuai Grid Code Indonesia [12]). Artinya, meskipun PLTS tidak memiliki kontribusi inersia, respon sistem masih dalam kondisi aman.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa sistem tenaga listrik 150 kV di Bali memiliki kemampuan yang baik dalam merespons injeksi PLTS secara bertahap. Nilai RoCoF yang diperoleh seluruhnya masih berada di bawah ambang batas kritis, sehingga sistem tetap dapat menjaga kestabilan frekuensi. Dengan demikian, integrasi PLTS dalam skala

besar masih memungkinkan dilakukan tanpa menimbulkan gangguan besar terhadap sistem, selama sistem proteksi dan kontrol tetap berfungsi optimal.

IV. KESIMPULAN

1. Integrasi PLTS 4×25 MW pada sistem 150 kV Bali menghasilkan frekuensi stabil dengan nilai minimum 49.996 Hz dan maksimum 50.006 Hz, masih dalam batas aman 48–52 Hz.
2. Nilai ROCOF tertinggi sebesar 0.0006 Hz/s, jauh di bawah ambang batas ± 0.5 Hz/s, sehingga sistem tetap aman dari risiko pemutusan pembangkit.
3. Penerapan relay proteksi (underfrequency, undervoltage, df/dt) terbukti efektif menjaga kestabilan sistem pada saat gangguan.
4. Hasil ini membuktikan bahwa integrasi PLTS skala besar dapat dilakukan di Bali tanpa mengganggu keandalan sistem, selama diimbangi dengan pengaturan proteksi yang sesuai.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. M. Wazeer, R. El-Azab, M. Daowd, and A. M. A. Ghany, "Short-Term Frequency Stability Regulation for Power System with Large-Scale Wind Energy Penetration Using PID Controller," *2018 20th International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2018 - Proceedings*, pp. 1059–1063, 2018, doi: 10.1109/MEPCON.2018.8635188.
- [2] V. Pavlovsky, A. Steliuk, O. Lenga, V. Zaychenko, and M. Vyshnevskiy, "Frequency stability simulation considering underfrequency load shedding relays, special protection automatics and AGC software models," *2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017*, pp. 5–9, 2017, doi: 10.1109/PTC.2017.7981043.
- [3] H. H. Happ, *Power system control and stability*, vol. 67, no. 8. 2008. doi: 10.1109/proc.1979.11425.
- [4] V. Muzik and V. Vajnar, "Frequency and voltage stability assessment of a power system during emergency service states," *Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 708–711, 2018, doi: 10.1109/EIConRus.2018.83171942.
- [5] K. Maslo, "Impact of Photovoltaics on Frequency Stability of Power System during Solar Eclipse," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, no. 5, pp. 3648–3655, 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2490245.
- [6] M. Yadav, N. Pal, and D. K. Saini, "Low voltage ride through capability for resilient electrical distribution system integrated with renewable energy resources," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 833–858, 2023, doi: 10.1016/j.egy.2022.12.023.
- [7] Republik Indonesia, "Presidential Regulation Number 112 of 2022 (The Acceleration of Renewable Energy Development for Electricity)," *The Government of Indonesia*, no. 135413, pp. 1–37, 2022.
- [8] A. E. Saputra, A. U. Krismanto, and A. Lomi, "Baru Terbarukan Terhadap Kestabilan Frekuensi Pada Saluran Transmisi 150Kv Bali," *Magnetika*, vol. 07, pp. 206–213, 2023.
- [9] I. Tf, "Inertia and ROCOF - Entsoe," 2020.
- [10] F. Milano, "Frequency Stability in Future Power Systems with High Renewable Penetration," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 3, pp. 2130–2141, 2021, doi: 10.1109/TPWRS.2020.3041456.
- [11] A. Ulbig, T. S. Borsche, and G. Andersson, "Impact of Low Rotational Inertia on Power System Stability and Operation," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 7290–7297, 2014.
- [12] PT PLN (Persero), *Grid Code Indonesia Edisi 2019*, Jakarta: PLN, 2019.