

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan esensial dalam kehidupan manusia modern. Perannya sangat vital dalam menunjang berbagai aktivitas di berbagai bidang seperti industri, transportasi, komunikasi, hingga kebutuhan rumah tangga. Seiring dengan kemajuan teknologi yang pesat di era digital serta pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat, konsumsi energi listrik pun mengalami peningkatan yang signifikan[1]. Meningkatnya permintaan ini memerlukan ketersediaan listrik yang handal, stabil, dan efisien agar sistem kelistrikan dapat beroperasi secara optimal. Gangguan pada pasokan listrik dapat memberikan dampak luas, termasuk menurunnya produktivitas industri dan ekonomi, kerusakan peralatan, hingga terganggunya kehidupan sosial masyarakat.

Dalam sistem pembangkitan tenaga listrik, generator memiliki peranan penting sebagai alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Prinsip kerja generator mengacu pada hukum Faraday, yaitu ketika medan magnet yang berputar di rotor berinteraksi dengan kumparan pada stator, maka akan timbul tegangan listrik[2]. Untuk menjaga kestabilan sistem kelistrikan, tegangan keluaran dari generator harus dipertahankan dalam batas tertentu[3]. Namun, karena kondisi operasional yang terus berubah, terutama akibat variasi beban, sering terjadi fluktuasi tegangan yang bisa menimbulkan berbagai masalah serius. Ketidakstabilan tegangan dapat menurunkan efisiensi sistem, merusak peralatan listrik, mengganggu sistem proteksi, bahkan menyebabkan pemadaman listrik (blackout) jika tidak segera ditangani[4].

Untuk mempertahankan kestabilan tegangan keluaran generator, digunakan *Automatic Voltage Regulator (AVR)* sebagai sistem kontrol otomatis[5]. AVR bekerja dengan mengatur tegangan eksitasi pada rotor agar tegangan keluaran tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban[6]. Keberadaan AVR membantu sistem kelistrikan beroperasi lebih stabil, mencegah fluktuasi tegangan yang dapat merusak peralatan, serta menjaga kualitas daya listrik tetap optimal. Namun dalam implementasinya, AVR sering mengalami tantangan dalam mencapai performa yang maksimal, khususnya dalam merespons perubahan beban secara cepat[7]. Ketidaktepatan dalam penyesuaian arus eksitasi oleh AVR bisa menyebabkan ketidakstabilan tegangan, yang akhirnya berdampak pada penurunan kinerja sistem pembangkitan secara keseluruhan[8]. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi pengendalian yang lebih efisien dan adaptif untuk meningkatkan performa AVR dalam menjaga kestabilan tegangan pada generator.

Salah satu metode yang umum digunakan dalam sistem kendali AVR adalah pengendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID)[9]. Pengendali PID bekerja

dengan menggabungkan tiga mekanisme utama, yaitu pengendalian proporsional (P) yang merespons langsung terhadap besarnya kesalahan, pengendalian integral (I) yang bertujuan menghilangkan kesalahan tetap (steady-state error) dengan cara menjumlahkan kesalahan dari waktu ke waktu, serta pengendalian derivatif (D) yang memberikan Respons cepat terhadap perubahan kesalahan dengan memprediksi arah dan laju perubahan tersebut. Gabungan ketiga komponen ini memungkinkan pengendali PID untuk mengatur tegangan eksitasi dengan lebih akurat dan stabil. Akan tetapi, keberhasilan pengendali PID sangat bergantung pada ketepatan parameter yang digunakan[10]. Bila penyetelan parameter PID tidak dilakukan secara tepat, sistem bisa menjadi tidak stabil, terutama saat terjadi perubahan beban atau parameter sistem. Oleh karena itu, diperlukan metode penyetelan (tuning) yang efektif agar pengendali PID dapat bekerja secara optimal dalam menjaga kestabilan sistem AVR.

Salah satu metode tuning yang dapat dimanfaatkan untuk menyempurnakan parameter PID adalah *PIDTune*. *PIDTune* merupakan teknik penyetelan parameter PID secara otomatis yang memungkinkan sistem pengendali menyesuaikan diri dengan karakteristik sistem secara lebih akurat dan efisien[5]. Terdapat dua model utama dalam metode ini, yaitu *PIDTune* model paralel yang menerapkan prinsip komputasi paralel guna meningkatkan kecepatan dan ketelitian respons sistem terhadap perubahan beban, serta *PIDTune* model standar yang menggunakan pendekatan konvensional dalam penyesuaian parameter PID berdasarkan sifat dinamis sistem. Penerapan *PIDTune* pada sistem AVR membuatnya lebih adaptif dalam mengatur tegangan eksitasi dan mampu mereduksi gangguan akibat perubahan beban yang tidak terduga[8].

Penelitian-penelitian sebelumnya terkait *Automatic Voltage Regulator* (AVR) adalah sebagai berikut.

1. Agung Tri Winarto, Sunardi, dan Tole Sutikno (2024) dengan penelitian berjudul “*Analysis of Automatic Voltage Regulator (AVR) Performance Based on Commissioning Load Acceptance and Load Rejection Data at 28 MW Capacity Steam Power Plant.*” Penelitian ini menganalisis kinerja AVR dalam menjaga stabilitas tegangan dan output daya generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap berkapasitas 28 MW[12].
2. Graciana Yuniarti Puspitaputri, Ciptian Weriend Priananda, dan Dwiky Fajri Syahbana (2021) dengan penelitian berjudul “*Automatic Voltage Regulator (AVR) Generator dengan Mikrokontroler Menggunakan Metode Hill Climbing.*” Penelitian ini mengembangkan AVR yang terdiri dari beberapa komponen, termasuk DC-DC converter, regulator, mikrokontroler, voltage divider, dan rectifier, dengan menggunakan metode Hill Climbing untuk mengatur besar tegangan eksitasi yang dihubungkan ke rotor generator[13].
3. Heru Dibyo Laksono (2019) dengan penelitian berjudul “*Analisa Kestabilan Sistem Kendali Eksitasi Generator Dengan dan tanpa Pengendali Berdasarkan Pendekatan Respons Frekuensi.*” Penelitian ini membahas

kestabilan sistem eksitasi generator arus searah menggunakan pendekatan fungsi alih dan Respons frekuensi. Penelitian ini mencakup analisa kestabilan mutlak, relatif, dan internal dengan menggunakan berbagai jenis pengendali, yaitu Proporsional (P), Proporsional-Integral (PI), Proporsional-Diferensial(PD), serta Proporsional-Integral-Diferensial (PID)[14].

Dalam penelitian tugas akhir ini akan berfokus kepada analisis kekokohan pada sistem AVR yang dilengkapi dengan pengendali *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard* dengan dan tanpa menggunakan filter. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem AVR yang lebih canggih dan efisien, sehingga dapat digunakan dalam berbagai skala pembangkitan listrik. Dengan peningkatan kinerja AVR, stabilitas jaringan listrik dapat lebih terjamin, meminimalkan risiko gangguan operasional, serta meningkatkan efisiensi pasokan energi listrik di berbagai sektor.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana rancangan sistem kendali pada sistem *Automatic Voltage Regulator* (AVR) menggunakan metode *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard* dengan dan tanpa menggunakan filter dengan menganalisa kekokohan.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kekokohan dari sistem AVR belum memiliki performansi yang memuaskan.
2. Analisis kekokohan ditunjukkan oleh parameter nilai puncak maksimum sensitivitas, nilai puncak maksimum sensitivitas komplementer, margin penguatan, dan margin fasa. Hasil analisis awal terhadap parameter – parameter ini menunjukkan bahwa nilainya belum memenuhi *standard* yang ditetapkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk melakukan simulasi perancangan pengendali untuk sistem AVR tipe arus searah dengan metode *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard* agar kekokohan memenuhi *standard* yang ditetapkan.
2. Menganalisis dan membandingkan Respons sistem AVR tipe arus searah menggunakan metode *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard*.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas kedua metode dalam mengoptimalkan performansi sistem AVR tipe searah serta memberikan rekomendasi yang tepat.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem AVR yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem AVR tipe arus searah.

2. Sistem AVR tipe arus dinyatakan dalam bentuk persamaan keadaan dan fungsi alih.
3. Konfigurasi sistem kendali yang digunakan adalah konfigurasi tipe standard dan tipe pre filter.
4. Perancangan pengendali dilakukan dalam bentuk simulasi dengan bantuan perangkat lunak Matlab
5. Simulasi perancangan pengendali yang dilakukan terdiri dari simulasi perancangan pengendali, simulasi perancangan pengendali dengan *Low Pass Filter* (LPF), simulasi perancangan pengendali *High Pass Filter* (HPF), simulasi perancangan pengendali dengan variasi konstanta filter untuk *Low Pass Filter* (LPF), dan simulasi perancangan pengendali dengan variasi konstanta filter untuk *High Pass Filter* (HPF).
6. Simulasi perancangan pengendali yang dilakukan dengan metode *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard*.
7. Analisis sistem kendali yang dilakukan meliputi analisis kekokohan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan berbagai manfaat baik secara teoretis maupun praktis, khususnya dalam bidang sistem kendali AVR tipe arus searah. Adapun manfaat secara teoritis dari penelitian ini adalah

1. Penelitian ini bermanfaat dalam pengembangan ilmu tentang sistem kendali AVR tipe arus searah, khususnya dalam menambah wawasan mengenai *PIDTune* model paralel dan *PIDTune* model *standard*.
2. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai analisis kekokohan dalam sistem AVR tipe arus searah.
3. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode *PIDTune* dengan membandingkan kedua metode *PIDTune* dalam pengaturan sistem AVR tipe arus searah yang dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan algoritma tuning yang lebih optimal.

Manfaat secara praktis dari penelitian ini adalah

1. Optimasi kinerja sistem AVR tipe arus searah dalam sistem tenaga listrik. Hasil penelitian ini memberikan informasi mengenai pemilihan metode tuning PID yang lebih efektif dalam menjaga kestabilan tegangan sistem tenaga listrik, ketahanan sistem tenaga listrik terhadap gangguan, dan membantu dalam meningkatkan keandalan dan respons dinamis sistem AVR tipe arus searah sehingga dapat memperbaiki efisiensi regulasi tegangan.
2. Penerapan dalam desain dan implementasi sistem AVR tipe arus searah. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan bagi insinyur dan praktisi di bidang tenaga listrik dalam menerapkan metode tuning PID yang lebih optimal pada sistem AVR tipe arus searah.

3. Memberikan rekomendasi terhadap pemilihan parameter PID berdasarkan karakteristik sistem yang diinginkan, seperti kestabilan tinggi, sistem yang kokoh terhadap gangguan, atau respons cepat terhadap perubahan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir memiliki tata cara penulisan yang sistematis. Tujuannya untuk memberikan pembaca gambaran tentang tugas akhir ini disusun, sehingga mereka dapat dengan mudah. sistematika penulisan laporan tugas akhir sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang pendahuluan dari penelitian dimulai dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan mengenai teori-teori yang berfungsi sebagai landasan dan acuan dalam menyelesaikan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang penjelasan dan tahapan proses pelaksanaan penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir penelitian, meliputi diagram alir rencana penelitian, tahapan penelitian, dan rentang waktu pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini berisikan tentang analisis dan pembahasan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penulis berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

