

Percepatan pengakhiran masa operasional pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dari sistem ketenagalistrikan yang masih didominasi oleh batu bara berpotensi memengaruhi biaya pembangkitan, fleksibilitas operasi, dan keandalan sistem, serta menjadi bagian dari transisi energi menuju target *Net Zero Emissions* (NZE). Penelitian ini menganalisis dampak percepatan pengakhiran masa operasional PLTU terhadap biaya pembangkitan dan keandalan sistem tenaga listrik melalui integrasi pemodelan *Unit Commitment* (UC) berbasis *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan simulasi aliran daya *Two-Area System*. Sistem uji dengan kapasitas terpasang 46.080 MW dan beban puncak 30.370 MW disimulasikan selama 24 jam pada empat skenario percepatan pengakhiran masa operasional PLTU dengan kapasitas 0 MW, 660 MW, 1.610 MW, dan 2.610 MW. Kapasitas PLTU yang dipercepat pengakhiran masa operasionalnya digantikan oleh PLTS dengan perbandingan kapasitas 1:1. Hasil analisis UC terhadap skenario percepatan pengakhiran masa operasional PLTU menunjukkan bahwa rata-rata biaya pembangkitan meningkat dari 0,078 \$/kWh menjadi 0,079 \$/kWh akibat meningkatnya pemanfaatan pembangkit gas yang lebih fleksibel namun memiliki biaya variabel lebih tinggi. Pada periode siang hari, jumlah unit yang beroperasi meningkat dari 139 unit menjadi 167 unit, sementara *spinning reserve* menurun dari 12,05% menjadi 10,72%. Pada periode beban puncak malam hari, jumlah unit yang beroperasi meningkat dari 149 unit menjadi 174 unit, sedangkan *spinning reserve* menurun dari 10,25% menjadi 6,47%. Produksi energi PLTU menurun dari 531,63 GWh menjadi 473,41 GWh dan digantikan oleh peningkatan produksi pembangkit gas dan EBT. Hasil simulasi aliran daya pada sistem uji *Two-Area System* menunjukkan bahwa tegangan bus berada pada rentang 0,999-1,01 per unit dan pembebanan saluran transmisi sebesar 5,4–21,1% dari batas termal. Secara keseluruhan, percepatan pengakhiran masa operasional PLTU meningkatkan kebutuhan fleksibilitas operasional tanpa menurunkan keandalan sistem tenaga listrik.

Kata kunci: Percepatan pengakhiran masa operasional PLTU, *unit commitment*, biaya pembangkitan, keandalan sistem, simulasi aliran daya.

ABSTRACT

Accelerating the early retirement of coal-fired power plants (CFPPs) from an electricity system still dominated by coal has the potential to affect generation costs, operational flexibility, and system reliability, while also constituting an integral part of the energy transition toward the Net Zero Emissions (NZE) target. This study analyzes the impact of accelerated CFPP retirement on generation costs and power system reliability through the integration of a Unit Commitment (UC) model based on Mixed Integer Linear Programming (MILP) and a Two-Area System power flow simulation. A test system with an installed capacity of 46,080 MW and a peak load of 30,370 MW was simulated over a 24-hour period under four CFPP retirement acceleration scenarios with retired capacities of 0 MW, 660 MW, 1,610 MW, and 2,610 MW. The CFPP capacity retired early was replaced by solar photovoltaic (PV) power plants at a 1:1 capacity ratio. The UC modeling results indicate that the average generation cost increases from 0.078 USD/kWh to 0.079 USD/kWh due to increased utilization of gas-fired power plants, which provide higher operational flexibility but incur higher variable costs. During daytime periods, the number of operating units increases from 139 to 167 units, while the spinning reserve decreases from 12.05% to 10.72%. During nighttime peak-load periods, the number of operating units rises from 149 to 174 units, whereas the spinning reserve declines from 10.25% to 6.47%. Coal-fired energy production decreases from 531.63 GWh to 473.41 GWh and is replaced by increased generation from gas-fired power plants and renewable energy sources. Power flow simulation results on the Two-Area System test network show that bus voltages remain within the range of 0.999–1.01 per unit, and transmission line loadings are between 5.4% and 21.1% of their thermal limits. Overall, accelerating the early retirement of CFPPs increases the demand for operational flexibility without compromising power system reliability.

Keywords: *retirement of coal-fired power plants, unit commitment, generation cost, system reliability, power flow simulation.*