

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian modul *Dual-Mode DC-DC Boost Converter* berbasis Arduino Nano yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Modul praktikum *Dual-Mode DC-DC Boost Converter* berbasis mikrokontroler Arduino Nano berhasil dirancang dan direalisasikan sebagai alat peraga portabel yang terintegrasi di dalam koper aluminium ($32\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) beralaskan panel akrilik 3 mm. Sistem mampu beroperasi dalam dua mode kendali (*Open Loop* dan *Closed Loop*) yang dialihkan secara instan melalui sakelar toggle SPDT pada pin D4.
- Perancangan sirkuit daya utama yang mengintegrasikan MOSFET IRLZ44N, induktor toroid $330\text{ }\mu\text{H}$, Dioda Schottky SR3150, kapasitor filter $47\text{ }\mu\text{F}/160\text{ V}$ mampu bekerja dengan stabil pada frekuensi pensaklaran PWM 62,5 kHz. Penerapan metode *Star Grounding* dan pengisolasian daya menggunakan *charger* HP 5 V DC via kabel USB terbukti efektif mengeliminasi gangguan *EMI noise* dan *ground loop*, sehingga pembacaan sensor analog tetap stabil dan presisi.
- Pada pengujian mode *Open Loop* (jerat terbuka), sirkuit mampu merespons pengaturan persentase *Duty Cycle* pemicuan MOSFET secara linier dari 0% hingga batas maksimum $\approx 78,4\%$ (register PWM 0 – 200) melalui putaran potensiometer linier $10\text{ k}\Omega$ pada pin A7. Rangkaian pengondisi sinyal pembagi tegangan ($100\text{ k}\Omega/1\text{ k}\Omega$, $K = 101$) pada pin A1 berhasil menurunkan skala tegangan tinggi keluaran menjadi skala tegangan aman ($0,11\text{ V} - 0,49\text{ V DC}$) untuk dibaca oleh ADC Arduino Nano.
- Pada pengujian mode *Closed Loop* PID (jerat tertutup), algoritma kendali PID dengan nilai parameter $K_p = 1,0$, $K_i = 3,0$, dan $K_d = 0,01$ berhasil mengunci tegangan keluaran aktual (V_{out}) secara otomatis sesuai target

Setpoint dalam rentang 12,0 V hingga 50,0 V DC. Analisis perhitungan menunjukkan tingkat presisi regulasi yang baik dengan nilai persentase *error* di bawah 1%, serta nilai *Mean Square Error* (MSE) dan standar deviasi yang rendah saat merespons variasi pembebanan (tanpa beban, 220 k Ω , 22 k Ω , dan 1 k Ω).

- Secara keseluruhan, sistem antarmuka berbasis layar LCD 16x2 I2C berhasil menampilkan visualisasi data parameter kelistrikan (*Duty Cycle*, *Setpoint*, dan V_{out}) secara *real-time* dan *non-blocking* menggunakan teknik pewaktu *millis()*, sehingga menghasilkan perangkat *trainer kit* yang responsif, konsisten, dan aman digunakan untuk kegiatan praktikum elektronika daya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan performa dan fitur modul *DC-DC Boost Converter*, yaitu:

- Menambahkan sensor arus independen (seperti sensor ACS712 atau resistor *shunt*) pada jalur keluaran agar sistem mampu memantau konsumsi arus beban secara *real-time* sekaligus menerapkan mode kendali arus konstan (*Constant Current / CC*).
- Mengembangkan metode penentuan parameter PID secara otomatis (*auto-tuning* PID) berbasis algoritma Ziegler-Nichols atau *Fuzzy Logic* agar nilai *gain* (K_p, K_i, K_d) dapat menyesuaikan secara dinamis terhadap perubahan beban ekstrem.
- Menambahkan fitur proteksi perangkat keras secara penuh, seperti *Over-Voltage Protection* (OVP) dan *Over-Current Protection* (OCP) berbasis pemutus aliran otomatis untuk meningkatkan keamanan alat saat praktikum.
- Mengintegrasikan modul komunikasi nirkabel (seperti Bluetooth atau Wi-Fi ESP8266/ESP32) guna mengirimkan data grafik respons transien tegangan menuju perangkat komputer atau *smartphone* secara *real-time*.

- Menambahkan kipas pendingin (*mini cooling fan*) terkonfigurasi termal pada *heatsink* MOSFET IRLZ44N untuk menjaga suhu kerja semikonduktor tetap optimal saat sistem dipacu pada beban daya tinggi dalam durasi panjang.
- Mengembangkan sasis *trainer kit* agar mendukung pengujian multi-topologi konverter (seperti *Buck Converter* atau *Buck-Boost Converter*) dalam satu modul terpadu guna meningkatkan fleksibilitas pemfungsian praktikum laboratorium.