UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DAN EVALUASI REAKTOR UNTUK PRODUKSI HIDROGEN BERBASIS REAKSI ALUMINIUM-AIR
Muhammad Rizqy Nurfarhan, Dr. Ir. Akmal Irfan Majid, S.T., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Produksi hidrogen secara *on-demand* melalui reaksi aluminium–air berpotensi mengurangi kebutuhan penyimpanan dan distribusi hidrogen dalam bentuk gas bertekanan tinggi. Namun, pembentukan hidrogen dan pelepasan panas selama reaksi dapat meningkatkan tekanan dan temperatur sehingga diperlukan reaktor dengan integritas struktural dan kapasitas operasional yang memadai. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi dua konfigurasi reaktor produksi hidrogen, yaitu Reaktor A berupa reaktor vertikal *semi-batch* dengan aktivasi NaOH pada tekanan operasi maksimum 1 MPa dan temperatur 100 °C, serta Reaktor B berupa reaktor vertikal *batch* dengan aktivasi termal tanpa katalis pada tekanan operasi maksimum 14 MPa dan temperatur 320 °C. Komponen penahan tekanan dirancang menggunakan pendekatan *design-by-rule* berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1. Respons struktural dievaluasi melalui analisis termo-struktural menggunakan metode elemen hingga, uji konvergensi, perbandingan tegangan *hoop* analitis dan numerik, serta linearisasi tegangan pada lokasi diskontinuitas geometri. Kapasitas aman umpan aluminium ditentukan berdasarkan batas tekanan pada *headspace* dan batas kenaikan temperatur adiabatik. Hasil perancangan menunjukkan bahwa Reaktor A menggunakan *shell* SA-312 TP304 dengan ketebalan nominal 3,41 mm, *top head* 25,4 mm, dan *bottom head* 14 mm. Reaktor B menggunakan *shell* SA-312 TP316 dengan ketebalan nominal 18,26 mm, *ellipsoidal head* 18 mm, dan *skirt support* 6 mm. Perbedaan tegangan *hoop* analitis dan numerik masing-masing sebesar 4,66% pada Reaktor A dan 1,61% pada Reaktor B, sedangkan deformasi maksimumnya sebesar 0,708 mm dan 0,99 mm. Faktor keamanan minimum hasil linearisasi tegangan adalah 1,21 pada Reaktor A dan 1,04 pada Reaktor B, dengan sambungan *skirt–bottom head* Reaktor B sebagai lokasi paling kritis. Batas umpan yang dikendalikan oleh kondisi termal adalah 8,52 g aluminium pada Reaktor A dan 20,27 g pada Reaktor B, yang menghasilkan estimasi hidrogen masing-masing sebesar 10,41 L dan 24,32 L pada kondisi STP. Hasil tersebut melampaui target DR&O sebesar 10 L untuk Reaktor A dan 20 L untuk Reaktor B. Dengan demikian, kedua rancangan memenuhi persyaratan fungsional, kapasitas produksi, dan penerimaan struktural statik dalam ruang lingkup perhitungan analitis dan pemodelan numerik. Meskipun demikian, verifikasi eksperimental, penyempurnaan model termodinamika gas nyata, serta perancangan sistem pelepas tekanan masih diperlukan sebelum tahap fabrikasi dan pengoperasian.

Kata kunci: aluminium–air, hidrogen, bejana tekan, metode elemen hingga, linearisasi tegangan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
PERANCANGAN DAN EVALUASI REAKTOR UNTUK PRODUKSI HIDROGEN BERBASIS REAKSI ALUMINIUM-AIR
Muhammad Rizqy Nurfarhan, Dr. Ir. Akmal Irfan Majid, S.T., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

On-demand hydrogen production through the aluminium–water reaction offers a potential means of reducing the storage and distribution requirements associated with high-pressure hydrogen gas. However, hydrogen generation and heat release during the reaction cause increases in pressure and temperature, requiring reactors with adequate structural integrity and operational capacity. This study aims to design and evaluate two hydrogen-production reactor configurations. Reactor A is a vertical NaOH-activated semi-batch reactor with maximum operating conditions of 1 MPa and 100 °C, whereas Reactor B is a vertical catalyst-free thermally activated batch reactor operating at up to 14 MPa and 320 °C. The pressure-retaining components were designed using the design-by-rule approach in accordance with ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Division 1. The structural responses were evaluated through coupled thermal–structural finite element analysis, mesh-convergence testing, comparison between analytical and numerical hoop stresses, and stress linearisation at geometric discontinuities. The allowable aluminium charge was determined based on the headspace-pressure and adiabatic-temperature-rise constraints. Reactor A uses an SA-312 TP304 shell with a nominal thickness of 3.41 mm, a 25.4 mm top head, and a 14 mm bottom head. Reactor B uses an SA-312 TP316 shell with a nominal thickness of 18.26 mm, an 18 mm ellipsoidal head, and a 6 mm skirt support. The differences between the analytical and numerical hoop stresses were 4.66% for Reactor A and 1.61% for Reactor B, while the maximum deformations were 0.708 mm and 0.99 mm, respectively. The minimum safety factors obtained from stress linearisation were 1.21 for Reactor A and 1.04 for Reactor B, with the skirt-to-bottom-head junction of Reactor B identified as the most critical location. The thermally limited aluminium charges were 8.52 g for Reactor A and 20.27 g for Reactor B, corresponding to estimated hydrogen productions of 10.41 L and 24.32 L, respectively, at standard conditions. These values exceed the DR&O production targets of 10 L for Reactor A and 20 L for Reactor B. Therefore, both designs satisfy the functional, hydrogen-production, and static structural acceptance requirements within the adopted analytical and numerical modelling scope. Nevertheless, experimental verification, refinement of the real-gas thermodynamic model, and detailed pressure-relief-system design are required before fabrication and operation.

Keywords: aluminium–water, hydrogen, pressure vessel, finite element analysis, stress linearisation.