

## KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR PADUAN UZrNb PASCA PERLAKUAN PANAS

Masrukan<sup>(1)</sup>, Tri Yulianto<sup>(1)</sup>, dan Erilia Y<sup>(1)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong Tangerang 15314

Email : [Masrukan2006@yahoo.com](mailto:Masrukan2006@yahoo.com)

(Naskah diterima : 27-8-2010, disetujui : 23-9-2010)

### ABSTRAK

**KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIK DAN MIKROSTRUKTUR PADUAN UZrNb PASCA PERLAKUAN PANAS.** Telah dilakukan percobaan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik dan mikrostruktur yang terjadi pada bahan bakar paduan UZrNb hasil pemanasan pada temperatur 325 °C dengan waktu pemanasan 2, 4 dan 6 jam. Penambahan unsur Nb ke dalam paduan UZr menjadi paduan UZrNb dan proses perlakuan panas akan mempengaruhi karakteristik sifat mekanik dan mikrostruktur paduan UZrNb. Mula-mula dibuat paduan UZrNb dengan menggunakan tungku peleburan busur listrik dengan komposisi Nb berturut-turut sebesar 1%, 4% dan 7%. Paduan UZrNb yang bervariasi komposisi tersebut yakni U-10%Zr-1%Nb, U10%Zr-4%Nb dan U-1%Zr-10%Nb selanjutnya dipanaskan pada temperatur 325 °C dengan waktu yang berubah-ubah berturut-turut 2, 4 dan 6 jam. Paduan UZrNb yang telah dipanaskan selanjutnya diuji sifat mekanik dan mikrostruktur. Pengujian sifat mekanik dilakukan menggunakan uji kekerasan mikro sedangkan pemeriksaan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada kandungan unsur Nb yang berubah di dalam paduan UZrNb yang dipanaskan pada temperatur dan waktu tetap maka kekerasan paduan UZrNb akan menurun. Pada penambahan unsur Nb sebesar 1 % ke dalam paduan UZr yang dipanaskan pada temperatur 325 °C selama 2 jam paduan UZrNb yang terbentuk mempunyai kekerasan sebesar 814 HVN dan akan naik menjadi 845,9 HVN dan menjadi 661,9 HVN bila kadar Nb menjadi 7%. Demikian pula dari pengujian kekerasan sampel yang dipanaskan pada temperatur tetap dan kandungan Nb tetap tetapi waktu pemanasan yang berubah menunjukkan penurunan nilai kekerasan paduan UZrNb. Sebagai contoh pada paduan UZrNb dengan kandungan Nb tetap 1% yang dipanaskan pada temperatur tetap 325 °C selama 2 jam paduan UZrNb tersebut mempunyai nilai kekerasan sebesar 814 VHN dan menjadi 774,7VHN ketika dipanaskan selama 4 jam selanjutnya menjadi 614 HVN. Dari hasil pemeriksaan mikrostruktur paduan UZrNb diperoleh hasil bahwa pada kandungan unsur Nb yang berubah dari 1 % menjadi 4% dan 7% yang dipanaskan pada temperatur dan waktu tetap maka diperoleh ukuran butir semakin membesar. Demikian pula pada pemanasan paduan UZrNb dengan temperatur dan kandungan Nb tetap tetapi waktu pemanasan berubah maka diperoleh ukuran butir semakin membesar. Pada pemeriksaan mikrostruktur paduan UZrNb yang dipanaskan pada temperatur 325 °C dan waktu tetap 2 jam tetapi kandungan Nb berubah dari 1% Nb menjadi 4% Nb maka ukuran butir berubah dari 10,9 µm menjadi 13,1 µm. Sementara itu, paduan UZrNb yang

mempunyai kandungan Nb 1% dan dipanaskan pada temperatur 325 °C selama 2 jam akan mempunyai ukuran butir sebesar 10,9 µm dan akan naik menjadi berukuran 13,1 µm bila kandungan Nb sebesar 4%.

**Kata kunci** : Paduan UZrNb, perlakuan panas, sifat mekanik dan mikrostruktur

## ABSTRACT

**MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE CHARACTERISTICS OF UZrNb ALLOY POST HEAT TREATMENT.** *Experiments have been performed to characterize the mechanical properties and microstructure that occurs in the UZrNb fuel alloy heating results at temperatures of 325 °C with a time of warming has 2, 4 and 6 hours. The addition of Nb element into the UZr alloy to be UZrNb alloy and heat treatment process will affect the mechanical characteristics and microstructure of alloys UZrNb. At first made UZrNb alloys using electric arc furnace smelting on the composition of Nb in a row at 1%, 4% and 7%. UZrNb alloy composition is varied the U-10% Zr-1% Nb, U10% Zr-4% Nb and U-1% Zr-10% Nb further heated at a temperature of 325 °C by an arbitrary time 2, 4 and 6 hours respectively. UZrNb alloy that has been heated were then tested for mechanical properties and microstructure. Testing of mechanical properties is done by using a micro hardness test, while examination of the microstructure using optical microscope. Hardness testing results indicate that the content of Nb element has changed in the alloy is heated at a temperature UZrNb a fixed time and then the violence will decrease alloy UZrNb. On the addition of 1% Nb element into the UZr alloy is heated at a temperature 325 oC for 2 hours UZrNb formed alloy has hardness of 814 HVN will fall to 845.9 HVN when the Nb content increased to 4%. Such from hardness testing of sample that is heated at fixed temperature and fixed Nb content but heting time changed shown the decreasing of UZrNb alloy harness. As an example is UZrNb alloy with content of fixed 1% Nb that is heating at temperature 325 °C for 2 hours the UZrNb alloy have the hardness of 814 VHN and will decrease to 845,9 HVN when is heated for 4 hours. From microstruture observation of UZrNb alloy is result that at Nb element content changed and is heated at fixed temperature and time so is resulted the bigger of grain size. At microstructure observation of UZrNb alloy that is heated at fixed temperature 325 oC and time for 2 hours but the Nb element content change from 1 % to 4% so the grain size will changed from 10,9 µm to 13,1 µm. While, UZrNb alloy that have the Nb element content and is heated temperature of at 325 oC for 2 hours will have grain size of 10,9 µm and wil increased to 13,1 µm if the Nb element contain is 4 %.*

**Key word** : UZrNb alloy, heat treatment, mechanical property and microstructure characterictic.

## PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar nuklir untuk rektor riset dalam upaya mendapatkan bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi terus dilakukan seiring dengan program pengurangan pengkayaan uranium hingga menjadi < 20%. Sesuai dengan tugas dan fungsinya Pusat Teknolog Bahan Bakar Nuklir (PTBN) hingga tahun 2014 mengembangkan bahan bakar paduan

uranium molibdenum (UMo), uranium zirkonium (UZr) dan uranium nitrid (UN)<sup>[1]</sup>. Penelitian sebelumnya telah dicoba untuk membuat bahan bakar UZr dengan kandungan Zr berturut-turut sebesar 2,6,10,14 dan 55% dalam bentuk ingot yang telah dikarakterisasi sifat-sifat nya antara lain : sifat mekanik, fisik, mikrostruktur, dan termal<sup>[2]</sup>. Dari percobaan yang telah dilakukan tersebut selanjutnya dicoba untuk membuat paduan UZr dengan kandungan Zr sebesar

10% dengan menambahkan variasi unsur Nb berturut-turut sebesar 1%, 4% dan 7%. Penambahan unsur Nb dimaksudkan untuk memperbaiki ketahanan korosi dan kesetabilan<sup>[3]</sup>. Penambahan Nb hingga 5 % berat ke dalam paduan UZr dan diperlakukan *quenching* akan diperoleh struktur *alpha* yang mempunyai ketahanan korosi cukup baik, bahkan pada penambahan Nb lebih tinggi mencapai 7% berat dapat membentuk fasa *gamma*<sup>[3]</sup>. Pada kondisi fasa *gamma* laju korosi UZrNb umumnya sangat rendah dan berada dalam keadaan stabil.

Bahan bakar UZrNb dalam fabrikasinya menjadi Pelat Elemen Bakar (PEB) maupun selama digunakan di dalam reaktor akan mengalami perlakuan panas. Pada saat PEB difabrikasi PEB tersebut dirol panas dan juga pada saat digunakan di dalam reaktor PEB akan mengalami pemanasan yang diakibatkan oleh reaksi fisi bahan bakar. Keadaan tersebut akan mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar seperti perubahan sifat mekanik dan mikrostruktur. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan percobaan untuk mempelajari pengaruh pemanasan bahan bakar paduan UZrNb terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipergunakan sebagai referensi dalam mengembangkan bahan bakar reaktor riset kelak.

Pembuatan paduan UZrNb dilakukan dengan cara melebur logam U, Zr dan Nb di dalam tungku

busur listrik yang menggunakan sistim pendingin air. Peleburan dilakukan pada besaran arus 100 A dalam media gas argon untuk mencegah terjadinya oksidasi uranium oleh udara selama proses peleburan. Paduan UZrNb dari hasil peleburan selanjutnya diperlakukan panas dan dikarakterisasi dengan menggunakan alat uji kekerasan mikro dan mikroskop optik untuk mengetahui perubahan mikrostruktur yang terbentuk. Pengujian mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan peralatan mikroskop

optik, sedangkan kekerasan dengan menggunakan mikro Vickers.

Perubahan sifat mekanik yang dapat dialami oleh bahan bakar diantaranya adalah proses pelunakan (terjadi penurunan kekerasan). Proses pelunakan bahan bakar dipengaruhi oleh tinggi temperatur dan waktu pemanasan. Pada temperatur yang semakin tinggi dan waktu pemanasan yang semakin lama maka proses pelunakan semakin besar serta diikuti penurunan kekerasan dan berkaitan dengan keadaan dislokasi di dalam suatu material. Pada saat temperatur pemanasan semakin tinggi atau waktu pemanasan semakin lama maka kerapatan dislokasi akan semakin berkurang karena antara dislokasi saling meniadakan. Proses pelunakan biasanya diikuti dengan perubahan mikrostruktur. Mikrostruktur dari suatu paduan dapat berbentuk fasa, bentuk dan ukuran butir, inklusi, serta porositas. Pemanasan yang semakin tinggi atau waktu yang semakin lama dapat merubah fasa dari fasa tertentu menjadi fasa yang lain atau keadaan metastabil menjadi fasa yang stabil. Selain terjadinya perubahan fasa, pemanasan juga akan merubah ukuran butir dimana temperatur pemanasan yang semakin tinggi atau waktu pemanasan yang semakin lama akan merubah butir halus menjadi butir kasar. Perubahan ukuran butir tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan kekerasan atau terjadinya pelunakan.

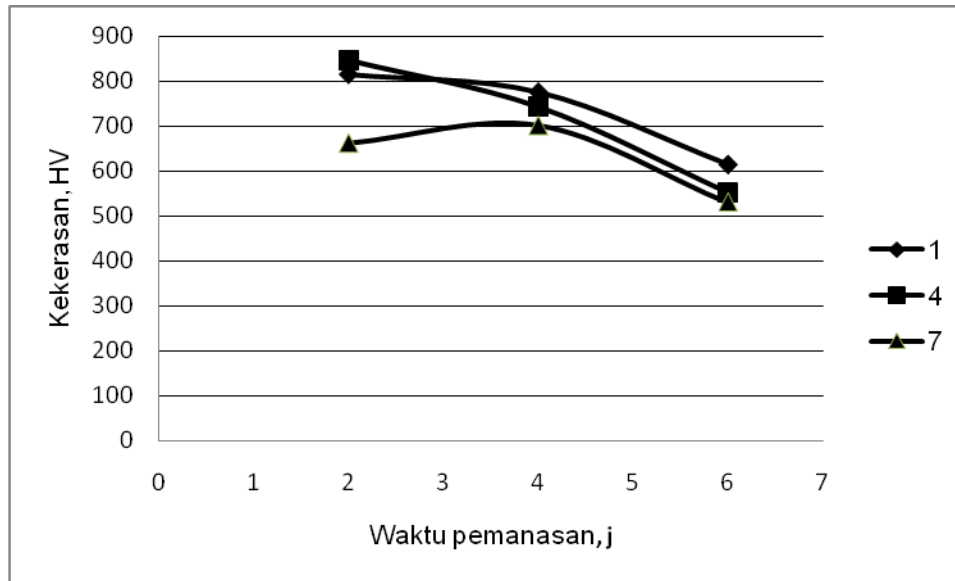
## TATA KERJA

Dibuat paduan UZrNb dengan cara melebur logam U, Zr dan Nb di dalam tungku peleburan busur listrik. Tungku busur listrik dioperasikan pada kuat arus 100 A dan dalam media gas argon (Ar). Pembuatan UZrNb dilakukan dengan memvariasikan logam Nb berturut-turut sebesar 1%, 4% dan 7% sedangkan Zr tetap 10%. Hasil leburan UZrNb yang diperoleh selanjutnya diperlakukan panas yaitu dengan cara

dipanaskan di dalam tungku pemanasan pada temperatur tetap dan waktu bervariasi. Pemanasan berlangsung pada temperatur 325 °C dengan waktu pemanasan 2, 4 dan 6 jam. Sampel yang telah dipanaskan diuji sifat mekaniknya (dalam hal ini kekerasan) dengan alat uji kekerasan mikro Vickers dan diperiksa mikrostruktur yang terjadi dengan menggunakan mikroskop optik. Untuk dapat dikenai uji kekerasan dan diperiksa mikrostruktur yang terjadi, sampel uji yang telah diperlakukan panas *dimounting* dan dihaluskan dengan ampelas dari 240 sampai 1500 µm serta dihaluskan dengan pasta *diamond* dan dietsa dengan menggunakan larutan etsa dari campuran 3 mL *perchloric acid*, 35 mL *2-butoxyethanol* dan 60 mL *methanol* <sup>[4]</sup>. Gambar mikrostruktur hasil pemotretan dengan mikroskop optik selanjutnya dihitung ukuran butir yang terbentuk dengan menggunakan cara Heyn<sup>[5]</sup>. Cara pengukuran besar butir menggunakan cara Heyn yakni dengan menggunakan gambar mikrograph yang diperoleh dari hasil pemotretan dengan menggunakan mikroskop optik. Pada pengukuran ini dilakukan secara manual menggunakan garis-garis berjumlah 7 buah serta panjang 80 mm pada mikrograph, dan dihitung perpotongan antara garis dengan butir yang dilewati. Jumlah perpotongan antara garis dengan butir tersebut akan menentukan ukuran butir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar. Pada Gambar 1 hingga 3 ditampilkan kurva hasil uji kekerasan mikro pada berbagai variasi waktu pemanasan. Dari pengujian kekerasan mikro seperti terlihat pada Gambar 1 yang menampilkan hasil uji kekerasan pada temperatur 325 °C dapat diketahui bahwa pada kadar Nb yang sama maka kekerasan paduan UZrNb yang dipanaskan selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam terlihat pada pemanasan yang semakin lama maka semakin rendah nilai kekerasannya dan demikian sebaliknya. Sebagai contoh pada kadar Nb sebesar 1 % dan waktu pemanasan 2 jam paduan U10%Zr1%Nb mempunyai kekerasan sebesar 814 HVN, turun menjadi 774,7 HVN pada saat dipanaskan selama 4 jam. Hal ini disebabkan oleh karena proses pemanasan akan mengakibatkan kerapatan dislokasi semakin berkurang dan dislokasi saling meniadakan. Akibatnya, kekerasan paduan U10%Zr1%Nb semakin menurun. Kecenderungan yang sama dialami oleh paduan UZrNb dengan kadar Nb 4% dan 7%. Apabila diamati pada kadar Nb yang berbeda tetapi waktu pemanasan yang sama terlihat bahwa semakin tinggi kadar Nb akan semakin rendah nilai kekerasannya. Sebagai contoh pada kadar Nb 1% yang dipanaskan selama 2 jam mempunyai nilai kekerasan 814 HVN dan turun menjadi 845.9 HVN bila kadar Nb naik menjadi 4%. Hal yang sama juga dialami oleh paduan UZrNb dengan kadar Nb 4% dan 7%.

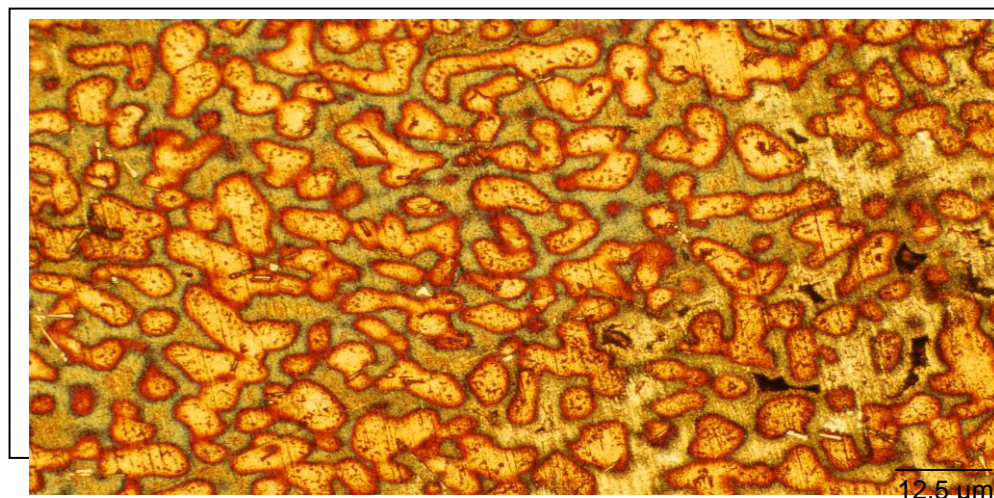


Gambar 1. Kurva kekerasan terhadap kadar Nb pada temperatur pemanasan 325 °C

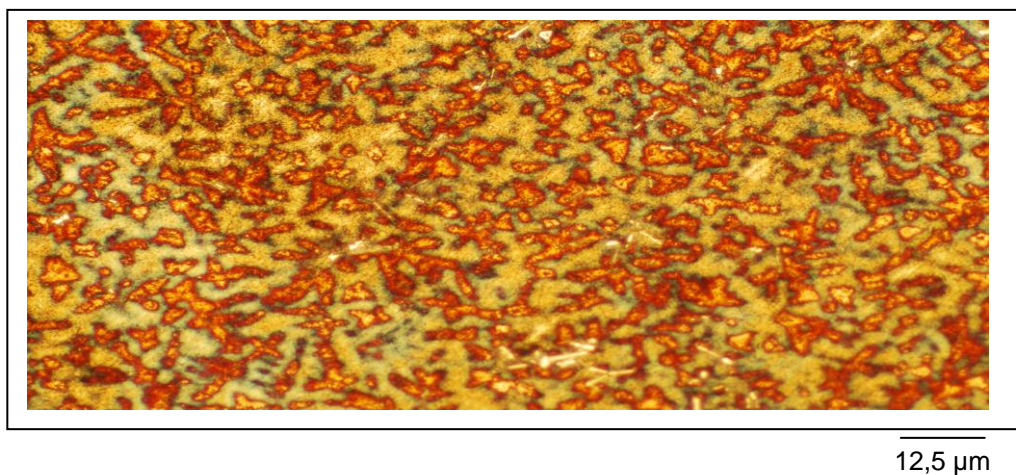
Hasil pemeriksaan mikrostruktur paduan U10%Zr1%Nb, U10%Zr4%Nb dan U10%Zr7%Nb ditampilkan pada Gambar 2 hingga 10, sedangkan hasil perhitungan besar butir ditampilkan pada Gambar 11 dan Tabel 2 pada Lampiran. Perhitungan ukuran butir dilakukan dengan menggunakan cara Heyn<sup>[4]</sup>. Mengacu dari Gambar hingga Gambar 11 dan Tabel 2 pada Lampiran dapat dijelaskan bahwa untuk kadar Nb tetap dengan waktu pemanasan semakin lama maka ukuran butir semakin bertambah. Sebagai contoh pada kadar Nb 1% yang dipanaskan 2 jam paduan UZrNb mempunyai ukuran butir rata-rata sebesar 10,9  $\mu\text{m}$  akan menjadi 11,5  $\mu\text{m}$  apabila waktu pemanasan menjadi 4 jam. Kecenderungan ini juga terlihat pada paduan UZrNb yang mempunyai kadar Nb sebesar 4% dan 7%. Hal ini disebabkan karena pada pemanasan yang semakin lama butir semakin membesar dimana butir kecil akan bergabung menjadi butir yang semakin besar. Pada keadaan ukuran butir yang semakin membesar maka dislokasi menjadi semakin mudah bergerak dan mengakibatkan kekerasan menjadi semakin rendah. Apabila

dilihat pada waktu pemanasan tetap sedangkan kadar Nb bertambah maka terjadi kenaikan ukuran butir. Sebagai contoh untuk kadar Nb 1% dan dipanaskan selama 2 jam mempunyai ukuran butir rata-rata sebesar 10,9  $\mu\text{m}$  akan menjadi 15,4  $\mu\text{m}$  apabila dipanaskan selama 4 jam. Kecenderungan yang sama juga dialami pada UZrNb yang mempunyai kadar Nb 4% dan 7%. Kenaikan ukuran butir pada saat kadar Nb bertambah disebabkan oleh terbentuknya fasa akibat penambahan Nb membentuk fasa terlarut dan fasa kedua. Terbentuknya fasa terlarut dan fasa kedua tersebut cenderung mendorong bertambah besarnya ukuran butir pada saat dipanaskan. Keadaan butir yang semakin membesar mengakibatkan dislokasi menjadi mudah bergerak dan mengakibatkan kekerasan menjadi semakin rendah.

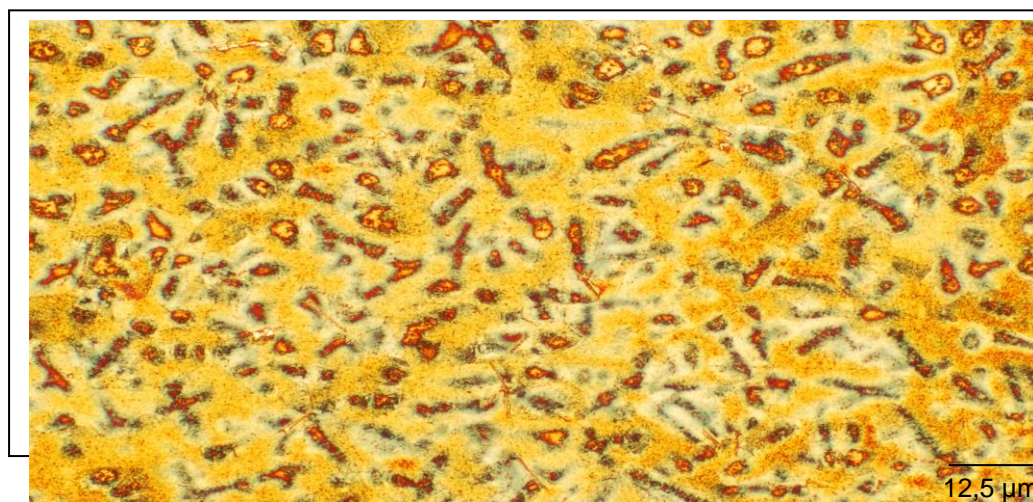
Dari percobaan ini terdapat korelasi antara penambahan unsur Nb dan waktu pemanasan terhadap kekerasan serta mikrostruktur yang terjadi dimana pada penambahan unsur Nb dan waktu pemanasan yang semakin lama nilai kekerasan semakin menurun demikian sebaliknya.



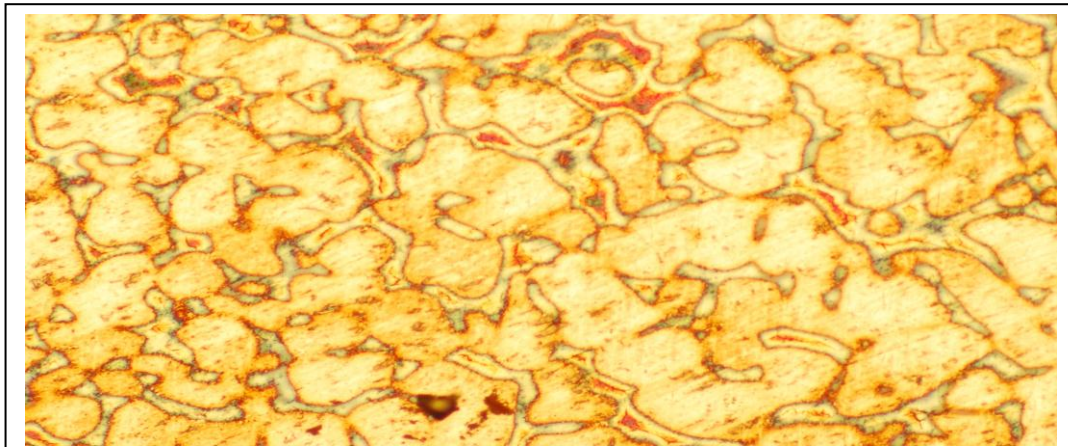
Gambar 2. Mikrostruktur Paduan U10Zr1%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 2 jam



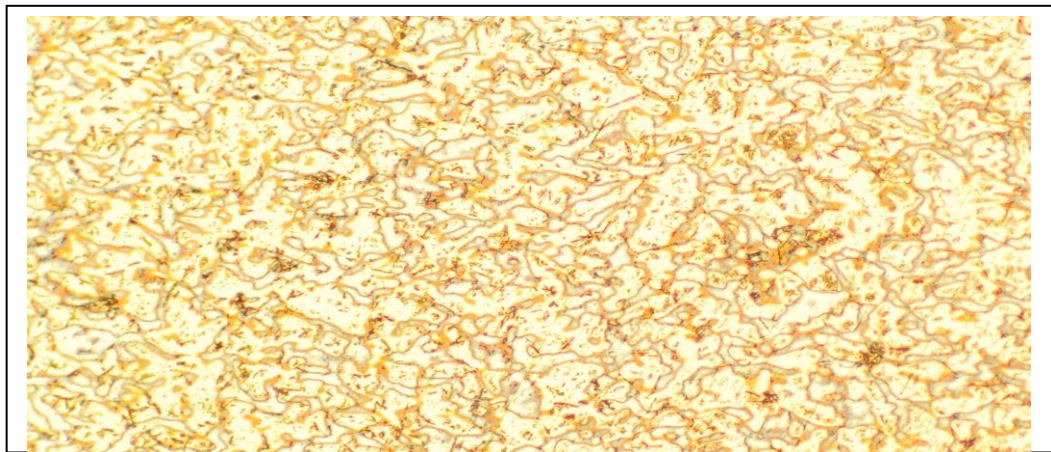
Gambar 3. Mikrostruktur Paduan U10Zr1%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 4 jam



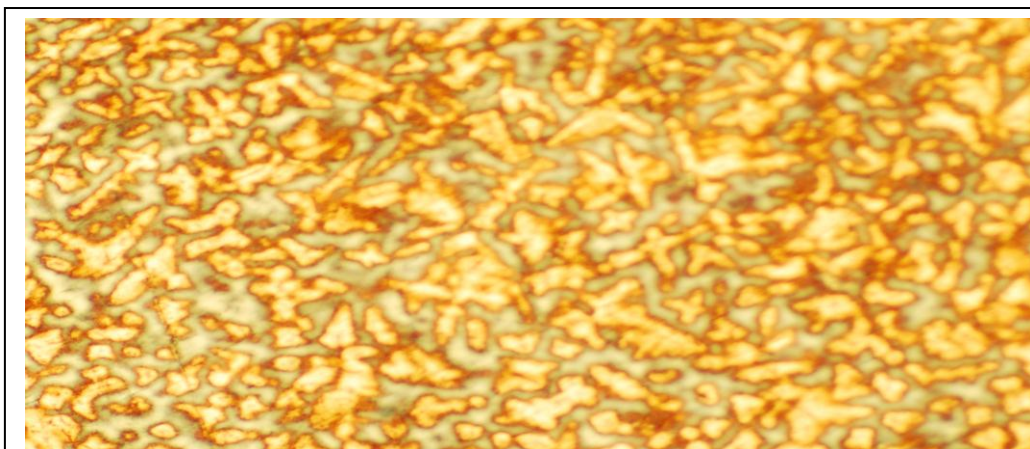
Gambar 4. Mikrostruktur Paduan U10Zr1%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 6 jam

12,5  $\mu\text{m}$ 

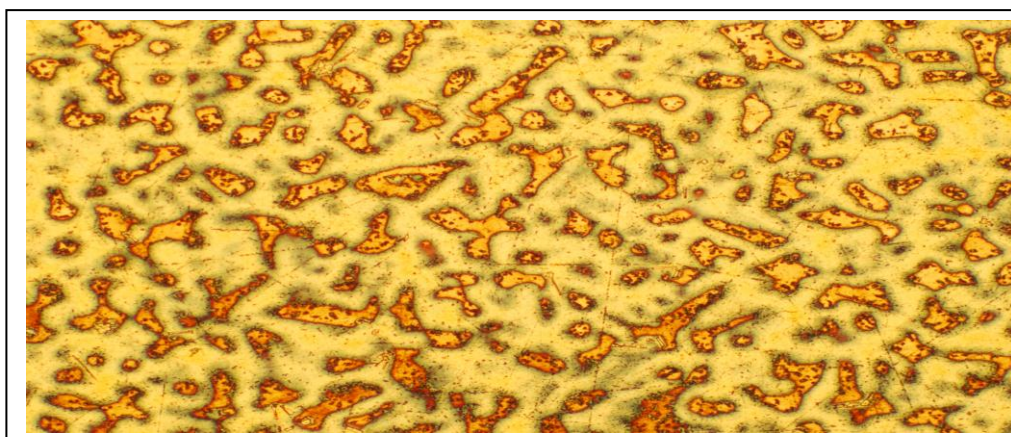
Gambar 5. Mikrostruktur Paduan U10Zr4%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 2 jam

12,5  $\mu\text{m}$ 

Gambar 6. Mikrostruktur Paduan U10Zr4%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 4 jam

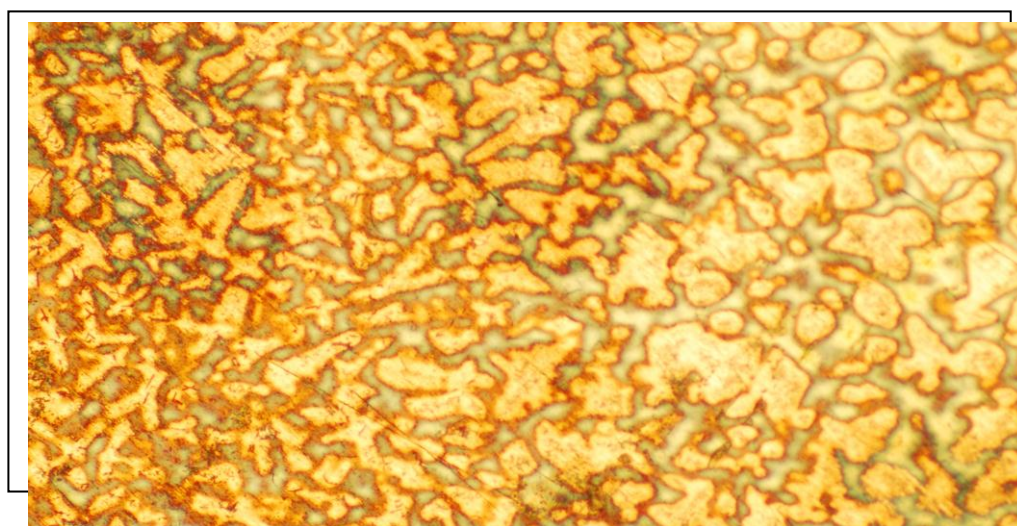
12,5  $\mu\text{m}$ 

Gambar 7. Mikrostruktur Paduan U10Zr4%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 6 jam



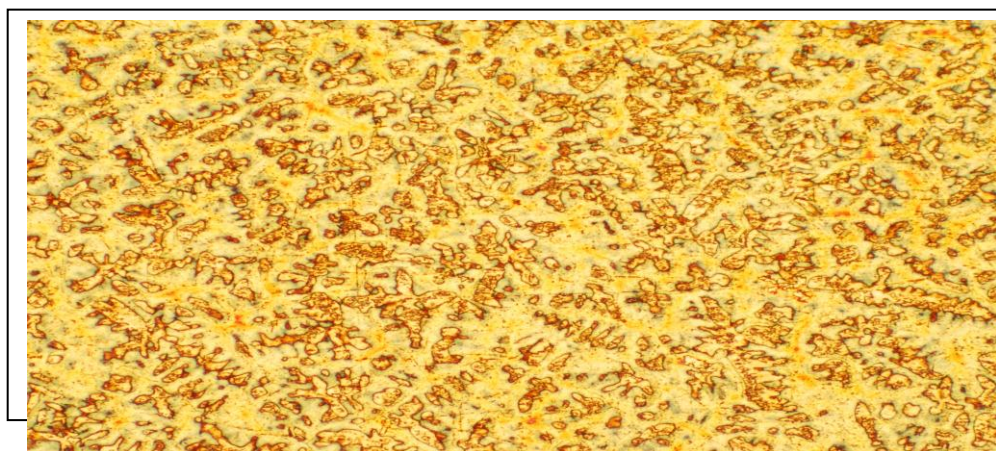
12,5  $\mu\text{m}$

Gambar 8. Mikrostruktur Paduan U10Zr7%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 2 jam



12,5  $\mu\text{m}$

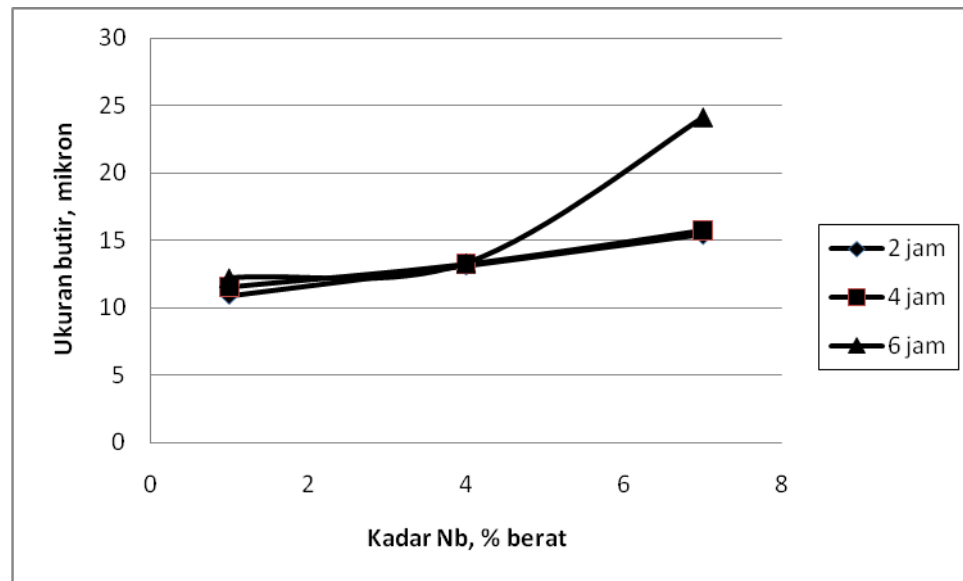
Gamba 9. Mikrostruktur Paduan U10Zr7%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 4 jam



12,5  $\mu\text{m}$

Gamba 10. Mikrostruktur Paduan U10Zr7%Nb dipanskan pada temp 325 °C selama 6 jam





Gambar 11. Kurva Kadar Nb terhadap ukuran butir paduan UZrNb

## SIMPULAN

Percobaan penambahan unsur Nb ke dalam UZr membentuk UZrNb yang dipanaskan pada temperatur tetap 325 °C dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Nb yang semakin besar secara umum akan menurunkan kekerasan paduan UZrNb yang terbentuk. Sebagai contoh kekerasan UZrNb dengan kadar Nb 1% sebesar 814 VHN yang dipanaskan pada temperatur 325 °C selama 2 jam menjadi 845,9 VHN apabila Nb sebesar 4% dan menjadi 661,9 HVN pada kandungan Nb sebesar 7%. Demikian pula apabila paduan UZrNb yang mempunyai kandungan tetap yang dipanaskan pada temperatur tetap, tetapi waktu pemanasan yang semakin lama maka nilai kekerasan menurun. Pada paduan UZrNb dengan kadar Nb 1% yang dipanaskan selama 2 jam mempunyai

kekerasan sebesar 814 VHN akan menjadi 774,7 VHN pada saat dipanaskan selama 4 jam dan menjadi 661 HVN pada saat dipanaskan selama 6 jam. Hasil pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan pada penambahan unsur Nb sebesar 1% ke dalam paduan UZr membentuk UZrNb dan dipanaskan pada temperatur tetap 325 °C akan membentuk paduan UZrNb yang mempunyai ukuran butir yang semakin besar yakni dari 10,9 µm menjadi 13,1 µm

pada kadar Nb 4%. Sementara itu hasil pemeriksaan mikrostruktur pada paduan UZrNb dengan kadar Nb tetap dan dipanaskan pada temperature 325 °C dan waktu pemanasan ditingkatkan dari 2 jam menjadi 4 jam akan menghasilkan paduan UZrNb dengan ukuran butir dari 10,9 µm menjadi 11,5 µm.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Instalasi Elemen Bakar Eksperimental , PTBN, Panduan Kegiatan Tahun 2010, Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang.
2. Masrukan , Agoeng Kadaryono (2010). Pengaruh proses *Quenching* Terhadap Laju Korosi Bahan Bakar Paduan UZr. Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN, 6 (1), 41-49.
3. Kaufman A, (1972). Nuclear Reactor Fuel Elements, Metallurgy and

- Fabrication, U S Atomic Energy Commission, New York Interscience Publishers, Jhon Wiley and Sons. Halaman 82.
4. Vander Vort (1984). Metallography Principles and Practice, Mc Graw Hill Book Company, New York. Halaman 601.
  5. ASTM E-112-88 (1996). Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, ASTM International, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA.

### LAMPIRAN

Hasil pengujian kekerasan paduan UZrNb dengan menggunakan uji kekerasan mikro Vikers

Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai kekerasan UZrNb setelah dipanaskan

No	Kadar Nb (%)	Waktu pemanasan	Kekerasan (HVN)		
			2	4	6
1	1		814	774,7	614
2	4		845,9	742.6	552
3	7		661,9	701.4	530

Perhitungan ukuran butir dengan menggunakan cara Heyn

Perhitungan dengan cara Heyn menggunakan rumus :

$$Lk = \frac{n \cdot L}{V \cdot \sum Pk} \times 10^3$$

Dimana :

Lk = besar butir,  $\mu\text{m}$

n = jumlah garis uji

L = panjang garis, mm

V = perbesaran mikroskop

Pk = batas butir yang terpotong oleh garis

Hasil perhitungan ukuran butir ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran besar butir dengan menggunakan cara Heyn

No	Item	Besar butir, $\mu\text{m}$
1	U10%Zr1%Nb, dipanaskan selama 2 jam	10,9
2	U10%Zr1%Nb, dipanaskan selama 4 jam	11,5
3	U10%Zr1%Nb, dipanaskan selama 6 jam	12,2
4	U10%Zr4%Nb, dipanaskan selama 2 jam	13,1
5	U10%Zr4%Nb, dipanaskan selama 4 jam	13,2
6	U10%Zr4%Nb, dipanaskan selama 6 jam	13,3
7	U10%Zr7%Nb, dipanaskan selama 2 jam	15,4
8	U10%Zr7%Nb, dipanaskan selama 4 jam	15,7
9	U10%Zr7%Nb, dipanaskan selama 6 jam	24,1