UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Operasi Sistem Tenaga Listrik KIPP IKN Terintegrasi PV-BESS Menggunakan Unit Commitment-Economic Dispatch Berbasis MILP
Muhammad Ananta Rafi Hidayat, Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE. ; Dr. Wijaya Yudha
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Penelitian ini menganalisis optimasi operasi sistem tenaga listrik area Kawasan Inti Pusat Pemerintahan Ibu Kota Nusantara (KIPP IKN) terintegrasi *photovoltaic* (PV) dan *Battery Energy Storage System* (BESS). Sistem KIPP IKN dipasok dari Grid Kalimantan melalui GIS 4 IKN, sehingga pasokan konvensional direpresentasikan sebagai unit pasokan ekuivalen untuk kebutuhan optimasi operasi agregat. Unit tersebut merupakan *proxy* matematis, bukan pembangkit fisik khusus di KIPP IKN maupun ekuivalen jaringan untuk analisis aliran daya. Model terdiri dari dua unit *base-load* berkapasitas 30 MW dan empat unit *grid peaker* berkapasitas 15 MW. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh PV dan BESS terhadap *dispatch* pasokan ekuivalen, pemanfaatan PV, PV *curtailment*, operasi BESS, kebutuhan *ramping*, biaya operasi, dan *Levelized Cost of Energy* (LCOE).

Metode yang digunakan adalah *Unit Commitment-Economic Dispatch* (UC-ED) berbasis *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Simulasi dilakukan pada horizon operasi harian 24 jam dengan resolusi 5 menit untuk skenario *baseline* pasokan konvensional tahun 2025, skenario *PV-only* tahun 2025 sampai 2028, dan skenario *PV-BESS* tahun 2025 sampai 2028. Selain itu, dilakukan uji sensitivitas *one-at-a-time* terhadap kapasitas PV dan kapasitas BESS pada skenario *PV-BESS* tahun 2028. Model BESS juga diberi *constraint* agar BESS tidak melakukan *discharging* ketika masih terdapat PV *curtailment* pada *timestep* yang sama.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario *PV-only* mampu mengurangi energi pasokan konvensional, tetapi pemanfaatan PV dibatasi oleh profil beban dan batas operasi unit ekuivalen. Pada tahun 2028, skenario *PV-BESS* meningkatkan PV *used* dari 290,96 MWh menjadi 313,43 MWh, menurunkan PV *curtailment* dari 127,87 MWh menjadi 105,39 MWh, dan menurunkan energi *grid peaker* dari 57,48 MWh menjadi 33,55 MWh dibandingkan *PV-only*. Namun, LCOE *PV-BESS* sebesar Rp1.230,26/kWh masih lebih tinggi daripada *PV-only* sebesar Rp1.200,75/kWh karena biaya *discharging* BESS yang diperhitungkan pada tahap *post-processing*. Hasil sensitivitas menunjukkan bahwa kapasitas PV 120 MW menghasilkan gejala *diminishing return*, yaitu tambahan PV *used* yang terbatas dibandingkan kenaikan PV *curtailment* dan LCOE. Dengan demikian, perencanaan PV-BESS pada sistem KIPP IKN perlu mempertimbangkan kemampuan sistem menyerap PV dan *trade-off* antara manfaat teknis dan biaya energi.

Kata kunci: KIPP IKN, PV, BESS, UC-ED, MILP

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Operasi Sistem Tenaga Listrik KIPP IKN Terintegrasi PV-BESS Menggunakan Unit Commitment-Economic Dispatch Berbasis MILP
Muhammad Ananta Rafi Hidayat, Ir. Lesnanto Multa Putranto, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., SMIEEE. ; Dr. Wijaya Yudha
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

This study analyzes the optimal operation of the electric power system in the Central Government Core Area of Ibu Kota Nusantara (KIPP IKN) integrated with photovoltaic (PV) and Battery Energy Storage System (BESS). KIPP IKN is supplied by the Kalimantan Grid through GIS 4 IKN; therefore, the conventional supply is represented by equivalent supply units for aggregate operational optimization. These units are mathematical proxies rather than dedicated physical generating plants in KIPP IKN or network equivalents for power-flow analysis. The model consists of two 30 MW base-load units and four 15 MW grid-peaker units. This study evaluates the impact of PV and BESS integration on equivalent-supply dispatch, PV utilization, PV curtailment, BESS operation, ramping requirements, operating cost, and Levelized Cost of Energy (LCOE).

The method used in this study is Unit Commitment-Economic Dispatch (UC-ED) based on Mixed Integer Linear Programming (MILP). The simulations are conducted over a 24-hour daily operation horizon with a 5-minute resolution for the 2025 conventional-supply baseline, the 2025–2028 PV-only scenarios, and the 2025–2028 PV-BESS scenarios. In addition, a one-at-a-time sensitivity analysis is performed on PV capacity and BESS capacity under the 2028 PV-BESS scenario. The BESS model also includes a constraint that prevents BESS discharging when PV curtailment still occurs at the same timestep.

The results show that PV-only operation reduces conventional-supply energy, but PV utilization is limited by the load profile and equivalent-unit operating constraints. In 2028, the PV-BESS scenario increases PV used from 290.96 MWh to 313.43 MWh, reduces PV curtailment from 127.87 MWh to 105.39 MWh, and lowers grid-peaker energy from 57.48 MWh to 33.55 MWh compared with PV-only operation. However, the PV-BESS LCOE of Rp1,230.26/kWh remains higher than the PV-only LCOE of Rp1,200.75/kWh because the BESS discharging cost is included in post-processing. The sensitivity results indicate that 120 MW PV capacity creates diminishing returns, where the additional PV used is limited compared with the increase in PV curtailment and LCOE. Therefore, PV-BESS planning for the KIPP IKN system should consider the system's PV absorption capability and the trade-off between technical benefits and energy cost.

Keywords: KIPP IKN, PV, BESS, UC-ED, MILP