

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

- 1) Aktivasi UFR secara signifikan meningkatkan stabilitas frekuensi sistem. Pada skenario *Trip 2* pembangkit, UFR tanpa PV mampu memperbaiki nadir frekuensi sebesar 4,39%, menahan penurunan frekuensi di 58,67 Hz, dan memulihkan frekuensi ke 60,201 Hz secara stabil. Hal ini menunjukkan bahwa UFR sangat efektif dalam mengurangi risiko kolaps sistem melalui mekanisme *load shedding* yang tepat. Integrasi *Photovoltaic* (PV) mempercepat pemulihan frekuensi secara signifikan, terlihat dari kurva yang menunjukkan pemulihan lebih cepat menuju *steady state* di atas 60 Hz dibanding skenario tanpa PV.
- 2) Penelitian ini membatasi studi hingga level nadir frekuensi 58,2 Hz (97% nominal), sesuai target proteksi UFR untuk menghentikan penurunan frekuensi. Hal ini sekaligus menjadi acuan dalam mengevaluasi kontribusi PV dalam menahan penurunan frekuensi, seperti terlihat pada skenario yang menghasilkan nadir frekuensi 58,470 Hz, dan pemulihan frekuensi ke 60,570 Hz. Kehadiran PV membantu memperlambat laju penurunan frekuensi dan mendukung percepatan pemulihan frekuensi, meskipun tetap diperlukan proteksi beban agar sistem lebih terjamin stabilitasnya.
- 3) Kombinasi aktivasi UFR dan PV tanpa koordinasi yang tepat justru memperburuk kondisi sistem, dengan penurunan nadir frekuensi hingga -10,62% (turun ke 50,234 Hz) dan menyebabkan osilasi liar. Hal ini menunjukkan bahwa strategi integrasi PV ke dalam sistem tenaga harus dirancang sejalan dengan pengaturan UFR, agar keduanya tidak saling mengganggu dinamika pemulihan frekuensi.

### 5.2 Saran

- 1) *Setting* UFR perlu disesuaikan secara adaptif dengan mempertimbangkan karakteristik dinamis PV, baik dari sisi *timing* pelepasan beban maupun level frekuensi aktivasi, agar koordinasi antara PV dan UFR dapat menghasilkan *respons* sistem yang sinergis, bukan saling bertentangan.
- 2) Koordinasi UFR dengan karakteristik PV menjadi hal penting yang perlu diteliti lebih lanjut. Simulasi ke depan sebaiknya melibatkan model PV yang memperhitungkan dinamika MPPT, fluktuasi irradiansi, *intermittensi real-time*, dan potensi dukungan *Fast Frequency Response* (FFR).
- 3) Perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengembangkan skema integrasi antara UFR, *load shedding*, dan kontrol PV berbasis komunikasi *real-time*,

sehingga dapat dicapai koordinasi yang optimal dan adaptif dalam menghadapi berbagai skenario gangguan sistem tenaga listrik modern.

