

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era industry 4.0 menuntut keandalan dan efisiensi sistem tenaga Listrik yang semakin tinggi. Berbagai sektor industri seperti manufaktur, sistem otomasi, dan pusat data sangat bergantung pada kualitas daya Listrik yang stabil untuk menjaga keberlangsungan operasi peralatan elektronik yang sensitive. Salah satu parameter utama dalam menjaga kualitas daya Listrik yaitu dengan menjaga kestabilan tegangan pada sistem pembangkit. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan penurunan performa peralatan Listrik, gangguan operasi sistem, bahkan kerusakan pada perangkat yang terhubung dengan jaringan Listrik.[1]

Alternator merupakan komponen penting dalam sistem pembangkit Listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi Listrik. Dalam operasinya, tegangan yang dikeluarkan oleh generator sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya arus eksitasi dan kecepatan putaran rotor yang dihasilkan oleh penggerak utama (*prime mover*). Perubahan beban listrik yang terjadi secara dinamis dapat menyebabkan terjadinya fluktuasi tegangan pada terminal generator. Ketika beban meningkat, generator harus menyuplai daya yang lebih besar sehingga tegangan keluaran dapat mengalami penurunan apabila tidak terdapat mekanisme pengaturan yang memadai.[2]

Secara umum kestabilan tegangan pada generator banyak dikendalikan menggunakan sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) yang bekerja dengan mengatur arus eksitasi pada rotor generator. Namun dalam beberapa kondisi, perubahan beban juga mempengaruhi kondisi mekanik pada sistem pembangkitan, sehingga kestabilan tegangan tidak hanyadipengaruhi oleh arus eksitasi tetapi juga oleh kecepatan putaran *prime mover*. Apabila kecepatan *prime mover* tidak dapat menyesuaikan perubahan beban secara cepat, maka tegangan keluaran generator dapat mengalami penurunan yang cukup signifikan.[3]

Pengaturan kecepatan *prime mover* pada generator yang digerakkan oleh motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan inverter atau Variable Frequency Drive (VFD). Inverter bekerja dengan mengatur frekuensi tegangan keluaran yang diberikan kepada motor, sehingga kecepatan putaran motor dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Dengan pengaturan frekuensi yang tepat, kecepatan *prime mover* dapat dikendalikan untuk membantu mempertahankan kestabilan tegangan keluaran generator ketika terjadi perubahan beban[4]

Dalam sistem kendali berbasis mikrokontroler, pada pengaturan frekuensi inverter dapat dilakukan melalui sinyal referensi tegangan analog dengan rentang 0–10 V. Namun mikrokontroler umumnya menghasilkan sinyal kendali dalam bentuk Pulse Width Modulation (PWM). Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian konversi berupa PWM to Voltage Converter untuk mengubah sinyal PWM menjadi tegangan analog yang dapat digunakan sebagai sinyal referensi bagi inverter.[5]

Seiring dengan perkembangan teknologi sistem kendali, mikrokontroler ESP32 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi karena memiliki kemampuan pemrosesan yang tinggi, fitur PWM yang fleksibel, serta kemudahan integrasi dengan berbagai sensor dan antarmuka pengguna. Dengan memanfaatkan ESP32, sistem kendali dapat dirancang untuk mengatur frekuensi inverter secara dinamis sehingga kecepatan *prime mover* dapat menyesuaikan kondisi beban pada generator.[6]

Untuk meningkatkan kestabilan sistem, diperlukan suatu metode kontrol yang mampu merespon perubahan tegangan secara cepat dan akurat. Salah satu metode kontrol yang umum digunakan dalam sistem kendali industri adalah kontrol Proportional-Integral (PI). Metode kontrol PI mampu mengurangi kesalahan keadaan tunak (*steady-state error*) serta memperbaiki respon sistem terhadap gangguan atau perubahan beban.[7]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah sistem pengaturan *prime mover* generator berbasis mikrokontroler ESP32 dengan

memanfaatkan modul PWM to Voltage Converter untuk mengendalikan inverter. Sistem ini menggunakan metode kontrol Proportional-Integral (PI) untuk menyesuaikan frekuensi inverter sehingga kecepatan *prime mover* dapat berubah secara otomatis mengikuti kondisi beban. Dengan pendekatan ini diharapkan tegangan keluaran generator dapat dipertahankan lebih stabil meskipun terjadi perubahan beban pada sistem.[7]

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah disebutkan, maka dapat diidentifikasi rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa menggunakan inverter yang dapat dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32?
- b. Bagaimana cara mengonversi sinyal PWM dari ESP32 menjadi tegangan analog agar dapat dibaca oleh inverter?
- c. Bagaimana mengimplementasikan sistem kendali tertutup berbasis metode Proportional-Integral (PI) untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran generator terhadap perubahan beban?
- d. Bagaimana merancang sistem monitoring dan antarmuka berbasis HMI Nextion untuk menampilkan parameter tegangan, arus, dan frekuensi secara real-time?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa berbasis inverter Schneider ATV312 menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama *prime mover*
- b. Mengembangkan sistem konversi sinyal PWM menjadi tegangan analog 0–10 V menggunakan modul PWM to Voltage Converter sebagai input referensi inverter

- c. Mengimplementasikan sistem kendali tertutup berbasis metode Proportional–Integral (PI) untuk mengatur frekuensi inverter sehingga tegangan keluaran generator tetap stabil sesuai nilai setpoint
- d. Merancang dan membangun sistem monitoring berbasis HMI Nextion untuk menampilkan parameter kelistrikan secara real-time

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penulisan dan pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat dikategorikan ke dalam dua aspek, yaitu bagi mahasiswa dan bagi universitas.

1.4.1 Bagi Mahasiswa

- a. Memberikan pengalaman dalam merancang sistem *prime mover* menggunakan motor induksi 3 fasa berbasis ESP32 Devkit C V4, yang dapat mengatur frekuensi motor induksi 3 fasa serta memonitoring melalui HMI
- b. Meningkatkan pemahaman mengenai implementasi kendali tertutup menggunakan metode PI pada sistem generator
- c. Mengembangkan kemampuan integrasi antara sistem kendali, sensor kelistrikan, dan antarmuka HMI

1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi Universitas Diponegoro

- a. Menambah referensi dan sumber pembelajaran praktis dalam bidang otomasi industri, khususnya terkait sistem *prime mover* berbasis mikrokontroler.
- b. Meningkatkan kualitas fasilitas laboratorium dengan adanya *prototype* alat yang dapat digunakan sebagai media praktikum atau demonstrasi sistem HMI

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan terfokus untuk menghindari pembahasan yang meluas, beberapa Batasan masalah ditetapkan sebagai berikut :

- a. Sistem kontrol kecepatan motor dilakukan melalui mikrokontroler ESP32 melalui sinyal PWM yang dikonversi menjadi tegangan analog (0–10V) menggunakan modul PWM to Voltage Converter

- b. Penelitian ini tidak membahas secara mendalam sistem eksitasi generator, karena fokus penelitian berada pada pengaturan kecepatan *prime mover*.
- c. Nilai setpoint tegangan pada sistem ditetapkan sebesar 110 V sebagai acuan dalam proses pengendalian tegangan generator.
- d. Sistem kendali yang digunakan dalam penelitian ini hanya menggunakan metode kontrol Proportional–Integral (PI) tanpa membahas metode kontrol lainnya.
- e. Sistem monitoring dan pengoperasian alat menggunakan HMI Nextion yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32.

1.6 Sistematis Tugas Akhir

Untuk menghasilkan laporan tugas akhir yang terstruktur dan mudah dipahami, diperlukan sistematika penulisan yang jelas. Adapun sistematika penyusunan laporan tugas akhir ini disusun menjadi beberapa bab utama sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini memuat penjabaran mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai, serta manfaat dari tugas akhir. Di samping itu, bab ini juga menjelaskan batasan ruang lingkup pembahasan dan sistematika penulisan laporan.

BAB II. LANDASAN TEORI

Bab ini berisi uraian kajian literatur serta teori-teori yang menjadi dasar dalam perancangan dan pengembangan alat yang dilakukan dalam tugas akhir.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Di bab ini dijelaskan mengenai tahapan perancangan baik perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software). Penjelasan meliputi blok diagram, prinsip kerja, perancangan program, serta alur logika sistem secara keseluruhan

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan proses pembuatan, instalasi, serta perakitan alat sesuai hasil rancangan. Seluruh tahapan implementasi yang dilakukan selama pengerjaan tugas akhir dijelaskan secara sistematis. Selain itu, dilakukan pula analisis terhadap data hasil pengujian guna mengevaluasi performa alat yang telah dikembangkan

BAB V. PENUTUP

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dari keseluruhan hasil tugas akhir, serta saran-saran yang diberikan penulis sebagai masukan untuk pengembangan alat atau sistem di masa yang akan datang.