

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis kinerja sistem kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro berbasis *Self-Excited Induction Generator* (SEIG) menggunakan *Electronic Load Controller* (ELC) yang dioptimasi dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada perangkat lunak MATLAB/Simulink, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian tanpa ELC menunjukkan bahwa frekuensi sistem berfluktuasi mengikuti pola beban harian pada kisaran 50,1 Hz hingga 50,23 Hz dengan fluktuasi daya generator yang tidak stabil. Integrasi ELC berbasis *Buck Converter* terbukti efektif menjaga keseimbangan total daya terminal generator ($P_{gen} = P_{beban} + P_{dump} \approx 1000 \text{ W}$) dengan mengalihkan kelebihan energi secara dinamis.
2. Algoritma PSO berhasil menemukan kombinasi parameter PID optimal, yaitu $K_p = 3,0000$, $K_i = 7,0000$, dan $K_d = 0,0000$. Proses optimasi mencapai konvergensi pada iterasi ke-8 dengan penurunan nilai performa galat ITAE sebesar 82,73% (turun dari 9,1793 pada metode *Trial & Error* menjadi 1,5851).
3. Peningkatan Kualitas Kinerja Transien dan *Steady-State*:
 - Kendali PID-PSO mampu mengunci frekuensi *steady-state* secara presisi pada 50,00 Hz. Saat terjadi perubahan pembebanan dinamis (0 W hingga 950 W), deviasi frekuensi transien tertekan hingga $\leq \pm 0,06 \text{ Hz}$ dengan *settling time* yang sangat cepat ($< 0,1$ detik).
 - PID-PSO berhasil meredam lonjakan frekuensi transien sehingga fluktuasi tegangan generator berada pada rentang yang sangat konstan dan halus pada kisaran 388 V – 390 V hingga akhir simulasi jika dibandingkan dengan metode *Trial & Error* pada kisaran 385 V – 390 V.
 - Sinyal *duty cycle* ELC merespons perubahan beban secara cepat dan membentuk pola bertingkat yang simetris berbalikan dengan kurva beban utama.

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan penelitian sistem PLTPh *standalone* ini di masa mendatang, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat mengimplementasikan hasil penalaan PID-PSO ini pada prototipe fisik PLTPh berbasis mikrokontroler

atau *Digital Signal Processor* (DSP) guna menguji ketahanan sistem terhadap non-linearitas komponen fisik nyata.

2. Mengingat dinamika hidrolis pada kondisi lapangan nyata dapat berubah secara musiman, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode optimasi cerdas adaptif/online (seperti *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) atau *Online-PSO*) agar parameter kendali dapat menyesuaikan secara *real-time*.
3. Perlu dilakukan analisis lebih mendalam mengenai tingkat distorsi harmonisa arus dan tegangan akibat skenario penyakelaran cepat PWM pada ELC, serta penambahan filter pasif/aktif jika diperlukan untuk menjaga standar kualitas daya.

