UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Arus dan Suhu kepada Pembentukan dan Perpindahan Air pada Fuel Cell Sel Tunggal
Naufal Athiyya Hammam, Dr. Ir. Jayan Sentanuhady, S.T., M.Eng., IPU., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Manajemen air, khususnya proses ekstraksi air sisa melalui prosedur *shutdown purging*, merupakan aspek krusial untuk menjaga stabilitas dan durabilitas *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC). Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi massa air cair yang terperangkap di dalam *Membrane Electrode Assembly* (MEA) serta menganalisis dinamika transportasi air secara eksperimental dan komputasional. Pengujian empiris dilakukan dengan merekam profil Kelembapan Relatif (RH) gas buang secara waktu-nyata (*real-time*) pada rentang variasi suhu operasi (40 °C dan 50 °C) dan rapat arus (1 A, 1,75 A, dan 2,5 A). Data RH kemudian dikonversi menjadi densitas uap air untuk perhitungan massa mutlak, dan divalidasi silang menggunakan pemodelan termodinamika komputasional MATLAB Simulink. Model *lumped-parameter* berpendekatan Pseudo-2D ini mengeksekusi iterasi pencocokan kurva (*curve-fitting*) dengan membagi proses *purging* ke dalam dua mekanisme: penguapan konstan (Rezim 1) dan peluruhan eksponensial (Rezim 2).

Hasil penelitian menunjukkan keselarasan yang kuat antara eksperimen dan simulasi komputasi. Analisis komparasi gradien akumulasi air secara empiris membuktikan fenomena kompetisi transportasi fisis internal. Pada suhu 40 °C, gradien akumulasi di katoda melandai akibat kebocoran cairan menuju anoda yang didorong oleh tekanan kapiler (*hydraulic-driven back-diffusion*). Namun, pada arus ekstrem (2,5 A), eskalasi gaya *Electro-Osmotic Drag* (EOD) menciptakan efek *bottleneck* yang memblokir difusi balik tersebut. Sebaliknya, pengujian di suhu 50 °C membuktikan bahwa ketiadaan tekanan hidrolik akibat tingginya kapasitas uap saturasi (P_{sat}) secara statistik mengeliminasi perpindahan silang fasa cair antar-kompartemen. Secara holistik, integrasi pemodelan komputasi dan pemantauan sensor RH terbukti sangat valid sebagai instrumen diagnostik tak-merusak (*non-destructive*) untuk memetakan distribusi air internal, sekaligus mengungkap batasan model 0-Dimensi terhadap dinamika fluida 3-Dimensi pada kondisi kebanjiran ekstrem.

KATA KUNCI: PEMFC, *Gas Purge*, Manajemen Air, transport air.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengaruh Arus dan Suhu kepada Pembentukan dan Perpindahan Air pada Fuel Cell Sel Tunggal
Naufal Athiyya Hammam, Dr. Ir. Jayan Sentanuhady, S.T., M.Eng., IPU., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Water management, particularly the extraction of residual water via shutdown purging procedures, is a crucial aspect of maintaining the stability and durability of Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC). This study aims to quantify the liquid water mass trapped within the Membrane Electrode Assembly (MEA) and to analyze water transport dynamics experimentally and computationally. Empirical testing was conducted by continuously monitoring the exhaust gas Relative Humidity (RH) profiles in real-time across varying operating temperatures (40 °C and 50 °C) and current loads (1 A, 1.75 A, and 2.5 A). The RH data were converted into vapor density for absolute mass calculation and cross-validated using a MATLAB Simulink thermodynamic computational model. This Pseudo-2D lumped-parameter model executed curve-fitting iterations by dividing the purging process into two mechanisms: constant evaporation (Regime 1) and exponential decay (Regime 2).

The results demonstrate a strong convergence between the experimental data and the computational simulation. Comparative analysis of water accumulation gradients empirically proves the phenomenon of internal physical transport competition. At 40 °C, the accumulation gradient at the cathode flattens due to liquid leakage toward the anode, driven by capillary pressure (hydraulic-driven back-diffusion). However, at an extreme current load (2.5 A), the escalation of the Electro-Osmotic Drag (EOD) force creates a bottleneck effect that strictly throttles this back-diffusion. Conversely, testing at 50 °C proves that the absence of hydraulic pressure, owing to the high saturation vapor capacity (P_{sat}), statistically eliminates liquid-phase crossover between compartments. Holistically, the integration of computational modeling and RH sensor monitoring is proven highly valid as a non-destructive diagnostic instrument for mapping internal water distribution, while simultaneously revealing the limitations of 0-Dimensional models regarding 3-Dimensional fluid dynamics under severe flooding conditions.

KEYWORDS: PEMFC, Gas Purge, Water Management, Water Transport.