

Penggunaan mesin diesel konvensional pada kapal kontainer yang berlabuh di Pelabuhan Tenau Kupang merupakan tantangan utama dalam mencapai pelabuhan yang berkelanjutan (*green port*). Operasi mesin diesel menimbulkan tingginya biaya operasional dan emisi gas rumah kaca, terutama CO₂. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan konfigurasi sistem energi hibrida berbasis energi baru terbarukan (EBT) untuk sistem *cold ironing* guna menekan biaya operasional dan emisi CO₂. Penelitian ini dilakukan dengan model simulasi pada software HOMER Pro, simulasi ini terdiri dari tujuh skenario yang melibatkan kombinasi panel surya (PV), turbin angin, baterai (BESS), dan jaringan konvensional (grid), yang dievaluasi berdasarkan aspek teknik, ekonomi, dan lingkungan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi paling optimal adalah skenario 2 yaitu PV + Baterai + Grid (terdiri dari 257 kW PV, 457 kWh baterai li-ion, dan 118 kW konverter). Sistem optimal ini mencapai keandalan sistem sebesar 100% dengan fraksi energi terbarukan 49,7%. Secara ekonomi, nilai *net present cost* (NPC) adalah yang terendah yaitu \$671.664 dan *cost of energy* (COE) memiliki nilai yang terendah juga yaitu \$0,0583/kWh. Selain itu, pada analisis finansial juga menunjukkan kelayakan investasi yang tinggi dengan nilai *internal rate of return* (IRR) sebesar 10,3% dan *discounted payback period* selama 11,9 tahun. Dibandingkan dengan sistem diesel konvensional yang digunakan di kapal, skenario optimal ini mampu menghasilkan reduksi COE sebesar 81,2%, reduksi biaya operasional 90,1%, dan reduksi emisi CO₂ 75,4%, sehingga layak diimplementasikan sebagai solusi dekarbonisasi infrastruktur pelabuhan menuju konsep *green port*. Kondisi tersebut secara langsung mampu mendukung target pemerintah Indonesia untuk mencapai *net zero emission* pada tahun 2060.

Kata kunci—*Cold Ironing*, Energi Hibrida, Energi Baru Terbarukan, Analisis Tekno-Ekonomi, HOMER.

ABSTRACT

The use of conventional diesel engines on container ships docked at Tenau Kupang Port is a major challenge in achieving a sustainable port (green port). Operating diesel engines incurs high operational costs and greenhouse gas emissions, particularly CO₂. This research aims to optimize the configuration of a hybrid energy system based on renewable energy (RE) for a cold ironing system in order to reduce operational costs and CO₂ emissions. This study was conducted using a simulation model in the HOMER Pro software. This simulation consists of seven scenarios involving combinations of solar panels (PV), wind turbines, batteries (BESS), and the conventional grid, which were evaluated based on technical, economic, and environmental aspects.

The simulation results show that the most optimal configuration is scenario 2, which is PV + Battery + Grid (consisting of 257 kW PV, 457 kWh lithium-ion battery, and a 118 kW converter). This optimal system achieves 100% system reliability with a renewable energy fraction of 49.7%. Economically, the net present cost (NPC) is the lowest at \$671,664, and the cost of energy (COE) is also the lowest at \$0.0583/kWh. Additionally, the financial analysis shows high investment feasibility with an internal rate of return (IRR) of 10.3% and a discounted payback period of 11.9 years. Compared to conventional diesel systems used on ships, this optimal scenario is capable of achieving an 81.2% reduction in the cost of energy (COE), a 90.1% reduction in operational costs, and a 75.4% reduction in CO₂ emissions, making it feasible for implementation as a solution for decarbonizing port infrastructure toward the concept of a green port. This condition directly supports the Indonesian government's target to achieve net zero emissions by 2060.

Keywords—Cold Ironing, Hybrid Energy, New Renewable Energy, Techno-Economic Analysis, HOMER.