

PENGARUH UNSUR Al DAN Mo TERHADAP HASIL ANALISIS URANIUM DALAM PELAT ELEMEN BAKAR U-Mo/Al DENGAN METODE POTENSIOMETRI

Iis Haryati, Boybul, Sutri Indaryati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN
Kawasan Puspiptek Gd.20 Setu, Kota Tangerang Selatan Banten 15313
iis_endro@yahoo.com

ABSTRAK

PENGARUH UNSUR Al DAN Mo TERHADAP HASIL ANALISIS URANIUM DALAM PELAT ELEMEN BAKAR U-Mo/Al. Telah dilakukan analisis kadar uranium dalam larutan uranil nitrat hasil pelarutan pelat elemen bakar (PEB) U-Mo/Al. Penentuan kadar uranium menggunakan metode potensiometri titrasi reduksi oksidasi dengan ferro sulfat sebagai reduktor dan kalium bikromat sebagai oksidator. Pengaruh aluminium di dalam uranil nitrat diteliti pada konsentrasi 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, dan 5000 ppm, sedangkan pengaruh Mo diteliti pada konsentrasi 50, 100, 200, 300, 400, 500, dan 1000 ppm dengan konsentrasi uranium 1000 ppm. Pengukuran kadar uranium dalam larutan PEB U-Mo/Al dianalisis dengan teknik pemanasan dan ditambahkan asam perklorat, tanpa pemanasan dan pemisahan dengan cara ekstraksi menggunakan TBP/Heksan. Hasil analisis uranium dalam larutan PEB U-Mo/Al dengan teknik pemanasan, tanpa pemanasan dan dalam fase organik berturut-turut sebesar 1,149 g/L, 1,205 g/L dan 1,218 g/L, dan ketelitian analisis berturut-turut sebesar 3,216%, 5,876% dan 2,391%. Unsur pengotor Al berpengaruh terhadap ketelitian analisis uranium pada konsentrasi 5000 ppm, sedangkan pada konsentrasi ≤ 3000 ppm tidak berpengaruh terhadap ketelitian maupun akurasi analisis. Unsur pengotor Mo dengan konsentrasi 50 ppm sampai dengan 1000 ppm tidak berpengaruh pada hasil analisis uranium baik terhadap ketelitian maupun akurasi analisis.

Kata kunci : Pengaruh Mo, Al pada Analisis U-Mo/Al

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF Al AND Mo TO THE ANALYSIS RESULT OF URANIUM IN URANIL NITRATE SOLUTION RESULTED FROM DISSOLUTION U-Mo/Al NUCLEAR FUEL PLATE. Analysis of uranium content in uranil nitrate solution resulted from the of dissolution of nuclear fuel plate (PEB) U-Mo/Al has been done. Determination of the uranium was done by titration potentiometry method

and reduction-oxidation with ferro sulphate as reductor and potassium bichromate as oxidator. Aluminium influence was observed at the concentration of 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, and 5000 ppm, and the Mo influence was observed at the concentration of 50, 100, 200, 300, 400, 500, and 1000 ppm with uranium concentration of 1000 ppm. The uranium level measurement in PEB U-Mo/Al solution was analyzed by heating and perchlorate addition and without heating with separation by extraction using TBP/Hexane. The result of the analysis by heating, without heating, and extraction is 1.149 g/L, 1.205 g/L and 1.218 g/L, respectively with analysis precision of 3.216%, 5.876% and 2.391%. The impurity element of Al shows its influence in the uranium analysis at 5000 ppm, while below 3000 ppm the impurity of Al does not influence the to both the precision and accuracy. The Mo content at 50 ppm to 1000 ppm does not show any influence to the analysis, either for the precision and accuracy

Keyword: influence of Al and Mo, U-Mo/Al analysis

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar dispersi U_3Si_2/Al dengan uranium pengayaan < 20% U-235 telah diteliti di Pusat Teknologi Bahan Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTBN-BATAN) dan telah ditingkatkan ke dalam skala produksi oleh PT Batan Teknologi (persero). Bahan bakar tersebut telah diproduksi secara rutin sejak tahun 1999 untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar RSG-GAS. Iradiasi hingga *burn-up* 56%, bahan bakar tersebut sangat stabil sehingga mendorong untuk melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan bahan bakar lebih lanjut. Pengembangan bahan bakar U_3Si_2/Al dengan densitas uranium 4,8 dan 5,2 g U/cm^3 sedang dalam proses iradiasi dan uji pasca iradiasi untuk mengetahui karakternya. Berdasar pengalaman dan tersedianya fasilitas penelitian, maka selain penelitian bahan bakar silisida juga dilakukan penelitian bahan bakar berbasis U-Mo.

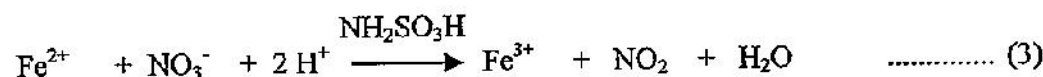
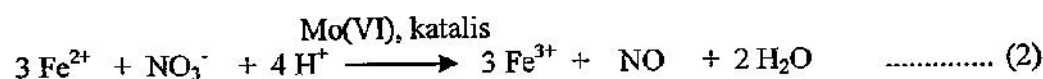
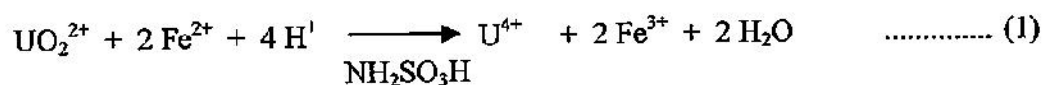
Paduan berbasis U-Mo memiliki densitas > 16 g/ cm^3 , sehingga apabila digunakan sebagai bahan bakar dispersi, maka densitas uraniumnya dapat lebih tinggi bila dibandingkan dengan bahan bakar U_3Si_2 yang memiliki densitas 12,2 g/ cm^3 [1]. Densitas tinggi tersebut sangat diperlukan dalam bahan bakar dispersi dalam rangka ekonomi penggunaan uranium. Teknik pembuatan bahan bakar dispersi U-Mo/Al secara umum dimulai dari pembuatan: ingot paduan U-Mo, inti elemen bakar/IEB U-Mo/Al, pelat elemen bakar/PEB U-Mo/Al dan perakitan menjadi bundel elemen bakar/EB.

Penelitian U-Mo/Al saat ini dalam tahap iradiasi dan selanjutnya akan dilakukan uji pasca iradiasi. Salah satu uji pasca iradiasi pelat elemen bakar adalah analisis *burn-up* atau derajat bakar bahan bakar, diantaranya penentuan kandungan uranium total didalam dalam bahan bakar tersebut. Sebelum dilakukan analisis terhadap PEB pasca iradiasi, sebagai data pembanding dilakukan analisis kadar uranium dalam PEB pra iradiasi.

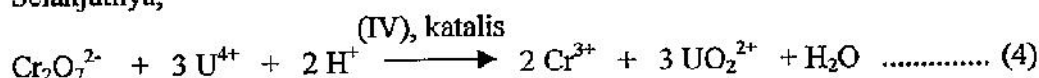
Tujuan dilakukannya kegiatan dalam penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh unsur Al dan Mo terhadap hasil analisis uranium dalam sampel hasil pelarutan PEB U-Mo/Al. Analisis uranium pada penelitian ini adalah secara titrasi potensiometrik dengan metode Davies Grray. Kandungan unsur Mo dan Al tersebut cukup besar oleh sebab itu kedua unsur tersebut diperkirakan akan mempengaruhi hasil analisis kadar uranium dengan metode titrimetri sehingga perlu dikaji/diteliti sejauh mana pengaruhnya terhadap ketelitian hasil analisis uranium

Uranium yang dianalisis dalam bentuk UO_2^{2+} direduksi menjadi U^{4+} dengan penambahan Fe^{2+} dalam jumlah berlebihan sebagai reduktor di dalam medium asam fosfat pekat. Kelebihan ion Fe^{2+} dioksidasi secara selektif oleh asam nitrat dengan molybdenum sebagai katalisator U^{4+} . Selanjutnya U^{4+} dioksidasi menggunakan larutan standar $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ secara akurat yang diikuti oleh perubahan potensial larutan hingga melampaui titik ekuivalennya. Untuk perubahan pada titik akhir titrasi dan juga berfungsi sebagai katalisator, sebelum titrasi dilakukan maka ditambahkan vanadium. Dengan bantuan potensiometer-titraliser, perubahan potensial dapat diikuti secara elektronik hingga letak titik ekuivalen secara akurat dapat dipastikan.

Tahap-tahap reaksi yang terjadi adalah :



Selanjutnya,



Pada proses titrasi ini pengaruh ion asing seperti Al, Cr, Na, Ca, NH_4^+ , F, ClO_4^- , dan SO_4^{2-} dalam jumlah kecil tidak berpengaruh. Ion Mo akan berpengaruh apabila berada bersama-sama dengan ion NO_3^- dalam jumlah besar. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketelitian dan ketepatan analisis uranium adalah konsentrasi uranium, konsentrasi titran, konsentrasi media, kepekaan elektroda, konsentrasi reduktor^[2].

Kehandalan hasil analisis dapat diketahui melalui pengecekan terhadap data analisis dengan menggunakan metode *Coefficient of Variation (CV)* Horwitz (HW). Nilai presisi pengukuran ditunjukkan dengan nilai RSD (*Relative Standard Deviation*) yang dihitung dari hasil bagi nilai simpangan baku (SD) dengan nilai konsentrasi rerata dari 7 kali pengulangan pengukuran. Suatu pengukuran dinyatakan presisi bila nilai RSD lebih rendah dibanding dengan nilai CV Horwitz. Nilai Horwitz^[3] dihitung menggunakan rumus :

$$\text{HW} = 2^{(1-(0.5 \times \text{Log C}))} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan

HW : Horwitz

Log C : Fraksi Konsentrasi

Kandungan unsur Mo dan Al yang terdapat dalam PEB U-Mo/Al telah dianalisis dalam 10 mL larutan HNO_3 . Larutan cuplikan hasil pelarutan sampel PEB U-Mo/Al seberat kurang lebih 0,8 g mengandung unsur Mo sebesar 91,30 ppm dan Al sebesar 3056,45 ppm^[5]. Kandungan unsur Mo dan Al tersebut cukup besar oleh sebab itu kedua unsur tersebut diperkirakan akan mempengaruhi hasil analisis kadar uranium dengan metode titrimetri maka perlu dikaji/diteliti sejauh mana pengaruhnya terhadap ketelitian hasil analisis uranium.

2. LANGKAH KERJA

Bahan :

Standard Reference Material Uranium Oksida , Fero sulfat , Asam Amido sulfonat , Asam nitrat , Asam fosfat , Amonium heptamolibdat , Kalium bikromat , Vanadium sulfat. dan cuplikan PEB U-Mo-Al ukuran 1 x 1 mm, larutan standar Al dan Mo.

Peralatan :

Potensiometer Metrohm 682, Elektroda kombinasi Pt kalomel sebagai elektroda kerja dan elektroda pembanding..

Cara kerja :

a. Pembuatan larutan pereaksi:

Dibuat larutan 1,5 M asam amidosulfonat, dengan cara menimbang 146 gram asam amidosulfonat dilarutkan dalam 1 liter air bebas mineral, dibuat larutan 1,0 M Fero sulfat. Dengan cara menimbang 280 gram $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam larutan 1,8 M asam sulfat, yaitu 600 mL air bebas mineral ditambah 100 mL asam sulfat pekat 95-97%, lalu ditepatkan dengan air bebas mineral menjadi 1 liter.

Dibuat larutan A, dengan cara menimbang 4 gram amonium heptamolibdat tetrahidrat dilarutkan dalam 400 mL air bebas mineral, ditambah 500 mL asam nitrat pekat, dan 100 mL asam amido sulfonat 1,5M.

Dibuat Larutan 0,4 g/L vanadium dalam larutan 4,8 M asam sulfat, dengan cara menimbang 2150 mL air bebas mineral ditambah 125 mL asam sulfat pekat, ditambah 1

ampul titrasi 1 g/L Vanadium, kemudian ditepatkan hingga 2,5 Liter dengan air bebas mineral, dibuat Larutan 0,027 N kalium bikromat, dengan cara menimbang 1,324 gram kalium bikromat dilarutkan dalam satu liter air bebas mineral.

b. Pembuatan larutan standar Uranium (U= 3,0273 g/L)

Ditimbang dengan teliti 0,3570 gram SRM U_3O_8 , ditambah dengan 5 mL asam nitrat pekat dipanaskan hingga larut sempurna, didinginkan, kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan ditepatkan hingga tanda garis dengan asam nitrat 3 M.

c. Penyiapan larutan contoh PEB U-Mo/Al

PEB U-Mo-Al ukuran 1 mm x 1 mm ditimbang kemudian dilarutkan dengan 5 mL asam klorida, setelah PEB larut ditambah 5 mL asam nitrat pekat dipanaskan hingga serbuk U-Mo larut sempurna, didinginkan, Kemudian dimasukkan ke dalam labu takar 25 mL dan ditepatkan hingga tanda garis dengan asam nitrat 3 M.

d. Penyiapan larutan contoh Standar U, Mo dan Al

Ke dalam larutan 1 mL uranium standar 3000 ppm ditambahkan larutan standar Mo dengan konsentrasi yang bervariasi yaitu 50, 100, 200, 300, 400, 500, dan 1000 ppm. Untuk penambahan larutan standar Al juga bervariasi dari konsentrasi 500, 100, 1500, 2000, 2500, 3000, dan 5000 ppm. Tambahkan ke dalam larutan standar Uranium 3000 ppm.

e. Pengukuran kadar uranium dalam larutan contoh tanpa pemanasan

Ke dalam masing-masing 5 buah gelas piala dipipet 1 mL larutan cuplikan. Ditambah 10 mL air bebas mineral, 2 mL asam amido sulfonat, 16 mL asam fosfat pekat, dan 2 mL fero sulfat, dipanaskan sampai suhu 40 °C selama 1 menit sambil diaduk. Kemudian ditambah 4 mL larutan A, diaduk dengan pengaduk magnet selama 3 menit. Ditambah 40 mL larutan vanadium 0,4 g/L, kemudian dititrasi dengan 0,027 N kalium bikromat sampai tercapai titik akhir titrasi.

f. Pengukuran kadar uranium dalam larutan contoh pemanasan dengan asam perklorat

Ke dalam masing-masing 5 buah gelas piala dipipet 1 mL larutan cuplikan. Ditambah 4 mL asam perklorat, kemudian dipanaskan sampai timbul uap putih, pemanasan dilanjutkan sampai kira-kira 1 menit, didinginkan. Ditambah 10 mL air bebas mineral, 2 ml asam amido sulfonat, 16 mL asam fosfat pekat, dan 2 mL fero sulfat, dipanaskan sampai suhu 40 °C selama 1 menit sambil diaduk. Kemudian ditambah 4 mL larutan A, diaduk dengan pengaduk magnet selama tiga menit. Ditambah 40 mL larutan vanadium 0,4 g/L kemudian dititrasi dengan 0,027 N kalium bikromat sampai tercapai titik akhir titrasi. ^[4]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi metode penentuan kadar uranium dilakukan terlebih dahulu sebelum melihat pengaruh Al dan Mo. Hasil verifikasi metode untuk analisis kadar uranium dalam uranium standar dengan metode titrimetri.

1. Verifikasi analisis kadar uranium

Verifikasi metode titrimetri untuk penentuan uranium dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari metode ini, hal ini ditentukan ketelitian dan akurasi berdasarkan hasil

analisis uranium standar, yang dibandingkan dengan nilai yang tercantum dalam sertifikat dari uranium standar. Kadar uranium dari sertifikat (SRM) adalah 84,798%. Hasil analisis kadar uranium dalam uranium standar dengan titrasi potensiometri seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis larutan uranium dengan konsentrasi 3,0273 g/L

Analisis	Kandungan U hasil analisis (g/L)	% U dalam SRM
1	3,075	86,134
2	3,068	85,938
3	3,122	87,451
4	3,068	85,938
5	3,112	87,171
6	3,034	84,986
7	3,132	87,731
Rata-rata	3,087	86,479
SD, %	0,035	0,994
RSD,%	1,149	1,149
CV Horwitz %	4,774	4,774
Akurasi,%	98,06	98,06

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 1) didapatkan Relatif Standar Deviasi sebesar 1,149 % dan akurasi metode sebesar 98,06 %. Hal ini menunjukkan bahwa metode dan peralatan yang digunakan untuk analisis mempunyai ketelitian dan akurasi dalam batas yang dapat diterima yaitu dimana akurasinya diatas 95%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode yang dipakai untuk analisis kadar uranium telah terverifikasi.

Batas deteksi (*detection limit*) untuk analisis kadar uranium dengan metode potensiometri menggunakan alat potensiometer Metrohm adalah konsentrasi terkecil yang masih dapat dideteksi atau dapat dianalisis oleh alat atau suatu metode dengan ketelitian di atas nilai CV Horwitz dan akurasinya diatas 95%. Batas deteksi analisis kadar uranium dengan alat Potensiometer Metrohm dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas deteksi analisis kadar uranium secara potensiometri

Analisis	Konsentrasi U 0,500 g/L	Konsentrasi U 0,250 g/L	Konsentrasi U 0,125 g/L	Konsentrasi U 0,100 g/L	Konsentrasi U 0,050 g/L
1	0,673	0,321	0,176	0,134	0,069
2	0,681	0,328	0,228	0,154	0,138
3	0,734	0,424	0,154	0,176	0,166
4	0,675	0,289	0,197	0,098	0,110
5	0,650	0,424	0,186	0,188	0,093
Rerata, g/L	0,683	0,357	0,188	0,150	0,115
SD, %	0,029	0,058	0,032	0,033	0,041
RSD, %	4,253	16,293	16,743	22,081	35,927
CV Horwitz, %	5,992	6,605	7,274	7,526	7,831
Akurasi, %	98,887	69,988	66,419	66,667	43,403

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 2) terlihat bahwa hasil analisis uranium dengan konsentrasi 500 ppm atau 0,5 g/L menunjukkan hasil analisis yang memenuhi syarat yaitu presisi analisis (RSD) sebesar 4,253% lebih kecil dari nilai kriteria penerimaan CV Horwitz sebesar 5,992% dan akurasi berada diatas 95% yaitu sebesar 98,887%. Sedangkan uranium dengan konsentrasi 0,250 g/L, 0,125 g/L, 0,100 g/L dan 0,050 g/L menunjukkan hasil yang tidak memenuhi syarat karena ketelitian diatas nilai CV Horwitz dan akurasi berada pada nilai dibawah 95%, walaupun masih bisa terdeteksi oleh alat. Jadi batas deteksi analisis uranium dengan metode potensiometri menggunakan alat potensiometer Metrohm adalah sebesar 0,5 g/L atau 500 ppm.

2. Pengaruh unsur-unsur pengotor Al dan Mo terhadap analisis uranium

Hasil analisis larutan uranium standar yang ditambah dengan unsur-unsur pengotor Al dan Mo dicantumkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil analisis uranium dengan konsentrasi 3,200 g/L setelah penambahan Al dengan berbagai konsentrasi.

Al yang ditambahkan, (ppm)	Kandungan U hasil analisis, (g/L)	Akurasi, (%)	RSD, (%)	CV Horwitz, (%)
500	3,278	95,659	2,775	4,703
1000	3,283	95,491	1,831	4,702
1500	3,197	98,086	1,374	4,721
2000	3,268	95,951	1,139	4,705
2500	3,289	95,951	0,467	4,700
3000	3,236	96,886	0,412	4,712
5000	3,262	96,121	6,536	4,706

Berdasarkan data analisis (Tabel 3) terlihat bahwa unsur Al berpengaruh terhadap hasil analisis uranium konsentrasi 5000 ppm yang dinyatakan dengan akurasi analisis sebesar 96.121 %, dan ketelitian analisis sebesar 6,536 dimana hal ini menyatakan bahwa analisis tersebut sudah tidak teliti lagi karena berada di atas nilai CV Horwitz sebesar 4,706. Jadi dapat dikatakan bahwa Al konsentrasi ≥ 5000 berpengaruh terhadap ketelitian analisis uranium .

Tabel 4. Hasil analisis uranium dengan konsentrasi 3,200 g/L setelah penambahan Mo dengan berbagai konsentrasi.

Mo yg ditambahkan, (ppm)	Kandungan U hasil analisis, (g/L)	Akurasi, (%)	RSD, (%)	CV Horwitz, (%)
50	3,285	97,413	0,685	4,716
100	3,262	98,087	1,414	4,721
200	3,294	97,157	1,766	4,714
300	3,310	96,687	1,524	4,710
400	3,291	96,687	1,652	4,714
500	3,317	96,472	1,619	4,709
1000	3,283	97,483	1,607	4,716

Dari data analisis (Tabel 4) terlihat bahwa unsur Mo dengan konsentrasi 50 ppm sampai dengan 1000 ppm tidak berpengaruh terhadap hasil analisis uranium, baik terhadap ketelitian maupun akurasi analisis uranium. Hal ini dibuktikan dengan ketelitian analisis lebih kecil dari nilai CV Horwitz dan akurasi diatas 95 %.

3. Analisis uranium dalam larutan PEB U-Mo/Al

Hasil analisis kadar uranium dalam larutan uranil nitrat hasil dari pelarutan PEB U-Mo/Al, tanpa pemanasan, dengan pemanasan serta ditambahkan asam perklorat dan fase organik hasil ekstraksi ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis kadar uranium dalam larutan uranil nitrat hasil pelarutan PEB U-Mo/Al

Kandungan U dalam larutan uranil nitrat (g/L)			
Analisis	Tanpa pemanasan	Pemanasan dgn penambahan HClO ₄	Fase organik hasil ekstraksi
1	1,221	1,166	1,186
2	1,193	1,154	1,224
3	1,295	1,125	1,225
4	1,198	1,222	1,272
5	1,289	1,134	1,201
6	1,116	1,118	1,192
7	1,124	1,121	1,228
Rata-rata	1,205	1,149	1,218
SD,%	0,071	0,037	0,029
RSD,%	5,876	3,216	2,391
CV Horwitz	5,000	5,540	5,491

Untuk mengetahui keberterimaan dari metode analisis langsung tanpa pemanasan dan analisis dengan pemanasan di atas maka dilakukan uji banding dengan menggunakan uji beda yaitu uji F dengan membandingkan nilai pengukuran dengan nilai yang ada pada table F. Hasil perhitungan uji F seperti yang tertuang pada Tabel 6. Pada tabel tersebut terlihat bahwa nilai hasil pengukuran analisis tanpa ekstraksi lebih rendah dari nilai yang terdapat pada tabel F sedangkan analisis dengan ekstraksi lebih tinggi dari nilai yang terdapat pada table F (6) pada derajat kepercayaan 95 %. Hal ini menunjukkan bahwa unsur-unsur pengotor yang ada dalam larutan uranil nitrat berpengaruh pada analisis uranium, terutama unsur-unsur pengotor dengan konsentrasi yang tinggi seperti Al. Untuk menghilangkan pengaruh unsur-unsur pengotor tersebut maka dilakukan preparasi dengan cara menambahkan suatu senyawa atau larutan tertentu yang dapat menghilangkan pengaruh tersebut. Senyawa-senyawa biasa dipakai untuk menghilangkan pengaruh unsur-unsur pengotor adalah asam perklorat pekat dan asam sulfat pekat [5]. Selain penambahan pereaksi asam perklorat dengan pemanasan untuk mengeliminir pengaruh unsur-unsur pengganggu, dilakukan juga pemisahan uranium dari larutan matriks dengan cara diekstraksi menggunakan TBP/heksan dengan perbandingan 7:3.

Tabel 6. Nilai Hasil Tes Uji F

Cara analisis	Uji F = s_1^2/s_2^2	
	Pengukuran	Tabel F
Analisis langsung tanpa pemanasan dibandingkan dengan pemanasan	3,68	4,28
Analisis langsung dibandingkan dengan	5,99	4,28

dickstraksi dan dipanaskan |

4. KESIMPULAN

Hasil analisis uranium dalam U-Mo/Al unsur pengotor Al dengan konsentrasi ≥ 5000 ppm berpengaruh terhadap ketelitian dan akurasi analisis, sedangkan pada konsentrasi < 5000 ppm tidak berpengaruh. Untuk unsur pengotor Mo antara 50 - 1000 ppm tidak berpengaruh terhadap ketelitian maupun akurasi analisis.

5. SARAN.

Ekstraksi larutan hasil pelarutan PEB U-Mo/Al menggunakan larutan TBP/Heksan, sedangkan untuk mendapatkan hasil analisis uranium dengan ketelitian dan akurasi yang tinggi, maka sebelum analisis dengan potensiometer dilakukan preparasi pemanasan dengan menambahkan asam perklorat.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. "NUKEM GmbH" Description of the Numkem Quality Control of Fuel Element Fabrication, part 3, 1982
2. BOYBUL "Pengaruh Unsur Al, Mg dan Na pada analisis uranium dalam larutan uranil nitrat hasil pelarutan Pelat Elemen Bakar", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol.3 No.1 Januari 2007, hal. 29 s/d 37, ISSN 1907-2635
3. ROBERT L. ANDERSON, "Practical Statistic for Analytical Chemist" Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.
4. "1973 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS," Part 3.2 (Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1973), pp. 2-4, Method 696-72.
5. F. B. STEPHENS, R. G. GUTMACHER, K. ERNST, and J. E. HARRAR, "Method for Accountability of Uranium Dioxide" Lawrence Livermore Laboratory, General Chemistry Division, U. S. Nuclear Regulatory Commission Office of Standards Development, 1975, pp. 4-20.