

Dalam rangka mendukung pencapaian target Net Zero Emissions (NZE) Indonesia tahun 2060, integrasi antara Floating Photovoltaic (FPV), Pumped Hydro Storage (PHS), dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) menjadi strategi kunci dalam membangun sistem energi bersih yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini mengkaji koordinasi operasi antara FPV Cirata, PLTA Cirata, dan PHS Upper Cisokan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) di sistem kelistrikan Jamali serta meningkatkan efisiensi operasional melalui pendekatan pemodelan matematis dan simulasi berbasis skenario.

Tiga skenario kapasitas FPV yaitu 145 MW, 500 MW, dan 1000 MW dianalisis pada dua tingkat efisiensi PHS (79% dan 87%) serta dua model operasi PHS. Evaluasi dilakukan pada aspek teknis dan keekonomian, termasuk sensitivitas terhadap kondisi musim (kemarau, hujan, dan produksi terendah), serta potensi kontribusi volume air tambahan akibat pengurangan evaporasi pada permukaan waduk yang tertutup oleh modul FPV. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa instalasi FPV seluas 250 ha dapat mengurangi evaporasi tahunan hingga 937.500 m³, yang ekuivalen dengan potensi tambahan energi PLTA sebesar 272 MWh per tahun.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi koordinasi operasi yang mempertimbangkan efektifitas PLTA cascade dan prioritas pemanfaatan EBT serta dengan skema tarif integratif berbasis ketersediaan EBT dapat menjadi solusi potensial untuk mendukung transisi energi Indonesia dalam memaksimalkan pemanfaatan produksi EBT dan program pensiun dini PLTU.

Kata Kunci : Net Zero Emission, Floating Photovoltaic, Pumped Hydro Storage, PLTA Cascade, Koordinasi Operasi

ABSTRACT

In support of Indonesia's 2060 Net Zero Emissions (NZE) goal, integrating Floating Photovoltaic (FPV), Pumped Hydro Storage (PHS), and conventional Hydropower (PLTA) presents a strategic pathway toward a clean, efficient, and sustainable energy system. This study explores the operational coordination between FPV Cirata, PLTA Cirata, and PHS Upper Cisokan to enhance renewable energy integration within the Jamali grid, employing mathematical modeling and scenario-based simulations to assess system performance.

The analysis considers three FPV capacity levels—145 MW, 500 MW, and 1000 MW—under two PHS round-trip efficiency conditions (79% and 87%) and two operational schemes. Technical and economic assessments are conducted, including sensitivity to seasonal variations (dry, wet, and minimum generation periods), as well as the added water volume from reduced evaporation due to FPV coverage. A 250-hectare FPV array is estimated to reduce annual evaporation by approximately 937,500 m³, translating to an additional 272 MWh/year of hydropower output.

Findings indicate that a well-coordinated operational strategy—prioritizing local renewable sources and cascade hydropower effectiveness—can boost renewable energy utilization, reduce reliance on external grid supply, and contribute to carbon emission reductions. The proposed adaptive operation strategy and renewable-based tariff mechanism offer a practical framework to accelerate Indonesia's energy transition.

Keywords: Net Zero Emissions, Floating Photovoltaics, Pumped Hydro Storage, Cascade Hydropower, Coordinated Operation