

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk berkontribusi dalam pencapaian *net zero emissions* yang saat ini menjadi permasalahan global akibat peningkatan konsumsi listrik. Dalam masalah ini, dibutuhkan energi yang berkelanjutan secara efisien dari segi biaya dan teknis. Penelitian ini menganalisis kelayakan teknologi-ekonomi-lingkungan dari potensi energi panel surya /biomassa di desa Waru Barat, Pamekasan, Indonesia. Desa Waru Barat memiliki potensi biomassa yang melimpah dari kotoran sapi dengan populasi sapi sebanyak 3.979 ekor. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak HOMER Pro. Sistem energi terbarukan hibrida (HRES) dirancang, disimulasikan, dan dimodelkan untuk memastikan pasokan energi yang berkelanjutan. HRES optimal yang diusulkan terdiri dari modul panel surya, generator biogas, inverter, dan jaringan listrik dengan spesifikasi dari pasaran yang kemudian ditingkatkan melalui optimisasi. HRES optimal dipilih berdasarkan *net present cost* (NPC), *cost of energy generation* (COE), *initial capital cost*, *energy generation*, dan *renewable fraction*. HRES optimal yang dipilih telah dianalisis dari segi ekonomi, energi terbarukan, dan lingkungan. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat ketidakpastian dari sumber energi terbarukan (radiasi matahari dan stok biomassa) serta konsumsi listrik di desa Waru Barat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi 3, yang terdiri dari panel surya 5,522 kW, generator biogas 500 kW, dan inverter 3,169 kW, merupakan konfigurasi terbaik yang memiliki *renewable fraction* sebesar 72.6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masa pengembalian investasi (*payback period*) adalah 7,57 tahun, lebih pendek dari masa hidup HRES optimal. Biaya produksi listrik (COE) lebih rendah daripada biaya yang ditawarkan oleh PLN, yaitu 0.0623 \$/kWh, dengan tingkat pengembalian investasi (ROI) sebesar 7,50%, tingkat pengembalian internal (IRR) sebesar 10.90%, dan nilai Net Present Cost (NPC) sebesar 10,651,633\$. Selain itu, konfigurasi ini menghasilkan emisi CO₂ sebesar 3,135,533 kg/tahun, NO_x sebesar 449,409 kg/tahun, NO sebesar 819,082 kg/tahun, dan SO₂ sebesar 1,678,032 kg/tahun.

Kata Kunci: energi berkelanjutan, Panel Surya, Biomassa, *Hybrid On-Grid/Off-Grid*