

---

## PEMBUATAN SAMPEL INTI ELEMEN BAKAR $U_3Si_2$ -Al

**Guswardani, Susworo**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**PEMBUATAN SAMPEL INTI ELEMEN BAKAR  $U_3Si_2$ -Al.** Telah dilakukan pembuatan sampel Inti Elemen Bakar (IEB)  $U_3Si_2$ -Al tingkat muat uranium  $\pm 3,0 \text{ g/cm}^3$  dengan komposisi berat serbuk  $U_3Si_2$  dan Aluminium (Al) secara perhitungan dengan data masukan berdasarkan asumsi, analisis/uji dan sertifikat. Hasil uji/analisis diperoleh data: kadar U dan berat jenis serbuk  $U_3Si_2 = 92,40 \%$  dan  $12,17 \text{ g/cm}^3$ , perkayaan U - 235 = 19,78% (dari sertifikat), berat jenis serbuk Al =  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , dimensi IEB =  $100,2 \text{ mm} \times 61,35 \text{ mm} \times 3,15 \pm 0,05 \text{ mm}$ . dan volume IEB =  $19,23 \text{ cm}^3$ . Dengan memasukkan data analisis/uji dan asumsi kadar U-235 dalam IEB 11,90 g dan pori 0,96 % hasil perhitungan diperoleh komposisi berat serbuk  $U_3Si_2 = 65,11 \text{ g}$  dan serbuk Al = 34,88g. Campuran homogen dipres pada tekanan 180 bar menjadi IEB. Hasil uji menunjukkan bahwa distribusi uranium cukup homogen, kadar U-235 masuk spesifikasi, sedangkan tebal diluar rentang yang diijinkan 3,09 mm. Berdasarkan hasil perhitungan dengan memasukkan data analisis/uji dan asumsi kadar U-235 yang sama, juga hasil hitung komposisi berat serbuk  $U_3Si_2$  yang sama, hanya merubah fraksi pori menjadi = 0,59 % dan serbuk Al = 35,88 g, maka setelah di pres hasil uji menunjukkan bahwa distribusi uranium cukup homogen, kadar U-235 dan tebal IEB sesuai spesifikasi yang ditetapkan yaitu 3,15 mm.

**Kata kunci :** inti elemen bakar (ieb),  $u_3si_2$ , sampel.

### PENDAHULUAN

Bahan Bakar dispersi merupakan bahan bakar serbuk fisil yang di dispersikan secara merata ke dalam serbuk logam matrik. Bentuk bahan bakar dispersi bisa berbentuk silinder atau pelat tergantung jenis reaktor penggunaannya. Khusus proses produksi bahan bakar dispersi tipe pelat (pelat elemen bakar) yang berisi  $U_3O_8$ -Al dilakukan menggunakan fasilitas Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset (IPEBRR) sejak tahun 1987. Produk PEB  $U_3O_8$ -Al tersebut telah digunakan sebagai bahan bakar Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS). Unjuk kerja PEB selama digunakan di RSG GAS menunjukkan kualitas yang memuaskan, oleh karena itu dengan adanya pengembangan bahan bakar reaktor riset di dunia, IPEBRR dimanfaatkan pula untuk memproduksi PEB  $U_3Si_2$ -Al. Produksi PEB tersebut meliputi proses konversi kimia dan fabrikasi serta unit penunjang lain seperti penunjang sarana, keselamatan, akunting bahan bakar dan kendali kualitas. Proses konversi kimia mengubah bahan baku  $UF_6$ /Uranil Nitrat menjadi serbuk  $U_3O_8$  atau logam uranium sebagai umpan dalam proses fabrikasi. Fabrikasi PEB  $U_3Si_2$ -Al dilakukan dengan tahapan pembuatan paduan, serbuk dan inti elemen bakar dan fabrikasi PEB.

Khusus IEB  $U_3Si_2$ -Al merupakan campuran serbuk bahan bakar dan serbuk matrik Al (dengan perbandingan sesuai perhitungan) dan dipres pada tekanan 180 bar hingga terbentuk lempengan berukuran ( $100,20 \times 61,35 \times 3,15 \pm 0,05$ ) mm. Sebelum

memproduksi IEB dalam jumlah besar, maka harus dilakukan pembuatan sampel IEB untuk mengetahui kualitas dari IEB bahwa sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Beberapa faktor yang diperhatikan dalam pembuatan IEB kadar U-235, tebal, homogenitas uranium dan kandungan U-235, 11,60 s/d 12,2 g. Apabila hasil uji terdapat simpangan dari spesifikasi, maka harus dilakukan evaluasi terhadap serbuk  $U_3Si_2$  dan Al, proses pengerjaan dan perhitungan penentuan komposisi sampel. Pada kegiatan ini dilakukan pembuatan sampel IEB  $U_3Si_2$ -Al dengan tingkat muat uranium  $\pm 3.0 \text{ g/cm}^3$ . Penentuan komposisi serbuk bahan bakar  $U_3Si_2$  dan Al dilakukan dengan cara perhitungan, menggunakan data volume IEB ( $19,23 \text{ cm}^3$ ), pengkayaan U-235, kadar U dalam bahan bakar  $U_3Si_2$ , berat jenis  $U_3Si_2$  dan berat jenis Al. Perhitungan penentuan perbandingan porsi serbuk bahan bakar  $U_3Si_2$  dan serbuk Al. dilakukan dengan cara seperti pada Lampiran 1.

## METODOLOGI

### Peralatan

- Mesin pres
- Timbangan
- *Multi Channel Analyzer* (MCA)
- Radiografi Sinar- X
- Mikrometer

### Bahan

- Serbuk bahan bakar  $U_3Si_2$
- Serbuk Al
- Pelumas

### Langkah Kerja

Timbang serbuk  $U_3Si_2$  dan serbuk matrik Al sesuai berat yang diperoleh dari perhitungan.<sup>(1,2)</sup> Penimbangan dilakukan di dalam *glove-box* (bermedia gas *inner*) satu persatu menggunakan botol timbang, kemudian dimasukkan ke dalam wadah pencampur terbuat dari *stainless steel* yang di dalamnya berisi bola bola baja. Wadah pencampur berisi serbuk  $U_3Si_2$  dan Al dikeluarkan dari glove box dan dikeringkan di dalam tungku selama 3 jam pada suhu  $180^\circ\text{C}$  dan tekanan absolut  $P_{\text{abs}} < 1 \text{ mbar}$  (kondisi wadah pencampur dalam keadaan terbuka). Setelah pemanasan selesai, tungku dimatikan, biarkan sampai campuran serbuk  $U_3Si_2$  dan serbuk matrik Al dingin.

Selanjutnya wadah pencampur berisi serbuk  $U_3Si_2$  dan matrik Al dikeluarkan dari tungku dan dipindahkan kedalam bejana pencampur untuk dihomogenisasi menggunakan mesin homogenisator selama 20 menit dengan kecepatan putar 60 rpm (kondisi wadah pencampur dalam keadaan tertutup).

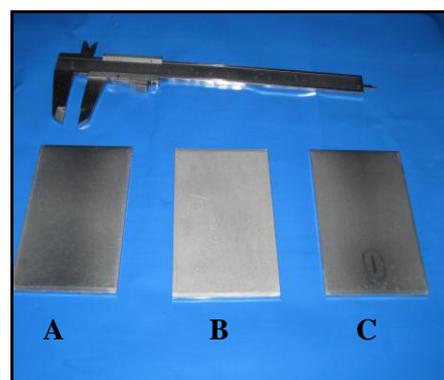
Campuran yang dinyatakan telah homogen tersebut dimasukkan kedalam glove-box mesin pres dan campuran serbuk dimasukkan kedalam cetakan IEB melalui ayakan kasar sehingga bola-bola baja tertahan diatas ayakan diambil, selanjutnya serbuk di dalam cetakan IEB dipres pada tekanan 180 bar selama 30 detik. IEB hasil pengepresan diamati secara visual pada seluruh permukaannya dan diberi penomoran kode produksi, kemudian di masukkan kedalam glove-box untuk dikikis pada seluruh sisi sudutnya..

IEB yang telah dikikis selanjutnya dikirim ke unit kendali kualitas untuk di lakukan penimbangan, pengukuran tebal pada posisi seperti Gambar-2 .dan kandungan U-235 dengan Multi Channel Analyzer (MCA). Selanjutnya IEB yang lolos uji dibungkus lembaran Al-foil kemudian dianil selama 3 jam didalam tungku pada tekanan vakum,  $P < 10^{-6}$  mbar dan suhu ,  $T = 450$  °C.

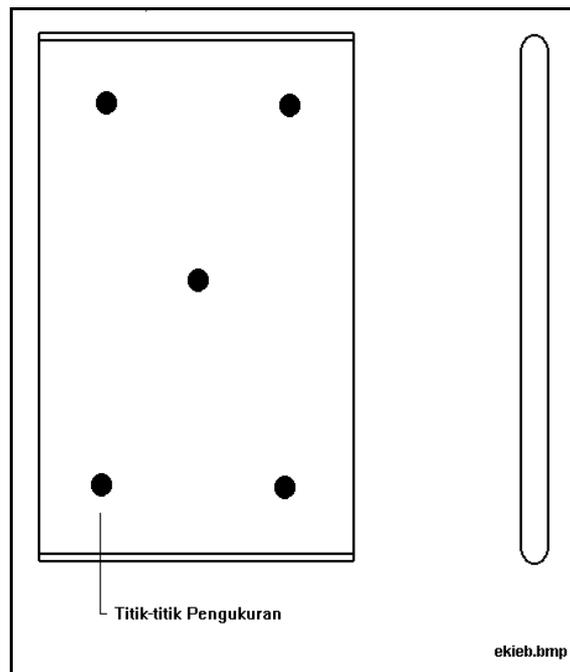
Setelah didinginkan, IEB dikirim ke unit kendali kualitas untuk dilakukan pengukuran berat dan tebal IEB dilakukan dengan mikrometer pada 5 (lima) titik ukur sesuai Gambar-3 hasil ukur tersebut dicatat kedalam lembar formulir yang sesuai. IEB yang lolos uji di bungkus kembali dan dimasukkan ke dalam wadah penyimpanan/angkut bersuasana gas argon (pekerjaan ini dilakukan di dalam glove-box).



Gambar-1. Mesin Pres



Gambar-2. A, B dan C IEB



Gambar-3. Posisi 5 Titik Pengukuran Tebal IEB

Penentuan fraksi berat serbuk  $U_3Si_2$  dan serbuk matrik Al dihitung menggunakan cara seperti pada Lampiran 1. dengan data hasil uji/analisis dan beberapa asumsi. Hasil Uji/analisis diperoleh data: kadar U dan berat jenis serbuk  $U_3Si_2 = 92,40\%$  dan  $12,17\text{ g/cm}^3$ , perkayaan U-235 =  $19,78\%$  (dari sertipikat), berat jenis serbuk Al =  $2,17\text{ g/cm}^3$ , dimensi IEB =  $(100,2 \times 61,35 \times 3,15 \pm 0,05)\text{ mm}$ . dan volume IEB =  $19,23\text{ cm}^3$ . Dengan menggunakan data tersebut dan mengambil asumsi berat U-235 =  $11,90\text{ g}$  dan fraksi pori (asumsi) =  $5,00\%$  diperoleh hasil hitung sbb:

Berat U dalam serbuk bahan bakar $U_3Si_2$	= 60,16 g
Berat serbuk bahan bakar $U_3Si_2$	= 65,11 g
Volume serbuk bahan bakar $U_3Si_2$	= $5,35\text{ cm}^3$
Volume pori	= 0,96 %
Volume serbuk matriks Al	= $12,92\text{ cm}^3$
Berat serbuk matriks Al	= 34,88 g
Berat serbuk bahan bakar dan serbuk matriks Al	= 99,99 g

Campuran serbuk bahan bakar  $U_3Si_2$  dan serbuk matrik Al dipanaskan di dalam tungku pada suhu  $180^\circ\text{C}$  tekanan  $10^{-6}\text{ psi}$ . selama 3 jam. Pemanasan ini dimaksudkan untuk menghilangkan uap air yang terkandung di dalam serbuk. Untuk homogenisasi campuran tersebut dilakukan menggunakan alat homogenisator dengan kecepatan

putar 60 rpm selama 20 menit. Berdasarkan pengalaman bahwa proses homogenisasi tersebut sudah diperoleh campuran yang homogen. Hal tersebut dapat dibuktikan dari hasil uji radiografi Sinar-X. Hasil pengamatan film radiografi tidak terlihat adanya pengelompokan uranium.

Hasil pengepresan terhadap data tersebut diperoleh hasil pres dalam bentuk IEB, dan setelah dilakukan pengujian pertama.

Tabel-1. Hasil Uji IEB

No	HASIL PENGUJIAN	SAMPEL 1	SAMPEL 2	SAMPEL 3
1	Tebal rata-rata, (mm)	3,09	3,15	3,15
2	Berat U-235 hasil cacah, (gram)	11,65	11,67	11,66
3	Uji Radiografi IEB	Distribusi U homogen dan tidak terbentuk pengelompokan > 0,5mm	Distribusi U homogen dan tidak terbentuk pengelompokan > 0,5mm	Distribusi U homogen dan tidak terbentuk pengelompokan > 0,5mm

Hasil uji diperoleh, kadar U-235 masuk dalam rentang spesifikasi, namun ketebalannya dibawah rentang yang diijinkan. Untuk mengatasi ketebalan IEB tersebut dengan tanpa merubah kadar U-235 nya, maka dilakukan dengan cara menambahkan serbuk matrik Al yang jumlahnya ditentukan dengan perhitungan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 0,06\text{mm} \times 100,2 \text{ mm} \times 61,35 \text{ mm} \\
 &= 368,8362 \text{ mm}^3 \\
 \text{Berat} &= \text{Volume} \times B_j \\
 &= 0,3688362 \text{ cm}^3 \times 2,7 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 0.996\text{g}
 \end{aligned}$$

**Lampiran 1**

$$A = \frac{i}{J} \times 100 \%$$

$$B = \frac{A}{k} \times 100 \%$$

$$C = \frac{B}{l} \times 100 \%$$

$$D = E \times \frac{l}{100}$$

$$F = E - C - D$$

$$G = F \times n$$

$$H = G + B$$

**Keterangan :**

A = Berat U dalam Bahan Bakar

B = Berat Bahan Bakar

C = Volume Bahan Bakar

D = Volume pori

F = Volume matrik Al

G = Berat matrik Al

H = Berat Bahan Bakar + matrik Al

i = Muatan U 235 g

k = Kadar U dalam bahan bakar %

j = Perkayaan U – 235 %

l = Densitas bahan bakar  $g/cm^3$

m = Fraksi pori %

n = Dimensi elemen bakar

E = (volume IEB) =  $19,23 \text{ cm}^3$

**Data perhitungan :**

Asumsi Range /rentang kadar U- 235 didalam IEB 11,60 s/d 12,2 g

Pertama ditentukan kadar U –235

- Sebesar = 11,90 g
- Pengkayaan = a %
- Kadar U dalam Bahan Bakar = b %

- Berat Jenis serbuk Bahan Bakar = c g/cm<sup>3</sup>
- Berat Jenis serbuk Al = d g/cm<sup>3</sup>

**Perhitungan :**

- Berat U-235 dalam bahan bakar = 11,90 g
- Perkayaan U -235 = 19,78 %
- Hasil uji kadar U dalam bahan bakar = 92,40 %
- Berat jenis bahan bakar = 12,17 g/cm<sup>3</sup>
- Fraksi pori ( asumsi ) = 3,07 %
- Berat jenis matrik Al = 2,70

**Hasil hitung:**

- Berat U dalam Bahan Bakar = 60,16 g
- Berat Bahan Bakar = 65,11 g
- Volume Bahan Bakar = 5,35 cm<sup>3</sup>
- Volume pori = 0,59 cm<sup>3</sup>
- Volume matrik Al = 13,29 cm<sup>3</sup>
- Berat matrik Al = 35,88 g
- Berat Bahan Bakar + matrik Al = 100,99 g

Hasil pengepresan terhadap data tersebut diperoleh hasil pres dalam bentuk Inti Elemen Bakar ( IEB) dan telah dilakukan pengujian ke ( 2 ) di peroleh data sbb:

- Berat Inti Elemen Bakar = 100,64 g
- Tebal rata-rata = 3,15 mm
- Berat U = 58,90 g
- Berat U235 hasil cacah = 11,67 g
- Uji Radiografi = Tidak ada pengelompokan  
Bahan Bakar berdiameter > 0,5mm

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil perhitungan, disertai data-data dan asumsi yang ada dapat disimpulkan sebagai berikut:

Hasil Uji sampel 1 diperoleh data uji: Kadar U-235 = 11,65 g tebal 3,09 mm dan distribusinya homogen. Dalam hasil ini, ketebalan tidak sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Untuk memenuhi ketebalan maka dilakukan penambahan serbuk matrik Al sebanyak: 0.67 g yang dilakukan dengan cara perhitungan. Hasil uji IEB setelah penambahan serbuk Al diperoleh data yang memenuhi spesifikasi untuk IEB.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. ANONIM, "Dokumen NUKEM: Opening Manual UALx – Al or  $U_3O_8$ -Al Picture Production 5P2", Doc. No. 2.0080-02.3009.4. Tahun 1984.
2. ANONIM, "Basic Flow Sheet UAlx-Al or  $U_3O_8$  – Al" Picture Production 5P", Doc. No. 0080.02.0008.0&2.0080-02.0009.0. Tahun 1984.
3. ANONIM, "Agenda For IAEA Mission To Indonesia: Silicide Fuel Technology", RERTR Program - ARGONNE NATIONAL LABORATORY, Oktober, 1998.
4. ANONIM, "Standardisation of Specifications And Inspection Procedures For LEU Plate- Type Research Reactor Fuels", IAEA-Tec Doc 467, 16-18 April 1988
5. ANONIM, "Spesifikasi elemen bakar dan elemen kendali tipe dispersi  $U_3Si_2$ -Al", Nomer dokumen BT 132-C04-002. Tahun 1996.