

IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISTIK KIMIA BAHAN BAKAR NUKLIR BENTUK PELAT

Boybul, Yanlinastuti, Erlina Noerpitasari, Torowati
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Telah dilakukan identifikasi dan karakteristik kimia bahan bakar nuklir bentuk pelat. Kegiatan ini meliputi analisis kadar uranium, analisis unsur pengotor dan pengukuran kandungan isotop uranium. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan data komposisi kimia dari bahan bakar nuklir reaktor riset sebagai data base untuk kegiatan forensik nuklir. Hasil analisis kandungan uranium dalam serbuk bahan bakar dengan metode titrasi potensiometri berkisar antara 92,2 % sampai dengan 92,65 %. Hasil analisis kandungan unsur pengotor dalam serbuk bahan bakar dengan metode spektrofotometri serapan atom tidak terdeteksi untuk unsur Al, Ba, Be, Li dan 555,49 ppm untuk unsur Cu. Hasil pengukuran kandungan uranium dan isotop U-235 dalam inti elemen bakar dan pelat elemen bakar dengan metode spektrometri gamma, kandungan uranium berkisar antara 59,54 g sampai dengan 60,40 g dan kandungan isotop U-235 berkisar antara 11,79 g sampai dengan 11,92 g.

Kata kunci: bahan bakar nuklir, kadar U, pengotor, isotop U

PENDAHULUAN

Identifikasi sifat kimia bahan bakar nuklir adalah suatu kegiatan analisis untuk menentukan komposisi kimia dari bahan bakar nuklir dari rangkaian proses produksi bahan bakar nuklir. Produksi bahan bakar nuklir dispersi tipe pelat dilakukan melalui tahapan proses yang cukup panjang yaitu mulai dari proses konversi bahan baku UF_6 /uranil nitrat (UN) menjadi serbuk ammonium uranil karbonat (AUK), serbuk U_3O_8 , serbuk U_3Si_2 atau logam U, pembuatan inti elemen bakar (IEB), pembuatan komponen struktur, pembuatan pelat elemen bakar (PEB), perakitan elemen bakar (EB) dan elemen kendali (EK), serta pengolahan atau pemungutan gagal produk baik dari gagal dalam bentuk padat maupun cair^[1]. Dari rangkaian proses tersebut, agar diperoleh hasil produk akhir berupa EB dan EK yang memenuhi persyaratan bahan bakar nuklir, maka pada setiap tahapan proses diperlukan pengujian atau analisis dengan metode yang tepat, cepat dan teliti. Untuk memenuhi perihal tersebut, maka selama persiapan dan proses produksi dilakukan beberapa pengujian sesuai dengan persyaratan bahan bakar nuklir. Jenis analisis atau pengujian yang dilakukan adalah analisis kadar uranium, kadar impuritas atau pengotor dan analisis kandungan isotop uranium U-235 dalam inti elemen bakar.

Analisis kadar U di dalam serbuk UN, serbuk U_3O_8 atau UO_2 , logam uranium, U_3Si_2 , gagal produk baik padat atau cair dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti cara gravimetrik, potensiometri dan spektrometri^[2]. Analisis kadar uranium dalam rangka kendali

kualitas produksi bahan bakar nuklir dilakukan dengan metode titrasi potensiometri menggunakan alatpotensiometer, dimana metode ini mempunyai ketepatan dan ketelitian yang dapat dipercaya. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan data komposisi kimia dari bahan bakar nuklir sebagai data base untuk kegiatan forensik nuklir.

METODOLOGI

Analisis Kadar Uranium

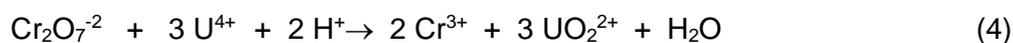
Analisis kadar uranium di dalam senyawa uranium seperti serbuk U_3O_8 , uranil nitrat, UO_2 , U_3Si_2 dan senyawa uranium lainnya dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti cara gravimetri, potensiometri, spektrofotometri dll. Pada kegiatan ini yang akan dibahas adalah analisis kadar uranium secara titrasi potensiometri metoda Davies-Gray^[3].

Prinsip kerja dari analisis kadar uranium secara titrasi potensiometri adalah dimana cuplikan U dalam bentuk ion UO_2^{2+} direduksi lebih dahulu menjadi ion U^{4+} di dalam medium asam fosfat pekat dengan bantuan penambahan ion besi Fe^{2+} dalam jumlah berlebihan sebagai reduktor. Kelebihan Fe^{2+} dioksidasi secara selektif oleh asam nitrat dengan bantuan molibdenum tanpa mempengaruhi ion U^{4+} . Selanjutnya ion U^{4+} dioksidasi dengan larutan standar $K_2Cr_2O_7$ secara akurat diikuti perubahan potensial larutan hingga melampaui titik ekivalennya. 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 ini pengaruh ion asing seperti Al, Cr, Fe, Na, Ca, NH_4^+ , F, ClO_4^- dan SO_4^{2-} sangat kecil. Ion Mo akan mengganggu apabila berada bersama-sama 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

Untuk menghitung kandungan uranium dalam suatu bahan atau senyawa uranium, dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$KadarU (mg) = \frac{Vt \times Nt \times BAU \times F}{2} \quad (5)$$

$$KadarU (\%) = \frac{Vt \times 3,2134 \times VI \times F}{G \times Vc} \times 100 \% \quad (6)$$

Keterangan,

Vt = volume titran (ml)

VI = Volume labu takar (ml)

Vc = volume cuplikan (ml)

G = berat cuplikan (mg)

F = faktor koreksi didapat dari analisis uranium standart,
kadar uranium secara teoritis dibagi praktis.

Nt = normalitas titran

BA = berat atom

Analisis Kadar Pengotor

Analisis kadar unsur pengotor dikenakan terhadap bahan baku seperti uranil nitrat, serbuk Al, paduan Al, produk tengah seperti serbuk U_3O_8 , serbuk U_3Si_2 , serbuk UMo, UF_4 dan logam uranium. Kadar unsure pengotor dalam bahan bakar nuklir dibatasi jumlahnya karena akan berkaitan dengan mutu dari bahan bakar tersebut juga berpengaruh pada proses penyerapan neutron di teras reaktor, yang mana banyaknya unsur pengotor tersebut dikonversikan kedalam boron ekuivalen yaitu dengan mengalikan dengan boron ekuivalen factor tiap unsur pengotor.

Boron ekuivalen dari impuritas yang terdapat di dalam bahan proses, bahan bakar, bahan struktur penting untuk diketahui. Hasil analisis impuritas antara lain digunakan untuk menghitung boron ekuivalen bahan tersebut. Boron ekuivalen didefinisikan sebagai : efek serapan neutron termal yang ditunjukkan suatu unsur dibandingkan dengan efek serapan neutron oleh 1 ppm boron. Faktor boron ekuivalen untuk tiap unsur yang merupakan impuritas, harus dihitung untuk mengetahui efek gabungan keberadaan impuritas itu dalam bahan. Untuk bahan bakar reactor riset RSG-GAS spesifikasi total boron ekuivalen maksimum 10 ppm.

Analisis kadar unsur-unsur pengotor yang terkandung dalam bahan bakar nuklir atau larutan contoh dapat dilakukan dengan metode spektrofotometri serapan atom (SSA), yaitu dilakukan dengan cara mengalirkan larutan contoh ke dalam nyala atau tabung grafit untuk atomisasi tanpa nyala, selanjutnya larutan tersebut akan terurai menjadi atom-atom bebas dari unsur yang dianalisis, dengan adanya sinar dari lampu katoda cekung yang mempunyai panjang gelombang yang sama dengan unsur yang dianalisis, maka akan terjadi penyerapan sinar oleh atom-atom unsur tersebut yang mengakibatkan atom-atom tersebut tereksitasi. Banyaknya sinar yang diserap oleh atom-atom tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan sehingga kadar unsur dalam contoh dapat diketahui.

Spektrofotometri serapan atom adalah suatu metode analisis untuk menentukan konsentrasi suatu unsur dalam suatu cuplikan yang didasarkan pada proses penyerapan radiasi sumber oleh atom-atom yang berada pada tingkat energi dasar (*ground state*). Proses penyerapan energi terjadi pada panjang gelombang yang spesifik dan karakteristik untuk tiap unsur. Proses penyerapan tersebut menyebabkan atom penyerap tereksitasi, dimana elektron dari kulit atom meloncat ke tingkat energi yang lebih tinggi. Banyaknya intensitas radiasi yang diserap sebanding dengan jumlah atom yang berada pada tingkat energi dasar yang menyerap energi radiasi tersebut. Dengan mengukur tingkat penyerapan radiasi (absorbansi) atau mengukur radiasi yang diteruskan (transmitansi), maka konsentrasi unsur di dalam cuplikan dapat ditentukan.

Hubungan kuantitatif antara intensitas radiasi yang diserap dan konsentrasi unsur yang ada dalam larutan cuplikan menjadi dasar pemakaian SSA untuk analisis unsur-unsur logam. Untuk membentuk uap atom netral dalam keadaan/tingkat energi dasar yang siap menyerap radiasi dibutuhkan sejumlah energi. Energi ini biasanya berasal dari nyala hasil pembakaran campuran gas asetilen-udara atau asetilen- N_2O , tergantung suhu yang dibutuhkan untuk membuat unsur analit menjadi uap atom bebas pada tingkat energi dasar (*ground state*)^[4].

Disini berlaku hubungan yang dikenal dengan hukum Lambert-Beer yang menjadi dasar dalam analisis kuantitatif secara SSA. Hubungan tersebut dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I = I_0 \cdot e^{a.b.c} \quad (7)$$

Atau,

$$\text{Log } I/I_0 = a.b.c \quad (8)$$

$$A = a.b.c$$

dengan,

A = absorbansi, tanpa dimensi

a = koefisien serapan, L²/M

b = panjang jejak sinar dalam medium berisi atom penyerap, L

c = konsentrasi, M/L³

lo = intensitas sinar mula-mula

I = intensitas sinar yang diteruskan

Pada persamaan diatas ditunjukkan bahwa besarnya absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi atom-atom pada tingkat tenaga dasar dalam medium nyala. Banyaknya konsentrasi atom-atom dalam nyala tersebut sebanding dengan konsentrasi unsur dalam larutan cuplikan. Dengan demikian, dari pemplotan serapan dan konsentrasi unsur dalam larutan standar diperoleh kurva kalibrasi. Dengan menempatkan absorbansi dari suatu cuplikan pada kurva standar akan diperoleh konsentrasi dalam larutan cuplikan.

Analisis Kandungan Isotop U-235 Dalam Bahan Bakar Nuklir

Pengujian IEB meliputi: berat, tebal, kadar U²³⁵ dan homogenitas U di dalam IEB, dilakukan terhadap seluruh produk (100%). Penentuan berat dengan penimbangan, pengukuran tebal menggunakan micrometer, pengujian homogenitas U dengan radiografi dan kadar U²³⁵ di dalam IEB secara radiometric sinar gamma yang dipancarkan oleh sampel pada energy 185 keV yaitu dengan cara membandingkan jumlah cacah IEB yang diuji dan jumlah cacah IEB standard yang telah diketahui kadar U²³⁵ nya. Berat U²³⁵ standar yang ditetapkan dalam produksi bahan bakar adalah nominal 11,9 ±0,3 g , sedangkan distribusi uranium di dalam IEB dinyatakan homogen apabila tidak terdapat pengumpulan uranium dalam satu titik >0,5mm. Kadar U²³⁵ dalam IEB dihitung dengan rumus :

$$G = (G+) - \frac{(I+) - I}{Ist / Gst} \times f \quad (9)$$

Ketrangan :

G = berat U²³⁵ dalam IEB yang terukur (g)

G+ = berat U²³⁵ dalam IEB standard plus (g)

Gst = beda berat U²³⁵ antar standard (g)

I+ = laju pulsa standard plus

I = laju pulsa IEB terukur

Ist = beda laju pulsa antar standard

F = faktor koreksi akibat beda geometri dan pengkayaan terhadap standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kandungan uranium dalam serbuk bahan bakar dengan metode titrasi potensiometri ditunjukkan pada Tabel 1. Kadar uranium dalam serbuk U_3Si_2 berkisar antara 92,2 % sampai dengan 92,65 %.

Tabel 1. Hasil analisis kandungan uranium dan pengotor dalam serbuk bahan bakar U_3Si_2

Kode Sampel	Kadar U (%)
S1	92,65
S2	92,60
S3	92,08
S4	92,20

Hasil analisis kandungan unsur pengotor dalam serbuk bahan bakar dengan metode spektrofotometri serapan atom ditunjukkan pada Tabel 2. Kadar unsur pengotor berkisar antara tidak terdeteksi untuk unsure Al, Ba, Be, dan Li sampai dengan sekitar 500 ppm untuk unsur Cu.

Tabel 2. Hasil analisis kandungan unsur pengotor dalam serbuk bahan bakar U_3Si_2

No	Unsur Pengotor	Kadar (ppm)			
		S1	S2	S3	S4
1	Al	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
2	B	0,30	0,30	0,30	0,30
3	Ba	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
4	Be	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
5	Ca	39,41	35,48	35,48	95,22
6	Co	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
7	Cd	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
8	Li	Ttd	Ttd	Ttd	ttd
9	Cu	555,49	468,78	468,78	300,30
10	Mg	5,74	5,95	5,95	4,12
11	Mn	7,88	8,52	8,52	ttd
12	Zn	19,41	23,87	23,87	11,90
13	Fe	126,62	157,80	157,80	156,41
14	Ni	58,45	31,47	31,47	34,36

Hasil pengukuran kandungan uranium dan isotop U-235 dalam inti elemen bakar dan pelat elemen bakar dengan metode spektrometri gamma secara perbandingan langsung dengan standar ditunjukkan pada Tabel 3. Kandungan uranium dalam inti elemen bakar dan pelat berkisar antara 59,54 g sampai dengan 60,40 g dan kandungan isotop U-235 berkisar antara 11,79 g sampai dengan 11,92 g.

Tabel 3. Berat U dan U²³⁵ dalam PEB

No	No,PEB	No,IEB	Berat U(g)	Perkayaan (%)	Berat U ²³⁵ (g)
1	CBBJ4236	2/52-45	60,40	19,735	11,92
2	CBBJ4278	2/53-16	59,90	19,801	11,86
3	CBBJ4279	2/53-17	59,64	19,801	11,81
4	CBBJ4280	2/53-18	59,69	19,801	11,82
5	CBBJ4283	2/53-21	59,54	19,801	11,79
6	CBBJ4285	2/53-23	60,15	19,801	11,91
7	CBBJ4286	2/53-24	60,10	19,801	11,90
8	CBBJ4287	2/53-25	59,95	19,801	11,87
9	CBBJ4288	2/53-26	59,64	19,801	11,81
10	CBBJ4289	2/53-27	60,10	19,801	11,90
11	CBBJ4290	2/53-28	60,30	19,801	11,94
12	CBBJ4291	2/53-29	60,40	19,801	11,96
13	CBBJ4292	2/53-30	60,30	19,801	11,94
14	CBBJ4293	2/53-31	59,59	19,801	11,80
15	CBBJ4294	2/53-32	60,00	19,801	11,88
16	CBBJ4295	2/53-33	60,15	19,801	11,91
17	CBBJ4296	2/53-34	60,35	19,801	11,95
18	CBBJ4297	2/53-35	60,30	19,801	11,94
19	CBBJ4298	2/53-36	60,25	19,801	11,93
20	CBBJ4300	2/53-38	60,20	19,801	11,92
21	CBBJ4233	2/52-42	60,30	19,735	11,90
Jumlah			1261,25		249,66

Berat isotop U-235 dalam setiap pelat elemen bakar memenuhi syarat spesifikasi untuk bahan bakar reaktor riset yaitu sebesar $11,9 \pm 0,3$ g.

KESIMPULAN

Hasil analisis kandungan uranium dalam serbuk bahan bakar dengan metode titrasi potensiometri berkisar antara 92,2 % sampai dengan 92,65 %. Hasil analisis kandungan unsur pengotor dalam serbuk bahan bakar dengan metode spektrofotometri serapan atom berkisar antara tidak terdeteksi untuk unsure Al, Ba, Be, dan Li sampai dengan sekitar 500 ppm untuk unsur Cu. Hasil pengukuran kandungan uranium dan isotop U-235 dalam inti elemen bakar dan pelat elemen bakar dengan metode spektrometri gamma, kandungan uranium berkisar antara 59,54 g sampai dengan 60,40 g dan kandungan isotop U-235 berkisar antara 11,79 g sampai dengan 11,92 g.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, BPEBRR-PEBN BATAN, "Proses produksi elemen bakar reactor riset dan kendali kualitas, Puspiptek, Serpong. (1995)
2. ASTM, "*Standard Method for Chemical, Mass Spectrometric, and Spectrochemical Analysis of Nuclear-Grade Uranium Dioxide Powders and Pellets*, Designation: C 696. (1992).
3. W. Davies and W. Gray, "*A Rapid and Specific Titrimetric Method for The Determination of Uranium Using Iron(II) Sulphate as Reductant*", *Talanta*, 1964, Vol. 11. Pp. 1203, Pergamon Press Ltd. Printed in Northern Ireland.
4. Boybul dan Arif Nugroho, "Analisis Kadar Uranium dan Unsur Pengotor di Dalam Serbuk AUK dan UO₂", *Urania, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, Vol. 8 No. 1, Februari 2012.