

PENGARUH KONSENTRASI PELARUT UNTUK MENENTUKAN KADAR ZIRKONIUM DALAM PADUAN U-Zr DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPEKTRFOTOMETRI UV-VIS

Yanlinastuti¹⁾, Syamsul Fatimah

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, Banten, Indonesia, 15313

¹⁾yanlinastuti@batan.go.id

ABSTRAK—Penelitian pengaruh konsentrasi pelarut asam nitrat dan asam florida untuk melarutkan paduan U-Zr dan analisis kadar zirkonium menggunakan spektrofotometri UV-Vis telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi pelarut yang optimum untuk melarutkan paduan U-Zr dan menentukan kadar zirkonium dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Proses pelarutan dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi asam nitrat yaitu 1, 3 dan 8M dengan menambahkan asam florida 1M pada pemanasan suhu 90 °C. Analisis kadar zirkonium menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan pengomplek arsenazo III 0,1% sebanyak 2 mL dalam larutan HCl 9N pada panjang gelombang 666,3 nm. Hasil penelitian diperoleh bahwa konsentrasi pelarut dan waktu yang diperlukan untuk melarutkan paduan U-Zr menggunakan asam nitrat 1M sebanyak 11 mL dengan waktu pemanasan selama 28 jam dan menggunakan asam nitrat 3M dibutuhkan sebanyak 9 mL dengan waktu pemanasan selama 21 jam, sedangkan menggunakan asam nitrat 8M dibutuhkan sebanyak 5 mL dengan waktu pemanasan selama 7 jam. Hasil analisis kadar zirkonium menggunakan asam nitrat 1M sebesar 5,657 ppm (94,285 %) asam nitrat 3M sebesar 4,735 ppm (78,921 %) serta menggunakan asam nitrat 8M sebesar 5,743 ppm (95,721 %). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konsentrasi pelarut yang optimum digunakan untuk melarutkan paduan U-Zr adalah campuran asam nitrat 8 M dan HF 1M.

Kata kunci— zirkonium, paduan U-Zr, arsenazo III, spektrofotometer UV-Vis.

I. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN)-BATAN yang mempunyai tugas pokok untuk melaksanakan pengembangan teknologi bahan bakar nuklir. Pengembangan bahan bakar reaktor riset dewasa ini ditujukan dalam rangka mencari jenis bahan bakar baru, untuk menggantikan bahan bakar uranium pengkayaan tinggi atau *High Enrich Uranium* (HEU) dengan bahan bakar uranium pengkayaan rendah atau *Low Enrich Uranium* (LEU). Salah satu bahan bakar baru yang sedang dikembangkan di PTBBN adalah bahan bakar paduan uranium zirkonium (U-Zr). Bahan bakar paduan U-Zr telah digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor riset, diantaranya reaktor TRIGA (*Training Research and Isotop General Atomic*) di USA. Bahan bakar paduan U-Zr yang dikembangkan oleh *General Atomic* berupa tipe dispersi, yaitu uranium terdispersi secara homogen sebagai logam bebas di dalam matrik zirkonium. Hasil penelitian berbagai pihak menunjukkan bahwa bahan bakar U-Zr memiliki karakteristik yang spesifik terutama faktor keamanan yang baik, dipilihnya

logam zirkonium sebagai matrik bahan bakar reaktor jenis TRIGA karena zirkonium termasuk logam yang mempunyai tampang lintang absorpsi neutron termal yang rendah, titik leleh tinggi, kekuatan mekanik tinggi, tahan terhadap korosi air dan uap sehingga sangat sesuai untuk digunakan sebagai matrik ataupun bahan struktur di dalam reaktor nuklir dan meningkatkan fase transisi temperatur didalam uranium [1,2]. Bahan bakar U-Zr dibuat melalui beberapa tahapan proses yaitu pembuatan paduan *ingot*, serbuk U-Zr, komposit bahan bakar dan fabrikasi menjadi rakitan elemen bakar, sebelum dilakukan pembuatan komposit bahan bakar, terlebih dahulu dilakukan analisis kimia terhadap paduan U-Zr yang meliputi analisis unsur U dan Zr serta unsur pengotor. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian kandungan unsur-unsur yang terkandung dalam paduan U-Zr dengan spesifikasi bahan bakar yang dapat digunakan dalam reaktor riset.

Sebagai persyaratan agar logam zirkonium dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir harus diketahui kadarnya. Untuk dapat mengetahui kandungan zirkonium dalam paduan U-Zr agar dapat digunakan sebagai bahan bakar, maka paduan U-Zr tersebut harus memenuhi persyaratan analisis. Sebelum dianalisis paduan harus dilarutkan terlebih dahulu menggunakan campuran asam nitrat dan asam florida, paduan zirkonium dapat dilarutkan dengan beberapa pelarut diantaranya adalah campuran asam nitrat (HNO_3) dan asam florida (HF), dalam percobaan tersebut dilakukan menggunakan campuran HNO_3 dan HF, untuk mengetahui kesempurnaan kelarutan akan dilakukan analisis. Beberapa teknik pengujian dapat digunakan untuk menganalisis kandungan zirkonium diantaranya teknik spektrofotometer UV-Vis dan spektrofotometri serapan atom dan lain-lain. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah spektrofotometri UV-Vis [3].

Prinsip kerja Spektrofotometer UV-Vis yaitu apabila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap (I), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian lagi dipancarkan (I_t). Aplikasi rumus tersebut dalam pengukuran kuantitatif dilaksanakan dengan cara komparatif menggunakan kurva kalibrasi dari hubungan konsentrasi deret larutan alat untuk analisa suatu unsur yang berkadar rendah baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, pada penentuan secara kualitatif berdasarkan puncak-puncak yang dihasilkan spektrum dari suatu unsur tertentu pada panjang gelombang tertentu, sedangkan penentuan secara kuantitatif berdasarkan nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrum dengan adanya senyawa pengompleks sesuai unsur yang dianalisisnya. Adapun yang melandasi pengukuran spektrofotometer ini dalam penggunaannya adalah hukum Lambert-Beer yaitu bila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang

transparan, maka intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan berdasarkan persamaan berikut [3,4]:

$$A = \log I/I_0 \text{ atau } A = a.b.c (l) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana A = absorbansi

a = koefisien serapan molar

b = tebal media cuplikan yang dilewati sinar

c = konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan

I_0 = intensitas sinar mula-mula

I = intensitas sinar yang diteruskan

$$Y = ax - b \dots\dots\dots(2)$$

Dimana Y = absorbansi

a = konstanta

x = konsentrasi

b = kemiringan/slope

Sedangkan untuk mengetahui besaran persentase kadar zirkonium dalam paduan U-Zr digunakan persamaan berikut [3,4]:

$$A = \frac{C \times F_p \times V \times 100\%}{B \times 10^6} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

A = persentase sampel terukur (%)

C = konsentrasi yang diperoleh ($\mu\text{g/mL}$)

F_p = faktor pengenceran

V = volume pelarutan (mL)

B = berat cuplikan (g)

Percobaan ini mempelajari parameter-parameter yang berpengaruh terhadap pelarutan antara lain keasaman larutan umpan dan lamanya waktu kelarutan. Salah satu pelarut yang banyak digunakan untuk melarutkan paduan U-Zr yaitu menggunakan campuran asam nitrat dan asam florida. Dari parameter yang dilakukan adalah variasi konsentrasi keasaman. Keberhasilan proses pelarutan tersebut dapat dilihat dari hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Uji akurasi (*recovery*)

Untuk mengetahui hasil pengukuran baik atau tidaknya dapat ditentukan tingkat akurasi dari hasil pengukuran. Akurasi adalah ukuran yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan kadar analit yang sebenarnya. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari suatu pengukuran akan dapat ditentukan besaran perolehan kembali (*recovery*), dengan persamaan berikut [6]:

$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{hasil berdasarkan pengukuran}}{\text{hasil berdasarkan teori}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menentukan kandungan zirkonium menggunakan spektrofotometri UV-Vis hasil pelarutan dengan konsentrasi pelarut yang optimum.

II. METODOLOGI

Bahan dan Alat yang digunakan

Bahan dan pereaksi yang digunakan adalah paduan U-Zr 6% hasil peleburan, standar zirkonium, pengomplek arsenazo III 0, 1%, asam klorida pekat, asam nitrat pekat, asam florida pekat, air bebas mineral.

Peralatan yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis Perkin Elmer Lambda 15, neraca analitik, pipet *eppendorf*, peralatan gelas kimia dan pemanas.

Tata Kerja

Kegiatan ini dilakukan melalui empat tahapan yaitu proses pelarutan paduan U-Zr dengan berbagai konsentrasi pelarut, preparasi pembuatan kurva kalibrasi, preparasi pembuatan larutan sampel dan pengukuran zirkonium dengan spektrofotometer UV-Vis yang dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pelarutan paduan U-Zr dengan variasi pelarutan

a. Pelarutan paduan U-Zr dengan konsentrasi HNO₃ 1M

Paduan U-Zr ditimbang seberat 1,0167 g dalam beker gelas, lalu ditambahkan HF 1M dan HNO₃ 1M masing-masing 5 mL, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 7 jam, paduan belum larut lalu ditambahkan kembali dengan HNO₃ 1M sebanyak 2 ml dan dipanaskan selama 7 jam, larutan masih berwarna hijau, ditambahkan kembali pelarut HNO₃ sebanyak 2 mL dan dipanaskan selama 7 jam, esok hari dipanaskan kembali selama 7 jam dan ditambahkan lagi HNO₃ 2 ml hingga larutan sempurna dan berwarna kuning jernih. Kemudian disaring dan ditepatkan kedalam labu 50 ml.

b. Pelarutan paduan U-Zr dengan konsentrasi HNO_3 3M

Paduan U-Zr ditimbang seberat 0,9905 gr dalam beker gelas, lalu ditambahkan HF 1M dan HNO_3 3M masing-masing 5 ml, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 7 jam, paduan belum larut dan larutan masih berwarna hijau lalu dipanaskan kembali selama 7 jam, larutan masih berwarna hijau sehingga ditambahkan kembali HNO_3 3M sebanyak 2 ml, larutan dipanaskan kembali selama 7 jam, larutan masih berwarna hijau ditambahkan kembali HNO_3 sebanyak 2ml hingga paduan larut sempurna dan larutan berwarna kuning jernih. Kemudian disaring dan ditepatkan kedalam labu 50 ml.

c. Pelarutan paduan UZr dengan konsentrasi HNO_3 8M

Paduan U-Zr ditimbang seberat 1,0170 g dalam beker gelas ditambahkan HF 1M dan HNO_3 8M masing-masing 5 mL, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 7 jam, larutan larut sempurna dan larutan sudah kuning jernih. Kemudian disaring dan ditepatkan kedalam labu 50 ml.

2. Pembuatan kurva kalibrasi standar zirkonium

Disiapkan 6 buah labu takar kapasitas 25 mL, masing-masing diisi larutan standar Zr 0,0; 0,04; 0,1; 0,2; 0,4 dan 0,5 ppm. Ditambah 2 mL larutan arsenazo III 0,1%, volume ditepatkan hingga tanda batas dengan HCl 9N, reaksi ditunggu 90 menit. Kemudian diukur serapannya pada panjang gelombang (λ) 666,3 nm, dan larutan blanko sebagai pembanding.

3. Preparasi larutan sampel paduan U-Zr

Larutan sampel zirkonium yang telah dilarutkan dengan variasi pelarut masing-masing diencerkan dengan cara dipipet 1 mL dimasukkan kedalam labu 10 mL dan tepatkan sampai batas dengan air bebas mineral, kemudian dipipet 100 μL masukkan kedalam labu 25 mL, tambahkan arsenazo III 0,1% sebanyak 2 mL dan ditepatkan dengan HCl 9N, lalu diamkan selama 90 menit kemudian diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 666,3 nm.

4. Pengukuran standar dan sampel

Dibuat dua buah larutan blanko dan masukkan kedalam kuvet dengan tujuan untuk me-nol-kan absorban lalu tekan *back corecl* dan tekan *run*. Salah satu larutan blanko dikeluarkan apa bila alat telah menunjukkan angka nol, kemudian masukkan larutan standar zirkonium-arsenazo III 0,1% dengan konsentrasi 0,5 ppm untuk menentukan daerah panjang gelombang optimum, dilakukan dengan penyapuan panjang gelombang dari spektrum 190 nm sampai dengan 900 nm

sehingga diperoleh spektrum tertinggi zirkonium pada panjang gelombang optimum. Dari kurva serapan terhadap panjang gelombang, ditentukan serapan maksimum pada panjang gelombang 666,3 nm, selanjutnya pada panjang gelombang 666,3 nm ini digunakan untuk pengukuran konsentrasi zirkonium dalam larutan standar dan sampel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

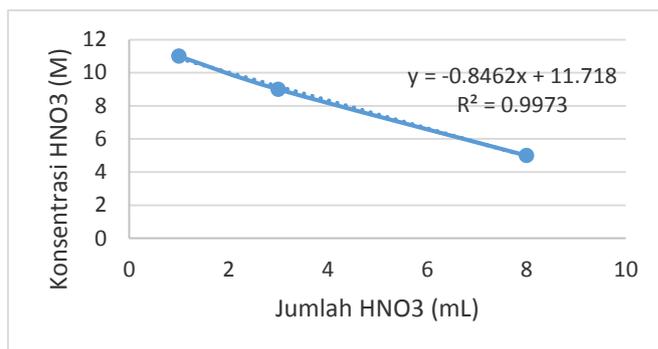
A. Hasil pelarutan dengan variasi konsentrasi HNO_3

Hasil pelarutan terhadap paduan U-Zr dengan masing-masing berat yang berbeda menggunakan variasi konsentrasi pelarut HNO_3 dan HF 1M pada suhu pemanasan 90°C dengan waktu pemanasan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel-1. Data berat paduan U-Zr pada pemanasan 90°C

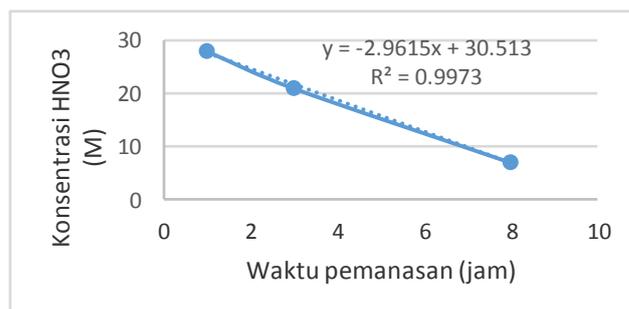
No	Berat paduan (gr)	Konsentrasi HNO_3 (M)	Jumlah HNO_3 (mL)	Jumlah HF 1M (mL)	Waktu pemanasan (jam)
1	1,0167	1	11	5	28
2	0,9905	3	9	5	21
3	1,0170	8	5	5	7

Dari Tabel 1 terlihat bahwa untuk melarutkan paduan U-Zr menggunakan HNO_3 1M yang dibutuhkan sebanyak 11 mL dengan waktu pemanasan 28 jam dan menggunakan HNO_3 3M dibutuhkan 9 mL waktu pemanasan 21 jam, sedangkan menggunakan pelarut HNO_3 8M hanya dibutuhkan 5 mL dengan waktu pemanasan 7 jam pada suhu pemanasan masing-masing 90°C , hal ini menunjukkan bahwa makin besar konsentrasi pelarut yang digunakan makin besar terjadinya tumbukan sehingga semakin besar pula terjadinya reaksi berlangsung, demikian juga halnya semakin besar konsentrasi pelarut semakin cepat waktu reaksi yang digunakan untuk melarutkan paduan U-Zr, hasil pelarutan dan waktu pemanasan masing-masing dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Hubungan konsentrasi pelarut terhadap jumlah pelarut

Pada Gambar 1 dan 2 terlihat bahwa koefisien korelasi (r) masing-masing yaitu 0,9986 nilai ini mendekati angka 1, hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara ke dua variabel dapat dinyatakan sangat kuat, demikian dapat dikatakan semakin tinggi konsentrasi pelarut semakin cepat larutnya, dan sebaliknya semakin kecil konsentrasinya semakin lama larutnya. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan konsentrasi pelarut dengan jumlah pelarut yang digunakan mempunyai peran yang erat sehingga semakin tinggi konsentrasi pelarut yang digunakan semakin cepat larut paduan U-Zr, begitu juga dengan semakin tinggi konsentrasi pelarut semakin cepat pula waktu yang digunakan untuk melarutkan paduan U-Zr.



Gambar 2. Hubungan konsentrasi pelarut terhadap waktu pemanasan

B. Panjang gelombang optimum

Penentuan panjang gelombang yang optimum menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis dengan pengompleks arsenazo III 0,1% dan zirkonium standar, dilihat serapan maksimumnya pada daerah panjang gelombang 190 sampai dengan 900 nm, ternyata mempunyai serapan maksimum pada panjang gelombang

666,3 nm, sehingga pengukuran selanjutnya digunakan untuk pengukuran konsentrasi zirkonium dalam larutan standar dan sampel pada panjang gelombang tersebut.

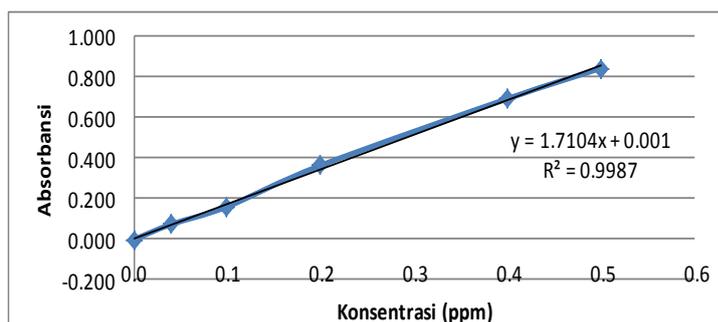
C. Hasil analisis kurva kalibrasi

Dari larutan standar zirkonium dengan berbagai konsentrasi yaitu 0,0; 0,04; 0,1; 0,2; 0,4 dan 0,5 ppm dan dilakukan pengukuran pada panjang gelombang 666,3 nm masing-masing dibaca serapannya, hasil kalibrasi merupakan hubungan antara absorbansi dan konsentrasi yang tampak pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengukuran kurva kalibrasi standar zirkonium

No	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi				SD	RSD (%)
		1	2	3	Rerata		
1	0,00	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	0,000	0,000
2	0,04	0,072	0,071	0,071	0,071	0,001	1.408
3	0,10	0,159	0,159	0,159	0,159	0,000	0,000
4	0,20	0,363	0,364	0,362	0,363	0,001	0,275
5	0,40	0,621	0,621	0,622	0,621	0,001	0,161
6	0,50	0,844	0,845	0,844	0,844	0,001	0,118

Gambar 3 dan Tabel 2 untuk penentuan kurva kalibrasi zirkonium menggunakan spektrometer UV-Vis terhadap larutan standar zirkonium yang dilakukan dengan kisaran konsentrasi 0,0–0,5 ppm, serapan diamati pada panjang gelombang 666,3 nm untuk setiap variasi konsentrasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata absorbansi dari masing-masing larutan standar, dengan berbagai konsentrasi diukur untuk membuat kurva kalibrasi dan dibaca absorbansinya, hasil kalibrasi dituangkan dalam bentuk grafik, dimana grafik tersebut merupakan garis lurus yang menunjukkan hubungan serapan dengan konsentrasi, sehingga diperoleh bentuk persamaan regresi linier yaitu $Y = 1,7104x - 0,001$ dengan koefisien korelasi $r = 0,9993$, dimana jika koefisien korelasi mempunyai nilai 1 (satu) menyatakan bahwa hubungan antara variabel yaitu absorbansi dan konsentrasi sangat kuat [7,8], sedangkan presisi pengukuran yang diperoleh dari nilai RSD (relatif standar deviasi) kurva kalibrasi terhadap standar secara keseluruhan berada dibawah syarat acuan yaitu $< 2\%$, dengan demikian bahwa hasil pengukuran tersebut masih memenuhi kriteria nilai presisi yang baik [9].



Gambar 3. Linieritas konsentrasi terhadap absorbansi

Dengan menggunakan persamaan $Y = 1,7104x + 0,001$ maka konsentrasi zirkonium dalam larutan sampel dapat ditentukan yaitu menginterpolasikan absorbansi unsur dalam larutan sampel ke kurva kalibrasi ke persamaan regresi linier dari setiap unsur, dengan demikian maka konsentrasi setiap unsur dalam sampel dapat ditentukan.

Hasil pengukuran sampel zirkonium yang dilakukan pada panjang gelombang 666,3 nm dengan hasil terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengukuran sampel zirkonium

No	Larutan Zr	Absorbansi			Rata-rata
		1	2	3	
1	1M	0,781	0,781	0,780	0,781
2	1 M	0,784	0,783	0,782	0,783
3	1M	0,795	0,794	0,794	0,794
	Rerata	0,787	0,786	0,785	0,786
4	3M	0,647	0,646	0,646	0,646
5	3M	0,637	0,637	0,637	0,637
6	3M	0,639	0,639	0,639	0,639
	Rerata	0,641	0,641	0,641	0,641
7	8 M	0,787	0,786	0,786	0,786
8	8M	0,820	0,819	0,819	0,819
9	8M	0,789	0,789	0,789	0,789
	Rerata	0,799	0,798	0,798	0,798

Dari hasil pengukuran pada Tabel 3, dengan menggunakan persamaan $Y = 1,7104x + 0,001$, maka konsentrasi zirkonium dalam larutan sampel dapat ditentukan, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perolehan kembali Zr dalam sampel U-Zr

No	Konsentrasi HNO ₃ (M)	Rerata Absorbansi	Zr dalam sampel (ppm)	Zr hasil analisis (ppm)*	Recovery (%)
1	1	0,786	0,488	0,460	94,285
2	3	0,641	0,475	0,375	78,921
3	8	0,798	0,488	0,467	95,721

*Dihitung dengan persamaan $Y = 1,7104x + 0,001$

Persamaan regresi kurva standar untuk menghitung konsentrasi Zr dalam larutan sampel diperoleh rerata 0,460; 0,375 dan 0,467 ppm. Dari Tabel 4 diperoleh bahwa uji perolehan kembali (*recovery*) terhadap variasi konsentrasi sampel larutan Zr ppm yaitu 94,285; 78,921 dan 95,721%.

Tabel 5. Data perhitungan kadar zirkonium dalam paduan U-Zr

No	Konsentrasi HNO ₃ (M)	Berat sampel (g)	Pengenceran	Konsentrasi Zr (ppm)	Kadar Zr (%)
1	1	1,0167	2500	56571,049	5,657
2	3	0,9905	2500	47352,457	4,735
3	8	1,0170	2500	57432,659	5,743

Pada Tabel 4 dan 5 terlihat bahwa hasil analisis uji perolehan kembali (*recovery*) terhadap masing-masing percobaan diperoleh 94,285; 78,921 dan 95,721 %, dengan kandungan Zr dalam larutan adalah berturut-turut 0,460; 0,375 dan 0,467 ppm. Setelah diperoleh konsentrasi dalam larutan sehingga kadar zirkonium dalam sampel dapat diketahui yaitu berturut-turut 5,657; 4,735 dan 5,743 %, hasil ini mendekati dari hasil yang sebenarnya yaitu kadar zirkonium dalam paduan sebanyak 6%, namun hasil yang diperoleh untuk menggunakan konsentrasi HNO₃ 1 dan 8 M mempunyai kandungan zirkonium yang relatif sama, sedangkan menggunakan HNO₃ 3M kandungan zirkoniumnya lebih rendah, hal ini terjadi kemungkinan bahwa sampel paduan yang mengandung zirkonium tidak merata dan pada saat pengambilan sampel

untuk dianalisis kurang tepat, sehingga berpengaruh terhadap analisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan menggunakan variasi konsentrasi pelarut HNO_3 untuk melarutkan paduan U-Zr dapat disimpulkan bahwa, semakin besar konsentrasi pelarut HNO_3 maka reaksi berlangsung semakin cepat sehingga waktu yang digunakan lebih pendek, dengan hasil perolehan kadar zirkonium adalah 5,473 % dengan *recovery* sebesar 95,71%. Dengan demikian konsentrasi pelarut optimum yang digunakan untuk melarutkan paduan U-Zr adalah HNO_3 8M.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih di sampaikan kepada Bp. Ir. Masrukan, MT dan Ibu Ir. Dian Anggraini yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini dan teman-teman BUR yang telah membantu kelancaran pelaksanaan kegiatan ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SAHAT SIMBOLON, BUSRON MASDUKI, ARYADI, Penentuan Unsur-Unsur Takmurnian di Dalam Zirkonium Oksida Dengan Metode Spektrografi Ewiisi, Prosiding Presentasi Ilmiah DaurBahan BakarNuklir V P2TBDUdan P2BGN-BATAN Jakarta, Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Maju-BATAN22 Pebruari 2000, ISSN 1410-19981D0200113
- [2] MASRUKAN, ROSIKA. Perbandingan Hasil Analisis Bahan Bakar U-Zr dengan Menggunakan Teknik XRF dan SSA, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania Vol 14 No. 1, ISSN 0852-4777, PTBN Januari 2008
- [3] FATIMAH, SYAMSUL. 2008. Kinerja spektrofotometer UV-Vis menggunakan metode Quality Control Chart. PTBN-BATAN
- [4] YANLINASTUTI, DIAN ANGGRAINI, S. FATIMAH, YUSUF NAMPIRA, Penentuan Kadar Zirkonium Dalam Paduan U-Zr Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Dengan Pengompleks Arsenazo III, Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII Yogyakarta, 16 November 2011 ISSN 1978-0176
- [5] YOKY EDY SAPUTRA., Verifikasi dan Validasi Metoda di Laboratorium, Juli 2009, [http://en, wikipedia.org/wiki/accuracy and precision](http://en.wikipedia.org/wiki/accuracy_and_precision)

- [6] ANONIM., Validasi Metode Pengujian, <http://iyakuyagaya.wordpress.com> diakses 02/12/2009
- [7] M. MOCHTAR, Pengantar Statistik, Institut Ilmu Pemerintahan Jakarta, 2002
- [8] J. SUPRANTO , Statistik, Teori dan Aplikasi Edisi ke enam Jilid 1, Erlangga, Jakarta 2000
- [9] PURWANTO A. DAN FARIDA ERNAWATI, Metode Spektrofotometri UV-Vis Untuk Pengujian Kadar Silika Dalam Natrium Zirkonat, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta, 26 September 2012, ISSN 1410 – 8178.