

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi *Battery Energy Storage Systems* (BESS), *Hydrogen Energy Storage Systems* (HESS), dan *Nuclear-Renewable Energy Systems* (N-RES), termasuk *Small Modular Reactor* (SMR), menawarkan solusi strategis untuk mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) 2050 di Indonesia. Hasil optimasi multi-objektif yang mencakup keandalan sistem, total biaya, dan emisi gas rumah kaca menunjukkan bahwa skenario *New Renewable Energy* (NRE) secara signifikan mengurangi emisi CO₂ dibandingkan skenario *Business as Usual* (BaU).

Dalam skenario NRE, emisi CO₂ berkurang sebesar 35% dibandingkan dengan skenario BaU, didorong oleh peningkatan penggunaan energi nuklir, surya, dan biomassa, serta penurunan penggunaan batu bara dan diesel. Skenario NRE menghasilkan LCOE sebesar 9 cent USD/kWh, sedikit lebih tinggi dibandingkan skenario BaU yang sebesar 8,8 cent USD/kWh, namun menawarkan pengurangan emisi karbon yang lebih signifikan. Selain itu, sistem penyimpanan energi memainkan peran penting dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik di bawah skenario NRE. Penggunaan BESS dan HESS memungkinkan integrasi yang lebih besar dari sumber energi terbarukan yang memiliki sifat intermiten, seperti surya dan angin. Dengan kapasitas penyimpanan yang optimal, sistem ini mampu menurunkan PV *curtailment* dan meningkatkan keandalan sistem dengan mengurangi *Loss of Load* secara signifikan.

5.2 Saran

Dalam jangka panjang, diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait sistem kendali terdistribusi yang mampu mengoptimalkan interaksi antara BESS dan HESS dengan jaringan listrik utama, untuk memastikan respons yang cepat terhadap perubahan permintaan dan fluktuasi produksi energi terbarukan. Di sisi lain, peningkatan kapasitas dan fleksibilitas jaringan transmisi menjadi hal yang tidak kalah penting untuk mengakomodasi penetrasi energi terbarukan yang lebih besar.

Pengembangan *transmission lines* dan *smart grid* harus diprioritaskan agar jaringan listrik dapat lebih adaptif terhadap perubahan beban dan pasokan yang tidak terduga. Penggunaan demand response yang terintegrasi dengan *smart grid* juga dapat membantu mengurangi kehilangan daya selama transmisi, sekaligus meningkatkan efisiensi sistem distribusi. Ke depannya, riset lebih lanjut perlu difokuskan pada pengembangan model optimasi yang dapat menyelaraskan antara kapasitas penyimpanan energi, infrastruktur jaringan, dan dinamika permintaan, guna mencapai sistem tenaga listrik yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan.