

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian sistem yang telah dilakukan, serta analisis dari data yang didapatkan, maka didapatkan kesimpulan dari penelitian sebagai berikut:

1. Sistem kendali online PID untuk motor DC berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan dua komputer terpisah. Sisi *controller* menggunakan Node.js (JavaScript) untuk pengendalian PID, tampilan *frontend*, serta komunikasi *WebSocket* dan UDP, sedangkan sisi *driver* menggunakan Python dan LabJack T7 untuk mengendalikan motor melalui sinyal PWM dan menerima umpan balik dari encoder. Sistem ini mengimplementasikan enkripsi XOR untuk melindungi data secara dua arah.
2. Pada pengujian komunikasi menggunakan protokol TCP, sistem menunjukkan penurunan performa yang cukup signifikan dibandingkan kondisi *offline* (tuning PID). Misalnya, pada setpoint 360°, *delay time* meningkat dari 0,363 detik (*offline*) menjadi 0,889 detik (*online* tanpa enkripsi), dan selanjutnya menjadi 0,911 detik (dengan enkripsi XOR). *Settling time* meningkat dari 1,022 detik (*offline*) menjadi 1,431 detik tanpa enkripsi dan 1,617 detik dengan enkripsi. *Maximum overshoot* juga meningkat dari 2,24% menjadi 3,93%. Penurunan performa ini disebabkan oleh latensi jaringan TCP dan tambahan beban komputasi dari proses enkripsi.
3. Pada pengujian menggunakan protokol UDP, sistem memiliki performa yang lebih stabil dan mendekati kondisi *offline*. Sebagai contoh, pada setpoint 90°, *settling time* meningkat dari 0,675 detik (*offline*) menjadi 0,799 detik (tanpa enkripsi). Penambahan enkripsi XOR pada UDP menyebabkan peningkatan *delay time* yang kecil, seperti pada setpoint 180°, dari 0,279 detik menjadi 0,311 detik, tanpa berdampak signifikan pada *settling time* maupun *maximum overshoot*.
4. Secara keseluruhan, komunikasi UDP memberikan performa hingga 44% lebih baik pada *delay time* dan 20% lebih rendah pada *settling time* dibandingkan TCP. Hal ini disebabkan sifat UDP yang *connectionless* membuat latensi jaringan menjadi lebih kecil karena tidak melibatkan proses *3-way handshake* seperti pada TCP.
5. Penerapan enkripsi XOR terbukti dapat mengubah plaintext menjadi ciphertext tanpa menambah beban sistem secara signifikan. Tambahan latensi dari enkripsi yaitu sekitar 2,5% – 5% terhadap total waktu respons sistem. Oleh karena itu, kombinasi komunikasi UDP dengan enkripsi XOR bisa dijadikan solusi untuk sistem kendali *real-time* yang membutuhkan kecepatan tinggi dan keamanan data secara bersamaan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian dengan algoritma enkripsi lain yang memiliki tingkat keamanan lebih tinggi untuk diamati efeknya terhadap performa sistem kendali.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menjaga keamanan sistem kendali pada industri terhadap serangan siber lain di luar *eavesdropping*.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan menambah beban kendali pada *controller* untuk mengamati skalabilitas dari sistem kendali *online* terenkripsi.

