

INTISARI

Produksi metanol berbahan baku gas alam merupakan proses yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), terutama melalui pembakaran *purge gas* pada sistem *flare*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh komposisi gas alam dan penggantian katalis pada Unit Sintesis Metanol PT Kaltim Methanol Industri (PT KMI) terhadap kinerja proses serta dampak lingkungan. Analisis dilakukan menggunakan data operasional periode 2022-2024 yang meliputi aktivitas katalis, kualitas gas sintesis (*syngas*), *stoichiometric number* (SN), pembentukan *purge gas*, dan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO₂-eq). Dampak lingkungan dievaluasi menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pendekatan *gate-to-gate* pada perangkat lunak OpenLCA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian katalis meningkatkan kinerja reaktor secara signifikan, yang ditunjukkan oleh kenaikan konversi CO₂ dari sekitar 27-33% menjadi lebih dari 40% serta konversi CO dari 70-76% menjadi lebih dari 85%. Perbaikan aktivitas katalis juga menurunkan rasio *purge gas* ke *flare* dan mengurangi emisi GRK. Selain itu, gas alam dengan kandungan metana yang lebih tinggi meningkatkan nilai SN dan pembentukan *purge gas*, sehingga menghasilkan emisi yang lebih besar. Emisi rata-rata menurun dari 1.389,81 tCO₂-eq/bulan pada kondisi katalis tua menjadi 211,61 tCO₂-eq/bulan setelah penggantian katalis. Hasil LCA menunjukkan bahwa skenario *New Catalyst-Rich Gas* memberikan kinerja lingkungan terbaik dengan penurunan dampak perubahan iklim dari 45,70 menjadi 7,95 kg CO₂-eq per ton metanol. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggantian katalis dan optimasi komposisi gas alam merupakan strategi efektif untuk meningkatkan efisiensi sintesis metanol sekaligus menurunkan emisi GRK.

Kata kunci: sintesis metanol, penggantian katalis, komposisi gas alam, emisi gas rumah kaca, CO₂-ekuivalen, *purge gas*, penilaian siklus hidup.

ABSTRACT

Methanol production from natural gas generates greenhouse gas (GHG) emissions, particularly from purge gas combustion in flare systems. This study evaluates the effects of natural gas composition and catalyst replacement in the Methanol Synthesis Unit of PT Kaltim Methanol Industri (PT KMI) on process performance and environmental impacts. Operational data from 2022 to 2024 were analyzed to assess catalyst activity, syngas quality, stoichiometric number (SN), purge gas generation, and CO₂-equivalent (CO₂-eq) emissions. Environmental performance was evaluated using a gate-to-gate Life Cycle Assessment (LCA) approach in OpenLCA. The results show that catalyst replacement significantly improved reactor performance, increasing CO₂ conversion from approximately 27-33% to above 40% and CO conversion from 70-76% to more than 85%. It also substantially reduced the purge gas-to-flare ratio and associated emissions. Natural gas composition influenced syngas quality, where lean gas with higher methane content increased SN and purge gas generation, resulting in higher emissions. Average emissions decreased from 1,389.81 tCO₂-eq/month under aged catalyst conditions to 211.61 tCO₂-eq/month after catalyst replacement. LCA results indicate that the New Catalyst-Rich Gas scenario achieved the best environmental performance, reducing climate change impacts from 45.70 to 7.95 kg CO₂-eq per ton of methanol compared with the Old Catalyst-Lean Gas scenario. These findings demonstrate that catalyst renewal and optimization of natural gas composition can improve methanol synthesis efficiency while significantly reducing GHG emissions.

Keywords: Methanol synthesis, catalyst replacement, natural gas composition, greenhouse gas emissions, carbon dioxide equivalent (CO₂-eq), purge gas, life cycle assessment.