

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

- a) Penelitian ini telah berhasil merealisasikan dan mengimplementasikan sebuah sistem kontrol arus eksitasi pada alternator menggunakan mikrokontroler ESP32 WROOM yang fungsional dan efektif. Tujuan utama penelitian untuk menjaga stabilitas tegangan output alternator pada nilai setpoint 220V dalam berbagai kondisi.
- b) Pada data yang telah diuji dapat disimpulkan bahwa mikrokontroler ESP32 WROOM merupakan pilihan yang cukup baik sebagai komponen kontrol. Komponen ini mampu menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) dengan akurasi dan stabilitas yang sangat tinggi, ditunjukkan dengan deviasi nilai duty cycle yang hanya sekitar 1% antara perintah dan hasil pengukuran. Driver motor BTS7960 juga terbukti mampu menangani arus yang diperlukan untuk medan eksitasi alternator dengan baik.
- c) Implementasi algoritma kontrol Proportional-Integral-Derivative (PID) dengan parameter hasil tuning trial and error ($K_p = 0,5$; $K_i = 0,015$; $K_d = 0,125$) terbukti sangat efektif dan robust. Parameter dan algoritma ini mampu mempertahankan tegangan dengan fluktuasi minimal pada kondisi tanpa beban, dan juga memiliki performa yang baik dalam memproses *error* maupun gangguan.
- d) Keunggulan sistem ini paling terlihat pada saat pengujian respon transien terhadap perubahan beban. Ketika diberikan step load 5 Watt, sistem mengalami voltage drop hingga 197,6V. Namun, algoritma PID mampu melakukan aksi korektif dengan cepat dan stabil, berhasil memulihkan tegangan kembali ke 219,9V hanya dalam waktu pemulihan (settling time) sekitar 6 detik. Respons ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kecepatan proses yang baik.

- e) Kemampuan sistem untuk menemukan titik baru dengan nilai PWM yang lebih tinggi setelah pemberian beban, menyimpulkan bahwa aksi kontrol integral pada kontroler PID berfungsi secara optimal untuk mengurangi *steady-state error*, sehingga tegangan output menjadi normal dan *steady-state* pada nilai *setpoint* yang diinginkan.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa seluruh rangkaian kegiatan mulai dari perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem ini telah berhasil menciptakan sebuah solusi regulator tegangan otomatis dengan menggunakan metode sistem kontrol eksitasi yang tidak hanya stabil pada kondisi tanpa beban, tetapi juga robust pada saat ada gangguan berupa perubahan beban, sehingga memenuhi seluruh spesifikasi dan tujuan awal perancangan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem ini untuk kedepannya, maka adapun beberapa saran sebagai berikut:

- a) Menerapkan metode tuning yang lainnya seperti menggunakan algoritma kontrol yang lebih adaptif seperti Fuzzy Logic Control untuk mengatasi berbagai macam jenis beban non-linear dan mungkin meningkatkan kecepatan respon sistem dengan jenis beban non-linear.
- b) Melakukan pengujian dengan variasi beban yang lebih beragam dan besar (misalnya, beban induktif, motor) serta pengujian durasi panjang (long-term test) untuk menguji keandalan dan ketahanan komponen dalam jangka waktu yang lama.
- c) Melakukan pengujian dengan menggunakan daya 3 fasa yang tersedia pada alternator untuk mendapatkan daya maksimal pada keluaran alternator. Dan pengujian efisiensi daya keluar dan masuk pada sistem kontrol ini saat menggunakan 3 fasa alternator.
- d) Merancang Printed Circuit Board (PCB) yang dedicated untuk menata komponen secara lebih rapi dan robust, serta menambahkan fitur proteksi seperti fuse, heatsink ataupun kipas pendingin, dan protection circuit untuk melindungi dari spike voltage dan arus berlebih.