

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan, simulasi, analisis sensitivitas, proses validasi dan hasil *trade off* sistem turbin-generator PLTU Banten 3 Lontar, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi parameter *speed droop governor* terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap besarnya deviasi frekuensi sistem turbin-generator. Nilai *speed droop* yang lebih kecil 3% menghasilkan respons frekuensi yang lebih cepat dan sensitif terhadap perubahan beban, namun cenderung meningkatkan amplitudo respons transien. Sebaliknya, nilai *speed droop* yang lebih besar 7% menyebabkan respons sistem menjadi lebih lambat dengan deviasi frekuensi *steady state* yang lebih besar. Hal ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara nilai *speed droop* dan karakteristik stabilitas frekuensi sistem.
2. Pada gangguan *step load*, sistem menunjukkan respons transien yang ditandai oleh *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error* yang jelas. *Overshoot* dengan *speed droop* 3% bernilai 8.029108×10^{-4} sedangkan untuk *speed droop* 7% bernilai $1,081174 \times 10^{-3}$ dan *settling time* dengan *speed droop* 3% bernilai 7.2913 sedangkan untuk *speed droop* 7% bernilai 9,25 s. Untuk *overshoot* dan *settling time* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya nilai *speed droop*, sedangkan respons menjadi lebih cepat pada *droop* yang lebih kecil. Sementara itu, pada gangguan *ramp load*, respons sistem bersifat lebih gradual dan smooth, dengan nilai *overshoot* yang sangat kecil atau mendekati nol. Kondisi ini mencerminkan perilaku *steady state* sesuai pada gangguan *ramp* dan menunjukkan kestabilan sistem tanpa kecenderungan osilasi.
3. Berdasarkan analisis *trade off* antara *overshoot*, *settling time*, dan *steady state error*, serta dengan mempertimbangkan kesesuaian terhadap teori pengendalian frekuensi dan praktik operasional PLTU, diperoleh bahwa nilai *speed droop* sebesar $\pm 4\%$ merupakan nilai yang paling optimal untuk sistem governor PLTU Banten 3 Lontar. Nilai ini memberikan keseimbangan terbaik antara kecepatan respons dan kestabilan sistem, dengan *overshoot* yang masih rendah bernilai $8,962975 \times 10^{-4}$, *settling time* yang menengah yaitu 7,52 s, dan deviasi frekuensi *steady state error* yang masih dapat diterima $6,025238 \times 10^{-4}$.

4. Berdasarkan penelitian yang meliputi pemodelan matematis sistem turbin-generator, simulasi pada berbagai skenario gangguan, analisis sensitivitas parameter speed droop, serta proses validasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan berdasarkan teori pengendalian frekuensi primer, dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki tingkat representativitas yang baik terhadap perilaku sistem nyata PLTU Banten 3 Lontar. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat diterima secara ilmiah dan layak digunakan sebagai dasar analisis teknis serta referensi awal dalam penentuan dan evaluasi pengaturan *speed droop governor* pada sistem turbin-generator PLTU, khususnya untuk mendukung peningkatan kestabilan frekuensi, keandalan operasi, dan pengambilan keputusan teknis oleh operator pembangkit dalam menghadapi variasi beban operasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan penerapan di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model sistem *governor* dan turbin dengan memasukkan unsur non-linearitas yang lebih lengkap, seperti *deadband governor*, saturasi katup, delay aktuator, dan efek backlash mekanis, sehingga model dapat merepresentasikan kondisi operasi nyata PLTU dengan lebih akurat.
2. Penelitian ini berfokus pada respon pengendalian *primary frequency control* (PFR). Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat memasukkan pengaruh pengendalian frekuensi sekunder AGC dan tersier untuk menganalisis pemulihan frekuensi sistem secara menyeluruh dalam jangka waktu yang lebih panjang.
3. Disarankan untuk melakukan pengujian model pada berbagai tingkat pembebanan PLTU, seperti kondisi beban rendah, beban nominal, dan beban puncak, guna mengevaluasi konsistensi kinerja parameter speed droop pada seluruh rentang operasi pembangkit.