

INTISARI

Perubahan iklim telah menjadi perhatian global yang mendorong negara-negara, termasuk Indonesia, untuk menetapkan target *net zero emission* (NZE). Dalam mendukung transisi menuju energi bersih, PT PLN (Persero) membangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung Cirata berkapasitas 192 MWp, yang merupakan PLTS terapung terbesar di kawasan Asia Tenggara. Meskipun secara umum dianggap sebagai teknologi ramah lingkungan, implementasi PLTS terapung tetap memiliki potensi dampak lingkungan yang perlu dikaji secara komprehensif melalui pendekatan siklus hidup.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis dampak lingkungan PLTS Terapung Cirata menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan cakupan *cradle to grave*, (2) membandingkan dua skenario akhir masa pakai (*end-of-life*), yaitu *landfill* dan kombinasi *landfill–recycle*, serta (3) merumuskan strategi mitigasi dampak lingkungan berdasarkan hasil kajian LCA. Penilaian dilakukan menggunakan perangkat lunak openLCA, database ecoinvent 3.1, dan metode LCIA ReCiPe Midpoint (H), dengan unit fungsional sebesar 1 kWh listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tahapan produksi panel surya merupakan kontributor utama terhadap total dampak lingkungan, diikuti oleh tahap akhir masa pakai, operasi pembangkit, dan transportasi. Pada kategori *climate change*, emisi mencapai 0,05076 kg CO₂-eq/kWh pada skenario *landfill*, dan menurun menjadi 0,04636 kg CO₂-eq/kWh pada skenario *landfill & recycle*. Dampak *human toxicity* juga mengalami penurunan dari 0,05438 menjadi 0,03821 kg 1,4-DCB-eq. Analisis sensitivitas terhadap variasi daur ulang kaca (50%, 85%, dan 100%) menunjukkan perubahan yang tidak signifikan, mengindikasikan bahwa kaca bukan kontributor utama terhadap dampak lingkungan sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa produksi panel surya dan pengelolaan akhir masa pakai merupakan titik kritis (*hotspot*) dampak lingkungan utama. Strategi mitigasi yang direkomendasikan mencakup peningkatan efisiensi material, optimalisasi proses produksi modul surya, serta penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam manajemen akhir masa pakai. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan kajian LCA pada sistem PLTS terapung di Indonesia dengan pendekatan siklus hidup menyeluruh dan evaluasi skenario daur ulang yang komprehensif.

Kata kunci: PLTS Terapung, *Life Cycle Assessment*, Dampak Lingkungan, *End of Life* Skenario, *Hotspot Analysis*

ABSTRACT

Climate change has become a global concern, prompting countries—including Indonesia—to establish targets for achieving net zero emissions (NZE). In support of the national energy transition toward renewable sources, PT PLN (Persero) has developed the Cirata Floating Solar Power Plant with a capacity of 192 MWp, currently the largest floating solar installation in Southeast Asia. Although generally regarded as an environmentally friendly technology, the implementation of floating solar power systems still entails potential environmental impacts that must be assessed comprehensively using a life cycle approach.

This study aims to: (1) analyze the environmental impacts of the Cirata Floating Solar Power Plant using a cradle-to-grave Life Cycle Assessment (LCA) approach, (2) compare two end-of-life (EoL) scenarios—landfill and a combination of landfill and recycling, and (3) formulate environmental impact mitigation strategies based on LCA findings. The assessment was conducted using the openLCA software, ecoinvent 3.1 database, and the ReCiPe Midpoint (H) impact assessment method, with a functional unit of 1 kWh of electricity generated.

The results indicate that solar panel production contributes the most significantly to the overall environmental impact, followed by end-of-life processes, system operation, and transportation. In the climate change category, emissions reach 0.05076 kg CO₂-eq/kWh in the landfill scenario and decrease to 0.04636 kg CO₂-eq/kWh in the landfill & recycle scenario. Similarly, impacts in the human toxicity category decrease from 0.05438 to 0.03821 kg 1,4-DCB-eq. Sensitivity analysis on glass recycling rates (50%, 85%, and 100%) revealed negligible differences, indicating that glass is not a major contributor to the system's environmental impact. It can thus be concluded that solar panel production and end-of-life management are the primary environmental hotspots. Recommended mitigation strategies include improving material efficiency, optimizing module production processes, and implementing circular economy principles in end-of-life management. This research contributes to the advancement of LCA studies on floating solar systems in Indonesia by offering a comprehensive life cycle approach and detailed recycling scenario evaluation.

Keywords: Floating Solar Power Plant, Life Cycle Assessment, Environmental Impact, End-of-Life Scenario, Hotspot Analysis