

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi elektronika daya (*power electronics*) saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, terutama dalam aplikasi sistem konversi energi listrik. Salah satu topologi konverter DC-to-DC yang paling sering digunakan pada industri, sistem energi terbarukan, dan perangkat portabel adalah *Boost Converter* (konverter peningkat tegangan). Di tingkat pendidikan tinggi, khususnya pada program studi Teknik Listrik Industri, pemahaman mendalam mengenai karakteristik operasional, efisiensi sirkuit, dan sistem kendali pada *boost converter* menjadi capaian pembelajaran yang sangat krusial.

Namun, dalam proses pembelajaran di laboratorium, mahasiswa sering kali menghadapi kendala teoritis ketika memahami perbedaan mendasar antara sistem kendali terbuka (*Open Loop*) dan tertutup (*Closed Loop*). Metode pembelajaran yang hanya berbasis simulasi perangkat lunak dinilai kurang memberikan pengalaman praktis. Mahasiswa kesulitan mengamati fenomena fisik secara langsung, seperti terjadinya drop tegangan akibat regulasi beban (*load regulation*) pada mode *open loop*, atau bagaimana algoritma komputer secara aktif melakukan kompensasi perubahan tegangan pada mode *closed loop*.

Untuk menjembatani celah antara teori dan praktik tersebut, diperlukan sebuah perangkat peraga penunjang berupa modul pembelajaran yang interaktif, aman, dan aplikatif. Penggunaan mikrokontroler Arduino Nano yang dipadukan dengan algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) menawarkan solusi implementasi sistem kendali digital yang ekonomis namun memiliki akurasi tinggi. Dengan memanfaatkan potensiometer eksternal, modul ini dapat dikonfigurasi secara dinamis baik sebagai pengatur Duty cycle pada mode *open loop*, maupun sebagai pengatur target tegangan digital (*setpoint*) pada mode *closed loop*.

Melalui pengembangan alat ini, mahasiswa dapat melakukan eksperimen variasi tegangan input dan pembebanan secara real-time, sekaligus mengamati bagaimana sistem kendali adaptif bekerja mempertahankan kestabilan daya. Oleh karena itu, proyek ini dikembangkan dengan fokus untuk menciptakan sebuah perangkat *Dual-Mode Boost Converter* berbasis Arduino Nano yang tidak hanya berfungsi sebagai alat konversi daya standar, melainkan dirancang khusus sebagai modul pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman kompetensi mahasiswa di bidang elektronika daya dan sirkuit kendali.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membangun *Dual-Mode Boost Converter* yang aman dan stabil menggunakan komponen MOSFET IRLZ44N dan Arduino Nano?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma kendali PID pada Arduino Nano agar potensiometer dapat berfungsi ganda sebagai pengatur *Duty cycle* manual (*Open Loop*) dan pengatur *Setpoint* digital (*Closed Loop*)?
3. Bagaimana menguji keandalan dan akurasi regulasi tegangan modul ini sebagai media pembelajaran dalam merespons variasi tegangan masukan (V_{in}), variasi *Setpoint*, serta variasi pembebanan (tanpa beban, 1 k Ω , 22 k Ω , dan 220 k Ω)?

1.3 Batasan Masalah

1. Tegangan input yang digunakan dibatasi dari sumber catu daya variabel (Power Supply) dengan rentang optimal 3V hingga 24V DC.
2. Rentang pengondisian tegangan keluaran (V_{out}) pada mode *Closed Loop* dibatasi dari 12V hingga 50V DC untuk menjaga batas aman komponen serta kesesuaian modul.
3. Pengujian kinerja dan respons transien konverter dilakukan pada beberapa variasi kondisi pembebanan, yaitu tanpa beban, serta beban eksternal 1 k Ω , 22 k Ω , dan 220 k Ω .

4. Sakelar daya utama menggunakan MOSFET *logic-level* N-Channel tipe IRLZ44N yang dipicu sinyal PWM berfrekuensi tinggi 62,5 kHz secara langsung dari pin D9 Arduino Nano tanpa menggunakan IC *gate driver* tambahan.
5. Parameter algoritma kendali PID dikonfigurasi secara tetap pada program dengan nilai $K_p = 1$, $K_i = 3$, dan $K_d = 0,01$ tanpa menggunakan mekanisme penataan parameter otomatis (autotuning).
6. Visualisasi parameter kelistrikan (Duty cycle, Setpoint, dan V_{out}) ditampilkan secara mandiri (stand-alone) pada layar LCD 16x2 I2C tanpa fitur transmisi data nirkabel maupun antarmuka grafik ke komputer eksternal.
7. Analisis kinerja sistem berfokus pada akurasi regulasi tegangan keluaran, persentase *error*, dan respons transien, tanpa menganalisis efisiensi termal maupun rugi-rugi pensaklaran (*switching loss*) secara mendalam.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merealisasikan sirkuit fisik *Dual-Mode Boost Converter* berbasis Arduino Nano dan MOSFET IRLZ44N yang bekerja pada frekuensi pensaklaran 62,5 kHz serta terintegrasi aman di dalam sasis koper portabel.
2. Menyediakan sebuah perangkat modul praktikum mandiri yang memudahkan visualisasi perbedaan karakteristik sistem kendali *Open Loop* dan *Closed Loop* bagi mahasiswa.
3. Menganalisis akurasi, efektivitas regulasi, dan respons transien tegangan konverter saat menerima variasi tegangan masukan (V_{in}), variasi target *Setpoint*, serta variasi pembebanan, guna memvisualisasikan perbedaan sistem *Open Loop* dan *Closed Loop* bagi praktikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Pelaksanaan Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Bagi Penulis

- Sebagai sarana untuk menerapkan, menguji, dan memvalidasi teori elektronika daya dan sistem kendali linier yang telah dipelajari selama perkuliahan ke dalam bentuk perangkat keras riil.
- Melatih ketajaman berpikir analitis dalam menghadapi kendala fisik sirkuit frekuensi tinggi, seperti mengatasi fenomena lonjakan tegangan transien (*spike*) dan kejenuhan induktor magnetik di laboratorium.

2. Manfaat Bagi Dunia Pendidikan

- Menyediakan referensi alat peraga praktikum yang bersifat dinamis, di mana peserta didik dapat membandingkan secara langsung perbedaan karakteristik respon sistem tanpa kendali (*Open Loop*) dan sistem berkendali otomatis (*Closed Loop* PID).
- Membantu menunjang visualisasi kurikulum pembelajaran elektronika daya, sehingga penyampaian materi terkait regulasi jalur (*line regulation*) dan efisiensi pensaklaran menjadi lebih mudah dipahami.

3. Manfaat Pengembangan Teknologi

- Memberikan kontribusi berupa referensi rancang bangun sirkuit daya yang menerapkan prinsip *Safety-Driven Design*, yaitu pemanfaatan komputasi mikroprosesor untuk mengompensasi dan melindungi batasan fisik komponen semikonduktor dari risiko kerusakan.
- Menjadi percontohan integrasi sistem konverter daya dengan teknologi antarmuka modern (seperti LCD I2C) yang esensial dalam mendukung pengembangan blok sistem pemrosesan energi pada perangkat IoT terapan.

4. Manfaat Bagi Institusi

- Menambah aset fisik berupa *trainer kit* elektronika daya mandiri (*stand-alone*) yang siap pakai di Laboratorium Teknik Listrik Industri.
- Menjadi acuan pustaka, dokumentasi teknis, serta rekam jejak riset terapan bagi mahasiswa generasi berikutnya dalam mengembangkan penelitian berbasis konverter daya, sistem kendali digital, maupun modul praktikum laboratorium di lingkungan institusi.