

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang pesat di era digital saat ini telah menekankan pentingnya energi listrik sebagai persyaratan mendasar di berbagai aktivitas manusia. Energi listrik didistribusikan melalui jaringan sistem tenaga listrik. Sangat penting untuk menjamin stabilitas jaringan ini agar dapat beroperasi secara efektif dan dapat diandalkan [1]. Ketidakstabilan sering dialami oleh sistem tenaga listrik yang saling terhubung karena kompleksitas jaringan dan kerentanannya terhadap gangguan, yang menyebabkan osilasi frekuensi rendah [2].

Single Machine Infinite Bus (SMIB) adalah representasi sederhana dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menganalisis stabilitas dan strategi pengendalian dari sistem tenaga listrik. Konfigurasi *Single Machine Infinite Bus (SMIB)* menggambarkan generator listrik yang terhubung ke bus tak terbatas yang dicirikan oleh tegangan dan frekuensi konstan [3]. Dengan menganalisis sistem SMIB, peneliti dapat mengembangkan dan menguji berbagai mekanisme kontrol seperti *Power System Stabilizers (PSS)* untuk meningkatkan stabilitas, meminimalkan osilasi, dan memperbaiki kinerja keseluruhan generator dalam merespons gangguan [1], [3].

Pentingnya mempertimbangkan stabilitas sistem tenaga listrik tidak dapat dihiraukan. Insiden gangguan sistem, seperti fluktuasi beban yang tidak dapat diprediksi di sisi pembangkit, berpotensi menyebabkan gangguan dalam operasi generator dan memicu osilasi frekuensi [4]. Namun, sangat penting untuk memastikan pasokan listrik yang berkelanjutan kepada konsumen, sehingga memerlukan pemeliharaan stabilitas sistem melalui pengaturan variasi kecepatan sudut atau rotasi. Langkah ini memastikan bahwa unit yang terkena dampak tetap terintegrasi dengan sistem dan dapat menghasilkan listrik sesuai dengan permintaan konsumen [5].

Kontrol eksitasi yang efektif memainkan peran penting dalam melemahkan osilasi dan meningkatkan stabilitas sudut rotor generator untuk mengelola variasi kecepatan sudut dalam sistem. Respons yang tidak memadai dapat menyebabkan osilasi frekuensi yang berkepanjangan, mengakibatkan penurunan efisiensi transfer daya. Untuk mengatasi masalah ini, penggabungan peralatan tambahan, seperti *Power System Stabilizer (PSS)*, menjadi diperlukan. PSS merupakan pendekatan superior untuk meningkatkan redaman osilasi rotor elektromekanis, akibatnya meningkatkan kapasitas transfer energi listrik saluran transmisi. Mekanisme ini memfasilitasi redaman, menghasilkan elemen torsi

listrik dalam kesatuan fase, dan menghemat kecepatan rotor melalui modulasi referensi tegangan pada sistem kontrol *exciter* [6].

Untuk mencapai kemanjuran maksimum, sangat penting untuk terlibat dalam pertimbangan parameter yang akurat dan optimal mengenai *Power System Stabilizer* (PSS) untuk mengurangi osilasi dan meningkatkan stabilitas sistem melalui respons sistem yang menstabilkan. Pertimbangan parameter ini dapat difasilitasi melalui penerapan kecerdasan buatan [4].

Berikut merupakan beberapa penelitian mengenai SMIB, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Shaifullah (2017) ini bertujuan untuk meningkatkan redaman osilasi frekuensi rendah pada sistem daya melalui desain *Power System Stabilizer* (PSS) berbasis *lead-lag controller* yang dioptimalkan menggunakan *Backtracking Search Algorithm* (BSA). Kinerja PSS yang dioptimalkan dengan BSA diuji pada model *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) dengan membandingkannya terhadap PSS konvensional dan yang dioptimalkan dengan *Genetic Algorithm* (GA). Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode BSA menghasilkan redaman yang lebih baik, dengan waktu penyelesaian lebih cepat dan stabilitas sistem yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya [7]

Penelitian ini akan fokus pada pemeriksaan domain frekuensi dan karakteristik stabilitas dari sistem kontrol bus tak terbatas mesin tunggal yang dilengkapi dengan pengontrol penstabil sistem daya, memanfaatkan teknik algoritma pencarian balik (BSA). Tujuan utama dari penyelidikan ini adalah untuk menilai kinerja sistem kontrol yang diterapkan pada model SMIB, sambil mempertimbangkan variasi dalam keuntungan PSS. Akibatnya, diantisipasi bahwa penelitian ini akan menghasilkan wawasan berharga dalam meningkatkan stabilitas jaringan listrik, sehingga memfasilitasi pengiriman layanan listrik yang lebih andal dan efisien kepada 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*.
2. Bagaimana tanggapan sistem kendali SMIB yang dioptimasi menggunakan metoda BSA dengan tanpa optimasi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi dampak perubahan parameter PSS terhadap respon dinamis sistem SMIB.
2. Memperoleh informasi mengenai tanggapan domain frekuensi dan kekokohan pada sistem kendali *Single Machine Infinite Bus* (SMIB) menggunakan *Power System Stabilizer* (PSS) dengan metode *Backtracking Search Algorithm* (BSA).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk meningkatkan pemahaman mengenai dampak *Power System Stabilizers (PSS)* pada perilaku dinamis sistem *Synchronous Machine Infinite Bus (SMIB)*. Pengetahuan ini akan terbukti berharga dalam mendeteksi potensi resiko dan kesulitan dalam fungsionalitas jaringan listrik, terutama di tengah-tengah berbagai kondisi atau gangguan beban, sementara juga berkontribusi wawasan tentang peningkatan tata letak PSS untuk pengembangan sistem kontrol canggih.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Model sistem tenaga ialah sebuah generator sinkron yang terhubung ke bus *bar* tak hingga (*Single Machine Infinite Bus*) dengan model orde 4.
2. Sistem eksitasi yang digunakan adalah model IEEE ST1.
3. Generator sinkron dimodelkan tanpa belitan peredam dan tahanan jangkarnya diabaikan.
4. Parameter *Power System Stabilizer* yang di-tuning adalah *gain* pengendali (K_c), konstanta waktu fasa *lead-lag* (T_1 , dan T_2) dengan model *Backtracking Search Algorithm*.
5. Fokus penelitian hanya sebatas menganalisis pengaruh perubahan parameter *Power System Stabilizer* terhadap respon dinamis sistem model *Single Machine Infinite Bus (SMIB)*.
6. 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.
7. Pengaturan optimal parameter *Power System Stabilizer* yang diusulkan dalam penelitian ini akan disesuaikan dengan model SMIB yang digunakan sebagai dasar studi kasus, tanpa menyertakan variabel tambahan yang mungkin ada pada sistem nyata.
8. Governor dan turbin tidak dimodelkan secara matematis.
9. Performa PSS yang di tuning dengan BSA pada sistem *Single Machine Infinite Bus (SMIB)* dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari PSS dengan penguatan tetap konvensional dan nilai *eigen* dari PSS berbasis BSA dibandingkan dengan tanpa PSS.
10. Pengujian SMIB dilakukan dengan memberi gangguan mekanis sebagai masukan.
11. Respons dinamis yang di analisis difokuskan pada frekuensi sudut dan sudut rotor dari model SMIB.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari masalah dalam penelitian ini, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang akan didapatkan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai teori-teori pendukung yang digunakan dalam menyelesaikan masalah dalam tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab yang memberikan informasi mengenai bagaimana langkah-langkah dalam menyelesaikan tugas akhir.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil data dan analisis dari penelitian yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari bab analisis dan pembahasan sebelumnya.

