

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PADUAN TERNER Zr-Nb-Y

Djoko H Prajitno¹, Syoni Soepriyanto² dan Eddy Agus Basuki²

¹PTNBR-BATAN Jl. Tamansari 71 Bandung dan

²Teknik Metalurgi ITB Jl. Ganesa 10 Bandung

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan paduan terner Zr-Nb-Y. Bahan awal untuk pembuatan paduan tersebut adalah, Zr 99%, Nb 99,9, Y 99,9. Komposisi paduan yang dibuat adalah Zr-2,5%Nb, Zr-2,5%Nb-0,5%Y, Zr-2,5%Nb-0,75%Y, Zr-2,5%Nb-1%Y. Pembuatan paduan dilakukan dengan menggunakan tungku busur listrik dalam atmosfer tungku gas argon kemurnian tinggi. Ingot hasil proses peleburan dikarakterisasi dengan difraksi sinar x, mikroskop optik dan pengujian kekerasan dilakukan dengan uji kekerasan mikro vickers. Hasil karakterisasi dengan mikroskop optik menunjukkan bahwa struktur mikro utama paduan adalah dendritik dan lath martensit. Penambahan Y pada Zr-2,5%Nb paduan tidak merubah struktur mikro secara berarti. Hasil analisa difraksi x menunjukkan bahwa fasa utama paduan adalah α .

Kata kunci: zircaloy, paduan terner Zr-Nb-Y, kekerasan, dendritik, basketwave.

1. PENDAHULUAN

Aging komponen kritis dari reaktor nuklir akan menentukan umur pakai reaktor (*life time service*). Komponen-komponen kritis reaktor tersebut meliputi: fuel cladding, coolant channel dan pressure tube dimana komponen tersebut terbuat dari paduan logam zircaloy. Mekanisme aging komponen kritis tersebut adalah PCI (*Pellet Cladding Interaction*), WSCI (*Waterside cladding interaction*), LOCA (*Loss of Cooling Accident*), HID (*hydrogen induced damage*) dan *Radiation damage*.^[1]

Paduan zircaloy seperti: zircaloy 1, zircaloy 2, zircaloy 3 dan zircaloy 4 serta Zr-2,5Nb telah lama digunakan sebagai kelongsong elemen bakar nuklir pembangkit listrik tenaga nuklir. Pemakaian zircaloy untuk kelongsong elemen bakar nuklir karena paduan zircaloy mempunyai penampang serapan neutron yang rendah, sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik pada selang suhu tinggi yaitu 350-380°C pada kondisi reaktor beroperasi normal. Selanjutnya pada kondisi reaktor sudah beroperasi dalam jangka waktu lama maka komponen reaktor tersebut akan mengalami aging dengan mekanisme seperti yang telah disebutkan di atas. Pemakaian paduan zircaloy pada jangka waktu yang lama mempunyai keterbatasan karena rentan terhadap penggetasan oleh hidrogen dengan terbentuknya hidrida, penurunan sifat mulur, dan ketahanan oksidasi yang kurang baik.^[2]

Penggetasan pada logam oleh hidrogen (*hydrogen embrittlement*) adalah proses dimana beberapa paduan logam terutama pada baja kekuatan tinggi akan mengalami getas dan terjadi retakan akibat terpapar dilingkungan yang mengandung hidrogen. Pada paduan zircaloy penggetasan terjadi karena difusi hidrogen pada paduan karena batas kelarutan hidrogen dalam paduan dilampaui maka akan terbentuk hidrida yang dapat menyebabkan paduan zircaloy menjadi getas.^[3]

Pada dasarnya ada dua cara untuk memperbaiki sifat-sifat paduan logam yaitu pertama dengan memodifikasi komposisi paduan yang sudah ada dan yang kedua dengan cara membuat paduan logam dengan komposisi yang baru. Upaya untuk meningkatkan unjuk kerja kelongsong elemen bakar nuklir yang terbuat dari paduan logam Zr-Nb terhadap penggetasan oleh hidrogen dapat dengan cara menambahkan unsur logam ytrium sebagai unsur pemuat terner.

Komponen reaktor nuklir yang beroperasi dalam jangka waktu yang lama dengan kondisi adanya radiasi, lingkungan korosif dan suhu tinggi serta stress yang tinggi akan menyebabkan komponen tersebut mengalami degradasi. Degradasi yang terjadi bisa teramati secara makroskopis. Namun demikian kejadian sebenarnya berawal pada skala mikroskopis. Untuk pengembangan material baru dan atau modifikasi material sudah ada diperlukan biaya

yang mahal dan waktu yang lama bila dilakukan di laboratorium untuk mensimulasikan degradasi paduan logam. Untuk mengatasi keterbatasan di atas maka sintesa material merupakan satu metodologi yang dapat digunakan sebagai alat bantu yang bisa menjembatani keterbatasan diatas.^[4]

Pengembangan paduan zirconium telah banyak dilakukan dan diteliti dari mulai sifat fisik, mekanik dan kimianya.^[7] Pengembangan komposisi paduan zirconium cukup bervariasi ada biner, terner dan quartener. Masing – masing penambahan unsur pepadu mempunyai tujuan yang berbeda ada yang meningkatkan sifat mekaniknya, ada meningkatkan ketahanan korosi, dan meningkatkan terhadap penggetasan oleh hidrogen.

Pada Tabel 1 dapat dilihat berbagai jenis dan komposisi paduan zirconium. Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa unsur yang ditambahkan pada paduan zirconium relatif sedikit karena bila unsur yang ditambahkan terlalu banyak akan menyebabkan turunya nilai serapan neutron. Turunya nilai serapan neutron tersebut akan menurunkan efisiensi daya reaktor nuklir. Unsur yang ditambahkan pada zirconium bisa membentuk paduan biner zirconium seperti pada zircaloy 1 dan Zr-Nb. Penambahan lebih dari satu unsur pepadu akan diperoleh paduan terner zirconium seperti zircaloy 2, zircaloy3 dan zircaloy 4. Penambahan unsur pepadu Sn, Ni, P dan Fe bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik logam zirconium. Sedangkan penambahan unsur pepadu Cr dan Nb bertujuan untuk meningkatkan ketahanan oksidasi paduan logam zirconium pada suhu tinggi.

Tabel 1. Jenis dan Komposisi Paduan Zircaloy

Paduan	Komposisi rata-rata dalam % berat					
	Sn	Fe	Cr	Ni	Nb	P
Zircaloy-1	2,5	-	-		-	-
Zircaloy-2	1,5	0,12	0,10	-	-	-
Zircaloy-3	0,25	0,25	-	0,5-	-	-
Zircaloy-4	1,50	0,22	0,10	-	-	-
Zr4-Nb	1,50	0,22	0,10		1	
Zr-2,5%Nb	-	-	-	-	2,5	-
Zr-1%Nb	-	-	-	-	1,0	-
Zr-1%Nb-20ppm P					1,0	20ppm
Zr-Cr-Fe	-	0,15	1,0	-	-	-
Zr-Nb-Sn	1,0	-	-	-	3,0	-

Pada penelitian ini dipilih dilakukan penelitian zircaloy mengingat untuk mengantisipasi opsi nuklir dalam rangka penyediaan sumber energi listrik untuk masa yang akan datang. Tahapan percobaan meliputi pepaduan logam zircaloy Zr-Nb-Y dengan tungku busur listrik. Hasil pepaduan dikarakterisasi dengan difraksi sinar, mikroskop optic, SEM- serta dilakukan pengujian kekerasannya.

2. PERCOBAAN

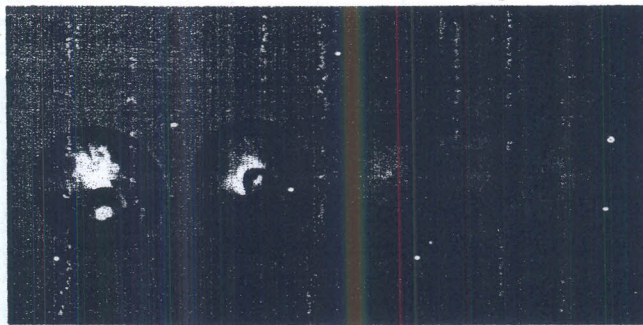
Bahan logam untuk pembuatan paduan Zr-Nb-Y terdiri dari lump Zr (99), Nb (99,98), dan Y (99,9), Komposisi paduan zirconium yang dibuat dapat dilihat pada tabel 1. Berat total paduan zirconium yang akan dibuat sebesar 15 gram. Pembuatan paduan dilakukan dalam tungku busur listrik dengan krusibel tembaga yang didinginkan air. Sebelum proses peleburan dilakukan, tabung tungku dialiri gas argon dengan kemurnian tinggi. Selama dan sesudah proses peleburan gas argon tetap dialirkan untuk menghindari paduan yang dibuat teroksidasi. Proses peleburan logam diulang sebanyak 4 kali untuk memperoleh komposisi paduan yang homogen. Ingot dipotong dengan alat potong piringan intan kecepatan rendah untuk proses metalografi dan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan alat uji keras mikro metoda Vickers. Pengujian kekerasan dilakukan dengan beban 0,5 kg dengan waktu indentasi 15 detik. Pemeriksaan metalografi dilakukan dengan cara pengampelasan ingot yang telah dipotong dari mulai ampelas grit 500 sampai 2000 kemudian dipoles. Setelah dipoles ingot tersebut dietsa dengan larutan etsa 5% H_2SO_4 , 10% HF, 30% HNO_3 and 55% H_2O untuk memunculkan struktur mikro paduan. Pemeriksaan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik nikon M 22.

3. HASIL

Hasil penelitian yang akan dibahas meliputi karakterisasi makro ingot hasil peleburan, struktur mikro ingot dan fasa – fasa yang dominan pada ingot hasil peleburan.

3.1. Foto makro Ingot hasil peleburan

Pada Gambar 1 diperlihatkan ingot paduan Zr-2,5% Nb dan Zr-2,5%Nb-Y hasil proses peleburan dengan tungku busur listrik. Dari Gambar tersebut diperlihatkan bahwa ingot mempunyai permukaan yang bersih dan bebas dari pori.



Gambar 1. Foto makro ingot

3. 2. Difraksi sinar x

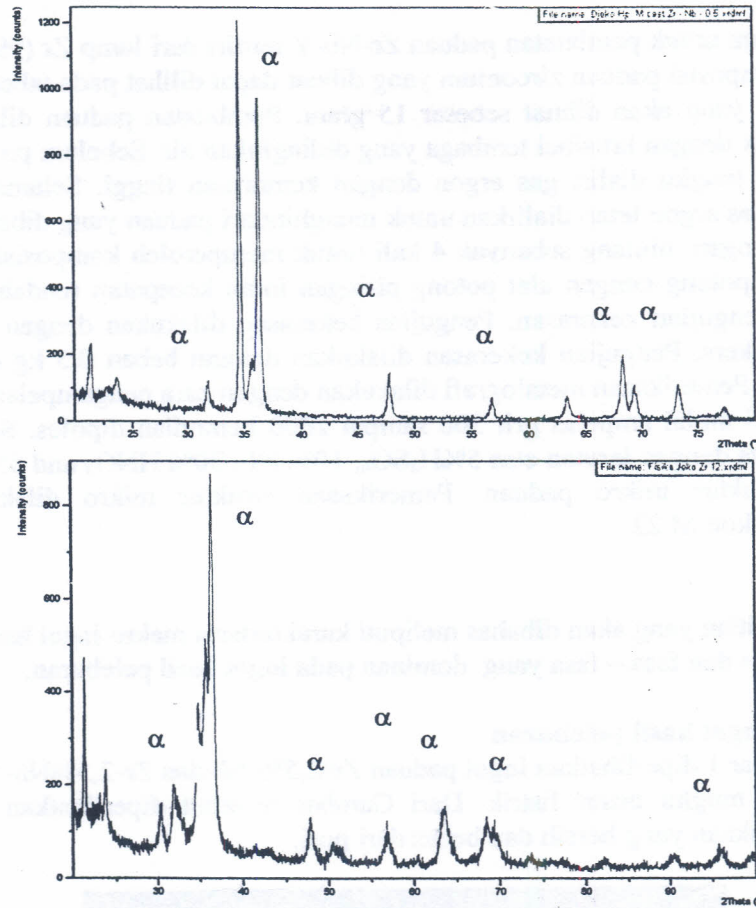
Pada Gambar 2 diperlihatkan hasil karakterisasi dengan difraksi sinar x. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa fasa matrix yang dominan adalah fasa α

3.3. Mikrostruktur

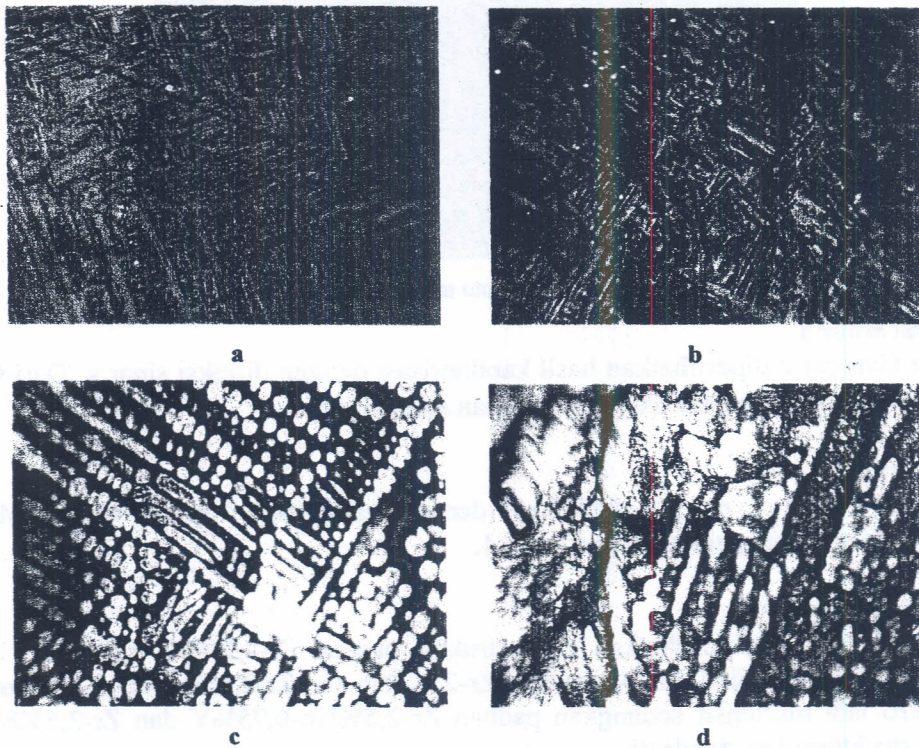
Analisa struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik dan SEM, hasil mikrostruktur bisa dilihat pada Gambar 3 dan 4.

3.3.1. Mikroskop optik

Pada Gambar 3 diperlihatkan mikrostruktur paduan Zr-2,5%Nb dan Zr-2,5%Nb-Y. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa paduan Zr-2,5%Nb dan Zr-2,5%Nb-0,5%Y mempunyai struktur mikro lath martensit sedangkan paduan Zr-2,5%Nb-0,75%Y dan Zr-2,5%Nb-1%Y mempunyai struktur mikro dendritik..



Gambar 2. Pola difraksi sinar x ingot hasil peleburan paduan Zr-2,5%Nb-0,5%Y dan Zr-2,5%Nb-1%Y



Gambar 3. Mikrostruktur Paduan Zr-2,5%Nb dan Zr-2,5%Nb-Y

4. DISKUSI

Dari hasil proses peleburan ingot mempunyai visual yang baik bebas dari pori hasil ini disebabkan sebelum proses peleburan tabung tempat peleburan dibilas dengan gas argon kemurnian tinggi untuk menghindari oksidasi serta selama proses peleburan argon gas maiz dialirkan sampai ingot mendingin.

Mekanisme pembentukan fasa α dapat dijelaskan sebagai berikut pada peleburan logam senua bahan Zr-Nb dan Y leleh pada suhu 1800°C. Pada saat temperatur lelehan logam turun maka akan terbentuk inti fasa β . Penurunan temperatur lebih lanjut akan banyak fasa β yang terbentuk sampai suhu 900°C. Penurunan temperatur dibawah 900°C terjadi tranformasi fasa dimana fasa fasa β menjadi α sampai terjadi 2 fasa yaitu $\beta + \alpha$. Dibawah temperatur eutektik seluruh besar fasa β menjadi fasa α sehingga fasa yang dominan pada matrik adalah fasa α .

5. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan yang telah dilah dapat disimpulkan bahwa :

1. Ingot hasil pengecoran cukup baik dan bebas pori
2. Fasa utama paduan terner Zr-2,5Nb-Y adalah fasa α
3. Struktur mikro ingot bentuk dendritic dan lath martensit

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai melalui proyek DIPA PTNBR-BATAN

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Chatterjee, Priti Kotak Shah, dan. Dubey, *Ageing of zirconium alloy components*, Journal of Nuclear Materials 383 (2008) hal.172-177
2. Sepold. L, dkk, *Severe fuel damage experiments performed in the QUENCH facility with 21-rod bundles of LWR-type*, Nuclear Engineering and Design 237 (2007) hal.2157-2164
3. Sarkar A, Mukherjee P., dan Barat P., *Effect of heavy ion irradiation on microstructure of zirconium alloy characterised by X-ray diffraction*, Journal of Nuclear Materials 372 (2008) hal 285-292
4. Arthur T. Motta, Aylin Yilmazbayhan, Marcelo J. Gomes da Silva, Robert J. Comstock, Gary S. Was, Jeremy T. Busby, Eric Gartner, Qunjia Peng , Yong Hwan Jeong , dan Jeong Yong Park, *Zirconium alloys for supercritical water reactor applications: Challenges and possibilities*, Journal of Nuclear Materials 371 (2007) hal.61-75
5. Dong Chen dkk, *Experimental analysis of the aqueous chemical environment following a loss-of-coolant accident*, Nuclear Engineering and Design 237 (2007) hal.2126-2136
6. Yao M.Y., Zhou B.X., Q. Li b, W.Q. Liu b, dan Y.L. Chu, *The effect of alloying modifications on hydrogen uptake of zirconium-alloy welding specimens during corrosion tests*, Journal of Nuclear Materials 350 (2006) 195-201
7. Samaras, M and Hoffelener W, *Modeling of Advanced Structural Materials for GEN IV Reactors*, Journal of Nuclear Materials 371 (2007) 28-36.
8. Jianlong Lin , Hualong Li, J.A. Szpunar, R. Bordoni, A.M. Olmedob, M. Villegas, dan A.J.G. Maroto, *Analysis of zirconium oxide formed during oxidation at 623 K on Zr-2.5Nb and Zircaloy-4*, Materials Science and Engineering A 381 (2004) Hal.104-112