

STABILITAS SISTEM TENAGA LISTRIK: MENJAGA KEANDALAN ENERGI DI ERA MODERN

POWER SYSTEM STABILITY: MAINTAINING ENERGY RELIABILITY IN THE MODERN ERA

**¹Sohip Romdoni, ²Nabila Khoirunnisa, ³Maslili Rifaldi, ⁴Silvia Oktaviani,
⁵Hanifah Mutiara Fitri, ⁶Nurul Fauziah, ⁷Dede Fauzul Iman, ⁸Muhamad Habil
Cahaya Gusti, ⁹Ranisa Oktaviyanti, ¹⁰Eka Nur Wahid**

*I,2,3,4,5,6,7,8,9,10 Pendidikan Vokasional Teknik Elektro Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Kota Serang
email : 82283220032@untirta.ac.id*

ABSTRAK

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan aspek krusial dalam menjaga keandalan dan kontinuitas pasokan energi, khususnya di era modern yang ditandai dengan tingginya ketergantungan terhadap listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jenis-jenis stabilitas dalam sistem tenaga listrik serta faktor-faktor yang memengaruhinya, termasuk integrasi energi baru terbarukan. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai referensi akademik yang relevan, dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa stabilitas sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama: stabilitas sudut rotor (transien dan dinamis), stabilitas tegangan, dan stabilitas frekuensi. Setiap jenis stabilitas dipengaruhi oleh faktor seperti jenis gangguan, keberadaan perangkat kontrol (misalnya Power System Stabilizer dan FACTS), serta integrasi pembangkit berbasis energi terbarukan. Teknologi seperti AVR, governor, dan regulator berbasis LQR juga berkontribusi dalam menjaga kondisi sistem tetap seimbang dan sinkron. Oleh karena itu, pemahaman menyeluruh dan penggunaan teknologi canggih menjadi kunci dalam mengelola stabilitas sistem tenaga listrik secara optimal.

Kata Kunci : *Stabilitas sistem, energi terbarukan, perangkat kontrol.*

ABSTRACT

The stability of power systems is a crucial aspect in ensuring the reliability and continuity of electricity supply, especially in the modern era where dependency on electricity is increasingly high. This study aims to analyze the types of stability in power systems and the factors that influence them, including the integration of renewable energy sources. The research method employed is a literature review of relevant academic references using a descriptive-qualitative approach. The findings indicate that power system stability can be classified into three main types: rotor angle stability (transient and dynamic), voltage stability, and frequency stability. Each type of stability is influenced by factors such as the nature of disturbances, the presence of control devices (such as Power System Stabilizers and FACTS), and the integration of renewable energy-based power plants. Technologies such as AVR, governors, and LQR-based regulators also contribute to maintaining system balance and synchronization. Therefore, a comprehensive understanding and the adoption of advanced technologies are essential for effectively managing power system stability.

Keywords : *System stability, renewable energy, control devices*

I. PENDAHULUAN

Listrik saat ini menjadi sumber energi yang sangat vital dan menjadi tulang punggung bagi berbagai aktivitas manusia di hampir seluruh sektor kehidupan. Mulai dari dunia industri yang membutuhkan mesin-mesin besar untuk produksi, institusi pendidikan yang menggunakan perangkat elektronik untuk proses pembelajaran, layanan kesehatan yang mengandalkan peralatan medis canggih, hingga sistem transportasi modern yang mulai beralih ke kendaraan listrik, semuanya bergantung pada pasokan listrik yang stabil dan andal. Oleh karena itu, sistem tenaga listrik harus dirancang dengan cermat dan dioperasikan secara profesional agar dapat menyediakan listrik yang tidak hanya cukup

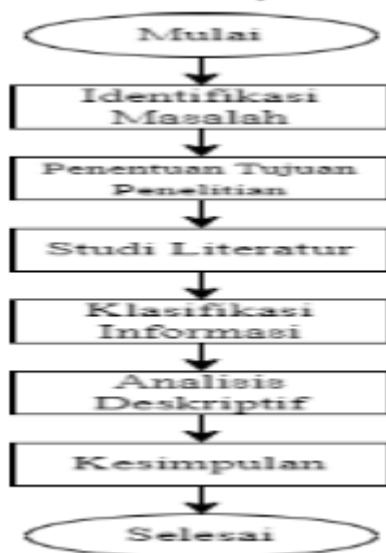
jumlahnya tetapi juga memiliki kualitas yang baik, seperti tegangan dan frekuensi yang konstan. Salah satu aspek paling krusial dalam menjaga keandalan pasokan listrik adalah stabilitas sistem tenaga listrik. Stabilitas ini mengacu pada kemampuan sistem untuk tetap beroperasi dalam kondisi normal meskipun terjadi gangguan. Gangguan ini bisa berupa masalah internal, seperti kerusakan pada generator, transformator, atau saluran transmisi, maupun gangguan eksternal seperti cuaca buruk (misalnya petir, angin kencang, atau hujan deras) yang dapat menyebabkan kerusakan fisik pada jaringan listrik. Sistem yang stabil mampu segera menyesuaikan diri dengan perubahan atau gangguan tersebut tanpa menyebabkan pemadaman listrik yang meluas atau kerusakan peralatan yang mahal. Dengan kata lain, sistem harus memiliki ketahanan dan fleksibilitas agar gangguan tidak mengakibatkan gangguan layanan yang signifikan. Selain itu, perkembangan teknologi pembangkitan listrik kini memasuki era baru dengan semakin banyaknya sumber energi terbarukan yang terintegrasi ke dalam jaringan listrik nasional.

Contohnya adalah tenaga angin dan tenaga surya yang semakin banyak dipasang untuk memenuhi kebutuhan energi bersih dan ramah lingkungan. Namun, energi terbarukan ini memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan sumber energi konvensional seperti pembangkit listrik tenaga uap atau gas. Tenaga angin dan surya sifatnya fluktuatif dan tidak selalu dapat diprediksi dengan tepat karena bergantung pada kondisi alam yang berubah-ubah. Fluktuasi ini dapat menyebabkan perubahan mendadak dalam pasokan listrik yang masuk ke jaringan, sehingga menimbulkan tantangan tersendiri dalam menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan listrik. Untuk itu, pengelolaan sistem tenaga listrik modern harus mengadopsi teknologi dan strategi cerdas yang dapat mengimbangi fluktuasi ini, seperti penggunaan sistem penyimpanan energi (baterai), perangkat kontrol otomatis, dan sistem monitoring real-time yang terus memantau kondisi jaringan. Dengan pengelolaan yang tepat, kestabilan sistem tenaga listrik tetap dapat terjaga, memastikan pasokan listrik yang aman, andal, dan berkelanjutan bagi seluruh pengguna.

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis konsep, jenis, serta faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik. Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel ilmiah di Google Scholar dan sejumlah buku teks teknik tenaga listrik yang relevan. Sumber-sumber tersebut dipilih berdasarkan kredibilitas, keterbaruan, serta relevansinya dengan topik penelitian. . Analisis

dilakukan secara deskriptif-kualitatif dengan mengklasifikasikan temuan berdasarkan tema utama yang dibahas, yaitu jenis stabilitas sistem, penyebab gangguan, dan teknologi pengendalian. Pendekatan ini bertujuan untuk menyusun gambaran yang utuh mengenai kondisi aktual dan tantangan dalam menjaga stabilitas sistem tenaga listrik di tengah perkembangan teknologi dan integrasi energi baru terbarukan. Tahapan metode penelitian yang dilakukan secara sistematis dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Flowchart Penelitian
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengertian Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Menurut (Syahputra, et al, 2018) Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan kondisi operasi yang seimbang dan aman setelah terjadi gangguan. Kondisi operasi yang stabil berarti tegangan, arus, dan frekuensi listrik tetap berada pada nilai-nilai yang diperbolehkan agar peralatan listrik dapat berfungsi dengan baik dan tidak mengalami kerusakan.

Jika sistem tidak stabil, gangguan kecil saja bisa berkembang menjadi masalah besar seperti pemadaman listrik masal (*blackout*), yang akan menyebabkan kerugian besar baik dari segi ekonomi maupun social(Aprilianti, 2022).

B. Jenis-jenis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem untuk mempertahankan kondisi operasi yang seimbang dan aman saat terjadi gangguan(Abidin, 2020). Gangguan ini bisa bersifat besar maupun kecil, dan dapat

terjadi secara tiba-tiba maupun bertahap. Secara umum, stabilitas dalam sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu stabilitas sudut rotor, stabilitas tegangan, dan stabilitas frekuensi(Hayusman et al, 2020). Masing-masing jenis stabilitas memiliki karakteristik dan tantangan tersendiri dalam pengelolaan sistem tenaga listrik.

1. Stabilitas Sudut Rotor (Rotor Angle Stability)

Stabilitas sudut rotor berkaitan dengan kemampuan generator sinkron dalam sistem tenaga listrik untuk tetap beroperasi secara sinkron satu sama lain setelah mengalami gangguan. Ketika terjadi gangguan seperti gangguan hubung singkat, pelepasan beban, atau kerusakan pada salah satu komponen sistem, sudut rotor dari masing-masing generator dapat berubah. Jika perubahan ini terlalu besar atau tidak terkendali, maka generator bisa kehilangan sinkronisasi, yang berisiko memicu pemadaman sebagian atau seluruh sistem. Stabilitas sudut rotor dibagi lagi menjadi dua jenis berdasarkan waktu respons sistem terhadap gangguan:

- A. Stabilitas Transien (Transient Stability) Menunjukkan kemampuan sistem untuk tetap stabil dalam beberapa detik pertama setelah terjadi gangguan besar seperti hubung singkat, kehilangan salah satu elemen transmisi, atau pemutusan beban secara tiba-tiba. Sistem harus cepat beradaptasi agar tidak terjadi ketidaksinkronan antar-generator. Respons sistem sangat bergantung pada desain jaringan, pengaturan proteksi, dan kecepatan kontrol otomatis yang dimiliki.
- B. Stabilitas Dinamis (Dynamic Stability) Berhubungan dengan kemampuan sistem dalam menjaga keselarasan sudut rotor ketika menghadapi gangguan-gangguan kecil atau perubahan beban secara bertahap. Waktu analisisnya berkisar dari beberapa detik hingga menit. Stabilitas ini penting untuk menjamin kontinuitas pelayanan dalam kondisi beban yang fluktuatif serta memastikan performa pengatur kecepatan dan eksitasi berjalan optimal(Hasibuan, 2020)
- C. Stabilitas Tegangan (Voltage Stability) Stabilitas tegangan merujuk pada kemampuan sistem tenaga listrik untuk menjaga tegangan di seluruh titik jaringan tetap berada dalam batas toleransi yang diizinkan. Ketidakstabilan tegangan sering kali muncul akibat permintaan daya reaktif yang melebihi kemampuan suplai, terutama pada sistem dengan beban berat atau saat pasokan daya reaktif tidak memadai(Said, et al 2023).

Jika sistem gagal mempertahankan kestabilan tegangan, maka dapat terjadi keruntuhan tegangan (voltage collapse), di mana tegangan listrik di sejumlah titik turun drastis hingga tidak mampu menghidupkan peralatan listrik. Keruntuhan tegangan ini bisa meluas dan menyebabkan pemadaman secara besar-besaran. Faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas tegangan antara lain adalah konfigurasi sistem transmisi, kemampuan pengatur tegangan otomatis, keberadaan kapasitor atau kompensator statis, serta manajemen beban.

2. Stabilitas Frekuensi (Frequency Stability)

Stabilitas frekuensi berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi operasional pada level yang normal dan konsisten (di Indonesia umumnya 50 Hz). Frekuensi sistem sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara total daya pembangkitan dan total beban. Jika terjadi ketidakseimbangan misalnya beban tiba-tiba naik atau pembangkit listrik berhenti bekerja frekuensi dapat turun atau naik secara signifikan. Penurunan frekuensi yang tajam dapat menyebabkan sistem kehilangan kestabilan dan memicu pemutusan beban atau kerusakan pada peralatan. Oleh karena itu, pengendalian frekuensi harus dilakukan secara real-time melalui sistem kontrol otomatis, governor pada turbin, dan penggunaan penyimpanan energi atau teknologi pemulihan frekuensi lainnya. Stabilitas frekuensi menjadi tantangan besar terutama pada sistem yang mengintegrasikan energi terbarukan seperti tenaga angin dan surya yang bersifat variabel dan tidak selalu dapat diandalkan untuk menyediakan daya sesuai kebutuhan beban.

C. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik.

Beberapa faktor utama yang memengaruhi stabilitas sistem tenaga listrik meliputi:

1. Jenis dan Besarnya Gangguan

Gangguan seperti hubung singkat, kehilangan beban besar, atau pelepasan generator dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Contoh terkait dengan kondisi ini adalah saat terjadi gangguan di sistem tenaga listrik Sulawesi Selatan. Studi pada keadaan ini menunjukkan bahwa kehilangan beban besar dapat menimbulkan masalah ketidakstabilan tegangan yang signifikan. Untuk mengatasi kondisi semacam ini, salah satu solusi yang diusulkan adalah dengan memasang Automatic Voltage Regulator (AVR) pada pembangkit besar. Hal ini membuktikan bahwa upaya pencegahan dan tindakan yang cepat diperlukan agar ketidakstabilan sistem tidak bertambah parah dan merugikan. Dalam situasi

semacam ini, pemahaman mendalam mengenai cara mengatasi gangguan dan kerentanan sistem menjadi kunci penting. Oleh karena itu, studi lebih lanjut tentang metode deteksi gangguan dan peningkatan keandalan sistem perlu dilakukan secara teratur. Dengan demikian, sistem tenaga listrik dapat tetap beroperasi dengan efisien dan aman bahkan dalam situasi yang menuntut. Selain itu, penggunaan teknologi yang canggih dan sistem pemantauan yang handal juga dapat menjadi faktor penentu dalam menjaga kestabilan sistem kelistrikan. Melalui penerapan teknologi mutakhir dan standar praktik industri yang baik, risiko ketidakstabilan sistem dapat diminimalkan secara signifikan. Dengan demikian, keselamatan dan keandalan pasokan energi listrik bagi masyarakat dapat lebih terjamin di masa depan yang lebih handal juga memungkinkan dilakukannya analisis data historis dan prediksi beban dengan lebih akurat, sehingga penyesuaian beban dan pengaturan pasokan dapat dilakukan secara efisien terhadap keandalan pasokan energi listrik, (Salama, 2021).

2. Peralatan Kontrol dan Kompensasi

Dalam operasi sistem tenaga listrik, faktor yang sangat penting untuk diperhatikan adalah stabilitas sistem. Penggunaan perangkat kontrol seperti Power System Stabilizer (PSS) dapat membantu dalam menjaga stabilitas tersebut. Selain itu, penggunaan peralatan FACTS (Flexible AC Transmission Systems) seperti SVC, TCSC, dan UPFC juga turut berperan dalam meningkatkan kestabilan sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, integrasi perangkat kontrol dan peralatan FACTS tidak hanya memberikan manfaat dalam meningkatkan stabilitas sistem, tetapi juga membantu dalam menjaga kondisi operasi yang optimal. Hal ini menjadi sangat penting mengingat kompleksitas sistem tenaga listrik modern yang seringkali menghadapi tantangan dalam menjaga kestabilan saat menghadapi fluktuasi beban dan kondisi jaringan yang berubah-ubah. Oleh karena itu, upaya untuk terus mengembangkan teknologi ini merupakan hal yang sangat penting untuk menjamin kinerja sistem tenaga listrik yang handal dan efisien (Abidin, 2014).

3. Integrasi Energi Baru Terbarukan (EBT)

Integrasi pembangkit EBT ke dalam sistem kelistrikan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), memiliki dampak signifikan terhadap kestabilan frekuensi. Hasil penelitian yang dilakukan pada sistem kelistrikan 150 kV di Lombok mengungkapkan bahwa ketika PLTS diintegrasikan, respons frekuensi

sistem bisa mengalami penurunan. Namun, solusi yang ditemukan adalah pemasangan STATCOM. Melalui penerapan STATCOM, kestabilan frekuensi sistem berhasil diperbaiki secara signifikan dari mencapai 49.82 Hz menjadi 49.99 Hz. Tindakan ini membuktikan bahwa teknologi STATCOM memiliki peran vital dalam menjaga dan meningkatkan kinerja sistem kelistrikan yang terintegrasi dengan pembangkit EBT. Sistem pemantauan yang handal juga memungkinkan dilakukannya analisis data historis dan prediksi beban dengan lebih akurat, sehingga penyesuaian beban dan pengaturan pasokan dapat dilakukan secara efisien. Dengan demikian, integrasi PLTS tidak hanya menjadi solusi masa depan dalam memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga menuntut adopsi teknologi pendukung yang efektif seperti STATCOM untuk menjaga stabilitas dan efisiensi dalam jaringan kelistrikan (Pamungkas, 2024).

4. Stabilitas Transien

Stabilitas transien berkaitan dengan kemampuan sistem kelistrikan untuk tetap berfungsi secara terkoordinasi dan sinkron setelah mengalami gangguan besar dalam waktu yang singkat. Analisis mendalam pada sistem pembangkit listrik tenaga uap telah menunjukkan bahwa potensi gangguan dapat menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan hingga mencapai 50% dari tingkat nominal yang biasanya berlaku, sambil juga menyebabkan kenaikan frekuensi hingga nilai sebesar 50.36 Hz. Efek dari gangguan tersebut bisa menimbulkan dampak serius terhadap kestabilan operasional sistem secara keseluruhan. Dengan begitu, sistem kelistrikan dapat terus beroperasi dengan efisien, handal, dan terkoordinasi meskipun menghadapi situasi yang penuh tantangan (Novfowan, 2021).

5. Stabilitas Dinamik

Stabilitas dinamik, yang merupakan kemampuan suatu sistem untuk merespons gangguan kecil secara berkelanjutan, sangat penting dalam menjaga kinerja sistem tenaga listrik multimesin agar tetap stabil. Dalam upaya meningkatkan stabilitas dinamik, metode Linear Quadratic Regulator (LQR) menjadi salah satu solusi yang efektif. Dengan menerapkan teknik ini, kita dapat memperbaiki kualitas kestabilan dinamik sistem tenaga listrik multimesin dengan memastikan bahwa lewatan maksimum tidak melebihi 5% dan waktu keadaan mantap berada

di bawah 4 detik. LQR memungkinkan kita untuk mengoptimalkan fungsi biaya yang dibutuhkan agar sistem responsif terhadap kondisi yang berubah. Dengan demikian, penggunaan metode Linear Quadratic Regulator (LQR) dalam konteks meningkatkan stabilitas dinamik sistem tenaga listrik multimesin terbukti memberikan manfaat yang signifikan dalam memenuhi standar desain yang ditetapkan. Dengan hasil akhir yang diharapkan, sistem tenaga listrik multimesin dapat beroperasi dengan lebih efisien dan handal, menjaga kestabilan operasional dan mengurangi risiko gangguan yang dapat terjadi akibat ketidakterdugaan dari lingkungan sekitarnya (Danas, 2013).

6. Teknologi dan Strategi

Menjaga Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Stabilitas dalam sistem tenaga listrik mengacu pada kemampuan sistem untuk menjaga kondisi sinkron antar unit pembangkit, baik dalam keadaan normal maupun setelah mengalami gangguan. Sistem tenaga listrik yang stabil mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan beban atau kondisi operasi lainnya tanpa kehilangan keseimbangan. Secara umum, stabilitas ini terbagi menjadi tiga kategori: stabilitas keadaan mantap (steady state), stabilitas transien (transient), dan stabilitas dinamis. Stabilitas keadaan mantap berhubungan dengan respon sistem terhadap gangguan kecil seperti fluktuasi beban, sedangkan stabilitas transien menggambarkan kemampuan sistem dalam mempertahankan sinkronisasi setelah terjadi gangguan besar dan mendadak. Sementara itu, stabilitas dinamis mencakup kondisi sistem setelah periode transien berakhir, dengan mempertimbangkan pengaruh kerja alat kontrol seperti AVR dan governor. Pada kondisi ini diasumsikan bahwa sistem pengatur otomatis, seperti Automatic Voltage Regulator (AVR) dan governor, belum sempat memberikan respons. Jika setelah ayunan pertama sistem belum bisa menjaga keserempakan hingga mencapai keseimbangan baru, maka kondisi tersebut disebut sebagai stabilitas dinamik. Komponen-komponen dalam sistem tenaga listrik memiliki peran penting dalam mempertahankan keselarasan antar mesin dan menjaga keseimbangan keseluruhan sistem.

Permasalahan stabilitas ini umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, tergantung pada karakteristik dan besar kecilnya gangguan yang terjadi. Pertama, stabilitas steady state, yaitu kemampuan sistem untuk menjaga sinkronisasi mesin-mesin setelah mengalami gangguan kecil. Kedua, stabilitas

transien, yaitu kemampuan sistem untuk tetap sinkron setelah mengalami gangguan besar secara tiba-tiba. Ketiga, stabilitas dinamik, yang mencerminkan kemampuan sistem dalam menyesuaikan diri setelah gangguan awal agar tidak kehilangan keserempakan selama proses menuju keadaan stabil yang baru. Peningkatan kebutuhan akan energi listrik yang tidak diimbangi dengan penambahan unit pembangkit baru menjadi salah satu penyebab menurunnya keandalan sistem tenaga listrik. Kondisi ini mengharuskan pembangkit yang ada untuk beroperasi di luar kapasitas optimalnya, sehingga lebih rentan terhadap gangguan dan kehilangan kestabilan. Gangguan tersebut dapat memicu terjadinya osilasi dalam sistem, yang pada akhirnya dapat menyebabkan generator keluar dari kondisi sinkron dan mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan sebuah perangkat yang mampu menjaga kestabilan operasional pembangkit. Perangkat tersebut dikenal dengan nama Power System Stabilizer (PSS), yang berfungsi membantu sistem tetap bekerja secara efisien dan stabil (Permana,2015).

Power System Stabilizer (PSS) adalah perangkat yang berfungsi menghasilkan sinyal kontrol untuk dikirimkan ke sistem eksitasi. Tujuan utama pemasangan PSS adalah untuk meningkatkan torsi redaman (damping torque), sehingga kemampuan sistem dalam mentransfer energi listrik dapat ditingkatkan. Peningkatan torsi redaman menjadi penting ketika sistem berada pada kondisi beban berat, di mana kemampuan transfer energi cenderung menurun. Dalam pendekatan yang lebih modern, sinyal kontrol dari PSS tidak hanya meningkatkan torsi redaman, tetapi juga membantu memperluas batas kestabilan sistem. Hal ini dicapai dengan mengatur eksitasi generator agar mampu meredam osilasi rotor pada mesin sinkron. Jika osilasi ini tidak dikendalikan, maka akan berdampak negatif pada kemampuan sistem untuk mentransfer daya secara efisien (Permana,2015). Power System Stabilizer (PSS) adalah perangkat yang berfungsi menghasilkan sinyal kendali untuk diberikan kepada sistem eksitasi. Fungsi utama PSS adalah meningkatkan batas kestabilan sistem dengan mengatur kerja eksitasi pada rotor generator sinkron (Suharto,2015).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Stabilitas sistem tenaga listrik adalah kemampuan sistem untuk mempertahankan kondisi operasi yang seimbang, sinkron, dan aman setelah mengalami gangguan, baik besar maupun kecil. Kestabilan ini sangat penting untuk mencegah pemadaman massal dan memastikan pasokan listrik yang andal dan efisien. Tiga jenis utama stabilitas sistem meliputi stabilitas sudut rotor (termasuk stabilitas transien dan dinamis), stabilitas tegangan, dan stabilitas frekuensi. Setiap jenis stabilitas memiliki tantangan tersendiri dalam menjaga keselarasan kerja sistem tenaga listrik, terutama ketika menghadapi fluktuasi beban atau gangguan mendadak. Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan antara lain jenis gangguan, perangkat kontrol seperti Power System Stabilizer (PSS), penggunaan teknologi FACTS (seperti STATCOM dan UPFC), dan integrasi energi baru terbarukan seperti tenaga surya. Teknologi kontrol seperti AVR, governor, dan metode kontrol modern seperti Linear Quadratic Regulator (LQR) juga memainkan peran penting dalam menjaga kinerja sistem yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang mendalam dan strategi pengelolaan yang tepat agar sistem tenaga listrik dapat terus beroperasi dengan aman, andal, dan efisien di tengah berbagai tantangan operasional. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dilengkapi dengan simulasi kuantitatif menggunakan perangkat lunak seperti ETAP atau MATLAB untuk menganalisa dampak gangguan terhadap kestabilan sistem secara lebih akurat. Selain itu, perlu dilakukan studi interaksi antar pembangkit dalam sistem multimesin serta pengaruh integrasi energi terbarukan secara real-time, sehingga solusi yang diusulkan lebih aplikatif dan sesuai dengan kondisi sistem kelistrikan modern.

B. SARAN

1. Simulasi Kuantitatif Melakukan analisis berbasis simulasi menggunakan perangkat lunak seperti ETAP atau MATLAB guna mendapatkan pemahaman yang lebih akurat terhadap pengaruh gangguan terhadap kestabilan sistem.
2. Studi Sistem Multimesin Memperluas penelitian ke arah interaksi antar pembangkit dalam sistem multimesin untuk memahami dinamika dan potensi ketidakstabilan sistem secara keseluruhan.
3. Integrasi Energi Terbarukan Real-Time Melakukan studi terhadap pengaruh integrasi sumber energi terbarukan secara real-time, agar solusi yang diusulkan

lebih relevan dan aplikatif terhadap kondisi sistem kelistrikan modern yang semakin kompleks.

4. Pengembangan Teknologi Kontrol Mengembangkan dan menguji teknologi kontrol cerdas dan adaptif untuk meningkatkan ketahanan sistem terhadap berbagai jenis gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. (2020). Stabilitas Transien pada Saluran Transmisi dengan Static VAR Compensator (SVC) dan PSS (Power System Stabilizer). JE Unisla, 5(1), 326–331.
- Aprilianti, D. R., Dharta, F. Y., & Yusup, E. (2022). Manajemen Isu PT. PLN Mengenai Padamnya Aliran Listrik di Seluruh Pulau Jawa. Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK), 4(3), 2473 – 2477.
- Danas, A., & Laksono, H. D. (2013). Perbaikan Kestabilan Dinamik Sistem Tenaga Listrik Multimesin dengan Metoda Linear Quadratic Regulator. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 2(2), 72–78.
- Hasibuan, A. (2018). Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Single Mesin Menggunakan Metode Runge Kutta Orde 4. Jurnal Elektro dan Telkomunikasi, 24.
- Novfowan, A. D., Kusuma, W., & Mieftah, M. (2021). Analisis Stabilitas Transien Tegangan dan Frekuensi pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap. ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan, 8(1), 28–33.
- Pamungkas, D. S., Wartana, I. M., & Sulistiawati, I. B. (2024). Analisis Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya terhadap Kestabilan Frekuensi pada Sistem Kelistrikan 150 kV Lombok Nusa Tenggara Barat. Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro, 8(1), 10–24.
- Said, S. M., Gunadin, I. C., & Az-zahra, F. (2023). Studi Kestabilan Frekuensi Sistem Kelistrikan pada Pabrik PT. Semen Tonasa Setelah On-Grid Dengan PLN. Jurnal Eksitasi Departemen Teknik Elektro, 2(2), 37 44.
- Salama, W. S. (2021). Analisis Kestabilan Tegangan pada Sistem Tenaga Listrik SULBAGSEL Akibat Hilangnya Beban Besar (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Suharto, S., Robandi, I., & Priyadi, A. (2015). Penalaan Power System Stabilizer (PSS) untuk Perbaikan Stabilitas Dinamik pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Bat Algorithm (BA) (Doctoral dissertation, Sepuluh Nopember Institute of Technology).
- Syahputra, E., Pelawi, Z., & Hasibuan, A. (2018). Analisis Stabilitas Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Berbasis Matlab. Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi, 2(2).