UNIVERSITAS
GADJAH MADA
LIFE CYCLE ASSESSMENT PRODUKSI LISTRIK BERBASIS BIOGAS DARI LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI
Agam Wira Sani, Ir. Muhammad Mufti Azis, ST, M.Sc., Ph.D., IPM.; Dr. Ir. Edi Iswanto Wiloso M.A.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Meningkatnya kebutuhan energi berkelanjutan mendorong pemanfaatan limbah agroindustri sebagai sumber energi terbarukan. Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah biogas dari limbah cair agroindustri. Penelitian ini menerapkan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA) cradle-to-gate untuk mengevaluasi dampak lingkungan pembangkit listrik berbasis biogas dari limbah cair nanas dan singkong di Indonesia. Fungsional unit ditetapkan sebesar 1 kWh listrik dengan batas sistem meliputi proses hulu (budidaya, pengolahan agroindustri, dan produksi biogas) serta proses inti (pembangkit listrik).

Untuk memperoleh gambaran komprehensif maka dikaji lima scenario, mulai dari kondisi eksisting (93% batubara dan 7% biogas dengan kolam sedimentasi terbuka) hingga substitusi penuh batubara dengan biogas yang dipadukan dengan strategi pemanfaatan limbah, yaitu penangkapan metana dari digestat, pengomposan digestat padat, dan budidaya mikroalga dari digestat cair. Data primer tahun 2023 diperoleh melalui pengukuran lapangan, termasuk emisi CO_2, CH_4, dan N_2O dari proses anaerobic digestion, yang kemudian dimodelkan dengan openLCA 2.4 menggunakan database ecoinvent 3.11. Dampak lingkungan dianalisis pada kategori Global Warming Potential (GWP), Acidification (AP), Eutrophication (EP), Abiotic Depletion–Fossil (ADF), Cumulative Energy Demand (CED), Water Scarcity Footprint (WSF), dan Land Use Change (LUC).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem eksisting menghasilkan beban lingkungan tertinggi (GWP 1,08 kg CO_2-eq/kWh). Substitusi penuh batubara dengan biogas menurunkan GWP menjadi 0,742 kg CO_2-eq/kWh, sedangkan skenario terbaik yang mengombinasikan biogas, penangkapan metana, pengomposan, dan mikroalga menurunkan GWP hingga 0,165 kg CO_2-eq/kWh (reduksi 87%). Selain dampak GWP, terjadi penurunan EP, AP, ADF, dan CED, meskipun terdapat trade-off berupa peningkatan WSF dan LUC. Penelitian ini menegaskan potensi biogas sebagai sumber energi terbarukan dengan strategi pemanfaatan limbah terintegrasi untuk meningkatkan keberlanjutan energi sektor agroindustri di negara berkembang.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
LIFE CYCLE ASSESSMENT PRODUKSI LISTRIK BERBASIS BIOGAS DARI LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI
Agam Wira Sani, Ir. Muhammad Mufti Azis, ST, M.Sc., Ph.D., IPM.; Dr. Ir. Edi Iswanto Wiloso M.A.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The growing demand for sustainable energy has encouraged the utilization of agro-industrial waste as a renewable energy source. One promising alternative is biogas derived from agro-industrial wastewater. This study applied a cradle-to-gate Life Cycle Assessment (LCA) approach to evaluate the environmental impacts of biogas-based power generation from pineapple and cassava wastewater in Indonesia. The functional unit was defined as 1 kWh of electricity, with system boundaries covering upstream processes (cultivation, agro-industrial processing, and biogas production) and core processes (power generation).

To provide a comprehensive assessment, five scenarios were examined, from the existing condition (93% coal and 7% biogas with an open sedimentation pond) to full substitution of coal with biogas, integrated with waste management strategies such as methane capture from digestate, composting of solid digestate, and microalgae cultivation from liquid digestate. Primary data collected in 2023 included field measurements of CO_2, CH_4, and N_2O emissions from anaerobic digestion, which were modeled using openLCA 2.4 with the ecoinvent 3.11 database. Environmental impacts were analyzed across Global Warming Potential (GWP), Acidification (AP), Eutrophication (EP), Abiotic Depletion–Fossil (ADF), Cumulative Energy Demand (CED), Water Scarcity Footprint (WSF), and Land Use Change (LUC).

The results show that the existing system generates the highest environmental burden (GWP of 1.08 kg CO_2-eq/kWh). Full substitution of coal with biogas reduced the GWP to 0.742 kg CO_2-eq/kWh, while the best-performing scenario—combining biogas, methane capture, composting, and microalgae cultivation—lowered GWP to 0.165 kg CO_2-eq/kWh (an 87% reduction). In addition to GWP mitigation, reductions were also observed in EP, AP, ADF, and CED, although trade-offs emerged with increased WSF and LUC. This study highlights the potential of biogas as a renewable energy source and emphasizes the importance of integrated waste utilization strategies to enhance energy sustainability in the agro-industrial sector of developing countries.