

# ANALISIS KUALITATIF DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK DIFRAKSI SINAR X PADA PENAMBAHAN UNSUR Zr TERHADAP PEMBENTUKAN FASA PADUAN U-Zr

Masrukan

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir- BATAN

Kawasan Puspipstek Serpong, Tangerang

## ABSTRAK

**ANALISIS KUALITATIF DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK DIFRAKSI SINAR X PADA PENAMBAHAN UNSUR Zr TERHADAP PEMBENTUKAN FASA PADUAN U-Zr.** Paduan U-Zr merupakan salah satu jenis paduan uranium yang digunakan sebagai bahan bakar seperti bahan bakar *Training Radioisotop General Atomic* (TRIGA) dalam bentuk U-ZrH, reaktor *Experiment Breeder Reactor* (EBR), *Integral Fast Reactor* (IFR) dan lain-lain. Pembuatan bahan bakar U-Zr dilakukan dengan teknik melebur logam U dengan Zr di dalam tungku lebur busur listrik (*arc furnace*) pada variasi kadar Zr sebesar 2, 6, 10 dan 14 % (U-2Zr, U-6Zr, 10Zr dan U-14Zr). Penambahan logam Zr ke dalam paduan logam U mengakibatkan terbentuknya fasa yang akan mempengaruhi sifat-sifat paduan U-Zr yang terbentuk seperti sifat fisik, mekanik dan mikrostruktur. Paduan U-Zr hasil peleburan kemudian dipotong-potong dan dihaluskan permukaannya untuk pengujian fasa dengan menggunakan difraksi sinar x. Pengujian difraksi sinar x dilakukan pada sudut antara 20 hingga 90°. Hasil pengujian menunjukkan semua sampel uji dapat teridentifikasi adanya fasa  $\alpha$ -U dan  $\delta$ 1-U. Pada paduan U-2Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 34,62 °; 35,325 ° dan 39,325 °, pada hkl 110, 021 dan 111; dengan intensitas masing-masing sebesar 91,4 %; 100 % dan 47,3 %. Pada paduan U-6Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 34,580 °; 35,345 °; dan 39,210 ° pada hkl 110, 021 dan 111 dengan intensitas berturut-turut sebesar 89,8 %; 100 %; dan 52,2 %. Untuk paduan U-10 Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 34,550 °; 35,925 ° dan 38,925 ° pada hkl berturut-turut 110, 021, dan 110 dengan intensitas masing-masing sebesar 76,8 %, 100 %, dan 32,7 %. Sementara itu, pada paduan U-14 Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 30,49 °; 35,380 °, dan 76,405 ° pada hkl berturut-turut 020, 021, dan 221 dengan intensitas masing-masing sebesar 89 %; 100 %; dan 22,3 %. Untuk fasa  $\delta$ 1-U paduan U-2Zr muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 35,325 °; 60,035 ° dan 64,235 ° pada hkl berturut-turut 001, 211, dan 300 dengan intensitas masing-masing sebesar 100 %; 24,8% dan 7,7 %. Pada paduan U-6Zr, fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 35,345; 64,270 dan 60,015 pada hkl berturut-turut 001, 300 dan 220. Pada paduan U-10Zr, fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  35,295; 64,200; dan 59,885 pada hkl berturut-turut 001, 300, dan 220. Sementara itu, pada paduan U-14 Zr fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar 35,380; 64,370; dan 59,885 pada hkl berturut-turut sebesar 001, 300 dan 220. Dari pengujian untuk menentukan fasa yang ada dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan unsur Zr pada paduan U-Zr akan mengakibatkan kenaikan jumlah fasa  $\delta$ -U sedangkan fasa  $\alpha$ -U mengalami penurunan.

**Kata kunci :** Analisis kualitatif, difraksi sinar x, paduan U-Zr.

## ABSTRACT

**QUALITATIVE ANALYSIS BY USING X RAY DIFFRACTION TECHNIQUE AT ADDITION Zr ELEMENTS TO FORMING OF PHASE IN U-Zr ALLOYS.** U-Zr alloys represent one of type of uranium alloys which is used as fuel like fuel of Training of Radioisotope of General Atomic (TRIGA) in the form of U-ZrH, Experiment Breeder Reactor (EBR), Integral of Fast Reactor (IFR) and others. Making of U-Zr fuel conducted by melting U metal and Zr in arc furnace at variation of Zr content of 2, 6, 10 and 14 % (U-2Zr, U-6Zr, 10Zr and U-14Zr). Addition of Zr metal into U alloy result formed its phases that characteristic from U-Zr alloys formed like physical characteristic, mechanic and microstructure. The result of melting U-Zr alloys is then cut to pieces and attenuated its surface for the examination of phases by using ray x diffraction. X-ray diffraction examination conducted at angle  $2\theta$  between 20 to 90°. Examination result show that all samples test can be identified the phases existence of  $\alpha$ -U and  $\delta$ -U. At U-2Zr alloy, the phase  $\alpha$ -U emerge at angle  $2\theta$  equal to 34,62°; 35,325° and 39,325° at hkl of 110, 021 and 111 successively with the intensity of 91,4%; 100% and 47,3% respectively. At U-6Zr alloy,  $\alpha$ -U phase emerge at angle  $2\theta$  equal to 34,580°; 35,345°; and 39,210° at hkl of 110, 021 and 111 successively with the intensity of 89,8%; 100%; and 52,2% respectively. For the U-10 Zr alloy,  $\alpha$ -U phase emerge at angle  $2\theta$  equal to 34,550°; 35,925° and 38,925° at hkl of 110, 021, and 110 successively with the intensity of 76,8%, 100%, and 32,7% respectively. Meanwhile, at U-14Zr alloy  $\alpha$ -U phase emerge at angle  $2\theta$  equal to 30,49°; 35,380°, and 76,405° at hkl of 020, 021, and 221 successively with the intensity of 89%; 100%; and 22,3% respectively. For the U-2Zr alloys,  $\delta$ -U emerge at angle  $2\theta$  equal to 35,325°; 60,035° and 64,235° at hkl 001, 211, and 300 successively with the intensity of 100%; 24,8% and 7,7% respectively. At U-6Zr alloy,  $\delta$ -U emerge at angle  $2\theta$  equal to 35,345°; 64,270° and 60,015° at hkl of 001, 300 and 220 successively. At U-10Zr alloys,  $\delta$ -U phase emerge at angle  $2\theta$  equal to 35,295°; 64,200°; and 59,885° at hkl of 001, 300, and 220 successively. Meanwhile, at U-14 Zr alloys,  $\delta$ -U phase emerge at  $2\theta$  equal to 35,380°; 64,370°; and 59,885° at hkl of 001, 300 and 220. From examination to determine the existing phases can be pulled conclusion that addition of element Zr at alloying of U-Zr will result the increase the  $\delta$ -U phases while the  $\alpha$ -U decrease.

**Key words:** Qualitative analysis, x ray diffraction, U-Zr alloy.

## PENDAHULUAN

Pengembangan elemen bakar untuk reaktor riset diarahkan untuk mendapatkan bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi sedangkan pengembangn kelongsong ditujukan untuk mendapatkan bahan yang kompatibel dengan bahan bakarnya. Beberapa jenis bahan bakar baik dari paduan logam maupun oksida telah digunakan untuk bahan bakar reaktor riset, seperti UAl, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> dan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>. Sampai saat ini RSG Siwabessy di Serpong masih menggunakan bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>. Penggunaan bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> mempunyai kendala karena limbah Si yang

terbentuk selama proses fabrikasi bahan bakar maupun setelah digunakan di reaktor sulit dipisahkan sehingga perlu mencari terobosan agar kendala yang ada dapat diatasi. Penanganan kendala dalam penggunaan bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> dapat dilalukan melalui dua teknik yakni mengembangkan teknik pengolahan limbah yang terbentuk atau mencari bahan bakar baru sebagai bahan bakar alternatif. Pusat Teknologi Bahan Bakar Buklir (PTBN) yang salah satu tugas mengembangkan teknologi pembuatan bahan bakar reaktor riset sedang mengembangkan beberapa paduan uranium

sebagai bahan bakar alternatif yang kelak dapat digunakan untuk mengganti bahan bakar yang sudah digunakan sampai saat ini. Salah satu jenis paduan yang sedang dikembangkan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) yaitu paduan uranium zirkonium (U-Zr).

Paduan U-Zr merupakan salah satu paduan uranium yang telah digunakan sebagai bahan bakar beberapa jenis rektor, seperti rektor TRIGA (*Training, Radioisotop General Atomic*) dalam bentuk UZrHx, *Experimental Breeder Reactor II* (EBR II), dan *Integral Fast Reactor* (IFR) di American National Laboratory (ANL), USA.<sup>[1,2]</sup>

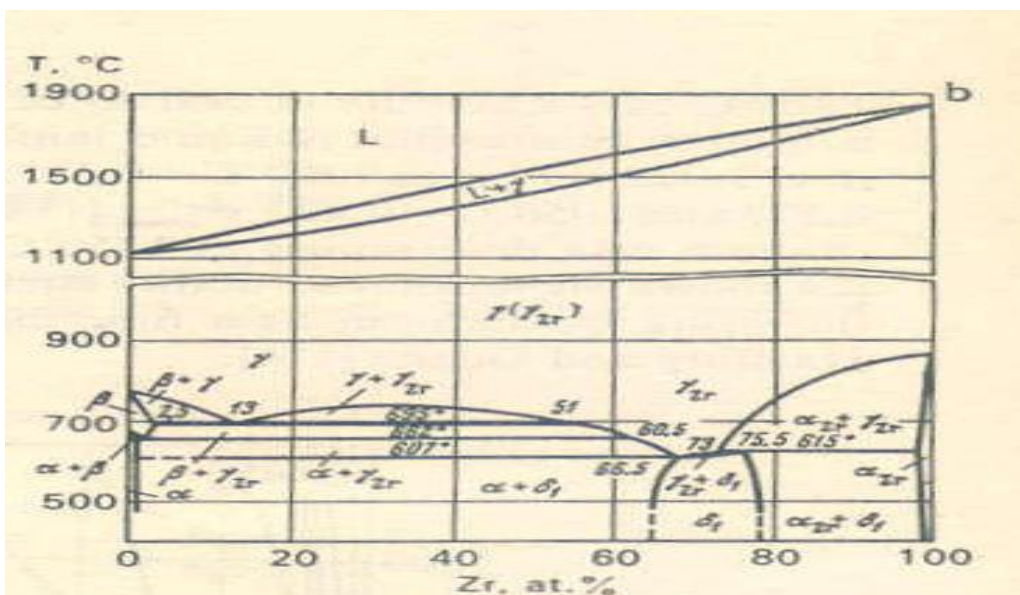
Pembuatan paduan U-Zr dilakukan melalui peleburan antara logam U dengan Zr di dalam tungku lebur busur listrik (*arc furnace*). Pemaduan logam U dengan Zr mengakibatkan terbentuknya fasa yang akan mempengaruhi sifat-sifat dari paduan U-Zr yang terjadi, seperti sifat mekanik, fisik, mikrostruktur dan termal. Untuk mengetahui terbentuknya fasa akibat penambahan unsur Zr pada peleburan logam U dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa teknik seperti dengan mikroskop (optik, SEM, TEM), difraksi sinar x, difraksi neutron, dan analisis termal.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis fasa secara kualitatif untuk mengetahui fasa yang terbentuk akibat dari pemaduan logam U dengan Zr menggunakan teknik difraksi sinar x.

**TEORI**

• **Paduan U-Zr**

Paduan U-Zr merupakan paduan yang terbentuk berdasarkan reaksi eutektik seperti pada Gambar 1. Dari Gambar1 dapat dilihat bahwa kelarutan zirkonium dalam uranium sebesar 0,4%; 0,26% dan 0,17 % atom masing-masing pada temperatur 660, 630, dan 550 °C . Setelah melewati batas kelarutan tersebut, terbentuk fasa δ-U dalam matriks α-U. Pada pemanasan hingga mencapai temperatur 662 °C paduan U-Zr masih stabil membentuk fasa α-Y, tetapi di atas temperatur tersebut hingga temperatur 700 °C fasa α-U berubah menjadi fasa β dan γZr. Apabila dipanaskan lebih lanjut hingga mencapai temperatur 800 °C fasa β dan γZr akan berubah menjadi γ+ γZr.



Gambar 1. Diagram fasa U-Zr<sup>[3]</sup>

• **Difraksi sinar- x**

Teori tentang difraksi sinar  $\gamma$  pertama kali dikemukakan oleh Van Laue [4]. Laue menyatakan bahwa seandainya suatu kristal dari atom-atom yang tersusun seteknik teratur dan periodik dalam ruang dan jarak antaratom hampir sama dengan panjang gelombang sinar  $\gamma$ , maka kristal-kristal tersebut dapat berfungsi sebagai kisi-kisi yang dapat menghamburkan cahaya. Mengingat bahwa sinar-x mempunyai panjang gelombang yang mendekati jarak antar atom, maka difraksi dapat terjadi kalau kristal dikenai oleh sinar  $\gamma$ .

▪ **Hukum Bragg**

Apabila suatu material dikenai sinar-x, maka intensitas sinar yang direfleksikan oleh kisi kristal lebih rendah dari sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut.

Berkas sinar  $\gamma$  yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada pula yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar  $\gamma$  yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Hukum Bragg merupakan perumusan matematik tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-x yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Pada Gambar 2 diperlihatkan empat berkas sinar- $\gamma$  yang didifraksikan oleh bidang kristal dengan jarak antarbidang  $d'$ . Ditinjau

sinar 1 dan 1a yang menumbuk atom-atom pada titik K dan P pada bidang A dan dihamburkan ke segala arah dalam ruang. Hanya berkas dalam arah 1' dan 1a' yang sefasa karena perbedaan lintasannya antaramuka gelombang XX' dan YY' adalah [5]

$$QK - PR = PK \cos \theta - PK \cos \theta = 0 \quad (1)$$

Sinar 1 dan 2 yang dihamburkan oleh atom-atom K dan L, perbedaan lintasan sinar 1 K1' dan 2 L2' adalah :

$$ML + LN = d' \sin \theta + d' \sin \theta = 2d' \sin \theta \quad (2)$$

Perbedaan lintasan berkas difraksi sinar  $\gamma$  menurut hukum Bragg harus merupakan kelipatan panjang gelombang, yaitu :

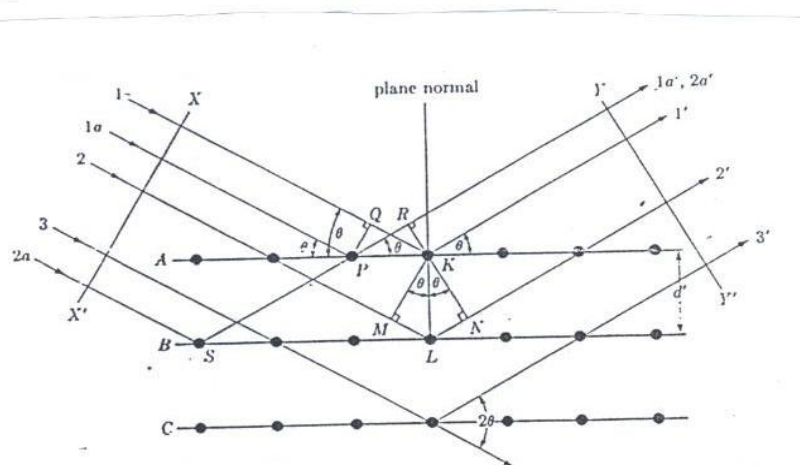
$$n \lambda = 2 d' \sin \theta \quad (3)$$

Dimana n adalah bilangan bulat 1, 2, 3, 4, ...,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar x,  $d'$  adalah jarak antarbidang, dan  $\theta$  sudut difraksi. Untuk harga  $\lambda$  dan  $d'$  yang konstan, terdapat beberapa sudut difraksi :  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ , yang berhubungan dengan  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ . Hukum Bragg dapat dituliskan dalam bentuk lain :

$$n \lambda / 2 d' = \sin \theta \quad (4)$$

Karena  $\sin < 1$ , maka  $n \lambda < 2d'$ . Untuk difraksi sinar x,  $n \lambda > 1$ , maka  $\lambda < 2d'$ . Seteknik umum, difraksi orde n dari bidang (h k l) dengan jarak antarbidang  $d'$  dapat dianggap sebagai difraksi orde 1 dari bidang (nh nk nl) yang berjarak  $d = d'/n$ . Oleh sebab itu, hukum Bragg dapat dituliskan sebagai :

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (5)$$



Gambar 2. Skema difraksi sinar -x oleh atom-atom [4.5]

## TATA KERJA

Sampel U-Zr dibuat melalui peleburan logam U dan Zr dengan komposisi masing-masing 2 % berat (5 % at), 6 % berat (10 % at), 10% berat (22 % at), dan 14 % berat (29 % at) Zr yang dilebur di dalam tungku lebur busur listrik. Masing-masing sampel hasil peleburan berbentuk lingkaran dengan diameter 15 mm dan ketebalan 5 mm. Selanjutnya, sampel dihaluskan dengan menggunakan ampelas dari *grit* 100 hingga 1500 serta dipolis dengan menggunakan pasta *diamond*. Setelah dihaluskan, dikenai pengujian fasa dengan menggunakan teknik difraksi sinar-x. Pengujian dilakukan pada sudut  $2\theta$  dari  $20^\circ$  hingga  $90^\circ$ . Sebagai sumber sinar difraksi sinar -x digunakan target logam Cu. Setelah didapat data pengukuran selanjutnya dilakukan identifikasi fasa /penentuan fasa seteknik kualitatif dengan tahapan sebagai berikut : [4]

- Mengurutkan jarak antarbidang ( $d$ ) yang menghasilkan intensitas paling maksimum sampai paling minimum.
- Membandingkan jarak antarbidang ( $d$ ) yang telah diurut dengan kumpulan data standar yang nilainya berdekatan. Toleransi  $d$  dapat diberikan  $\pm 0,03$ .
- Membandingkan intensitas relatif, sehingga dapat sesuai dengan data fasa yang akan diidentifikasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dengan menggunakan difraksi sinar x ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar. Pada Tabel 1 ditampilkan hasil pengujian untuk semua sampel dengan menggunakan difraksi sinar x, sedangkan pada Tabel 2 dan 3 ditampilkan hasil perhitungan sudut  $2\theta$  untuk fasa  $\alpha$ -U dan  $\delta$ -U (Zr<sub>2</sub>U). Sementara itu pada Gambar 1 sampai 4 ditampilkan pola difraksi paduan U-2Zr, U-6Zr, U-10Zr dan U-14Zr.

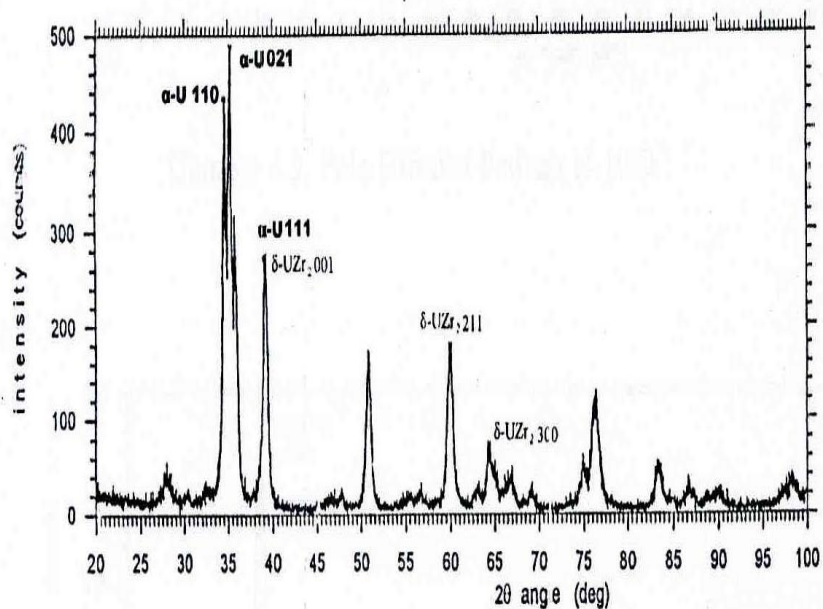
Dari Tabel 1 yang memuat data sudut  $2\theta$ , intensitas, dan jarak antarbidang terlihat bahwa di dalam paduan U-Zr terdapat fasa  $\alpha$ -U dan  $\delta$ -U. Fasa  $\alpha$ -U merupakan fasa yang terbentuk dari unsur Zr yang terlarut di dalam U, sedangkan fasa  $\delta$ -U terbentuk setelah kelarutan Zr di dalam U terlampaui. Dari Tabel 1 dan Gambar 1 kemudian dicocokkan dengan Tabel 2 yang memuat perhitungan fasa-fasa yang mungkin muncul, terlihat untuk paduan U-2Zr didominasi oleh fasa  $\alpha$ -U. Fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  masing-masing sebesar  $34,62^\circ$ ;  $35,325^\circ$  dan  $39,325^\circ$ , pada hkl 110, 021 dan 111; dengan intensitas masing-masing sebesar 91,4 %; 100 % dan 47,3 %. Pada paduan U-6Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  masing-masing sebesar  $34,580^\circ$ ;  $35,345^\circ$ ; dan  $39,210^\circ$  pada hkl berturut-turut 110, 021 dan

111 dengan intensitas masing-masing sebesar 89,8 %; 100 %; dan 52,2 %. Untuk paduan U-10 Zr, fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  masing-masing sebesar  $34,550^\circ$ ;  $35,925^\circ$  dan  $38,925^\circ$  pada hkl berturut-turut 110, 021, dan 110 dengan intensitas masing-masing sebesar 76,8 %, 100 %, dan 32,7 %. Sementara itu, paduan U-14 Zr fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $30,49^\circ$ ;  $35,380^\circ$ , dan  $76,405^\circ$  pada hkl berturut-turut 020, 021, dan 221 dengan intensitas masing-masing sebesar 89 %; 100 %; dan 22,3 %.

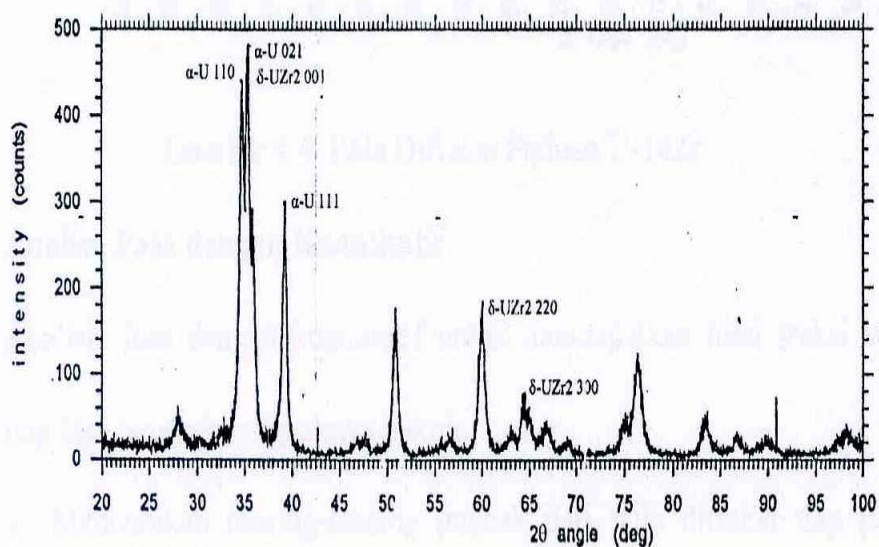
Untuk menentukan fasa  $\delta$ -U dilakukan seperti pada teknik penentuan fasa  $\alpha$ -U. Fasa  $\delta$ -U untuk paduan U-2Zr muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $35,325^\circ$ ;  $60,035^\circ$  dan  $64,235^\circ$  serta pada hkl berturut-turut 001, 211, dan 300 dengan intensitas masing-masing sebesar 100 %; 24,8% dan 7,7 %. Fasa  $\delta$ -U pada paduan U-6Zr muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $35,345^\circ$ ;  $64,270^\circ$  dan  $60,015^\circ$  pada hkl berturut-turut 001, 300 dan 220. Pada paduan U-10Zr, fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $35,295^\circ$ ;  $64,200^\circ$ ; dan  $59,885^\circ$  pada hkl berturut-turut 001, 300, dan 220. Sementara itu, pada paduan U-14 Zr fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  sebesar  $35,380^\circ$ ;  $64,370^\circ$ ; dan  $59,885^\circ$  pada hkl berturut-turut sebesar 001, 300 dan 220.

Dari pengujian fasa dengan menggunakan teknik difraksi sinar x tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan unsur Zr pada paduan U-Zr akan menaikkan jumlah fasa  $\delta$ -U sedangkan fasa  $\alpha$ -U mengalami penurunan.

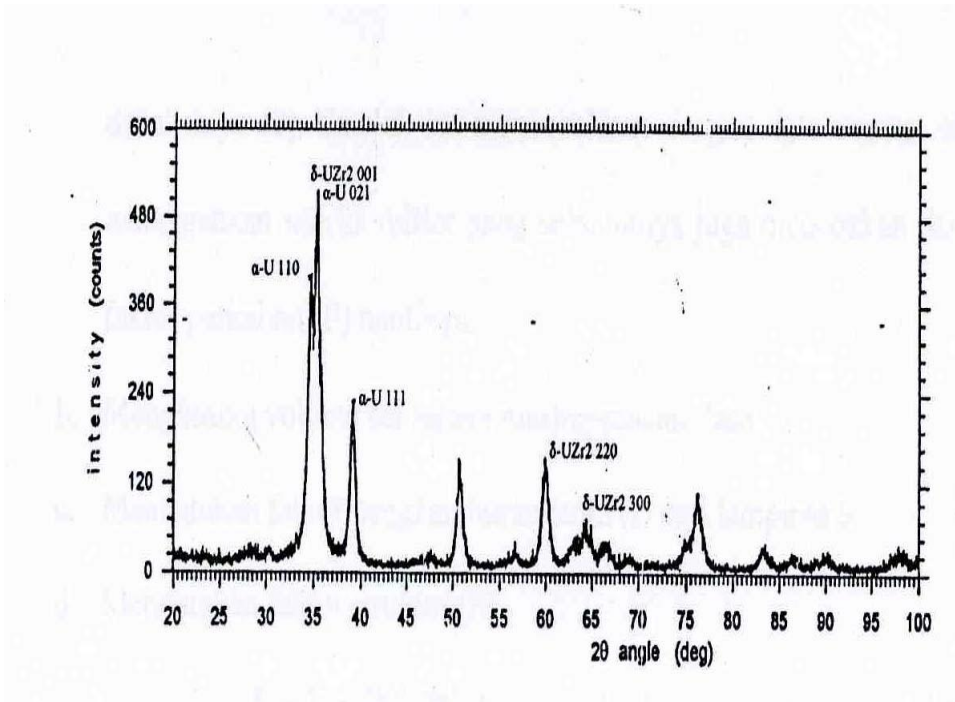
Hal ini ditunjukkan oleh besar intensitas yang muncul seperti terlihat pada Gambar 2 sampai 5 dan Tabel 1. Kenaikan fasa  $\delta$ -U tersebut bersesuaian dengan diagram fasa seperti pada Gambar 1. Selain kedua fasa tersebut terlihat pula puncak-puncak yang tidak teridentifikasi. Namun, puncak-puncak tersebut diduga fasa yang terbentuk karena adanya impuritas pada saat proses peleburan U-Zr, dimana impuritas yang bercampur dengan logam U dan Zr membentuk fasa yang tidak diketahui. Pada paduan U dengan Zr, unsur Zr yang ditambahkan akan mengisi kekosongan atom-atom sehingga membentuk larutan padat atau sebagai senyawa. Fasa  $\alpha$ -U merupakan fasa yang terbentuk oleh unsur Zr yang terlarut sebagai larutan padat. Sebelum melewati batas kelarutan Zr dalam U, unsur Zr yang terlarut membentuk fasa  $\alpha$ -U dan setelah melewati batas kelarutan Zr yakni sebesar 0,4 %, Zr yang ada selain membentuk fasa  $\alpha$ -U juga akan membentuk fasa  $\delta$ -U. Bertambahnya fasa  $\delta$ -U atau berkurangnya fasa  $\alpha$ -U dapat mempengaruhi sifat-sifat dari paduan U-Zr seperti sifat mekanik, fisik maupun termal. Perubahan sifat-sifat tersebut diakibatkan oleh perubahan komposisi fasa, yang mana masing-masing fasa mempunyai struktur kristal yang berbeda. Oleh karena struktur kristalnya berbeda sehingga mengakibatkan sifat yang berbeda pula. Fasa  $\alpha$ -U mempunyai struktur kristal *ortorombic* dengan parameter kisi  $a = 2,854$ ;  $b = 5,858$ ;  $c = 4,957$  sedangkan fasa  $\delta$ -U merupakan senyawa  $UZr_2$  yang mempunyai struktur kristal *hexagonal* dengan parameter kisi  $a = 5,03$  A dan  $c = 3,08$  A<sup>[4]</sup>.



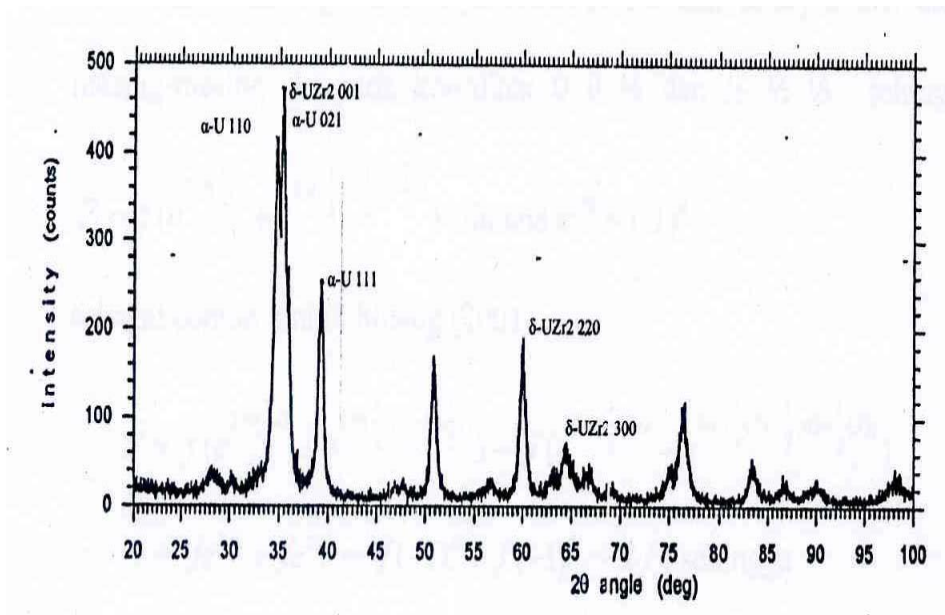
Gambar 3. Pola difraksi paduan U- 2Zr



Gambar 4. Pola difraksi paduan U-6Zr



Gambar 5. Pola difraksi padua U-10Zr



Gambar 6. Pola difraksi U-14 Zr



Tabel 1. Hasil pengukuran sudut  $2\theta$  dan intensitas yang muncul

U-2 Zr			U-6 Zr			U-10 Zr			U-14 Zr		
Sdt $2\theta$	d(A)	Int (%)	Sdt $2\theta$	d(A)	Int (%0	Sdt $2\theta$	d(A)	Int (%)	Sdt $2\theta$	d(A)	Int (%)
35,325	2,5388	100	35,345	2,5374	100	35,295	2,5409	100	35,380	2,5350	100
34,62	2,5389	91,4	34,580	2,5918	89,8						
35,920	2,4981	58,7	39,210	2,2957	52,2	34,550	2,5940	76,8	30,225	2,5863	89,3
39,325	2,2893	47,3	35,995	2,4931	42,3	35,705	2,5127	53,1	30,255	2,2932	49,5
50,825	1,7930	24,8	60,015	1,5403	21,5	38,925	2,3119	32,7	35,945	2,4964	
60,035	1,5398	24,8	50,645	1,8010	18,1	50,640	1,8011	18,0	50,920	1,7919	46,0
76,42	1,2453	12,0	76,320	1,2467	11,2	59,885	1,5433	18,0	59,965	1,5414	23,3
76,075	1,2501	10,7	27,915	3,1936	9,4	76,185	1,2486				
27,945	3,1902	8,3	64,270	1,4489	6,7	64,200	1,4496	9,0	76,405	1,2455	22,3
64,235	1,4489	7,7	90,875	1,0811	6,2	64,945	1,4347	5,4	64,370	1,4462	11,3
74,930	1,2664	4,6	74,925	1,2664	3,3	63,140	1,4713	4,4	28,105	3,1724	6,6
66,90	1,3971	4,2	83,505	1,1566 8	3,3	28,385	3,1418	3,1	83,310	1,1590	5,3
83,125	1,1611	3,6	66,705	1,4011	3,1	30,230	2,9541	2,9	30,265	2,9508	4,2
47,785	1,9019	2,8	46,755	1,9413	2,8	66,605	1,4092	2,9	75,135	1,2634	3,5
30,315	2,946	2,3	63,115	1,4719	2,3	74,825	1,2679	2,9	66,980	1,3960	3,5
69,210	1,3564	2,3	47,720	1,9043	2,2	83,240	1,1598	2,9	47,665	1,9064	2,4
62,955	1,4752	2,1									
86,710	1,1220	1,9	30,225	2,9546	1,7	56,760	1,6206	2,3	63,130	1,4715	2,4
98,335	1,0181	1,7	56,700	1,6222	1,5	47,750	1,9032	1,7	56,725	1,6215	2,3
56,555	1,6260	1,6	69,170	1,3571	1,5	98,175	1,0193	1,5	98,075	1,0201	1,8
46,475	1,9524	1,5	86,570	1,1235	1,4	86,490	1,1243	1,2	90,090	1,0885	1,7
55,655	1,6501	1,4	98,330	10181	1,4	69,390	1,3533	1,1	86,740	1,1217	1,6
90,130	1,0881	1,4	89,830	1,0910	1,2	89,965	1,0897	0,9	69,205	1,3564	1,5
23,280	3,8179	1,0							98,610	1,0160	1,2
20,130	4,4076	0,4									

## SIMPULAN

Hasil pengujian fasa pada paduan U-Zr dengan menggunakan teknik difraksi sinar x secara kualitatif dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Zr ke dalam U pada proses pemaduan U-Zr akan menghasilkan fasa  $\alpha$ -U dan  $\delta$ . Fasa  $\alpha$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  masing-masing sebesar  $34,62^\circ$ ;  $35,325^\circ$  dan  $39,325^\circ$ , pada hkl 110, 021 dan 111; dengan intensitas masing-masing

sebesar 91,4 %; 100 % dan 47,3 %. Fasa  $\delta$ -U muncul pada sudut  $2\theta$  masing-masing sebesar  $35,325^\circ$ ;  $60,035^\circ$  dan  $64,235^\circ$  pada hkl berturut-turut 001, 211, dan 300 dengan intensitas masing-masing sebesar 100 %; 24,8% dan 7,7 %. Fasa  $\delta$ -U yang terbentuk akan semakin banyak apabila prosentase/ jumlah unsur Zr yang ditambahkan semakin banyak, sebaliknya jumlah fasa  $\alpha$ -U semakin berkurang.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. [Http://en. Wikipedia. Org/wiki/Experimental \\_ Breeder\\_ Reactor II](http://en.wikipedia.org/wiki/Experimental_Breeder_Reactor_II)
2. [Http://en. Wikipedia. Org/wiki/Integral \\_ Fast \\_ Reactor](http://en.wikipedia.org/wiki/Integral_Fast_Reactor)
3. OS.IVANOV,TA.BADAEVA,RM.SOFRONOVA,VB.KISHENEVSKII.: *Phase Diagrams of Uranium Alloys*, Amerind Publishing CO.Ltd, New York1983.
4. ARDY, WIRYOLUKITO.: Pelatihan Teknik Difraksi Sinar- x dan Pengukuran Tekstur, Laboratorium Teknik Metalurgi, Jurusan Mesin, ITB.
5. CULLITY.: *Element of Xray Diffraction*, Addison Wesley Publishing Company Philipines, Second Edition, 1978.

**LAMPIRAN**

**PERHITUNGAN SUDUT  $2\theta$  DAN INDEKS MILLER YANG MUNGKIN MUNCUL**

**- Fasa :  $\alpha$ -U**

Fasa  $\alpha$ -U mempunyai struktur geometris cm (*orthorhombic*) dan parameter kisi berturut-turut : a = 2,854; b = 5,858; c = 4,957. Pengujian hasil perhitungan sudut dan bidang-bidang yang mungkin muncul tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Indeks Miller dan sudut  $2\theta$  yang mungkin muncul pada fasa  $\alpha$ -U

No	Bidang	$2\theta$ (deg)
1	020	30.493
2	110	34.940
3	021	35.571
4	002	36.212
5	111	39.515
6	022	48.046
7	112	51.201
8	130	57.103
9	200	65.336
10	131	60.341
11	040	63.464
12	023	64.718
13	041	66.518
14	113	67.348
15	132	69.515
16	220	73.800
17	042	75.309
18	221	76.662
19	004	76.858
20	202	77.048
21	133	83.770
22	024	84.891
23	222	85.076
24	114	87.300
25	043	89.304
26	150	90.580

- Fasa :  $\delta$ -U

Struktur geometris: P6/mmm (*Hexagonal*)

Parameter kisi : a = 5,03 c = 3,08

Tabel 2. Indeks Miller dan sudut  $2\theta$  yang mungkin muncul pada fasa  $\delta$ 1-UZr2

No	Bidang	$2\theta(\text{deg})$
1	110	28.962
2	100	20.369
3	001	35.670
4	101	41.422
5	200	41.420
6	111	46.581
7	201	55.788
8	210	46.580
9	002	75.549
10	300	64.073
11	211	60.018
12	102	79.221
13	301	75.546
14	112	82.849
15	220	60.016
16	202	90.033
17	310	67.995
18	221	71.812
19	311	79.218
20	212	93.618
21	400	90.029
22	320	79.217