

PERBANDINGAN HASIL ANALISIS BAHAN BAKAR U-Zr DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK XRF DAN SSA

Masrukan⁽¹⁾ dan Rosika K⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang

ABSTRAK

PERBANDINGAN HASIL ANALISIS BAHAN BAKAR U-Zr DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK XRF DAN SSA. Komparasi teknik analisis perlu dilakukan agar diperoleh hasil analisis yang lebih akurat. Perconbaan ini bertujuan menguasai teknologi pembuatan paduan U-Zr dan teknik analisis komposisi. Paduan U-Zr dibuat dengan cara memadukan unsur uranium (U) dan zirkonium (Zr) yang dilebur di dalam tungkur bermedia argon serta didinginkan dengan air. Pemaduan dilakukan pada variasi konsentrasi unsur Zr sebesar: 2%, 6%, 10% dan 14%. Hasil leburan dianalisis komposisi yang terjadi dengan menggunakan teknik XRF dan SSA. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan teknik analisis yang akurat. Hasil analisis komposisi dengan menggunakan tehnik XRF menghasilkan rata-rata hasil analisis untuk semua sampel uji mempunyai perbedaan cukup besar (> 5 %). Sebagai contoh, untuk sampel uji yang direncanakan 2%, diperoleh hasil analisis sebesar 1,151 % (mempunyai perbedaan sebesar 42,45%). Demikian pula untuk sampel uji yang lain, tetapi perbedaan hasil uji dengan yang direncanakan semakin berkurang bila unsur Zr semakin besar. Sementara itu, hasil analisis komposisi dengan menggunakan teknik SAA menunjukkan bahwa, komposisi hasil peleburan mendekati komposisi yang direncanakan. Sebagai contoh untuk sampel uji yang direncanakan sebesar 2% Zr, diperoleh hasil analisis unsur Zr sebesar 1.9861%. Untuk prosentasi yang lain (6%, 10% dan 14%) memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dari yang direncanakan. Secara keseluruhan, hasil rata-rata analisis dengan menggunakan teknik SSA mempunyai perbedaan tidak lebih dari 5% dari yang direncanakan. Selain unsur Zr terdapat pula unsur pengotor, antara lain : unsur Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg dan Zn, tetapi masih dalam batas spesifikasi sebagai bahan bakar nuklir. Dari kedua teknik analisis untuk menentukan komposisi paduan U-Zr tersebut, teknik SSA memberikan hasil yang lebih akurat.

Kata kunci: Komparasi, SSA, XRF dan U-Zr.

ABSTRACT

COMPARATION OF U-Zr FUEL ANALYSIS RESULT BY XRF AND AAS TECHNIQUES. Coparation study of U-Zr fuel analysis result by using XRF and SSA techniques has been done. Comparison of analysis is needed to obtain more accurate analysis results. U-Zr alloy was made by alloying uranium (U) and zirconium (Zr) in a furnace in argon medium and cooled with water. Alloying process was done at Zr concentration variation of 2%, 6%, 10% and 14%. The molten alloys were analyzed for the composition by SSA and XRF techniques. The composition analysis by XRF showed great difference of result more than 5%, when compared to that of the actual concentratuon. For example, for the sampel of 2%, the analysis result was 1,151 %, which differed at 42,45 %. This trend also occured with other samples, but the difference decreased with increasing Zr concentration. Meanwhile, the analysis by SSA technique indicated that the

measured composition was not significantly different from the actual composition. For example, for the sampel of 2 % Zr, the measured content of Zr was 1.9861%. For other samples, i.e. 6%, 10% and 14%, showed no significant difference from the actual composition. In general, the result of analysis by using SSA technique showed difference from the actual concentration but not more than 5%. Beside Zr there were also other pollutants, i.e. Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg And Zn, but the amount of them were still within specificaton for nuclear fuel. Comparing these two analysis techniques, SSA gave more accurate results.

Key word: *Comparation, XRF, SSA and U-Zr.*

PENDAHULUAN

Paduan U-Zr telah lama digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor riset, misalnya untuk reaktor jenis TRIGA (*Training Research and Isotop General Atomic*) di USA, Reaktor TRIGA di Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, Bandung dan Reaktor TRIGA Kartini di Pusat Teknologi Akselerator dan Bahan Murni, Yogyakarta ^[1].

Paduan U-Zr dibuat dengan cara melebur logam U dalam bentuk serpih dan Zr dalam bentuk *sponge* di dalam tungku bermedia argon yang didinginkan dengan air. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor, maka paduan U-Zr tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar terutama kemurnian dan kandungan unsur boron dalam bahan tersebut. Unsur boron di dalam bahan bakar atau kelongsong bahan bakar perlu dibatasi, karena apabila terlalu besar (> 10 ppm) ^[2] unsur boron yang mempunyai tampang lintang serapan mikroskopik besar pada saat digunakan di reaktor akan menyerap neutron dalam jumlah besar pula. Akibat penyerapan neutron oleh unsur boron dalam jumlah besar maka jumlah neutron menjadi berkurang dan reaktor menjadi terhenti. Oleh karena itu, perlu menganalisis paduan U-Zr untuk menentukan kandungan unsur yang ada di dalam bahan bakar U-Zr tersebut. Beberapa teknik pengujian dapat digunakan untuk menganalisis kandungan unsur di dalam suatu paduan, misalnya teknik spektroskopi serapan atom (SSA), UV Vis, emisi

spektroskopi, fluoresensi sinar x (XRF) dan lain-lain. Dalam analisis komposisi perlu dilakukan dengan beberapa teknik pengujian. Hasil pengujian tersebut selanjutnya dibandingkan agar diperoleh hasil uji yang lebih akurat. Pemilihan teknik uji selain didasarkan pada batas deteksi juga didasarkan pada kemudahan (kesederhanaan) menyiapkan sampel dan cara pengujiannya. Atas dasar alasan tersebut maka pada percobaan ini dilakukan analisis komposisi dengan menggunakan teknik SSA dan XRF. Pada analisis dengan menggunakan teknik SSA, sampel uji harus dibuat dalam bentuk larutan sedangkan dengan teknik XRF sampel uji dapat berbentuk padatan yang permukaannya telah dihaluskan. Oleh karena teknik SSA dibuat dalam bentuk larutan maka teknik tersebut dapat menganalisis unsur-unsur di hampir semua bagian dalam sampel. Berbeda dengan teknik SSA, pada teknik XRF hanya dapat menganalisis unsur-unsur pada permukaan.

Penelitian ini bertujuan untuk menguasai paket teknologi pembuatan bahan bakar U-Zr dan pada tahap awal percobaan dapat dikuasainya teknik analisis komposisi bahan.

TEORI

● Pengaruh penambahan unsur Zr ke dalam logam U

Logam zirkonium (Zr) merupakan salah satu unsur kimia yang memiliki nomor atom 40, masa atom 91,224 g/mol, masa jenis

6,5 g/cm³ dan memiliki titik lebur 1855 °C. Selain sifat –sifat tersebut, zirkonium memiliki sifat ketahanan korosi yang cukup baik, relatif lunak (sekitar 30 HB), kekuatan tarik sekitar 32.000 lb/in² dan pemanjangan 40 %.

Penambahan unsur Zr ke dalam logam U akan mempengaruhi karakteristik misalnya karakteristik mekanik, fisik/termal dan lain-lain. Karakteristik mekanik (kekerasan), akan naik kekerasannya pada penambahan unsur Zr ke dalam logam U, sedangkan sifat fisik (termal) dalam hal ini kapasitas panas dan konduktifitas panasnya akan menurun bila kadar Zr bertambah.^[1]

• X Ray Fluoresency (XRF)

Teknik XRF merupakan teknik analisis suatu bahan dengan menggunakan peralatan spektrometer dipancarkan oleh sampel hasil efek fotolistrik dari penyinaran sinar x ke sampel. Dalam pengujian dengan menggunakan alat XRF akan diperoleh hubungan dua parameter yaitu energi unsur (keV) terhadap intensitas cacahan perdetik (*cps/count per second*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Sinar-x yang dianalisis berupa sinar-x karakteristik yang dihasilkan dari tabung x-ray. Bahan yang dianalisis dapat berupa bahan padat pejal dan serbuk. Unsur yang dapat dianalisis adalah unsur yang mempunyai nomor atom rendah seperti unsur karbon (C) sampai dengan unsur yang mempunyai nomor atom tinggi seperti uranium (U). Unsur C mempunyai sinar x transisi ke kulit K (C-K) sebesar 0,28 keV dan sedangkan sinar x karakteristik dari kulit L atom U pada 13,61 keV. Oleh karena energi setiap atom terdiri dari energi pada kulit atom K, L, M maka energi yang diambil untuk analisis adalah energi sinar-x yang dihasilkan oleh salah satu kulit atom tersebut. Pada pengoperasian alat XRF diperoleh bahwa rentang energi sinar-x

pada peralatan adalah 5 – 50 keV. Oleh karena itu, untuk menganalisis atom U harus diambil pada energi kulit L (13,61 keV) karena energi kulit K sangat besar (97,13 keV) dan berada di luar kemampuan alat. Analisis menggunakan XRF akan menghasilkan suatu spektrum yang menunjukkan kandungan unsur-unsur pada tingkat energi tertentu. Analisis kuantitatif unsur didasarkan sinar x pada energi yang yang bersangkutan. Intensitas sinar x karakteristik dari sampel dibandingkan dengan intensitas sinar x karakteristik dari bahan. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan standar pembanding yang bersertifikat dengan persyaratan untuk menentukan bahan non standar yang akan dianalisis. Persyaratan bahan standar yang digunakan adalah bentuk, matrik dan kondisi pengukuran harus sama dengan bahan yang dianalisis. Analisis secara kuantitatif dilakukan dengan cara mengkonversi hasil yang diperoleh dalam analisis kualitatif yang berupa intensitas dalam satuan cps menjadi satuanprosentasi berat atau ppm (*part per million*)^[2]. Konversi dilakukan dengan menggunakan rumus^[3]:

$$C\text{-spl} / C\text{-std} = I\text{-spl} / I\text{-std}$$

$$C\text{-spl} = (I\text{-spl}/I\text{-std}) \times C\text{-std} \quad (1)$$

dengan :

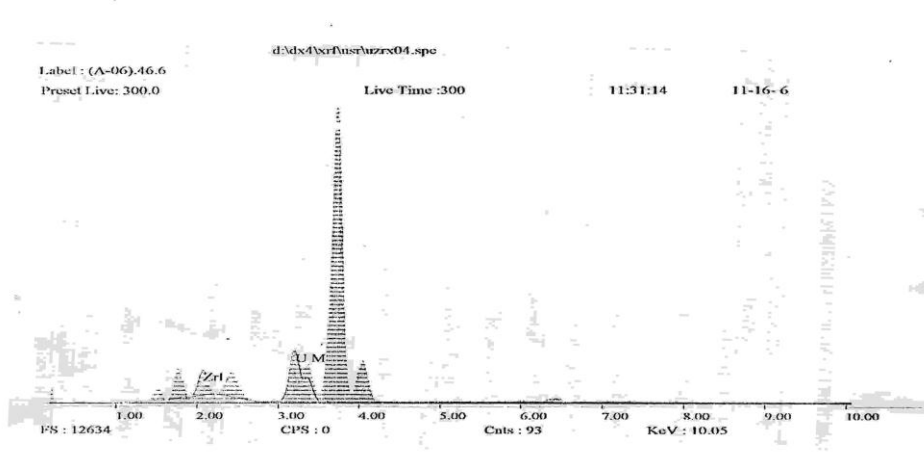
C-spl = konsentrasi bahan yang dianalisis/
sampel (%berat, ppm)

I-spl = intensitas/cacahan sampel (cps)

I-std = intensitas standar (cps)

C-std = konsentrasi standar (%berat, ppm)

Intensitas sampel dan intensitas standar diperoleh dari hasil pengukuran, sedangkan konsentrasi standar diperoleh dari sertifikat (pabrik).



Gambar 1. Contoh kurva hubungan energi unsur terhadap intensitas dari paduan U-Zr

• **Spektroskopi serapan atom (SSA)**

Spektrometri serapan atom adalah suatu metode untuk menganalisis unsur-unsur dalam suatu bahan berdasarkan penyerapan sinar oleh atom-atom yang berada pada tingkat dasar untuk mengeksitasi elektron terluar. Proses penyerapan sinar terjadi pada panjang gelombang yang spesifik dan karakteristik untuk tiap unsur. Prinsip utama dari teknik SSA adalah bila larutan suatu senyawa tertentu diaspirasikan ke dalam nyala maka senyawa tersebut akan menjadi uap kemudian akan terurai menjadi uap-uap atom bebas (*proses atomisasi*). Uap-uap atom bebas tersebut akan menyerap energi radiasi yang berasal dari lampu katoda cekung pada panjang gelombang yang khas dan karakteristik untuk setiap unsur. Akibat dari

proses penyerapan radiasi tersebut, elektron dari atom-atom bebas tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom dalam contoh, sehingga dengan mengukur intensitas radiasi yang diserap (absorbansi) atau mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (transmitasi), maka konsentrasi

unsur di dalam cuplikan dapat ditentukan. Hubungan serapan dengan konsentrasi atom dirumuskan dalam hukum Lambert Beer yaitu :^[3]

$$\text{Log } I_0/I_t = a \cdot m \cdot b \cdot c = A \quad (2)$$

dengan :

- I_0 = Intensitas mula-mula
- I_t = Intensitas sinar yang diteruskan
- a = koefisien serapan media
- b = panjang burner
- c = kepekatan atom-atom yang mengabsorpsi

Karena a dan b merupakan suatu yang tetap, maka serapan contoh dapat langsung dibandingkan dengan serapan larutan standar yang telah diketahui konsentrasinya dengan membuat suatu grafik antara konsentrasi dan absorbansi.

Metoda analisis ini banyak dipakai untuk menentukan kadar unsur logam dalam suatu bahan. Penggunaan spektrometri serapan atom (SSA) untuk analisis unsur logam memberikan keuntungan berupa sensitivitas yang cukup tinggi, waktu analisa relatif singkat, teliti dan tepat tanpa memisahkan dari logam-logam pengganggu lainnya.^[4]

TATA KERJA

• Bahan

- Paduan U-Zr hasil proses peleburan
- Logam U (sebagai standar)
- Logam Zr yang telah dilebur (sebagai standar)
- Bahan standar untuk analisis dengan menggunakan teknik SSA

• Alat

- Tungku lebur berpendingin air dan bermedia argon
- Peralatan SSA
- Peralatan XRF

• Cara kerja

▪ Analisis dengan menggunakan teknik

XRF

Paduan U-Zr yang mempunyai variasi konsentrasi Zr berturut-turut sebesar 2 % berat (b), 6 % berat (b), 10% berat (b) dan 14 % berat (b) dihaluskan pada salah satu permukaannya. Paduan U-Zr tersebut merupakan hasil peleburan dan berbentuk lingkaran yang mempunyai ukuran ketebalan 5 mm dan diameter 15 mm. Oleh karena ukuran sampel terlampau kecil dibandingkan ukuran minimal dalam pengukuran (minimal untuk pengukuran sebesar 35 mm) maka sampel dilekatkan pada dudukan dari karton yang mempunyai diameter 35 mm. Setiap prosen dalam percobaan dilakukan pengulangan peleburan sebanyak tiga kali dan setiap sampel diuji sekali. Dalam pengujian ini tidak dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi ukuran sampel. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan teknik XRF.

Langkah-langkah pengujian adalah sebagai berikut :

- Kalibrasi energi

Sebelum melakukan analisis perlu melakukan kalibrasi energi. Bahan yang digunakan untuk kalibrasi adalah paduan Al (Al_2O_{24}). Kalibrasi energi dilakukan agar unsur yang terkandung dalam suatu bahan tepat pada energi yang semestinya. Kalibrasi dilakukan pada kondisi tegangan 14 kV dan arus 100 μ A dan kevakuman 300 mTorr.

- Kalibrasi pengukuran

Kalibrasi pengukuran dimaksudkan untuk mengetahui penyimpangan pengukuran dari alat. Bahan yang digunakan adalah logam U dan Zr yang telah diketahui konsentrasinya. Hasil kalibrasi pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan daerah pengukuran sampel uji.

- Pengukuran sampel

Pengukuran sampel uji untuk mengetahui jenis dan jumlah unsur yang terkandung didalam sampel. Sampel uji diletakkan di atas *sample holder* selanjutnya dilakukan pengukuran. Hasil pengukuran sampel uji dihitung dengan membandingkan hasil kalibrasi pengukuran dari sampel standar.

- Analisis dengan menggunakan teknik SSA

Sampel yang telah diuji dengan menggunakan XRF selanjutnya dipotong-potong dan diambil potongan sebanyak 0,1g untuk setiap sampel uji kemudian dilarutkan dalam 20 mL larutan HF dan diuapkan dengan cara dipanaskan selanjutnya didinginkan. Larutan yang terjadi diencerkan dalam HNO_3 6M hingga volume mencapai 50 mL. Langkah selanjutnya masing-masing larutan dipipet sebanyak 25 mL dan diekstraksi dengan menggunakan campuran larutan TBP dan Hexan dalam perbandingan 7:3. Langkah tersebut guna memisahkan unsur pengotor dari uraniumnya. Campuran kedua fasa didiamkan selama 5 menit sehingga fasa air dan fasa organik terpisah dengan baik dan fasa airnya diambil untuk dianalisis dengan menggunakan teknik SSA.

Fasa air yang telah terpisah diambil sebanyak 25 mL selanjutnya dimasukkan ke dalam beker gelas. Sebelum menganalisis sampel uji, terlebih dahulu larutan standar tiap-tiap unsur yang telah diketahui konsentrasinya diaspirasikan ke dalam nyala api. Karena adanya api, larutan standar tersebut menjadi uap atom bebas. Proses selanjutnya menganalisis sampel dengan cara mengaspirasikan sampel uji ke dalam nyala api sehingga menjadi uap atom bebas. Uap atom bebas tersebut akan menyerap energi radiasi yang berasal dari lampu katoda cekung pada panjang gelombang yang khas dan karakteristik untuk setiap unsur. Intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom dalam contoh, sehingga dengan mengukur intensitas radiasi yang diserap (absorbansi) atau mengukur intensitas radiasi yang diteruskan (transmitasi), maka konsentrasi unsur di dalam sampel uji dapat ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis komposisi dengan menggunakan teknik XRF tertera dalam Tabel 2, sedangkan dengan menggunakan teknik SSA tertera dalam Tabel 2.

• Analisis dengan menggunakan teknik

XRF

Dari Tabel 1 yang memuat hasil analisis komposisi bahan dengan menggunakan teknik XRF terlihat bahwa, untuk sampel uji 2 % berat Zr diperoleh hasil rata-rata Zr sebesar 1,151% berat, untuk sampel uji 6 % berat Zr diperoleh hasil analisis rata-rata Zr sebesar 7,166 % berat, untuk sampel uji 10 % berat Zr diperoleh hasil analisis rata-rata Zr sebesar 11,11%

berat dan untuk sampel uji 14 % berat Zr diperoleh hasil Zr rata-rata sebesar 13,02%. Dari data-data hasil percobaan diatas terlihat perbedaan hasil analisis dengan konsentrasi Zr yang direncanakan yakni masing-masing sebesar 42,45 % berat ; 19,4 % berat ; 11,1 % berat dan 6,74 % berat untuk sampel uji berturut-turut 2 %b, 6 % berat , 10 % berat dan 14% berat. Dilihat hasil yang diperoleh tersebut terlihat hampir semua sampel uji mempunyai perbedaan yang cukup besar (lebih besar dari toleransi 5%). Hal ini disebabkan ukuran sampel yang terlampaui kecil (mempunyai ukuran diameter sebesar 15 mm) dari yang seharusnya 30 mm sehingga mengurangi akurasi pengukuran. Selain faktor tersebut, teknik XRF hanya mampu menganalisis sampel uji pada permukaan sehingga unsur-unsur yang ada pada bagian yang lebih dalam tidak teranalisis. Apabila dilihat dari unsur Zr yang teranalisis untuk masing-masing prosentasi, terlihat bahwa semakin tinggi prosentasi Zr yang direncanakan maka semakin tinggi Zr yang teranalisis. Sebagai contoh untuk Zr yang direncanakan sebesar 2 %, hasil analisis menunjukkan Zr sebesar 1,151 %b dengan perbedaan sebesar 42,45 %b. Perbedaan hasil analisis tersebut akan turun menjadi 19,4 %b (dengan kata lain Zr yang teranalisis naik) pada Zr yang direncanakan sebesar 6% dimana unsur Zr yang terdeteksi sebesar 7,166 %b. Hasil analisis dengan menggunakan teknik XRF juga tidak mampu menganalisis unsur-unsur pengotor baik jenis maupun kuantitas unsurnya. Namun meskipun tidak terlihat unsur pengotor baik jenis maupun kuantitasnya, diasumsikan diduga bahwa sisa yang ada dari penjumlahan unsur U dan Zr dalam Tabel 1 adalah unsur pengotor.

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi bahan dengan menggunakan teknik XRF

No	Direncanakan (% b)	Hasil analisis (% b)		Hasil analisis (unsur lain /pengotor)	Rata-rata (% b)	Selisih hasil analisis dengan yang direncanakan (% b)
		U	Zr			
	Zr				Zr	Zr
1	2	72,449	0,919	26,632		
2	2	77,159	1,500	21,341	1,151	42,45
3	2	82,649	1,033	16,318		
4	6	90,110	7,27	2,62		
5	6	86,843	5,295	7,862	7,166	19,4
6	6	85,556	8,933	5,511		
7	10	79,463	6,164	14,373		
8	10	89,730	10,284	0,864	11,11	11,1
9	10	75,820	11,134	13,046		
10	14	68,170	18,207	13,623		
11	14	71,878	10,562	17,56	14,943	6,74
12	14	78,262	16,060	5,72		

• Analisis dengan menggunakan teknik

SSA

Analisis komposisi dengan menggunakan alat SSA seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 terlihat bahwa, untuk sampel uji yang direncanakan mengandung 2 % b Zr ternyata kandungan Zr rata-rata sebesar 1.9861 %b, untuk kandungan Zr yang direncanakan sebesar 6 % b Zr ternyata dihasilkan Zr rata-rata sebesar 6.3456 %b, untuk kandungan Zr yang direncanakan sebesar 10 %b Zr dihasilkan Zr rata-rata sebesar 9.4021 %b dan untuk kandungan Zr yang direncanakan sebesar 14 %b dihasilkan Zr sebesar 15.0439 %b. Dari hasil tersebut selisih antara yang direncanakan dengan hasil analisis ternyata tidak lebih dari 5 %, yang berarti bahwa hasil analisis dapat diterima. Dilihat dari perbedaan hasil analisis Zr dengan yang direncanakan terlihat apabila semakin tinggi prosentasi Zr yang dianalisis maka semakin

besar perbedaan hasil analisis. Disamping hasil tersebut diatas, diperoleh pula unsur-unsur pengotor seperti tertera dalam Tabel 1 yang terdiri dari unsur-unsur Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg dan Zn. Sementara itu, dilihat dari konstituen pengotor yang ada, terlihat hampir semua unsur yang ada masih memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar reaktor riset kecuali unsur Fe.

Apabila dilihat dari kedua teknik analisis dalam menentukan komposisi paduan U-Zr, teknik analisis SSA memberikan hasil analisis yang lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan teknik XRF. Hal ini disebabkan pada teknik SSA, sampel uji dibuat dalam bentuk larutan sehingga hampir semua bagian dari sampel uji akan terkena analisis. Berbeda bila dibandingkan dengan menggunakan XRF, sampel yang dapat dianalisis hanya pada bagian permukaan sehingga hanya unsur-unsur pada permukaan saja yang dapat terdeteksi.

Tabel 2. Hasil uji komposisi rata-rata U-Zr dengan menggunakan teknik SSA

No	Unsur	Komposisi				Spesifikasi	
		Unsur Zr direncanakan %	2	6	10		14
		Hasil uji	1.9861 %	6.3456 %	9.4021 %	15.0439 %	
	Impuritas, Unsur						
2	Al		0,0507658 %	0,0631924 %	0,0479442 5	0,0324537 %	< 0,06000 %
3	Ca		0,0110.511	0,0110528 %	0,0146116	0,0113293 %	< 0,01000 %
4	Cd		-	-	-	-	< 2,0 ppm
5	Co		9.834 ppm	3.725 ppm	9.535 ppm	5.601 ppm	< 10,0 ppm
6	Cr		-	-	-	-	-
7	Cu		76.931 ppm	46.591 ppm	79.167 ppm	76.792 ppm	< 80,0 ppm
8	Fe		7,48 ppm	-	-	79,29 ppm	-
9	Li		-	-	-	-	< 10,0 ppm
10	Mg		24.499 ppm	23.542 ppm	17.268	23.472 ppm	< 50,0 ppm
11	Mn		-	-	-	-	< 5,0 ppm
12	Ni		-	-	-	-	< 150 ppm
13	Zn		22.390 ppm	24.737 ppm	33.935 ppm	21.422 ppm	< 1000,0 ppm

SIMPULAN

Dari hasil analisis dengan menggunakan XRF dan SSA paduan U-Zr dengan kandungan komposisi Zr sebesar : 2 %b, 6 %b, 10 %b dan 14 %b dapat disimpulkan sebagai berikut :

Pada analisis komposisi dengan menggunakan teknik SSA diperoleh hasil analisis yang hampir sama dengan komposisi yang direncanakan dan diikuti beberapa unsur pengotor. Unsur-unsur pengotor yang ada antar lain : Al, Ca, Co, Cu, Fe, Mg dan Zn. Perbedaan hasil analisis dengan yang direncanakan rata-rata kurang dari 5%. Pada analisis dengan menggunakan teknik XRF diperoleh hasil yang mempunyai perbedaan dengan yang direncanakan lebih besar dari 5 %. Unsur-unsur pengotor sulit

terdeteksi, tetapi sisa dari jumlah unsur U dan Zr yang teranalisis diduga merupakan unsur pengotor.

Dari kedua teknik untuk analisis, teknik SSA memberikan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUWARNO, H.: Kajian Modifikasi Teknologi Fabrikasi Bahan Bakar TRIGA General Atomic Company Menjadi TRIGA PT. Batan Teknologi, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 7-8 Agustus 2001.

-
2. GUNANJAR.: Spektrofotometri Serapan Atom, Diklat Keahlian Analisis Kimia Bahan Bakar Nuklir, BATAN (1997)
 3. VARIAN.: *Analytical Methode for Flame Atomic Absorption Spectroscopy*, Varian Techtron Limited Soringfield,(1984).
 4. ANONIM.: Manual DX-95 EDXRF Syatem, EDAX, Phillips,(1993).
 5. ROSIKA..: Analisis unsur besi menggunakan spektrometer fluoresensi sinar-x, Buletin Triwulanan Daur Bahan Bakar Nuklir URANIA, PTBN, No.42/ 2005.
 6. CERTIFICATE OF ANALYSIS, *Low Alloy Steel*, 1980.