

# PENYIAPAN DAN PERAKITAN ELEMEN BAKAR UJI BERBASIS U-Zr/Al MENGGUNAKAN URANIUM PENGKAYAAN 19,75 % <sup>235</sup>U

## Percobaan intermik bahan bakar U-Zr-Nb dengan pelat aluminium

Masrukan, Fajar Al Afghani, Slamet Pribadi, Yatno D.A, Maman Kartaman  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi percobaan intermik bahan bakar U-Zr-Nb dengan pelat aluminium. Mula-mula dibuat ingot paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb menggunakan tungku peleburan busur listrik. Ingot yang diperoleh dipotong-potong dengan ketebalan 2-3 mm dan diameter sekitar 5-6 mm selanjutnya ditutup menggunakan pelat Al pada salah satu sisinya serta dipress. Setelah dipress, ingot paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb dipanaskan pada temperatur 350°C dan 450 °C selama 1 jam. Setelah dipanaskan ingot dikenai beberapa pengujian antara lain mikrostruktur menggunakan mikroskop optik, kekerasan menggunakan uji kekerasan mikro, dan fasa dengan alat XRD. Hasil pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan masih terlihat batas antara lapisan (*interface*) U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb dengan lapisan Al dengan jelas. Semakin tinggi kandungan Nb semakin rapat *interface* antara kedua lapisan. Hasil pengujian kekerasan mikro terlihat bahwa kekerasan pada interface sulit diukur sedangkan pada daerah U-Zr-Nb menunjukkan kenaikan kekerasan pada pemanasan dari 350 °C menjadi 450 °C, sedangkan pada bagian Al terjadi penurunan kekerasan dengan kenaikan temperatur pemanasan dari 350 °C menjadi 450 °C. Terbentuk senyawa UO<sub>3</sub> pada semua sampel uji sedangkan fasa  $\gamma$ -U terbentuk pada sampel U-6Zr-2Nb baik yg dipanaskan pada temperature 350°C maupun 450 °C.

**Kata kunci** : Intermik, paduan U-Zr-Nb, aluminium, mikrostruktur, kekerasan, fasa.

### PENDAHULUAN

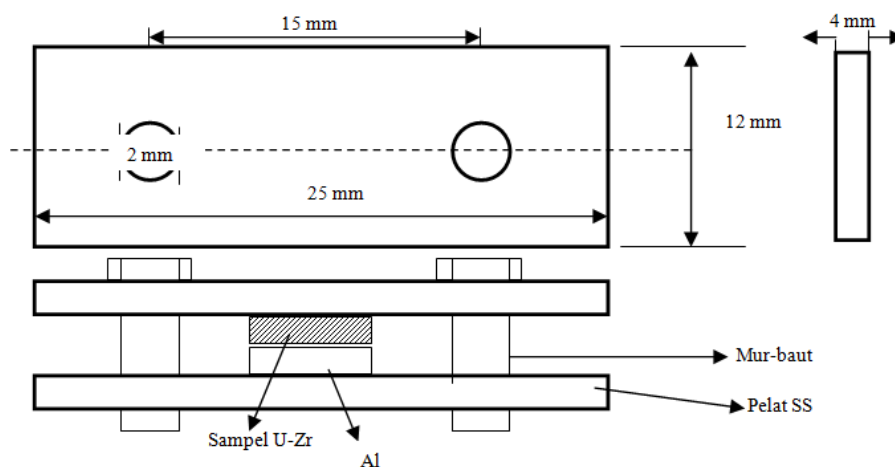
Salah satu tugas Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) adalah mengembangkan bahan bakar reaktor daya maupun riset. Pengembangan bahan riset ditujukan untuk mendapatkan bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi. Sesuai dengan tugas Renstra PTBBN, dalam penelitian ini dilakukan pengembangan bahan bakar reaktor riset berbasis U-Zr, dimana pengembangan bahan bakar reaktor riset berbasis U-Zr mulai dilakukan sejak tahun 2007<sup>[1]</sup>. Pada saat ini reaktor riset RSG Siwabessy menggunakan bahan bakar paduan uranium silisida (U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al), tetapi paduan uranium silisida tersebut mempunyai kelemahan dalam mendaur ulang logam Si<sup>[2]</sup>. Oleh karena itu perlu dicari bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar uranium silisida tersebut. Salah satu paduan uranium yang dikembangkan di PTBBN selain paduan berbasis U-Mo yaitu paduan U-Zr. Pengembangan bahan bakar berbasis U-Zr ini didasarkan kepada beberapa pertimbangan antara lain mempunyai densitas tinggi, serapan neutron rendah, mudah difabrikasi, mudah dilakukan olah ulang<sup>[3,4]</sup>.

Penelitian pengembangan pembuatan bahan bakar berbasis U-Zr telah banyak dilakukan diantaranya oleh Balart dkk yang telah membuat bahan bakar paduan U-4Zr-2Nb dengan densitas  $3,17 \text{ g U/cm}^3$ . Berdasarkan hasil uji irradiasi, sifat neutronik dan fabrikasi diperoleh bahwa bahan bakar paduan U-4Zr-2Nb cukup baik sebagai bahan bakar bila densitas paduan mencapai  $8,0 \text{ g U/cm}^3$ <sup>[4]</sup>. Percobaan pembuatan pelat elemen bakar (PEB) di PTBBN dengan kandungan Zr sebesar 6% (U-6Zr) dengan densitas sebesar  $5,2 \text{ g/cm}^3$  dan telah dikenai pengujian meliputi pengujian tidak merusak maupun merusak diperoleh hasil yang cukup baik<sup>[5]</sup>. Pengembangan PEB selanjutnya dilakukan dengan menambahkan unsur Nb ke dalam paduan U-Zr dengan tujuan untuk memperbaiki sifat paduan U-Zr pada temperatur tinggi karena unsur Nb akan memperluas daerah fasa gamma. Dalam keadaan fasa gamma, bahan bakar menjadi lebih stabil. Dalam fabrikasi menjadi PEB maupun penggunaannya di reaktor, bahan bakar akan berinteraksi dengan kelongsong dalam kondisi panas. Hal ini akan mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar pada saat digunakan didalam reaktor. Bahan bakar diusahakan tidak berinteraksi dengan bahan kelongsong yang terbuat dari paduan Al sehingga membentuk senyawa atau fasa baru. Terbentuknya fasa baru akan mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar yang digunakan<sup>[6]</sup>. Untuk mengetahui keadaan yang dapat terjadi akibat interaksi antara bahan bakar dengan kelongsong maka dalam penelitian ini dilakukan simulasi dengan cara memanaskan bahan bakar U-Zr-Nb yang dibungkus dengan pelat Al dan dikenai pemanasan. Bahan bakar dan pelat Al yang telah dipanaskan selanjutnya dikenai beberapa pengujian diantaranya pemeriksaan mikrostruktur, sifat mekanik, dan fasa yang terbentuk. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara bahan bakar U-Zr-Nb dengan pelat Al akibat pemanasan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diperoleh data yang dapat digunakan untuk pengembangan penggunaan paduan U-Zr-Nb lebih lanjut.

## **METODOLOGI**

Paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb hasil peleburan dipotong-potong dengan dimensi ketebalan 2-3 mm, diameter sekitar 5-6 mm. Paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb yang telah dipotong-potong dirangkai untuk percobaan intermik terhadap kelongsong Al seperti pada Gambar 1. Sampel yang telah dirakit selanjutnya dipanaskan di dalam tungku pemanas dengan temperatur pemanasan pada 350 dan 450 °C selama 1 jam. Sampel paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb yang telah dipanasi dikarakterisasi untuk mengetahui mikrostruktur, sifat mekanik (kekerasan) dan fasa yang terbentuk. Pemeriksaan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik, kekerasan

menggunakan uji kekerasan mikro sedangkan fasa dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD). Untuk dapat dikenai pemeriksaan mikrostruktur dan kekerasan, terlebih dahulu sampel paduan U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb di *mounting* dan dipoles menggunakan mesin gerinda serta polish dengan pasta alumina. Setelah permukaan halus selanjutnya di etsa menggunakan campuran larutan  $\text{HNO}_3$  dan HF serta dikenai pengujian-pengujian. Pemeriksaan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200 kali, sedangkan pengujian fasa menggunakan XRD dilakukan menggunakan XRD dari sudut 30 hingga  $80^\circ$ . Hasil pengujian menggunakan peralatan XRD diolah dengan *software Hingscore*.

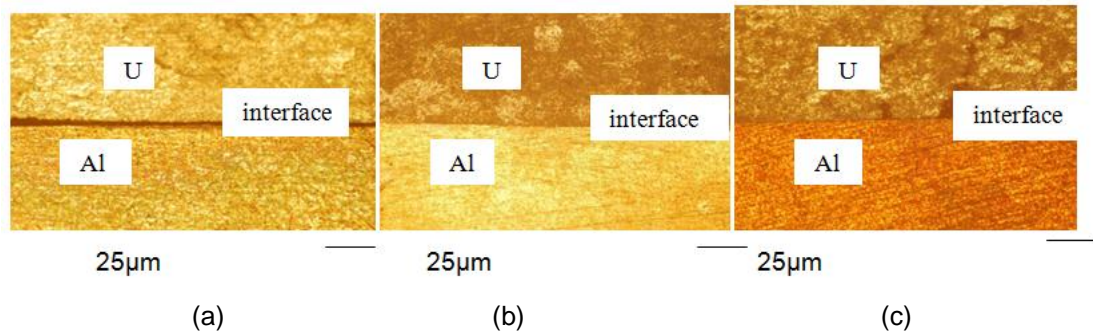


Gambar 1. Skema percobaan intermik pemanasan U-Zr-Nb

## HASIL DAN PEMBAHASAN

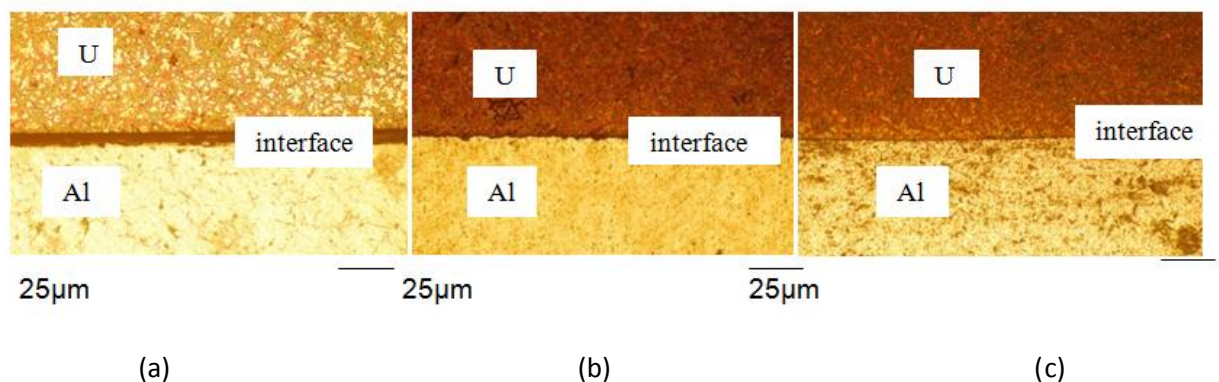
Hasil pemeriksaan mikrostruktur yang terbentuk ditampilkan pada Gambar 2.a, b dan c serta Gambar 3.a, b, dan c. Sementara itu, hasil pengujian kekerasan ditampilkan pada Gambar 4.a dan b, sedangkan hasil pengujian XRD ditampilkan pada Gambar 5.a, b, dan c serta Gambar 6.a, b, dan c. Gambar 2.a, b dan c untuk sampel U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb yang dipanaskan pada temperatur  $350^\circ\text{C}$  terlihat bahwa *interface* antara logam U-Zr-Nb dan Al semakin rapat bila kandungan Nb semakin tinggi. Sementara itu, mikrostruktur pada bagian logam U-Zr-Nb maupun Al tidak terlihat jelas karena sulitnya mengetsa dua logam yang berbeda. Demikian pula pada Gambar 3.a, b, dan c untuk sampel uji U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb yang dipanaskan pada temperatur  $450^\circ\text{C}$  terlihat *interface* yang terjadi antara logam U-Zr-Nb dan Al semakin rapat bila kandungan Nb semakin tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada kandungan unsur Nb yang semakin tinggi pada saat pemanasan menyebabkan semakin besar dorongan logam Nb ke arah

*interface* sehingga *interface* yang terbentuk semakin rapat. Apabila diamati dari *interface* terlihat jarak antara lapisan U-Zr-Nb dengan Al masih terlihat dengan jelas. Hal ini menunjukkan bahwa kedua bagian lapisan masih belum menyatu. Keadaan ini bisa disebabkan waktu pemanasan kurang lama sehingga waktu kontak dalam keadaan panas tidak cukup membuat kedua lapisan menyatu.



Gambar 2. Mikrostruktur hasil pemanasan sampel pada temperatur 350 °C

a. U-6Zr-2Nb, b. U-6Zr-5Nb, dan c. U-6Zr-8Nb

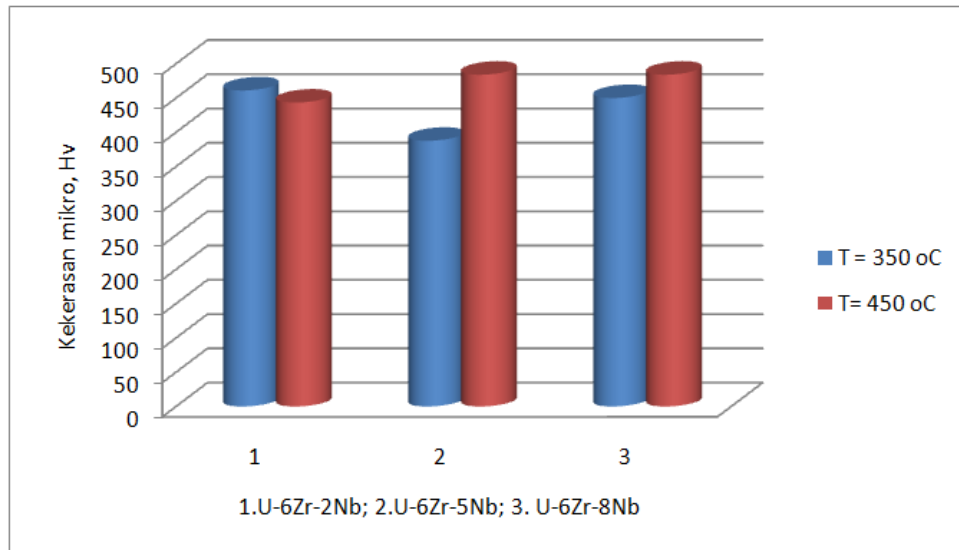


Gambar 3. Mikrostruktur hasil pemanasan sampel pada temperatur 450 °C

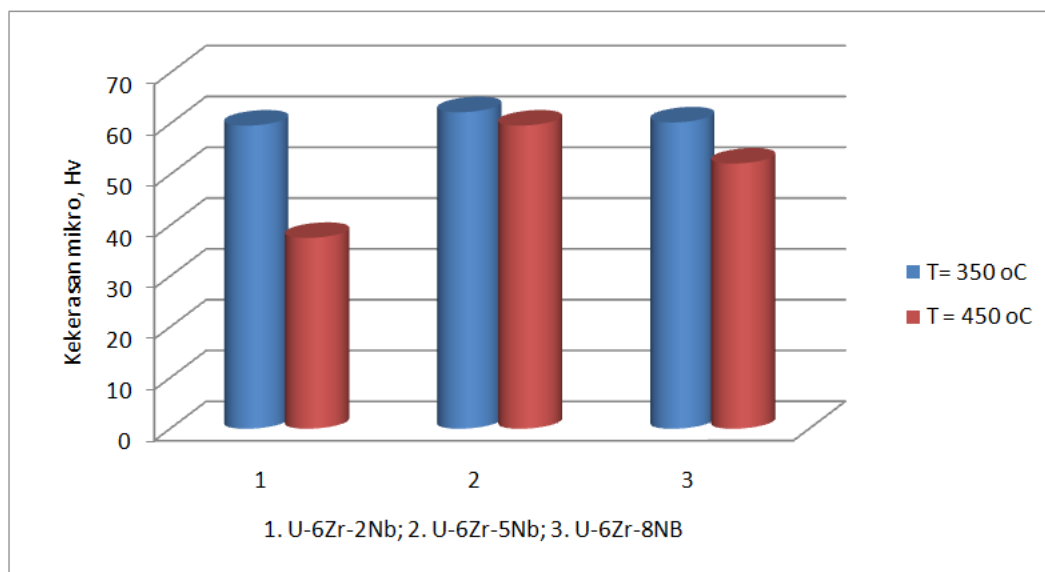
a. U-6Zr-2Nb, b. U-6Zr-5Nb, dan c. U-6Zr-8Nb

Gambar 4 a dan b menampilkan hasil uji kekerasan mikro pada bagian logam U-Zr-Nb dan Al setelah mengalami pemanasan pada temperatur 350 °C dan 450 °C. Pada sampel uji U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb dan U-6Zr-8Nb yang dipanaskan pada temperature 350 °C mengalami penurunan kekerasan dari 461,125 Hv menjadi 387,7 Hv bila kandungan Nb naik dari 2 % menjadi 5% kemudian turun menjadi 450,025 Hv pada kandungan Nb 8%. Pada bagian logam Al terjadi kenaikan kekerasan dari 59,65 Hv menjadi 62,275 Hv dan turun menjadi 60,275 Hv bila kandungan Nb di dalam sampel uji U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb naik dari 2 menjadi 5 % dan 8 %. Pengujian kekerasan sampel uji U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb yang dipanaskan pada temperatur 450 °C terlihat pada

bagian logam U-Zr-Nb mengalami kenaikan kekerasan dari 443,46 Hv menjadi 484,12 Hv bila kandungan Nb naik dari 2 menjadi 5 % dan 8 %. Sementara itu, pada bagian logam Al terjadi kenaikan kekerasan dari 37,55 Hv menjadi 59,66 Hv kemudian mengalami penurunan menjadi 52,18 Hv.



(a)

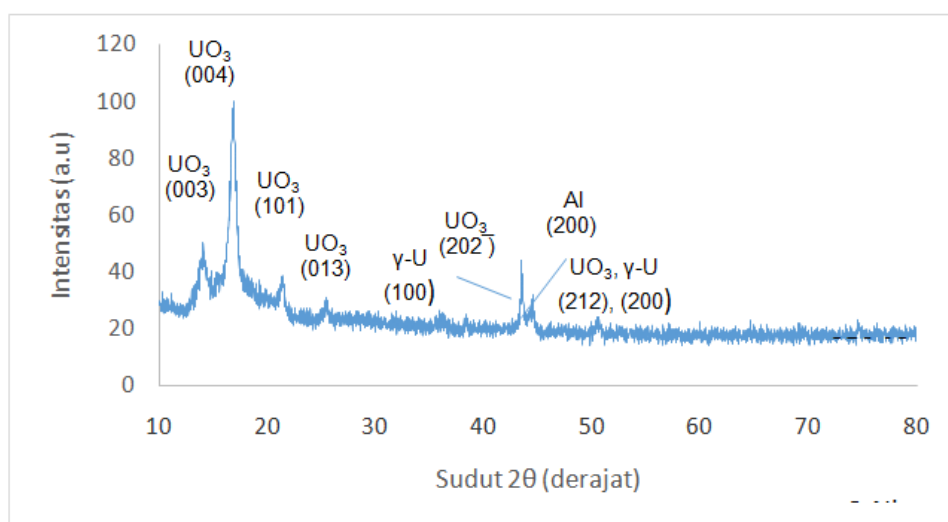


(b)

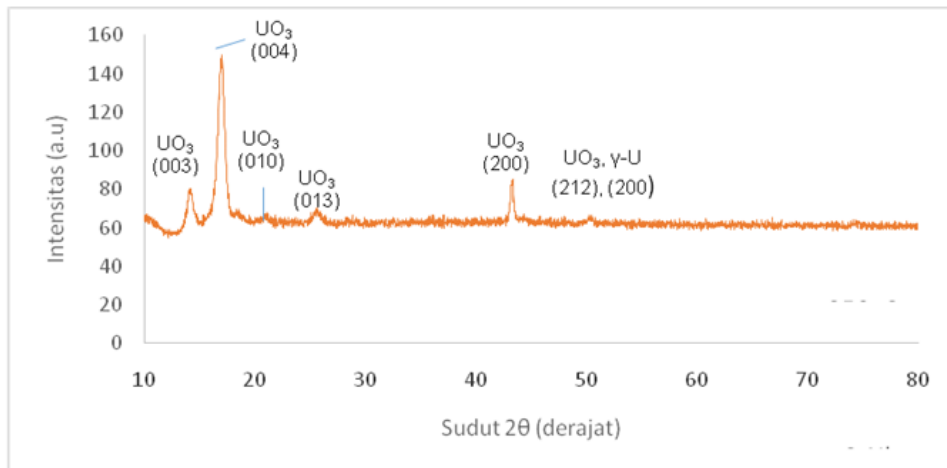
Gambar 4. Hasil uji kekerasan mikro setelah pemanasan pada 350 °C dan 450 °C

- a. Lapisan U,
- b. Lapisan Al

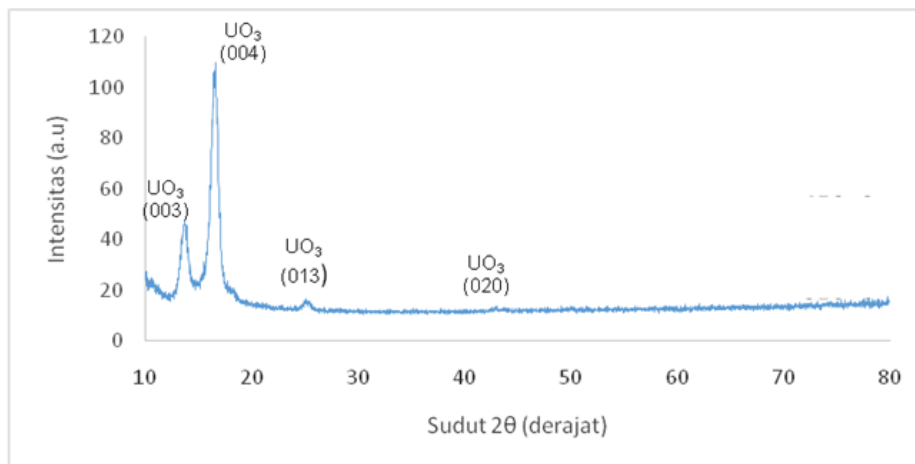
Gambar 5.a,b, dan c yang menampilkan hasil pengujian fasa dari sampel yang dipanaskan pada temperature 350 °C . Analisis dengan menggunakan XRD menunjukkan terbentuknya oksida  $UO_3$ , fasa  $\gamma U$  dan fasa Al. Senyawa  $UO_3$  terbentuk pada semua sampel uji, fasa  $\gamma U$  pada sampel U-6Zr-2Nb dan U-6Zr-5Nb sedangkan logam Al hanya pada U-6Zr-2Nb. Senyawa  $UO_3$  muncul pada sudut  $2\theta$  berturut-turut 14,02, 16,76 dan 43,45°; fasa  $\gamma U$  muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 36,05 dan 50,45° sedangkan Al muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 44,37. Gambar 6.a,b, dan c yang merupakan hasil pemanasan pada temperature 450 °C menunjukkan terbentuknya senyawa  $UO_3$ , fasa  $\gamma U$  dan Al ( $\alpha$ ). Senyawa  $UO_3$  dan Al ( $\alpha$ ) pada semua sampel uji sedangkan fasa  $\gamma U$  hanya pada sampel U-6Zr-2Nb. Senyawa  $UO_3$  muncul pada sudut  $2\theta$  berturut-turut sebesar 14,02; 16,76 dan 43,45°; logam Al muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 44,37° sedangkan fasa  $\gamma U$  muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 36,05 dan 50,45 °. Munculnya senyawa  $UO_3$  disebabkan terjadinya oksidasi baik pada saat preparasi sampel maupun pada saat pemanasan yang terbuka sehingga oksigen dari udara dalam kondisi panas mengoksidasi logam U. Fasa  $\gamma U$  terbentuk karena adanya penambahan logam Nb ke dalam paduan U-Zr, dimana keberadaan logam Nb akan memperluas daerah fasa  $\gamma U$ . Dari pengujian menggunakan peralatan XRD tidak terlihat adanya interaksi antara U-Zr-Nb dengan Al yang dapat membentuk  $UAl_3$ . Terbentuknya senyawa  $UAl_3$  sedapat mungkin dihindari di dalam bahan bakar. Pembentukan  $UAl_3$  memberikan kontribusi terjadinya *swelling* tetapi tidak merupakan faktor dominan<sup>[7]</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan pada temperature 350 °C hingga 450 °C tidak menyebabkan timbulnya senyawa yang dapat mengganggu kinerja bahan bakar.



(a)

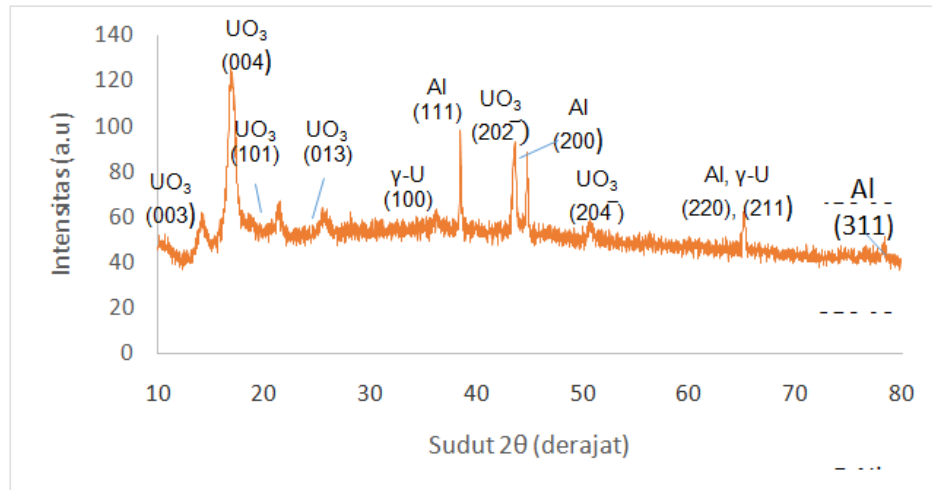


(b)

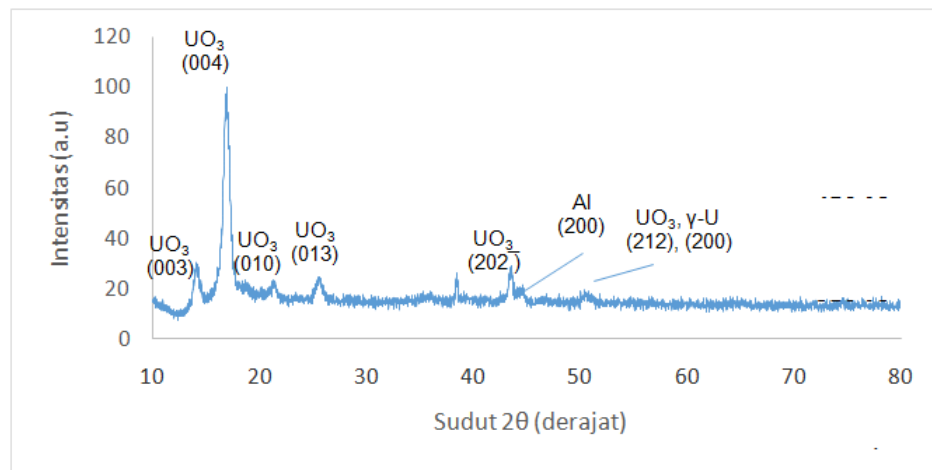


(c)

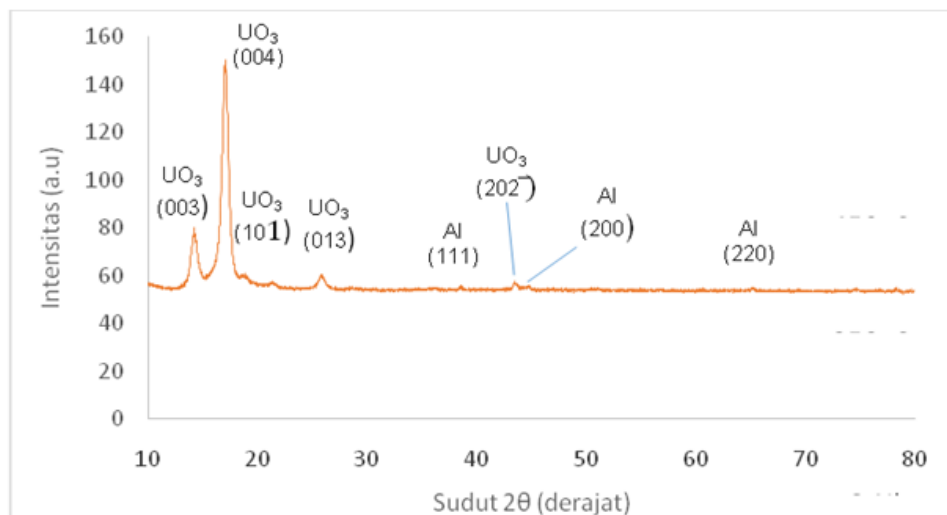
Gambar 5. Pola difraksi hasil pemanasan sampel pada temperatur 350°C



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Pola difraksi sampel hasil pemanasan pada temperatur proses 450°C  
a. U-6Zr-2Nb, b. U-6Zr-5Nb, dan c. U-6Zr-8Nb



## KESIMPULAN

Hasil pengujian intermik antara bahan bakar U-Zr-Nb menunjukkan belum menghasilkan ikatan yang rapat antara bahan bakar U-6Zr-2Nb, U-6Zr-5Nb, dan U-6Zr-8Nb dengan pelat Al yang dipanaskan pada temperatur 350°C dan 450 °C. Semakin tinggi kandungan Nb semakin rapat ikatan antara bahan bakar U-Zr-Nb dengan pelat Al. Kekerasan pada interface sulit diukur sedangkan pada daerah U-Zr-Nb menunjukkan kenaikan kekerasan pada pemanasan dari 350 °C menjadi 450 °C, sedangkan pada bagian Al terjadi penurunan kekerasan pada kenaikan temperatur pemanasan dari 350 °C menjadi 450 °C. Terbentuk senyawa  $UO_3$  pada semua sampel uji sedangkan fasa  $\gamma$ -U terbentuk pada sampel U-6Zr-2Nb baik yg dipanaskan pada temperatur 350 °C maupun 450 °C.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Masrukan, M. Husna Al Hasa, Suyoto, Yatno D.A . Program Pemanfaatan Uranium Diperkaya 20 % di IEBE. Laporan Teknis PTBBN, tahun 2014.
2. Supardjo, H. 2. Suwarno dan A. Kadarjono. Karakteristik Paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si ( $x=1, 2$  dan 3%). Hasil Peleburan dalam Tungku Busur Listrik, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania", Vol. 15 No. 4, Oktober 2009: 171 - 232. 3
3. A. Landa, P. Söderlind, P. E.A. Turchi. Density-functional study of U-Mo and U-Zr alloys. Journal of Nuclear Materials, November , 2, 2010.
4. Rafael Witter Dias Pais, Ana Maria Matildes dos Santos, Fernando Soares Lameiras and Wilmar Barbosa Ferraz . Isothermal Phase Transformation of U-Zr-Nb Alloys for Advanced Nuclear Fuels, Intech Published, 2013.
5. Balart dkk , Progress on LEU Very High density Fuel And Target Development in Argentina", RFM Meeting, 30 April- 3 Mey 2006, Sofia, Bulgaria.
6. Masrukan, Pembuatan Pelat Eleman Bakar Mini U-6Zr/Al Untuk Bahan Bakar Reaktor Riset", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah (PPIS), Badan Standarisasi Nasional (BSN), Bali, 8 Mei 2012. ISSN: 0853-9677.
7. Supardjo. Studi Sifat Bahan Bakar Uranium Silisida Akibat Iradiasi. Prosiding Pesentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir II PEBN-BATAN Jakarta, 19-20 Nopember 1996.