

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis tekno-ekonomi yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, dapat disimpulkan bahwa ketiga konfigurasi sistem, yaitu PLTS + Baterai, PLTS-H₂, dan PLTS-H₂ + Baterai, mampu memenuhi kebutuhan energi listrik pada kondisi beban rendah maupun beban tinggi dengan tingkat keandalan yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai *renewable fraction* sebesar 100% serta nilai *unmet load* dan *capacity shortage* yang berada di bawah 0,1% pada seluruh konfigurasi sistem.

Di sisi lain, integrasi teknologi hidrogen terbukti sangat efektif dalam meminimalisir *excess electricity*. Sistem murni PLTS + Baterai mencatatkan angka energi terbuang tertinggi berkisar antara 22,7% hingga 23,8% akibat keterbatasan kapasitas tampung harian baterai, sedangkan penambahan sistem hidrogen mampu menyerap surplus energi musiman tersebut untuk dikonversi menjadi hidrogen sehingga berhasil menekan *excess electricity* hingga di bawah 10% dengan nilai sisa terendah mencapai 2,92% pada kondisi beban tinggi.

Berdasarkan analisis kinerja teknis, konfigurasi PLTS-H₂ + Baterai menunjukkan performa terbaik dibandingkan konfigurasi lainnya dengan memiliki nilai efisiensi sistem sebesar 65%. Tetapi, kombinasi baterai dan sistem hidrogen mampu meningkatkan fleksibilitas penyimpanan energi, mengurangi energi listrik yang terbuang, serta menghasilkan tingkat keandalan sistem yang lebih baik. Oleh karena itu, konfigurasi ini mampu memberikan pemanfaatan energi yang lebih optimal dibandingkan konfigurasi lainnya.

Dari aspek ekonomi, konfigurasi PLTS + Baterai merupakan konfigurasi yang paling ekonomis berdasarkan nilai CAPEX, NPC, ROI, dan PBP yang diperoleh. Sebaliknya, konfigurasi PLTS-H₂ memiliki biaya investasi dan biaya siklus hidup tertinggi akibat penggunaan komponen elektroliser, tangki hidrogen, dan *fuel cell* yang masih relatif mahal. Meskipun demikian, sistem berbasis hidrogen menawarkan keunggulan dalam pemanfaatan energi surplus dan fleksibilitas penyimpanan energi.

Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan adanya *trade-off* antara kinerja teknis dan kinerja ekonomis, di mana konfigurasi PLTS-H₂ + Baterai memberikan performa teknis terbaik, sedangkan konfigurasi PLTS + Baterai memerlukan investasi awal yang lebih rendah dan memiliki periode pengembalian investasi yang lebih cepat. Disisi lain, konfigurasi PLTS-H₂ + Baterai menghasilkan nilai NPC dan LCOE yang lebih rendah sehingga lebih menguntungkan dari perspektif biaya siklus hidup sistem.

Hasil yang diperoleh pada penelitian ini juga menunjukkan kesesuaian dengan karakteristik dan tren yang dilaporkan pada penelitian terdahulu, sehingga hasil simulasi dapat dianggap representatif dan sesuai dengan kajian literatur yang relevan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang terdapat dalam pengerjaan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diusulkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memodelkan pemanfaatan energi panas terbuang (*waste heat*) yang dihasilkan oleh komponen elektroliser dan *fuel cell* saat beroperasi. Energi termal ini berpotensi diintegrasikan dengan sistem desalinasi air laut untuk menghasilkan air bersih bagi masyarakat Pulau Pramuka sekaligus meningkatkan efisiensi termal total sistem.
2. Penelitian selanjutnya dapat menguji penggunaan algoritma manajemen energi yang lebih dinamis seperti *Model Predictive Control* di luar algoritma standar HOMER Pro untuk mengoptimalkan titik kerja elektroliser dalam merespons sifat intermiten cuaca ekstrim secara lebih responsif.