

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi di era Industri 4.0 menuntut keandalan dan efisiensi sistem yang semakin tinggi. Beberapa sektor dari industri seperti manufaktur ketergantungan pada peralatan elektronik sensitif menjadikan kualitas daya listrik sebagai faktor krusial untuk menjaga operasional berkelanjutan dan mencegah kerusakan perangkat. Masalah utama dalam menjaga kualitas daya adalah menjaga stabilitas tegangan dari sumber pembangkit. Generator sinkron (alternator) merupakan komponen fundamental dalam berbagai sistem pembangkitan. Kestabilan tegangan yang dihasilkannya menjadi parameter utama dari keandalan sebuah generator [1].

Kunci untuk mengontrol tegangan output dari sebuah generator sinkron terletak pada pengaturan arus eksitasi. Perubahan beban listrik secara dinamis akan menyebabkan fluktuasi pada tegangan output terminal, sehingga diperlukan sebuah sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) yang mampu merespon dengan cepat dan akurat[2]. Tantangan ini menjadi semakin kompleks karena beban listrik modern seringkali bersifat dinamis dan non-linier. Beban seperti switching power supply pada perangkat komputer, VFD pada motor induksi, atau lampu LED, menarik arus. Hal ini tidak hanya menyebabkan penurunan tegangan, tetapi juga dapat menimbulkan distorsi harmonik, yang berpotensi mengganggu operasi peralatan lain yang terhubung [3].

AVR komersial modern mempunyai performa yang baik, tetapi umumnya bersifat proprietary atau "kotak hitam". Masalah utama pada penelitian ini adalah tegangan terminal yang dapat berfluktuasi saat terjadi pembebanan linear yang menghasilkan penurunan tegangan. Pada AVR komersial memiliki keterbatasan fleksibilitas dan monitoring yang mengurangi kehandalan adaptasi untuk mengevaluasi kinerja. Tuning kontrol untuk memberikan sistem yang dapat mencapai setpoint dengan overshoot kecil dan error tunak yang kecil menjadi masalah utama yang perlu dijawab pada penelitian ini.

Pada aktualnya AVR komersial tidak fleksibel, sulit dimodifikasi untuk kebutuhan spesifik, dan jika terjadi kerusakan maka perbaikannya seringkali mahal

karena memerlukan penggantian satu unit utuh[4]. Keterbatasan pada solusi pada AVR komersil ini menciptakan sebuah ide kebutuhan untuk sistem AVR yang tidak hanya handal, tetapi juga berarsitektur terbuka dan dapat disesuaikan juga terjangkau. Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan prototipe AVR digital berbasis ESP32 yang mengatur arus eksitasi melalui aktuator BTS7960. Umpan balik tegangan, arus, dan frekuensi diakuisisi sensor PZEM-004T, kemudian difilter secara numerik agar dapat mengurangi noise sebelum dihitung aksi kendalinya melalui algoritma PID. Antarmuka HMI Nextion disediakan untuk monitoring lokal dan konfigurasi mode manual dan otomatis beserta pengaturan setpoint dan PWM. Pada integrasi IoT menggunakan MQTT dan Node-RED memungkinkan logging dan monitoring jarak jauh secara real-time, sehingga parameter dapat dimonitoring dan dievaluasi.

Pada referensi penelitian tentang AVR berbasis PID pada generator sinkron menunjukkan bahwa kendali PID (termasuk variasi 2-DOF atau penambahan filter) efektif menekan overshoot dan mempercepat settling time pada level simulasi dan prototipe dasar[5]. Tetapi, pada penelitian tersebut masih berfokus pada pemodelan/simulasi atau implementasi terbatas tanpa antarmuka operator dengan fitur pendukung, belum menyediakan pemilihan mode manual dan otomatis dari HMI. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membangun AVR digital yang terbuka dan modular berbasis ESP32, PZEM-004T dan BTS7960. Menerapkan kontrol PID agar tegangan terminal mengikuti setpoint dengan overshoot minimal, waktu pemulihan cepat, dan error tunak rendah yang memberikan performa regulasi yang baik[6].

Pada penelitian ini menyediakan HMI untuk pemilihan mode manual (PWM tetap tanpa kontrol) maupun mode otomatis (PID aktif) dengan pengaturan setpoint dan PWM oleh pengguna. Mengintegrasikan IoT Node-RED untuk pemantauan dan pencatatan kinerja sistem secara kontinu juga termasuk tujuan dalam penelitian ini. Kombinasi antara mikrokontroler dan switching converter ini merepresentasikan kontrol digital yang lebih unggul dari sistem analog konvensional. Algoritma dapat diperbarui, parameter tuning dapat disesuaikan secara presisi, dan fitur seperti logika proteksi dapat ditambahkan melalui pembaruan kode. Selain itu, pemrosesan sinyal digital memungkinkan penerapan

teknik filter yang efektif seperti *moving average filter* yang digunakan dalam penelitian ini untuk meningkatkan kekebalan sistem terhadap *noise* dan menjamin akurasi data umpan balik [7].

Rasio kinerja dan biaya serta fleksibilitas dari sistem yang berbeda dengan AVR konvensional, arsitektur modular pada sistem ini memungkinkan kemudahan perbaikan dan potensi upgrade di masa depan. Integrasi fitur Internet of Things (IoT) mengubah fungsi AVR dari sekadar alat regulasi menjadi platform akuisisi data. Kemampuan untuk melakukan data *logging* dan monitoring performa secara jarak jauh seperti mencatat *maximum voltage dip* dan *settling time* saat pengujian beban memberikan nilai tambah signifikan yang tidak ditemukan pada AVR. Implementasi IoT menggunakan Node-Red juga terbukti efektif dalam mencatat dan menyimpan performa alat secara otomatis, menunjukkan kemampuan *logging* yang handal dan real-time[8]. Studi lainnya menegaskan bahwa integrasi IoT dapat menganalisa kinerja prediktif, seperti deteksi *voltage dip* atau stabilitas *settling time*, fitur yang jarang tersedia pada AVR konvensional.

## 1.2 Rumusan Masalah

Kehandalan dalam membuat sistem eksitasi dengan hasil yang berfluktuasi dengan tambahan pembebanan pada output. Berikut rumusan masalah untuk sistem eksitasi :

- a) Bagaimana cara merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem kontrol arus eksitasi pada alternator yang menggunakan mikrokontroler ESP32, driver BTS7960 sebagai aktuator daya, dan sensor PZEM-004T sebagai feedback tegangan?
- b) Bagaimana variabel tegangan dan arus dapat dicek secara realtime pada suatu tempat?
- c) Bagaimana menentukan parameter kontrol PID ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) yang optimal menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols untuk mendapatkan respon sistem yang cepat dan stabil dalam meregulasi tegangan output?
- d) Bagaimana cara agar hasil output dari alternator akan tetap stabil pada set point bila diberikan beban resistif secara tiba tiba atau *step load*?
- e) Bagaimana cara merancang mode manual dan otomatis pada HMI Nextion untuk menginputkan parameter (*setpoint*/PWM) ke *loop* kontrol?

### 1.3 Tujuan

Sistem output stabil dapat membuat suatu output lebih handal dan minim terjadi kerusakan. Berikut tujuan dari sistem eksitasi :

- a) Merancang dan membangun sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) digital dengan desain terbuka dan modular menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor tegangan PZEM-004T, dan driver daya BTS7960.
- b) Mengimplementasikan metode osilasi dalam melakukan proses tuning untuk mendapatkan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan hasil grafik yang optimal menggunakan metode Ziegler-Nichols
- c) Mengintegrasikan monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dengan penggunaan ESP32 untuk menampilkan data tegangan, arus, dan status sistem secara real-time.
- d) Meningkatkan kualitas pada output pembebanan untuk mengurangi kerusakan pada saat terjadi lonjakan arus pada output dan menjaga kestabilan output pada set point saat diberi pembebanan secara tiba tiba (*step load*)
- e) Menyediakan antarmuka HMI Nextion untuk pengaturan parameter setpoint tegangan pada mode otomatis dan nilai PWM pada mode manual.

### 1.4 Manfaat

Dalam penelitian ini diharapkan membawa manfaat dalam sektor industry khususnya sistem kelistrikan berbasis generator :

- a) Penelitian ini diharapkan dapat menjadi proyek untuk belajar untuk memahami sistem eksitasi juga elektrikal generator
- b) Penelitian ini diharapkan menjadi solusi Automatic Voltage Regulator (AVR) yang terjangkau dan menghasilkan sebuah prototipe yang fungsional, sehingga dapat diakses dalam skala kecil.
- c) Penelitian ini diharapkan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya yang menyediakan data, metodologi perancangan, dan hasil tuning PID yang menjadi referensi khususnya dalam pengembangan AVR berbasis mikrokontroler.

### 1.5 Batasan Masalah

Supaya penelitian lebih fokus, maka dibuatlah batasan masalah pada sistem eksitasi sebagai berikut :

- a) Penelitian ini hanya berfokus pada kontrol tegangan dan arus pada eksiter
- b) Penelitian ini tidak membahas latar belakang dari penggerak utama atau prime mover
- c) Sistem ini dilakukan menggunakan alternator berdaya 12V
- d) Pada sistem ini tidak menggunakan power input eksternal PMG (Permanent Magnet Generator) pada konstruksi alternator
- e) Pada penelitian ini menggunakan metode *Separately Excited* atau kontrol eksitasi terpisah untuk mendapatkan daya input pada AVR
- f) Penelitian ini menggunakan tegangan eksitasi maksimal 12V pada Motor Driver BTS7960
- g) Penelitian ini menggunakan output Trafo Non CT 5A dan input Non CT 12VAC
- h) Penelitian ini hanya menggunakan beban resistif dalam pengujian alat
- i) Pada penelitian ini Node-RED hanya sebagai monitoring tanpa mampu mengatur parameter setpoint dan PWM.

### 1.6 Sistematika Tugas Akhir

Demi terwujudnya suatu penulisan yang baik, maka dibutuhkan suatu tata cara penulisan yang sistematis. Berikut merupakan susunan yang diterapkan dalam laporan tugas akhir ini:

#### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini menjabarkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat dan batasan masalah yang ditetapkan. Selain itu, dijelaskan struktur penyusunan tugas akhir agar lebih sistematis.

#### **BAB II. LANDASAN TEORI**

Bab ini menguraikan tinjauan pustaka serta dasar teori yang diterapkan dalam penyusunan tugas akhir.

#### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas perancangan alat, blok diagram, flowchart, spesifikasi alat, pengujian alat sementara dan jadwal perancangan.

**BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan tentang data serta analisis berdasarkan hasil pengujian dari sistem eksitasi menggunakan metode PID dan Tidak menggunakan PID yang diperoleh.

**BAB V. PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Pada bagian terdapat referensi penulisan serta sumber yang dikutip oleh penulis.

**LAMPIRAN**

Pada bagian ini berisi hal-hal sisipan dan keterangan oleh penulis yang berisikan dokumentasi dan datasheet