

## ABSTRAK

### ANALISIS PENGARUH *HYDROGEN CHARGING* TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN HIDRID PADA Zr-Nb-Mo-Cr SEBAGAI *CLADDING* REAKTOR NUKLIR

Oleh  
Obed Assoor Lolonta Berutu  
NIM: 116210014  
(Program Studi Sarjana Teknik Metalurgi)

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh pengisian hidrogen terhadap sifat mekanik, mikrostruktur, dan ketahanan hidrida pada paduan zircaloy berbasis Zr-1%Nb-1%Mo dengan variasi penambahan Cr sebesar 0%, 1%, dan 1,5% wt.%. Zircaloy, yang digunakan sebagai material *Cladding* bahan bakar reaktor nuklir, harus memiliki ketahanan terhadap korosi dan degradasi akibat penetrasi hidrogen. Penelitian melibatkan sintesis paduan melalui tungku busur listrik, perlakuan panas homogenisasi dan  $\beta$ -*quenching*, serta uji *hydrogen charging* pada suhu 800°C. Karakterisasi dilakukan dengan pengamatan mikrostruktur (OM, SEM-EDS), identifikasi fasa menggunakan XRD, dan pengujian kekerasan Vickers. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 1,5% Cr menghasilkan struktur mikro Widmanstätten yang khas, di mana Cr berfungsi sebagai stabilizer  $\beta$  yang memperlambat transformasi  $\beta$  ke  $\alpha$ . Pada kadar 0% dan 1% Cr, mikrostruktur berbentuk butir  $\alpha$  *equiaxed* tanpa pola arah khusus, dan semua sampel pada suhu ruang dominan dengan fasa  $\alpha$ . Proses *hydrogen charging* pada 800°C memicu pembentukan lapisan oksida (ZrO<sub>2</sub>) dan hidrida (ZrH<sub>2</sub>), dengan kekerasan Vickers meningkat seiring penambahan Cr pada kondisi *as-cast*, namun menurun setelah  $\beta$ -*quenching* dan *hydrogen charging* karena peningkatan fasa  $\beta$  yang lebih ulet dan pembentukan mikrostruktur *basket-weave* atau Widmanstätten. Hidrida terbentuk lebih dominan di permukaan dan sub-permukaan akibat penetrasi hidrogen yang tertahan oleh lapisan oksida, dengan sampel 1% Cr menunjukkan porositas dan retakan yang mempercepat penetrasi hidrogen, sedangkan sampel 1,5% Cr menunjukkan lapisan hidrida yang lebih tipis berkat mikrostruktur yang lebih stabil. Kadar hidrogen yang tinggi menghasilkan presipitasi hidrida yang signifikan, menurunkan kekuatan dan kekerasan material akibat *embrittlement*. Penambahan Cr meningkatkan kelarutan hidrogen dalam fasa  $\beta$ -Zr, yang menghambat pembentukan hidrida, sehingga meningkatkan ketahanan material terhadap degradasi mekanik akibat *hydrogen embrittlement*.

Kata kunci: *Cladding*, ketahanan hidrogen, kromium, zircaloy.

## **ABSTRACT**

### **ANALISIS PENGARUH HYDROGEN CHARGING TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN HIDRID PADA Zr-Nb-Mo-Cr SEBAGAI CLADDING REAKTOR NUKLIR**

By

Obed Assoor Lolonta Berutu

NIM: 116210014

(Metallurgical Engineering Undergraduated Program)

*This study evaluates the effect of hydrogen charging on the mechanical properties, microstructure, and hydride resistance of zirconium alloy (Zircaloy) based on Zr-1%Nb-1%Mo with varying additions of Cr at 0%, 1%, and 1.5% wt.%. Zircaloy, used as Cladding material in nuclear fuel, must possess high resistance to corrosion and degradation caused by hydrogen penetration. The alloy synthesis was carried out using an electric arc furnace, followed by homogenization heat treatment and  $\beta$ -quenching, with hydrogen charging performed at 800°C. Characterization was conducted through microstructural observation (OM, SEM-EDS), phase identification using XRD, and Vickers hardness testing. The results show that the addition of 1.5% Cr leads to the formation of a distinctive Widmanstätten microstructure, where Cr acts as a  $\beta$ -phase stabilizer that delays the  $\beta$ -to- $\alpha$  transformation. At 0% and 1% Cr, the microstructure exhibits equiaxed  $\alpha$ -grains without specific orientation, with all samples at room temperature predominantly consisting of the  $\alpha$  phase. Hydrogen charging at 800°C induced the formation of oxide ( $ZrO_2$ ) and hydride ( $ZrH_2$ ) layers, with Vickers hardness increasing with Cr addition in the as-cast condition, but decreasing after  $\beta$ -quenching and hydrogen charging due to the increased presence of the more ductile  $\beta$  phase and the formation of basket-weave or Widmanstätten structures. Hydrides were mainly formed on the surface and sub-surface regions due to hydrogen penetration being hindered by the oxide layer. The 1% Cr sample exhibited porosity and cracking that accelerated hydrogen penetration, whereas the 1.5% Cr sample showed a thinner hydride layer due to a more stable microstructure. High hydrogen content led to significant hydride precipitation, reducing the material's strength and hardness due to embrittlement. Chromium addition increased hydrogen solubility in  $\beta$ -Zr, which suppressed hydride formation and enhanced resistance to mechanical degradation caused by hydrogen embrittlement.*

**Keywords:** Cladding, hydrogen resistance, chromium, zircaloy