

PENGARUH ZIRKONUM DAN NIOBIUM DALAM ANALISIS URANIUM DENGAN METODE POTENSIOMETRI

Torowati¹⁾, Ngatijo dan Deni Mustika

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Setu, Banten, Indonesia, 15313

¹⁾torowati@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH ZIRKONUM DAN NIOBIUM DALAM ANALISIS URANIUM DENGAN METODE POTENSIOMETRI. Telah dilakukan analisis pengaruh zirkonium (Zr) dan niobium (Nb) dalam uranium. Alat yang digunakan untuk analisis adalah potensiometri T-90 merk Tolendo. Analisis dilakukan di laboratorium kendali kualitas Bidang Bahan Bakar Nuklir (B3N), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN). Tujuan dari analisis uranium ini adalah untuk mengetahui pengaruh unsur Zr dan Nb yang berada bersama-sama dalam larutan uranium berupa uranyl nitrat (UN) dengan konsentrasi Zr dan Nb bervariasi. Harapan dari analisis ini adalah mengetahui penyimpangan dari analisis uranium karena adanya Zr dan Nb. Prinsip dari analisis ini berdasarkan reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Bahan reduktor digunakan ferro sulfat dan sebagai oksidator adalah kalium bikromat. Dalam analisis ini kandungan uranium dianalisis kurang lebih 10 g/L sedangkan variasi konsentrasi Zr 1% sampai 8% dengan interval 1% dan Nb 0,1% sampai 1%. Adanya unsur Zr dan Nb berpengaruh terhadap hasil analisis uranium. Hasil analisis terlihat bahwa semakin besar konsentrasi Zr dalam larutan UN hasil analisis uranium akan semakin kecil sehingga penyimpangan hasil analisis kandungan uranium akan semakin besar, demikian juga adanya penambahan Nb dalam larutan UN yang telah mengandung 1% Zr, semakin besar jumlah Nb yang ditambahkan penyimpangan juga semakin besar. Hasil analisis uranium larutan UN dengan adanya unsur Zr 1% penyimpangan analisis sebesar 4,54% dan hasil analisis larutan UN dengan penambahan secara bersamaan Zr 1% dan Nb 1% penyimpangan hasil analisis uranium uranium sebesar 9,08%

Kata kunci : uranium, zirkonium, niobium, potensiometer, redoks.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF ZIRCONIUM AND NIOBIUM IN URANIUM ANALYSIS BY POTENTIOMETRY. Analysis on the influence of zirconium (Zr) and niobium (Zr) in uranium by potentiometry has been done at the laboratory of Quality Control of Nuclear Fuel Division, the Center for Nuclear Fuel Technology. The device used for the analysis was T-90 Tolendo potentiometry. The aim of the analysis is to study the influence of Zr and Nb presence in uranium solution of uranyl nitrate with varied concentration of Zr and Nb. The results are expected to contribute to the study of deviation in uranium analysis due to the presence of Zr and Nb. The principle of the analysis is based on the redox reaction (reduction-oxidation), The reduction material used was ferro sulfate while the oxidator was calium bichromate. The uranium samples were of about 10 gram/L with varied concentration were 1 to 8% for Zr and 0.1 to 1% for Nb. The results show that higher concentration of Zr in uranyl nitrate (UN) solution resulted in lower value of uranium content measurement result, and higher Nb concentration present in mixture of 1% Zr and uranyl nitrate caused greater value of measurement deviation. The analysis of uranyl nitrate solution with 1% Zr caused a measurement deviation of 4.54%, while the analysis of a mixture of 1% Zr and 1% Nb in uranyl nitrate sample resulted in a deviation value of 9.08%.

Keywords: uranium, zirconium, niobium, potentiometer, redox

PENDAHULUAN

Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Nomor 21 Tahun 2014 tentang rincian unit kerja di BATAN dijelaskan bahwa Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) merupakan salah satu institusi dibawah Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir (TEN). Salah satu tugas pokok dan fungsi (tupoksi) PTBBN adalah melaksanakan pengembangan teknologi produksi bahan bakar nuklir untuk reaktor daya dan riset yang dilaksanakan oleh Bidang Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir (BFBBN)[1].

Litbang fabrikasi bahan bakar reaktor riset bertujuan untuk memperoleh bahan bakar dispersi baru yang mempunyai densitas tinggi sehingga jumlah uranium yang dapat dimuatkan ke dalam bahan bakar persatuan volume menjadi lebih banyak. Bahan bakar paduan uranium tersebut diantaranya adalah paduan U-Zr, U-Zr-Nb, U-Mo-Ti dan U-Mo-Zr dengan berbagai konsentrasi dari unsur Zr, Nb, Mo maupun Ti yang ditambahkan dalam paduan tersebut.[2,3,4]

Litbang fabrikasi bahan bakar nuklir dispersi didukung oleh analisis laboratorium sebagai persyaratan uji kendali kualitas. Kendali kualitas dilakukan terhadap bahan baku, produk antara, produk akhir bahan bakar nuklir dan bahan struktur dukung. Diantara karakterisasi yang dipersyaratkan adalah kandungan uranium dalam bahan bakar dispersi (U-Zr, U-Zr-Nb, U-Mo-Ti dan U-Mo-Zr). Metode analisis kandungan uranium dalam uranium dioksida di laboratorium kendali kualitas IEBE menggunakan metode Davies – Gray termodifikasi dan sudah tervalidasi menggunakan bahan standar uranium oksida dengan akurasi $(1,025 \pm 0,564) \%$ [5]. Adapun interferensi unsur makro lain dalam larutan uranium seperti zirkonium, niobium, titanium dan molibdenum pada paduan bakar dispersi perlu dipelajari untuk mendapatkan metode analisis uranium yang akurat pada bahan bakar nuklir dispersi.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kandungan unsur zirkonium dan niobium di dalam analisis uranium pada metode Davies – Gray, secara titrasi potensiometri, karena unsur Zr dan Nb merupakan unsur makro pada bahan bakar dispersi. Nilai akurasi atau penyimpangan digunakan sebagai faktor koreksi untuk mendapatkan metode yang valid dan hasil yang

akurat.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis uranium dengan menambahkan unsur makro Zr dan Nb. Setelah diketahui hasil analisis dengan adanya unsur makro Zr dan Nb di dalam larutan uranium yang dianalisis tersebut harapannya dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan analisis uranium. Adanya unsur makro Zr atau Nb dalam analisis ini akan digunakan sebagai faktor koreksi metode dalam analisis uranium yang berasal dari paduan uranium dispersi.

Pada penelitian ini unsur Zr yang ditambahkan 1% hingga 8% dengan interval 1% dan unsur Nb sebesar 0,6% ; 0,8% dan 1%. Hal yang mendasari pemilihan prosentasi unsur Zr dan Nb dalam analisis ini karena telah dilakukan penelitian dan pengembangan (litbang) penguasaan dan fabrikasi bahan bakar reaktor riset dan litbang pepaduan dan fabrikasi serbuk U-Z-Nb diantaranya dengan kisaran persentase tersebut.[2,3]

TEORI

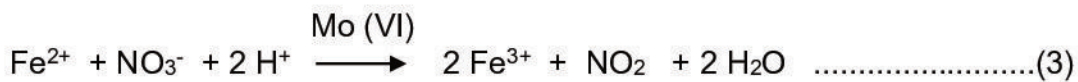
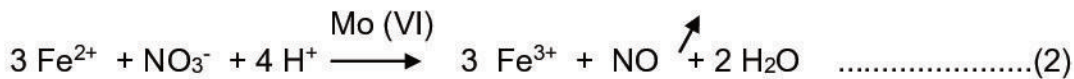
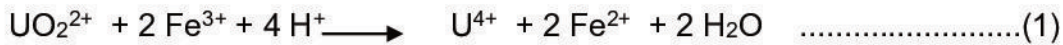
Analisis Uranium Metode Davies – Gray secara Potensiometri

Potensiometri merupakan metode analisis kimia berdasar hubungan antara potensial elektroda relatif dengan konsentrasi larutan dalam suatu sel kimia. Metode ini berguna untuk menentukan titik setara suatu titrasi secara instrumental sebagai pengganti indikator visual.[4] Titik akhir reaksi diketahui dengan pengukuran potensial oleh sensor dari elektroda yang digunakan dalam analisis tersebut. Analisis uranium yang dilakukan secara titrasi potensiometri didasarkan kepada metode Davies - Gray termodifikasi. Tujuan dari analisis adalah mengetahui kandungan atau kadar uranium dalam sampel atau bahan. Sampel yang dianalisis dapat berupa padatan, larutan maupun pasta. Dalam melakukan analisis uranium secara potensiometri, sampel yang akan dititrasi harus berada dalam bentuk larutan uranil nitrat (UN) sehingga uranium berada dalam valensi enam atau U(VI).

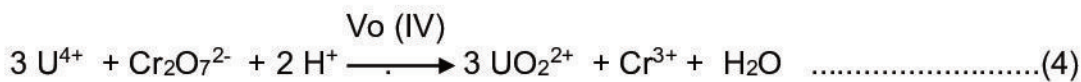
Prinsip analisis dengan metode Davies - Gray termodifikasi berdasarkan reaksi redoks (reduksi - oksidasi). Sampel uranium dibuat dalam bentuk larutan uranil nitrat dan uranium bervalensi enam atau U(VI). Uranium (VI)

direduksi menjadi uranium bervalensi empat atau U (IV) menggunakan larutan ferro sulfat sebagai reduktor dan Mo (IV) sebagai katalisator. Uranium (IV) yang terbentuk, dioksidasi menggunakan larutan standar kalium bikromat menjadi U (VI) dengan katalisator vanadil sulfat.

Reaksi yang terjadi pada peristiwa reduksi mengikuti persamaan berikut [5] :



Reaksi yang terjadi saat peristiwa oksidasi mengikuti persamaan (4) berikut ini.



Untuk mendapatkan hasil/jumlah uranium yang dianalisis dapat diketahui langsung dari hasil pencatat pada alat tersebut atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5),(6) dan (7).[6,7,8]

$$\text{Kadar uranium} = \frac{V_1 \times 119 \times N \times F \times K \times Fk}{E \times V_2} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Kandungan uranium dalam larutan} = (V_1) \times (119) \times (N) \times (Fk) \dots\dots\dots(6)$$

Faktor koreksi metode (Fk) :

$$= \frac{\text{Kandungan U dalam larutan standar (secara teoritis)}}{\text{Hasil analisis kandungan U dalam larutan standar}} \dots\dots\dots(7)$$

dengan :

V₁ : Volume titran yang digunakan untuk analisis (mL)

119 : Berat atom uranium/Bilangan oksidasi uranium

N : Normalitas K₂Cr₂O₇ yang digunakan adalah 0,025 N (N)

F : Faktor pengkayaan (untuk U alam adalah F = 1)

K : Volume labu takar yang digunakan untuk melarutkan sampel (mL)

Fk : Faktor koreksi metode

E : Berat sampel yang dilarutkan (mg)

V₂ : Volume sampel yang dianalisis (mL)

Potensiometer

Potensiometer merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan analisis unsur dalam suatu larutan karena adanya penambahan volume titran yang didasarkan dengan adanya sensor berupa elektroda. Alat ini dilengkapi dengan alat titrasi secara otomatis, pencatat data serta elektrode kombinasi platina (Pt). Elektrode kombinasi merupakan gabungan dari ke dua macam elektrode Pt dan pembanding. Salah satu unsur yang dapat dianalisis dengan menggunakan potensiometer dengan elektrode kombinasi platina adalah uranium seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Potensiometer T-90

Keterangan

- | | | | |
|----|-----------------------------|----|------------------|
| 1. | Elektrode kombinasi platina | 6. | Monitor manual |
| 2. | Buret tempat larutan titran | 7. | CPU |
| 3. | Pengaduk gantung | 8. | Printer |
| 4. | Meja sampel | 9. | Monitor komputer |
| 5. | Botol tempat titran | | |

Nilai akurasi

Akurasi didefinisikan sebagai kedekatan dan kesesuaian antara hasil analisis dengan nilai benar analit (*true value*) [8]. Upaya untuk menentukan tingkat akurasi perlu diketahui nilai sebenarnya dari analit yang dianalisis. Nilai akurasi dapat ditentukan dengan cara membandingkan selisih antara kadar

uranium standar dalam sertifikat dengan hasil analisis uranium, dihitung dengan persamaan (8)[9].

$$\text{Nilai Akurasi} = \frac{|U_s - U_a|}{U_s} \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

dengan :

U_s : Kandungan uranium standar sesuai sertifikat

U_a : Kandungan uranium hasil analisis dari uranium standar

Semakin kecil nilai akurasi yang diperoleh maka semakin kecil perbedaan kandungan uranium hasil analisis dengan kandungan uranium yang tertera pada sertifikat. Suatu hasil pengukuran/analisis mempunyai tingkat akurasi tinggi apabila nilai akurasi yang diperoleh semakin mendekati nilai nol. Dengan demikian semakin rendah nilai akurasinya maka semakin kecil penyimpangan hasil analisisnya[9].

Simpangan Baku (Standar Deviasi)

Dalam statistika, simpangan baku atau standar deviasi (SD) adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur sebaran sejumlah nilai data. Semakin rendah SD, maka semakin mendekati rata-rata, sedangkan jika nilai SD semakin tinggi maka semakin lebar rentang variasi datanya. Sehingga standar deviasi merupakan besar perbedaan dari nilai sampel terhadap rata-rata.[10]

Persamaan untuk menentukan SD adalah:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (9)$$

dengan : ..

s : Standar deviasi

x_i : Nilai x dari n ke-i

\bar{x} : Rata-rata

n : perulangan sampel

METODE

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan adalah serbuk U_3O_8 standar (CRM 129–A), serbuk U_3O_8 Cameco, zirkonium nitrat dari Merck, larutan niobium nitrat, asam nitrat dari Fisher, asam sulfat pekat dari Merck, ammonium heptamolibdat dari Merck, kalium bikromat dari Merck, asam amido sulfonat 1,5 M dari Merck, ferro sulfat 1 M dari Merck, asam perklorat pekat dari Merck, vanadil sulfat 0,1 % dari Merck, air bebas mineral potensiometer T-90 merk Mettler Toledo, beker gelas, gelas ukur, labu ukur, pipet ukur, corong, pengaduk magnet, *hot plate*, pH meter merek Methrom dan neraca analitik merk Mettler Toledo..

Cara Kerja

Penelitian ini dilakukan dengan melarutkan serbuk U_3O_8 standar (CRM 129-A dengan kadar uranium 84,7698 %) dan serbuk U_3O_8 Cameco menggunakan HNO_3 dan masing-masing kandungan uranium yang dianalisis dalam larutan uranium (UN) 10 g/L. Kandungan uranium dari masing-masing larutan UN tersebut dianalisis kandungan uraniumnya secara titrimetri potensiometri dengan metode Davies – Gray termodifikasi.

Hasil analisis larutan UN standar digunakan untuk menentukan faktor koreksi dari metode yang digunakan. Larutan UN Cameco sebagai larutan induk untuk analisis uranium dengan adisi unsur Zr dan Nb.

Larutan UN induk diadisi dengan unsur Zr bervariasi 1 – 8 % kemudian dianalisis kandungan uraniumnya. Selanjutnya larutan UN induk yang sudah diadisi dengan unsur Zr 1% ditambah unsur Nb bervariasi 0,6 %; 0,8 % dan 1 % kemudian dianalisis kadar uraniumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis uranium dalam larutan uranium standar digunakan untuk menentukan nilai faktor koreksi metode. Larutan UN standar yang digunakan adalah serbuk U_3O_8 CRM 129-A. Dari hasil analisis diperoleh volume $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N yang digunakan untuk titrasi, dengan menggunakan persamaan (5), (7)

dan (9) maka kadar uranium, diperoleh nilai faktor koreksi (Fk) dan nilai SD hasil analisis larutan UN standar dapat diketahui seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil analisis uranium dalam larutan uranium standar

No.	Volume $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N (mL)	Kadar uranium (%)	Faktor koreksi (Fk)
1	3.378	84.735	1.000
2	3.366	84.434	1.004
3	3.369	84.509	1.003
4	3.380	84.785	1.000
5	3.368	84.484	1.003
6	3.379	84.760	1.000
7	3.381	84.810	1.000
Rerata		84.645	1.002
SD		0.162	0.002

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil analisis kadar uranium rerata dalam larutan standar diperoleh 84.645% dengan SD : 0.162 maka nilai faktor koreksi (Fk) rerata diperoleh sebesar 1,002. Nilai faktor koreksi digunakan untuk mengoreksi hasil analisis kandungan uranium dalam bahan/sampel sehingga hasil analisis dapat dipertanggung jawabkan.

Kemudian volume $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N yang dibutuhkan untuk analisis uranium dalam larutan UN induk Cameco dengan menggunakan persamaan (6) dan (8), kandungan uranium dalam larutan UN induk dan SD dapat diketahui, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil perhitungan kandungan uranium dalam larutan UN induk Cameco

No.	Volume $K_2Cr_2O_7$ (mL)	Kandungan uranium (g/L)
1	3.385	10,070
2	3.363	10,004
3	3.323	9,885
4	3.337	9,927
5	3.345	9,950
6	3.365	10,012
7	3.335	9.921
rerata		9,967
SD		0,065

Hasil rerata analisis uranium dalam larutan UN induk diperoleh 9,967 g/L dengan nilai SD 0,065.

Kemudian dengan diketahui volume $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N yang dibutuhkan untuk analisis larutan UN induk dengan adisi unsur Zr bervariasi konsentrasi yaitu : 1, 2, 4, 6 dan 8 % maka dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (9) diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

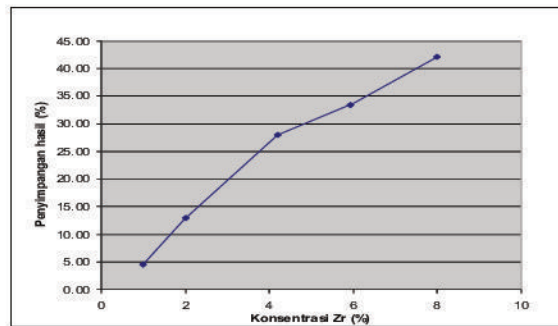
Tabel 3. Kandungan uranium dengan penambahan Zr dengan konsentrasi bervariasi

No.	Konstrasi Zr (%)	Volume $K_2Cr_2O_7$ (mL)	Kandungan uranium rerata (g/L)	SD (g/L)	Nilai akurasi (%)
1.	1	3,163	9,514	0,352	4,54
2.	2	2,909	8,672	0,215	12,99
3.	4	2,339	7,102	0,290	28,74
4.	6	2,269	6,765	0,256	32,13
5.	8	1,933	5,762	0,289	42,19

Dari Tabel 3. terlihat bahwa kandungan uranium rerata dalam larutan UN induk tanpa penambahan Zr adalah 9,967 g/L. Adanya penambahan unsur Zr pada larutan UN induk yang dianalisis maka hasil kandungan uranium yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan tanpa unsur Zr. Hasil analisis diperoleh semakin besar konsentrasi Zr yang ditambahkan ke dalam larutan UN induk yang dianalisis, hasil kandungan uranium semakin kecil sehingga nilai akurasi hasil analisis semakin besar. Dengan demikian dapat diartikan adanya unsur makro berupa Zr dalam analisis uranium akan mengganggu. Larutan ferro sulfat yang digunakan untuk mereduksi uranium, mereduksi pula unsur Zr sehingga uranium yang tereduksi tidak maksimal maka tidak semua uranium teranalisis. Reaksi yang terjadi saat reduksi :



Hubungan antara nilai penyimpangan analisis terhadap konsentrasi unsur Zr yang ditambahkan dalam larutan uranium yang dianalisis seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh penambahan Zr terhadap analisis uranium

Pada analisis uranium dengan penambahan unsur Zr dan Nb secara bersamaan ke dalam larutan UN induk, unsur Zr yang ditambahkan konstan 1% tetapi konsentrasi Nb bervariasi yaitu : 0,6 ; 0,8 dan 1 %. Diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis kandungan uranium dengan penambahan unsur Zr konstan 1%

dan Nb bervariasi

No.	Konsentrasi Nb (%)	Volume $2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (mL)	Kandungan uranium rerata (g/L)	SD (g/L)	Nilai akurasi (%)
1.	0	3,163	9,514	0,352	4,54
2.	0,6	3,126	9,320	0,212	6,49
3.	0,8	3,100	9,241	0,209	7,28
4.	1,0	3,031	9,062	0,570	9,08

Pada Tabel 4 terlihat bahwa analisis uranium dengan adisi unsur konstan Zr 1% hasil analisis uranium dengan semakin besar konsentrasi unsur Nb yang ditambahkan hasil analisis uranium semakin kecil sehingga nilai akurasi semakin besar pula. Penambahan unsur Nb dalam makalah ini hanya dilakukan sampai 1% karena keterbatasan bahan dari unsur Nb dan penambahan unsur Nb sampai 1% sudah dapat memberikan informasi adanya unsur Nb dapat berpengaruh dalam analisis uranium.

Dengan demikian ini perlu dilakukan lagi analisis pengaruh unsur Zr dan Nb dalam larutan uranium tetapi didalam preparasinya perlu adanya penambahan reduktor sehingga diharapkan semua uranium tereduksi. Dapat

METODE

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan adalah serbuk U_3O_8 standar (CRM 129–A), serbuk U_3O_8 Cameco, zirkonium nitrat dari Merck, larutan niobium nitrat, asam nitrat dari Fisher, asam sulfat pekat dari Merck, ammonium heptamolibdat dari Merck, kalium bikromat dari Merck, asam amido sulfonat 1,5 M dari Merck, ferro sulfat 1 M dari Merck, asam perklorat pekat dari Merck, vanadil sulfat 0,1 % dari Merck, air bebas mineral potensiometer T-90 merk Mettler Toledo, beker gelas, gelas ukur, labu ukur, pipet ukur, corong, pengaduk magnet, *hot plate*, pH meter merek Methrom dan neraca analitik merk Mettler Toledo..

Cara Kerja

Penelitian ini dilakukan dengan melarutkan serbuk U_3O_8 standar (CRM 129-A dengan kadar uranium 84,7698 %) dan serbuk U_3O_8 Cameco menggunakan HNO_3 dan masing-masing kandungan uranium yang dianalisis dalam larutan uranium (UN) 10 g/L. Kandungan uranium dari masing-masing larutan UN tersebut dianalisis kandungan uraniumnya secara titrimetri potensiometri dengan metode Davies – Gray termodifikasi.

Hasil analisis larutan UN standar digunakan untuk menentukan faktor koreksi dari metode yang digunakan. Larutan UN Cameco sebagai larutan induk untuk analisis uranium dengan adisi unsur Zr dan Nb.

Larutan UN induk diadisi dengan unsur Zr bervariasi 1 – 8 % kemudian dianalisis kandungan uraniumnya. Selanjutnya larutan UN induk yang sudah diadisi dengan unsur Zr 1% ditambah unsur Nb bervariasi 0,6 %; 0,8 % dan 1 % kemudian dianalisis kadar uraniumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis uranium dalam larutan uranium standar digunakan untuk menentukan nilai faktor koreksi metode. Larutan UN standar yang digunakan adalah serbuk U_3O_8 CRM 129-A. Dari hasil analisis diperoleh volume $K_2Cr_2O_7$ 0,025 N yang digunakan untuk titrasi, dengan menggunakan persamaan (5), (7)

- Reduction Phosphoric Acid Followed by Chromium (VI) Titration in the Presence of Vanadium”, 2011.
- [8.] TOROWATI, "Uji Kemampuan Alat Potensiometer Dengan Variasi Kandungan Uranium" Prosiding Seminar Nasional XV "kimia dalam Pembangunan", ISSN 0854-4778, Yogyakarta 2012
- [9.] JULIA K., "Validasi Metode" Diktat Validasi Metode, Pusat Penelitian Kimia-LIPI, Bandung, 2010
- [10.] HEDI S., 'Pengertian standar deviasi', [https:// hedisasrawan.blogspot.com/2016/10/pengertian-standar-deviasiartikel.html](https://hedisasrawan.blogspot.com/2016/10/pengertian-standar-deviasiartikel.html), diakses tanggal 15 Agustus 2018
- [11.] WIKIPEDIA 'Zirkonium' <https://id.wikipedia.org/wiki/Zirkonium>, diakses tanggal 14 Agustus 2018
- [12.] WIKIPEDIA 'Niobium' <https://id.wikipedia.org/wiki/Niobium>, diakses tanggal 14 Agustus 2018