

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik, kebutuhan dasar dalam kehidupan manusia, mencakup segala aspek mulai dari industri hingga rumah tangga. Sistem tenaga listrik, generator, beban, dan saluran transmisi, harus memenuhi kebutuhan ini secara berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan yang sejalan dengan rencana pembangunan jangka menengah nasional. Tantangan utama dalam proses pembangkitan listrik yaitu menjaga keseimbangan antara daya yang dihasilkan dan digunakan oleh konsumen, atau beban sistem, yang sangat dinamis dan dapat berubah setiap saat terutama tegangan dan frekuensi dari sistem tenaga listrik tersebut[1].

Untuk menganalisis sistem ini, model *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) sering digunakan. Dalam model ini, generator dihubungkan ke bus tak terbatas melalui saluran transmisi. Bus tak terbatas adalah sistem tenaga listrik yang sangat besar sehingga tegangan dan frekuensinya tetap konstan, tidak peduli berapa banyak daya riil dan daya reaktif yang ditarik atau disuplai kepadanya.

Kestabilan sistem tenaga listrik adalah aspek penting yang perlu dipertimbangkan. Gangguan pada sistem seperti perubahan beban secara acak dan perubahan perputaran turbin pada sisi pembangkit dapat menyebabkan gangguan pada generator sehingga timbulnya osilasi frekuensi[2]. Meski demikian, pasokan energi listrik ke konsumen harus tetap terjaga, Oleh karena itu, penting untuk menjaga kestabilan sistem tersebut agar pembangkit yang mengalami gangguan tetap terhubung dengan sistem dan dapat menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen[3].

Mesin sinkron dalam sistem tenaga menghadapi masalah kestabilan sinyal kecil, yang memicu osilasi frekuensi rendah karena gangguan. Sistem tenaga memiliki dua jenis osilasi: mode antar-area dan mode lokal[4]. Mode antar-area merujuk pada pengaruh ayunan generator dari area lain terhadap generator di satu area, sementara mode lokal merujuk pada ayunan generator dalam satu area tertentu. Kedua jenis osilasi ini dapat berpotensi merusak kinerja sistem dan dalam kasus ekstrem, bisa menjadikan sistem tidak stabil[5].

Kontrol eksitasi yang baik merupakan cara yang terbaik untuk meredam osilasi dan meningkatkan stabilitas sudut rotor pembangkit mengendalikan perubahan kecepatan sudut atau rotasi pada sistem tersebut. Respons yang tidak optimal dapat memicu osilasi frekuensi jangka panjang, mengurangi kekuatan transfer daya. Hal ini dapat diatasi dengan peralatan tambahan, yaitu *Power System Stabilizer* (PSS). PSS merupakan metode unggul untuk meningkatkan redaman osilasi rotor elektromekanis, yang pada gilirannya meningkatkan kemampuan transfer energi listrik pada jalur transmisi. Proses ini memberikan redaman,

mengembangkan komponen torsi listrik dalam satuan phase, dan menyimpan kecepatan rotor menggunakan modulasi referensi tegangan pada kontrol eksitasi[5].

Untuk memperoleh hasil yang maksimal, penalaan parameter yang tepat dan optimal pada PSS sangat diperlukan untuk meredam osilasi dan menstabilkan sistem sebagai respons kestabilan sistem. Penalaan parameter ini dapat menggunakan kecerdasan buatan[2].

Beberapa penelitian sebelumnya tentang sistem SMIB di antaranya:

1. A. S. V. Vijaya Lakshmi (2020), dengan judul “*Optimal Robust PID-PSS Design for Melioration of Power System Stability Using Search and Rescue Algorithm*”. Penelitian ini melakukan tuning parameter PSS dan PID dengan metode *Search and Rescue Algorithm* (SRA) untuk mendapatkan respons dinamik dari sistem[6].
2. Aliyu Sabo (2023), dengan judul “*Artificial Eco-System-Based Optimization Algorithm for Optimal Design of Single-Machine Infinite Bus and Multi-Machine Power System Stabilizers*”. Penelitian ini melakukan tuning parameter PSS dengan metode *Artificial Eco-System Optimization* (AEO) untuk mendapatkan respons dinamik dari sistem[7].

Dalam penelitian ini, akan di analisis domain waktu dan kestabilan sistem kendali SMIB dengan PSS menggunakan metode *backtracking search algorithm* (BSA). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem kendali pada model SMIB dengan mempertimbangkan optimasi parameter PSS. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam memahami dan meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik, yang pada akhirnya akan berdampak positif dalam menyediakan pasokan listrik yang lebih andal dan efisien bagi masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *Power System Stabilizer* (PSS) terhadap kestabilan sistem *Single Machine Infinite Bus* (SMIB).
2. Bagaimana tanggapan sistem *single machine infinite bus* (SMIB) yang dioptimasi menggunakan metode *backtracking search algorithm* (BSA) dengan sistem SMIB tanpa optimasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi dampak perubahan parameter *Power System Stabilizer* (PSS) terhadap respons dinamis sistem SMIB.
2. Mendapatkan informasi sistem SMIB dengan PSS yang dioptimasi menggunakan metode *backtracking search algorithm* (BSA).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini yakni memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana pengaruh PSS dapat mempengaruhi respons dinamis sistem SMIB. Informasi ini akan berguna dalam mengidentifikasi potensi risiko dan tantangan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik terutama dalam menghadapi fluktuasi atau gangguan beban yang mungkin terjadi serta menghasilkan pengetahuan tentang cara mengoptimalkan konfigurasi PSS untuk merancang desain sistem kendali yang lebih efisien.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah

1. Model sistem tenaga ialah model *Heffron-Phillip* dengan sebuah generator sinkron yang terhubung ke busbar tak hingga (*Single Machine Infinite Bus*) dengan model orde 4 dengan generator sinkron dimodelkan tanpa belitan peredam dan tahanan jangkarnya diabaikan.
2. Parameter PSS yang akan dilakukan penyetelan adalah gain pengendali (K_c), konstanta waktu fasa pengendali *lead-lag* T_1 , dan T_2 menggunakan metode BSA.
3. Sistem eksitasi yang digunakan adalah model sederhana IEEE ST1.
4. Analisis yang dilakukan berupa tanggapan peralihan domain waktu dan analisis kestabilan dari sistem SMIB.
5. Penelitian ini tidak akan membahas aspek implementasi teknis atau perangkat keras fisik pada sistem tenaga listrik, namun akan fokus pada analisis simulasi komputer dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.
6. Governor dan Turbin tidak dimodelkan secara matematis.
7. Pengaturan parameter dalam penelitian ini akan disesuaikan dengan model SMIB yang digunakan pada penelitian sebelumnya sebagai dasar studi kasus, tanpa menyertakan variabel tambahan yang mungkin ada pada sistem nyata.
8. Fokus penelitian hanya sebatas menganalisis pengaruh perubahan parameter PSS terhadap tanggapan dinamis pada kecepatan sudut dan sudut rotor dari sistem model SMIB.
9. Pengujian sistem SMIB dilakukan dengan memberikan sinyal uji berupa masukan undak dan masukan impuls.
10. Performa PSS yang telah dilakukan penyetelan dengan metode BSA pada sistem SMIB dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari PSS dengan parameter konvensional.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini akan memberikan pengenalan topik penelitian secara menyeluruh, meliputi latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya stabilitas sistem tenaga listrik, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah. Bab ini juga akan menjelaskan sistematika penulisan selanjutnya.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan membahas tinjauan literatur yang relevan dengan topik penelitian antara lain model SMIB, model PSS, konsep linearisasi dan nilai Eigen pada sistem tenaga listrik. Pada bab ini akan diuraikan teori dan konsep yang menjadi dasar penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan secara rinci metodologi yang digunakan dalam penelitian. Meliputi uraian model SMIB yang digunakan, langkah-langkah simulasi menggunakan *software* MATLAB, parameter yang akan divariasikan, serta prosedur percobaan. Bab ini juga akan menguraikan teknik analisis data yang akan digunakan untuk mengevaluasi hasil eksperimen dan mendukung pencapaian tujuan penelitian.

BAB IV : HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisi tentang analisis dari penelitian yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian beserta saran yang disampaikan penulis berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari penelitian.

