

KARAKTERISTIK INGOT PADUAN U-Zr-Nb PASCA PROSES *QUENCHING*

Masrukan, Jan Setiawan

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

e-mail : masrukan2006@yahoo.com

(Naskah diterima: 12-05-2017, Naskah direvisi: 13-06-2017, Naskah disetujui: 28-06-2017)

ABSTRAK

KARAKTERISTIK INGOT PADUAN U-Zr-Nb PASCA PROSES *QUENCHING*. Telah dilakukan percobaan perlakuan panas (*quenching*) paduan U-Zr-Nb yang bervariasi komposisi Nb. Ingot paduan U-Zr-Nb dengan komposisi Nb yang bervariasi yakni 1%, 4% dan 7% dan komposisi Zr tetap 10% dibuat melalui peleburan logam U, Zr dan Nb di dalam tungku busur listrik. Percobaan perlakuan panas (*quenching*) dimaksudkan untuk mengubah fasa α U yang tidak stabil menjadi fasa γ U yang stabil. Pada percobaan *quenching*, ingot paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb dimasukkan ke dalam ampul yang terbuat dari pelat baja kemudian dimasukkan ke dalam tungku pemanasan dan dipanaskan pada temperatur 900 °C serta ditahan selama 2 jam untuk selanjutnya didinginkan dengan cepat di dalam air. Setelah di*quenching* dikenai pengujian fasa dan pemeriksaan mikrostruktur. Pengujian fasa dilakukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD) yang datanya diolah menggunakan *software High Score*, sedangkan pemeriksaan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik. Hasil pengujian dengan XRD menunjukkan bahwa paduan U-10Zr-1Nb sebelum di*quenching* terdiri dari fasa α U dan paduan U-10Zr-4Nb terdiri dari fasa α U sebesar 23,1504% dan fasa γ U sebesar 76,8495%, sedangkan pada U-10Zr-7Nb terdiri dari fasa α U sebesar 34,1873% dan fasa γ U sebesar 65,8127%. Paduan U-10Zr-1Nb setelah di*quenching* terdiri fasa α U, sedangkan paduan U-10Zr-4Nb terdiri dari fasa α U sebesar 44,6711% dan fasa γ U sebesar 55,3289%, paduan U-10Zr-7Nb terdiri dari fasa α U sebesar 17,9918% dan fasa γ U sebesar 82,0082%. Hasil analisis densitas teoritis terhadap fasa yang terbentuk pada paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb baik sebelum maupun setelah di*quenching* diperoleh ingot paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb menunjukkan bahwa densitas fasa α U dan fasa γ U mengalami penurunan sedikit apabila kandungan Nb semakin rendah. Sementara itu, hasil pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada kandungan Zr yang semakin tinggi (7% Nb) terbentuk butir lebih kecil (halus) setelah mengalami *quenching*. Dapat disimpulkan bahwa proses *quenching* paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, dan U-10Zr-7Nb akan mengubah fasa dari fasa α U menjadi fasa γ U dan mikrostruktur yang terbentuk. Perubahan mikrostruktur menunjukkan bahwa kandungan Nb yang semakin tinggi maka butir yang terbentuk menjadi semakin halus.

Kata kunci: mikrostruktur, U-Zr-Nb, *quenching*, fasa, densitas.

ABSTRACT

INGOT CHARACTERISTIC OF U-Zr-Nb ALLOYS POST QUENCHING PROCESS. *The U-Zr-Nb heat-quenching experiment has been subjected to various Nb compositions. Ingots of U-Zr-Nb alloys with varying Nb compositions are 1%, 4% and 7% and a fixed 10% Zr composition is made by melting U, Zr and Nb metals in an electric arc furnace. The quenching experiment is intended to convert an unstable phase α U into stable γ U phase. Quenching experiment is intended to convert an unstable phase α U phase into a stable γ U phase. In quenching experiments, the U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb ingot ingredients were fed into box that made of steel plate and then fed into a heating furnace and heated at 900 °C and held for 2 hours for then cooled rapidly in water. After quenched then subjected to phase testing and microstructure observation. The phase test is performed using X-ray diffraction (XRD) and the data is processed using High Score software, while the microstructure observation using optical microscope. Test results with XRD showed that the U-10Zr-1Nb alloy before quenched consisted only of an α U phase, the U-10Zr-4Nb alloy consist of 23,1504% α U phases and 76,8495% γ U phases, while U-10Zr-7Nb consist of 34,1873% α U phases and 65,8127% γ U phases. For U-10Zr-1Nb alloys after quenched consist of an α U phase, the U-10Zr-4Nb alloy consist of 44% α U phases and 46% γ U phases, the U-10Zr-7Nb alloy consisted of 19% α U and 81% phases γ U. For U-10Zr-1Nb alloys after quenched consist of an α U phase, the U-10Zr-4Nb alloy consisted of 44,6711% α U phases and 55,3289% γ U phase, the U-10Zr-7Nb alloy consist of 17,9918% α U phases and of 82,0082% γ U phases. The results of the theoretical density analysis on the phases formed on U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb alloys both before and after quenched were obtained that ingots of U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb alloy U-10Zr-7Nb shows that the α U and γ U phase densities decrease slightly if the Nb content is lower. Meanwhile, microstructure observation results showed that in the higher of Zr content (7% Nb) will formed smaller grains (fine) after quenching. It can be concluded that the quenching process of U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb and U-10Zr-7Nb alloys will change the phase that is from the α U phase to γ U and the change the microstructure formed. The microstructural changes show that in the higher Nb content, the grains that are formed become more fine.*

Keywords: *microstructure, U-Zr-Nb, quenching, phase, density*

PENDAHULUAN

Salah satu tugas yang dilakukan oleh Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir adalah mengembangkan bahan bakar untuk reaktor riset yang mempunyai densitas tinggi. Pengembangan bahan bakar berdensitas tinggi ini dimaksudkan untuk mengganti bahan bakar dari paduan uranium silisida (U_3Si_2/Al) yang sampai saat ini digunakan di RSG GAS di Serpong. Hal ini sejalan dengan program *Reduced Enrichment for Research and Test Reactor* (RERTR) yang dimotori oleh USA pada tahun 1978 yang mencanagkan penggunaan bahan bakar reaktor riset dari pemakaian uranium berpengkayaan tinggi (HEU) menjadi berpengkayaan rendah <20% (LEU)[1]. Penggantian bahan bakar uranium silisida karena bahan bakar tersebut selain sulit untuk memisahkan Si dari hasil fabrikasi juga mempunyai keterbatasan tingkat muat uraniumnya (TMU) yang hanya sekitar $4,8gU/cm^3$ [2]. Beberapa paduan uranium sedang dikembangkan untuk mengganti bahan bakar uranium silisida diantaranya adalah : U-Cr, U-Mo, U-Nb, U-Re, U-Ru, U-Ti, U-V dan U-Zr.

Bahan bakar paduan berbasis U-Zr merupakan salah satu bahan yang dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif untuk mengganti bahan bakar reaktor riset. Beberapa peneliti telah mengembangkan bahan bakar tersebut seperti A. Landa, P. Soderlind, P. E. A. Turchi yang telah mempelajari pembuatan bahan bakar U-Mo dan U-Zr[3]. Pembuatan bahan bakar U-Zr-Nb juga telah dicoba dibuat oleh peneliti Bruno dkk yang membuat serbuk paduan U-Zr-Nb yang dipasivasi menggunakan teknik *hidriding-dehidriding*[4]. Masrukan,dkk telah melakukan pengembangan bahan bakar dari paduan U-Zr dimulai dari pembuatan ingot U-Zr, *heat treatment*, pembuatan serbuk hingga pembuatan Pelat Elemen Bakar (PEB) mini[5]. Paduan U-Zr pada temperatur kamar didominasi oleh fasa alpha (αU) dan sisanya $\delta 1$ (UZr_2), dimana pada kondisi

tersebut paduan U-Zr tidak stabil karena dapat mengalami *swelling* pada saat diirradiasi. Untuk membuat bahan bakar tersebut menjadi stabil maka paduan U-Zr tersebut harus diubah menjadi fasa gamma (γU) yang lebih stabil. Perubahan dari fasa αU menjadi fasa γU dapat dilakukan dengan cara menambahkan unsur logam kedalam paduan U-Zr sehingga memperluas daerah fasa γU . Unsur logam yang ditambahkan ke dalam paduan U-Zr akan masuk baik secara substitusi atau interstisi ke dalam paduan U-Zr dan akan masuk ke dalam fasa αU sehingga struktur fasa αU berubah. Unsur logam yang dapat ditambahkan untuk memperluas fasa gamma diantaranya adalah logam Nb, Mo, Zr, Ti, Si[6,7]. Selain menambahkan unsur logam ke dalam paduan U-Zr, perubahan dari fasa αU menjadi fasa γU dapat pula dilakukan dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*) yaitu *quenching*. Dalam penelitian ini dilakukan proses *quenching* terhadap paduan U-Zr-Nb dengan tujuan untuk mendapatkan fasa γU . Proses perlakuan panas *quenching* selain dapat mengubah fasa juga dapat merubah mikrostruktur dan sifat mekanik dari paduan tersebut.

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen di dalam tungku pada temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh mikrostruktur logam disamping posisi kimianya. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduannya memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan kondisi tersebut maka

kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan. Ada empat macam perlakuan panas yaitu: (a). *quenching*, (b). *annealing*, (c). *normalizing*, dan (d). *tempering*[8,9].

a. Proses *quenching*

Pada dasarnya adalah proses pendinginan cepat yang dilakukan pada logam yang telah dipanaskan diatas temperatur kritisnya. Temperatur kritis besarnya adalah setengah dari titik cairnya dalam satuan derajat Kelvin (K). Pada proses *quenching* yang dilakukan terhadap paduan U-Zr-Nb dengan cara memanaskan daerah satu fasa yakni fasa γ U dan ditahan untuk waktu tertentu kemudian didinginkan cepat sehingga unsur Zr dan Nb yang larut padat dalam logam U akan terjebak tidak sempat keluar dan kembali menjadi fasa α U dan δ 1 akan tetapi terperangkap dalam fasa γ U. Oleh karena itu proses *quenching* ini akan mengubah paduan U-Zr yang semula berfasa α U dan δ 1 menjadi fasa γ U. Selain itu proses *quenching* tersebut akan membuat paduan U-Zr-Nb menjadi lebih keras.

b. Pada proses *tempering*

Proses ini biasanya merupakan lanjutan dari proses *quenching* dan bertujuan untuk mengurangi kegetasan material hasil *quenching*. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material yang sudah di*quenching* pada temperatur di bawah temperatur kritisnya selama rentang waktu tertentu dan kemudian didinginkan secara perlahan. Dengan proses ini, keuletan logam/material dapat ditingkatkan tetapi kekerasan dan kekuatannya akan menurun. Proses temper dimaksudkan untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang tinggi

c. *Annealing*

Proses ini merupakan kebalikan proses *quenching* dan *tempering*. Dilakukan dengan memanaskan logam/material diatas

temperatur kritisnya, kemudian didinginkan secara perlahan-lahan. Hasil dari proses ini adalah logam/material dengan sifat yang sama dengan sebelum dilakukan pengerasan (lunak).

d. *Normalizing*

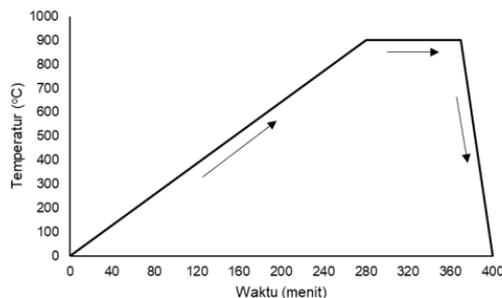
Pada dasarnya *normalizing* ini sama dengan *annealing*. Perbedaannya terletak pada waktu pemanasan yang lebih pendek dan laju pendinginan yang lebih cepat. Hasilnya adalah logam/material yang mempunyai sifat lebih kuat dan lebih keras dari logam/material yang di-*anneal* secara penuh tetapi lebih mendekati sifat kondisi yang di-*anneal* daripada dengan yang di-*temper*.

Pada penelitian ini dilakukan proses *quenching* dari paduan U-Zr-Nb dengan cara memanaskan pada temperatur 900 °C dan ditahan selama 2 jam kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan pendingin air. Pemanasan pada temperatur 900 °C dipilih karena pada temperatur tersebut paduan U-Zr-Nb berada pada daerah satu fasa yaitu γ U, sedangkan penahanan selama 2 jam agar unsur-unsur yang larut menjadi satu fasa γ U dapat larut secara sempurna dan homogen. Hasil *quenching* selanjutnya dikenai pengujian fasa dan mikrostruktur yang terjadi.

METODOLOGI

Paduan U-Zr-Nb dibuat dengan cara melebur logam U, Zr dan Nb di dalam tungku peleburan busur listrik yang beroperasi pada arus 125 A dan dilengkapi dengan sistem pendingin air. Pembuatan ingot dilakukan dengan memvariasikan logam Nb sedangkan logam Zr tetap sebesar 10 %berat dan logam U menyesuaikan. Logam Nb yang divariasikan berturut-turut sebesar 1%, 4% dan 7% (U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb). Ingot U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb yang dibuat berbentuk setengah lingkaran dengan diameter lingkaran 15 mm dan ketebalan 5 mm selanjutnya dimasukkan ke

dalam wadah berupa ampul yang terbuat dari pelat baja dengan ketebalan 1 mm dan ditutup rapat sehingga udara tidak bisa masuk ke dalam ampul. Wadah atau ampul yang berisi ingot U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, dan U-10Zr-7Nb dimasukkan ke dalam tungku pemanas untuk dikenai pemanasan pada temperatur 900 °C dan ditahan selama 2 jam. Setelah proses pemanasan selesai, wadah yang berisi ingot U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb dimasukkan ke dalam ember yang berisi air (proses *quenching*). Setelah proses *quenching* selesai, ingot U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb dikeluarkan dari dalam ampul untuk dilakukan proses pengujian lebih lanjut yaitu analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dan fasa menggunakan difraksi sinar-X (XRD) yang hasilnya dianalisis dengan metode Rietveld menggunakan *software High Score*. Sebelum dilakukan pengujian mikrostruktur dan XRD, ingot U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb dihaluskan dengan cara digerinda pada salah satu permukaannya dan dilanjutkan dengan pemolesan dengan menggunakan pasta alumina. Dalam melakukan pemeriksaan mikrostruktur permukaan sampel yang telah dipoles kemudian dietsa menggunakan campuran larutan HNO₃, HF dan H₂O. Skema jalannya proses *quenching* digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses *quenching* U-Zr-Nb

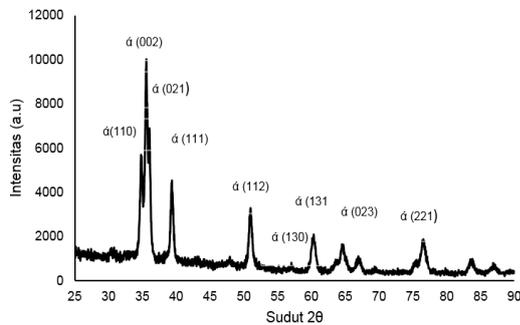
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis fasa

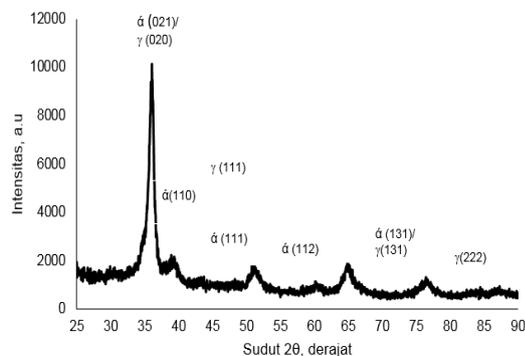
Gambar 2, 3, 4 dan 5 merupakan hasil analisis menggunakan XRD ingot paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb,

U-10Zr-7Nb sebelum di*quenching* dapat dilihat bahwa pada kadar Nb yang semakin tinggi maka fasa gamma (γ U) yang terbentuk akan semakin tinggi sedangkan fasa alpha (α U) semakin berkurang, bahkan pada kandungan Nb sebesar 1 % hanya terdapat fasa α U. Kondisi ini ditunjukkan oleh intensitas sinar yang muncul pada sudut 2θ yang ada. Pada Gambar 5 terlihat lebih jelas komposisi fasa dimana pada U-10Zr-1Nb hanya terdiri dari fasa α U, pada paduan U-10Zr-4Nb terdiri dari fasa α U sebesar 2,1504 % dan fasa γ U sebesar 7,8496 %, sedangkan pada U-10Zr-7Nb terdiri dari fasa α U sebesar 34,1873 % dan fasa γ U sebesar 65,8127 %. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan unsur Nb akan memperluas daerah fasa γ U dan penambahan unsur Nb yang semakin tinggi maka fasa γ U yang terbentuk akan semakin tinggi pula. Masuknya unsur Nb baik secara substitusi akan merubah struktur kristal dari fasa α U yang semula *orthorombic* menjadi berstruktur kristal *body centre cubic* (bcc) dan berfasa γ U. Di dalam bahan bakar nuklir khususnya untuk reaktor riset, dibutuhkan kondisi bahan bakar yang stabil. Bahan bakar paduan uranium akan stabil apabila berada dalam kondisi fasa γ U. Gambar 2 menunjukkan bahwa fasa α U pada U-6Zr-1Nb muncul pada sudut 2θ sebesar 34,8886; 35,5847; 35,5847; 39,436 dengan hkl masing-masing (110), (021), (002), (111) dan intensitas sebesar 53 %, 100 %, 47,16 % dan 67,97 %. Pada paduan U-6Zr-4Nb, terdapat dua fasa yakni fasa α U dan γ U seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan bahwa fasa α U muncul pada sudut 2θ sebesar 34,7499; 35,7233; 35,9263; dan 39,2881 dengan hkl masing-masing pada (110), (021), (002), dan (111) serta intensitas sebesar 20,25 %; 26,95 %; 14,53 % dan 15,5 %. Fasa γ U pada paduan U-6Zr-4Nb muncul pada sudut 2θ sebesar 35,8873; 36,2038; 64,7835; dan 65,40 dengan hkl masing-masing (020), (111), (131), (022) serta intensitas sinar masing-masing sebesar 54,58 %; 54,58 %; 13,58 % dan 5,69 %. Sama halnya pada paduan U-10Zr-4Nb, pada paduan U-10Zr-7Nb seperti ditunjukkan pada

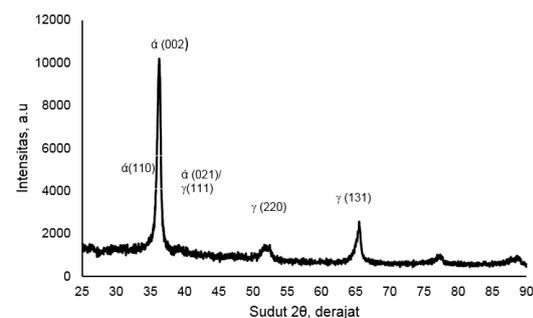
Gambar 4 juga terdapat dua fasa yakni fasa α U dan γ U. Fasa α U muncul pada sudut 2θ sebesar 35,8873; 36,20,38; 64,7835; dan 65,4003 dengan hkl masing-masing (020), (111), (131), (022) dengan intensitas sinar masing-masing sebesar 54,58 %; 100 %; 13,58 % dan 5,69 %. Apabila diamati dari komposisi fasa yang ada seperti pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada U-10Zr-1Nb hanya terdiri dari fasa α U, pada paduan U-10-4Nb terdiri dari fasa α U sebesar 23,15042 % dan fasa γ U sebesar 76,8495 % dan pada U-10Zr-7Nb terdiri dari fasa α U sebesar 34,1873 % dan fasa γ U sebesar 65,8127 %.



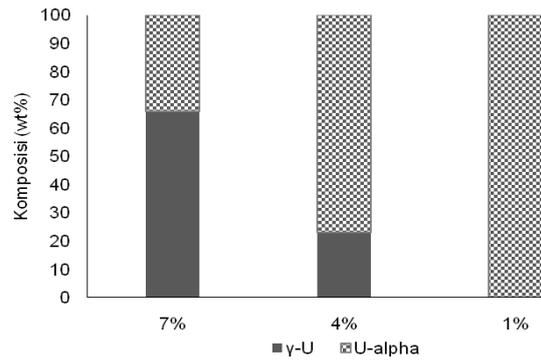
Gambar 2. Pola difraksi Ingot U-10Zr-1Nb sebelum *diquenching*



Gambar 3. Pola difraksi Ingot U-10Zr-4Nb sebelum *diquenching*



Gambar 4. Pola difraksi ingot U-10Zr-7Nb sebelum *diquenching*



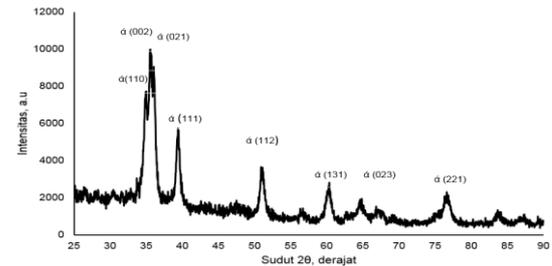
Gambar 5. Grafik batang komposisi (%) berat terhadap fasa yang terbentuk sebelum *diquenching*

Hasil analisis pada paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb pasca proses *quenching* ditampilkan pada Gambar 6, 7, 8 dan 9. Gambar 6 yang merupakan hasil pengujian XRD pada paduan U-10Zr-1Nb menunjukkan bahwa pada penambahan 1 % Nb yang dikenai proses *quenching* hanya terdapat fasa α U. Dengan demikian maka penambahan unsur Nb 1 % dan dikenai proses *quenching* ternyata tidak membe-rikan pengaruh pada perubahan fasa. Fasa α U muncul pada sudut 2θ sebesar 34,88; 35,58; 36,15; 39,46; dan 51,3 % dengan hkl masing-masing sebesar 110, 021, 002, 111, dan 112 dengan intensitas sinar masing-masing sebesar 53,8 %; 100 %, 47,16 %; 67,97 % dan 24,3 %. Pada paduan U-10Zr-4Nb setelah *diquenching* seperti ditunjukkan pada Gambar 7 terlihat bahwa paduan tersebut terdiri dari dua fasa yakni fasa α U dan fasa γ U. Demikian pula untuk paduan U-10Zr-7Nb dengan penambahan Nb sebesar 7 % terlihat fasa γ U yang semakin tinggi sedangkan fasa α U semakin berkurang. Keadaan ini dapat dilihat dari intensitas sinar yang muncul pada masing-masing fasa. Melalui pengolah data *software High Score* diperoleh komposisi masing-masing g fasa α U dan γ U seperti tertera pada Gambar 9. Komposisi masing-masing fasa pada Gambar 9 adalah untuk paduan U-10Zr-1Nb semua fasa α U, paduan U-10Zr-4Nb fasa α U sebesar 44,6711 % dan fasa γ U sebesar 55,3298 %, paduan U-10Zr-7Nb mempunyai kandungan fasa α U sebesar 17,9918 % dan fasa γ U sebesar 82,0082 %. Fasa α U muncul pada sudut 2θ

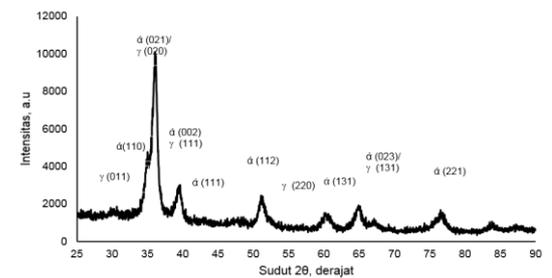
sebesar 34,19; 35,76; 36,35; 39,35; 51,21; dan 60,40 dengan hkl masing-masing sebesar 110, 021, 002, 111, 112 dan 131 dengan intensitas sinar masing-masing sebesar 38,03 %; 50,9 %; 26,48 %; 28,45 %; 19,855; dan 14,17 %. Untuk fasa γ U pada paduan U-10Zr-4Nb hasil *quenching* muncul pada sudut 2θ masing-masing sebesar 31,35; 35,96; 36,24; dan 64,67 dengan hkl masing-masing sebesar 011, 020, 111, 220 dan 131 dengan intensitas sinar masing-masing sebesar 73,71 %; 59,94 %; 100 %; 4,34 %; dan 5,49 %. Pada paduan U-10Zr-7Nb seperti pada paduan U-10Zr-4Nb yang terdiri dari dua fasa yakni fasa α U dan γ U. Fasa α U muncul pada sudut 2θ 34,8168; 35,8425; 36,413; 39,427; 60,441 dengan hkl masing-masing 110, 021, 002, 111, 112 dan intensitas sinar masing-masing sebesar 8,98 %; 12,02 %; 6,27 %; 7,36 %; 6,6 %. Sementara itu, fasa γ U muncul pada sudut 2θ berturut-turut sebesar 36,1112; 36,315; 52,17; 52,2481; 65,129 dengan hkl berturut-turut sebesar 020, 111, 220, 131, 022 dan intensitas sinar masing-masing sebesar 53,51; 100; 11,06; 15,6; 6,65. Hasil percobaan ini bersesuaian dengan hasil percobaan yang diperoleh oleh Rafael Witter dkk, dimana dari proses *quenching* paduan U-Zr-Nb diperoleh fasa α U, γ U dan δ UZr₂[10,11]. Apabila dilihat dari proses *quenching* kemudian dibandingkan antara paduan U-Zr-Nb yang belum *quenching* dengan yang telah *quenching* maka dapat diketahui bahwa pada penambahan Zr yang lebih tinggi (7 %) terjadi perubahan fasa yang signifikan. Pada U-10Zr-7Nb yang tidak *quenching* mempunyai kandungan fasa γ U sebesar 66 % dan α U sebesar 34 % maka setelah *quenching* fasa γ U menjadi sebesar 82,008 % dan fasa α U sebesar 17,992 %. Hal ini disebabkan pada saat proses *quenching*, unsur-unsur yang terlarut pada pemanasan temperatur tinggi dan kemudian didinginkan dengan cepat maka pada pendinginan cepat unsur yang terlarut tidak sempat kembali ke fasa semula dan tertahan dalam fasa γ U.

Analisis fasa yang terbentuk antara paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-

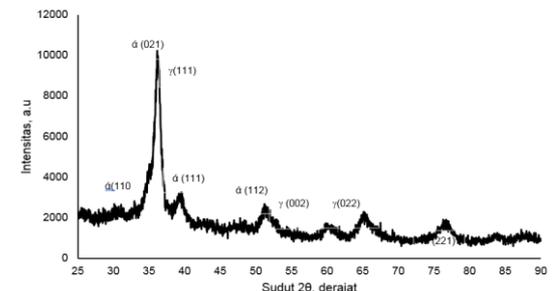
7Nb sebelum dan sesudah *quenching* dapat dikatakan bahwa pada proses *quenching* akan menghasilkan fasa γ U yang lebih besar apabila kandungan Zr lebih tinggi.



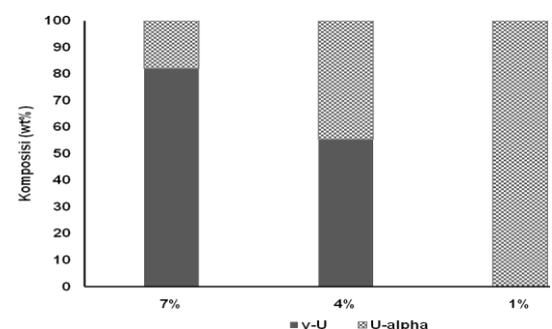
Gambar 6. Pola difraksi U-10Zr-1Nb *quenching*



Gambar 7. Pola difraksi U-10Zr-4Nb setelah *quenching*



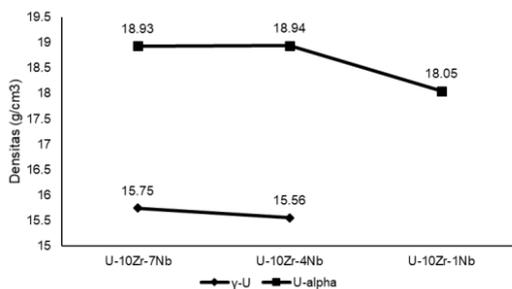
Gambar 8. Pola difraksi U-10Zr-7Nb setelah *quenching*



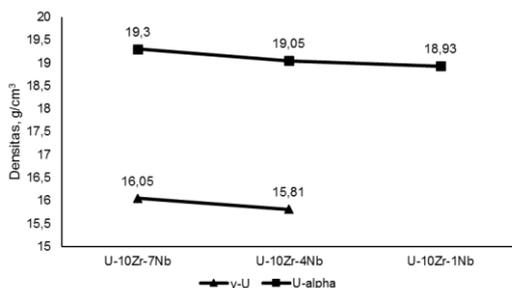
Gambar 9. Grafik batang komposisi (%) berat terhadap fasa setelah *quenching*

b. Analisis densitas

Hasil analisis densitas teoritis fasa yang terbentuk pada paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb baik sebelum *diquenching* maupun setelah *diquenching* yang diperoleh melalui perhitungan menggunakan *software High Score* ditampilkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Hasil densitas yang diperoleh pada ingot paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, U-10Zr-7Nb sebelum *diquenching* menunjukkan bahwa densitas fasa α U dan fasa γ U mengalami penurunan sedikit apabila kandungan Nb semakin rendah atau dapat dikatakan semakin tinggi kadar Nb maka semakin tinggi densitasnya. Sebagai contoh pada 7 % Nb (U-10Zr-7Nb) fasa α U dan fasa γ U masing-masing mempunyai densitas sebesar 19,3 g/cm³ dan 16,05 g/cm³ lebih tinggi dibandingkan paduan U-10Zr-4Nb yang masing-masing fasa α U dan fasa γ U mempunyai densitas sebesar 19,05 g/cm³ dan 15,83 g/cm³. Pada kandungan 1 % Nb (U-10Zr-1Nb) yang hanya terdiri dari fasa α U maka nilai densitas hanya dari fasa α U.



Gambar 10. Pengaruh kandungan Nb terhadap densitas fasa sebelum *diquenching*



Gambar 11. Pengaruh kandungan Nb terhadap densitas fasa setelah *diquenching*

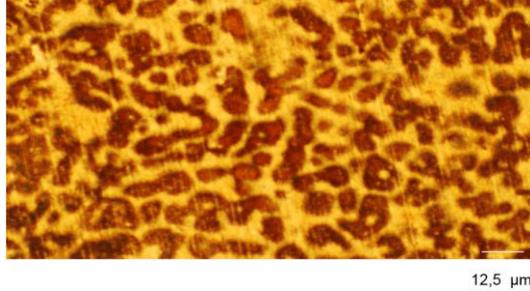
Gambar 11 yang memperlihatkan hasil perhitungan densitas ingot paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, dan U-10Zr-7Nb terlihat bahwa terjadi penurunan nilai densitas fasa α U dan fasa γ U apabila kandungan Nb turun seperti yang dialami pada fenomena pada Gambar 10 yang tidak *diquenching*. Pada kandungan Nb sebesar 1% Nb (U-10Zr-1Nb) yang hanya terdiri dari fasa α U maka nilai densitas hanya dari fasa α U.

Apabila dibandingkan antara hasil sebelum dikenakan proses *quenching* dan setelah *diquenching* terlihat bahwa densitas total (fasa α U dan fasa γ U) pada tiap komposisi memperlihatkan bahwa sebelum *diquenching* mempunyai densitas yang lebih tinggi. Sebagai contoh pada U-10Zr-7Nb, densitas total sebesar 17,675 g/cm³ sedangkan setelah *diquenching* mempunyai densitas sebesar 17,34 g/cm³, dimana hal ini disebabkan karena setelah *diquenching* paduan U-10Zr-7Nb mempunyai fasa γ U yang lebih tinggi. Oleh karena fasa γ U mempunyai densitas yang lebih rendah dari pada fasa α U sehingga densitas total menjadi lebih rendah pula.

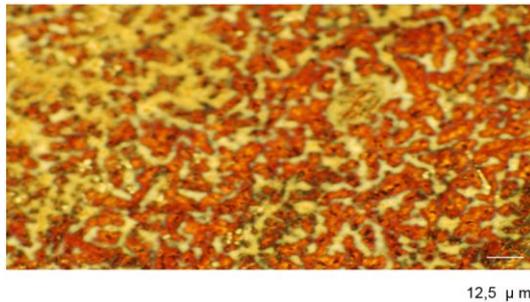
c. Analisis mikrostruktur

Hasil pengujian mikrostruktur paduan U-10Zr-1Nb, U-10Zr-4Nb, dan U-10Zr-7Nb setelah *diquenching* ditampilkan pada Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14. Mengacu pada Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14 pada paduan U-10Zr-1Nb mempunyai bentuk butir lebih besar (kasar) dibandingkan paduan U-10Zr-4Nb, dan U-10Zr-7Nb. Dengan lain kata bahwa pada kandungan Zr yang semakin tinggi (7 % Nb) terbentuk butir lebih kecil (halus) setelah mengalami *quenching*. Proses *quenching* selain mengubah fasa dari fasa α U dan δ U menjadi fasa γ U juga akan mempengaruhi pembentukan butir. Pada kandungan Nb yang semakin tinggi maka pada saat pendinginan cepat adanya unsur Nb yang merupakan inti terjadinya butir akan membentuk butir yang semakin banyak tetapi butir yang terbentuk semakin halus.

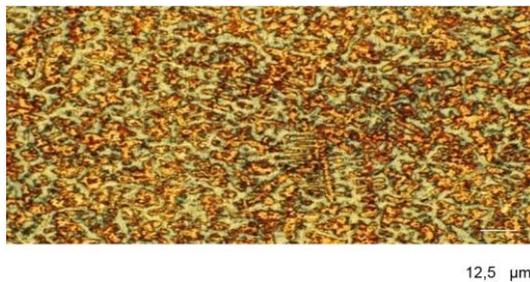
Pada kandungan Zr yang semakin tinggi juga akan membentuk fasa γ U yang semakin tinggi sedangkan fasa α U menjadi semakin berkurang karena sebagian akan membentuk fasa γ U setelah *diquenching*.



Gambar 12. Mikrostruktur ingot paduan U-10Zr-1Nb hasil *quenching*



Gambar 13. Mikrostruktur ingot paduan U-10Zr-1Nb hasil *quenching*



Gambar 14. Mikrostruktur ingot paduan U-10Zr-7Nb hasil *quenching*

SIMPULAN

Proses *quenching* yang dilakukan mampu mengubah fasa α U menjadi fasa γ -U untuk paduan U-10Zr-4Nb (4 %Nb) dan U-10Zr-7Nb (7 %Nb) sedangkan U-10Zr-1Nb (1 %Nb) tidak berubah. Dari perhitungan densitas diperoleh nilai densitas fasa α -U dan fasa γ U akan turun bila kandungan Nb semakin rendah, dan nilai densitas total (fasa α U dan fasa γ U) sebelum *diquenching* lebih tinggi daripada

setelah *diquenching*. Hasil pengamatan mikrostruktur setelah *diquenching* menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan Nb di dalam paduan U-Zr-Nb maka semakin halus butir yang terbentuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada teman-teman di BFBBN-PTBBN yang telah membantu pelaksanaan percobaan khususnya kepada bapak Yatno D.A dan bapak Slamet P sehingga percobaan ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supardjo, "Pengembangan paduan uranium berbasis U-Mo sebagai kandidat bahan bakar nuklir untuk reaktor riset menggantikan bahan bakar dispersi U_3Si_2 -Al," *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, 2011, hal. 444.
- [2] Supardjo, H. Suwarno dan A. Kadarjono, "Karakterisasi paduan U-7%Mo dan U-7%Mox%Si ($x=1, 2$, dan 3%) hasil proses peleburan dalam tungku busur listrik," *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol.15, no. 4, hal. 172, 2009.
- [3] A. Landa, P. Soderlind, P.E.A. Turchi, "Density-Functional study of U-Mo and U-Zr alloys", *Journal of Nuclear Materials*, vol. 414, no. 2, pp. 132-137, 2011.
- [4] B.M. Aguiar, D.M. Braga, J.B. Paula, W. de Brito, "Methodology of U-Zr-Nb alloy powder passivation obtained by hydride-dehydride process," *Proceeding of International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*, Santos, Brazil.
- [5] Masrukan, "Pembuatan pelat elemen bakar mini U-6%Zr/Al untuk bahan bakar reaktor riset", *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*

- (PPIS) 2012, Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- [6] Supardjo, "Study of the change process as fuel U-Mo powder dispersion U-Mo/Al for a research reactor" Prosiding PPI-PDIPTN-Yogyakarta, 2007, Accelerator Center and Process Materials-BATAN
- [7] Masrukan, M.H. Al Hasa, J.Setiawan, S. Pribadi, "Effect of Nb element content in U-Zr alloy on hardness: microstructure and phase formation," *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*", vol. 21, no. 2, 2015.
- [8] R.W.D. Pais, A.M.M. dos Santos, F.S. Lameiras and W.B. Ferraz, "Isothermal phase transformation of U-Zr-Nb alloys for advanced nuclear fuels," *Proceeding of Nuclear Technology Development Centre*, Belo Horizonte, Brazil.
- [9] A. Yuliyanto, "Studi pengaruh perlakuan panas terhadap struktur mikro dan sifat mekanis baja ASSAB 705 M yang digunakan pada komponen stud pin winder," Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, hal 5-6, 2015.
- [10] A. Moore, "Atomistic Study Of The Structure, Thermodynamics, And Morphological Evolution Of Uranium Zirconium Alloys," A Dissertation Doctor of Philosophy in the School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology, USA, pp.67-69, 2016.
- [11] C.L. Komar Varela, L.M. Gribaudo, R.O. Gonzalles, S.F. Arico, "Transformation behavior of the γ (U-Zr-Nb) phase under continues cooling conditions," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 453, no. 1-3, pp. 124-130, 2014.