

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, serta analisis sistem kendali kecepatan motor induksi berbasis pengendali PI menggunakan MATLAB/Simulink, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kendali tertutup yang dirancang mampu mengendalikan kecepatan motor induksi tiga fasa secara stabil pada setpoint 1500 rpm. Seluruh variasi parameter PI yang diuji mampu mencapai kondisi *steady-state* dengan error yang relatif kecil pada kondisi tanpa gangguan.
2. Variasi parameter pengendali PI memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik respon sistem, khususnya terhadap parameter *rise time*, *settling time*, *overshoot*, *steady-state error*, serta indeks performa integral ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error).
3. Peningkatan nilai  $K_p$  mempercepat *rise time* dan meningkatkan sensitivitas sistem terhadap error awal. Namun, nilai  $K_p$  yang terlalu besar dapat menyebabkan peningkatan overshoot dan osilasi sehingga memperbesar nilai ITAE.
4. Peningkatan nilai  $K_i$  mempercepat eliminasi *steady-state error* serta meningkatkan kemampuan sistem dalam meredam gangguan beban. Namun, nilai  $K_i$  yang terlalu besar dapat menyebabkan respon sistem menjadi lebih agresif dan meningkatkan error transien.
5. Pada kondisi gangguan torsi sebesar 175 Nm yang diberikan pada  $t = 5$  detik, sistem mengalami penurunan kecepatan sesaat sebelum kembali menuju setpoint. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan nilai  $K_p$  mampu mengurangi deviasi maksimum akibat gangguan, sedangkan peningkatan  $K_i$  mempercepat proses *recovery* menuju kondisi stabil.
6. Berdasarkan evaluasi menyeluruh menggunakan parameter respon waktu, deviasi maksimum, *recovery time*, serta indeks performa ITAE pada kondisi tanpa gangguan maupun dengan gangguan, diperoleh bahwa kombinasi parameter:

$$K_p = 2.0 \text{ dan } K_i = 0.1$$

merupakan parameter pengendali yang paling optimal pada penelitian ini.

7. Parameter tersebut menghasilkan respon sistem yang cepat dengan *overshoot* yang tetap dalam batas aman, deviasi maksimum yang terkendali, *recovery time* yang cepat, serta nilai ITAE yang rendah pada kedua kondisi pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa pengendali PI yang dituning secara sistematis mampu meningkatkan performa serta robustness sistem kendali kecepatan motor induksi terhadap gangguan beban.

Dengan demikian, metode tuning parameter pengendali PI menggunakan pendekatan evaluasi respon waktu dan indeks performa ITAE terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas dan performa sistem penggerak motor induksi pada aplikasi industri dengan beban yang bersifat fluktuatif.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mengimplementasikan parameter pengendali PI optimal ( $K_p = 2.0$  dan  $K_i = 0.1$ ) pada sistem industri aktual untuk memvalidasi kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi operasi nyata. Pengujian eksperimental diperlukan untuk mengetahui pengaruh faktor eksternal seperti *noise* sensor, keterbatasan aktuator, serta dinamika mekanik sistem yang tidak sepenuhnya terwakili dalam model simulasi.
2. Model simulasi dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan aspek nonlinier sistem secara lebih detail, seperti perubahan karakteristik beban akibat variasi material, pengaruh temperatur terhadap parameter motor, serta dinamika mekanik pada sistem screw extruder. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi model terhadap kondisi industri yang sesungguhnya.
3. Metode tuning pengendali PI yang digunakan dalam penelitian ini dapat dibandingkan dengan metode optimasi lainnya, seperti Ziegler–Nichols, Cohen–Coon, metode optimasi numerik, maupun algoritma kecerdasan buatan seperti Genetic Algorithm (GA) dan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk mengevaluasi kemungkinan diperolehnya parameter pengendali yang lebih optimal.

4. Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji penerapan metode kendali lanjutan seperti Model Predictive Control (MPC), Adaptive Control, atau Sliding Mode Control guna meningkatkan *robustness* sistem terhadap variasi beban yang lebih besar serta ketidakpastian parameter sistem.
5. Kajian terhadap aspek elektronika daya dapat diperluas, khususnya terkait analisis harmonisa, kualitas daya (*power quality*), serta pengaruh switching inverter terhadap performa sistem kendali. Analisis ini penting untuk memastikan bahwa sistem tidak hanya stabil dari sisi kontrol, tetapi juga memenuhi standar kualitas daya pada aplikasi industri.