

## PEMERIKSAAN PASCA IRADIASI ELEMEN BAKAR BEKAS RSG-GAS

H. Nasution, A. Suropto

Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

PEMERIKSAAN PASCA IRADIASI ELEMEN BAKAR BEKAS RSG-GAS. Untuk mengetahui penampilan dan perubahan fisik yang terjadi pada elemen bakar reaktor riset selama iradiasi di dalam teras Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS), telah dilakukan pemeriksaan uji pasca iradiasi di Instalasi Radiometalurgi Pusat Elemen Bakar Nuklir, dengan menggunakan elemen bakar bekas produk NUKEM (berisi  $U_3O_8-Al$ ) dan produk Indonesia ( $U_3Si_2-Al$ ) untuk sekaligus mengkuifikasinya. Elemen bakar bekas  $U_3O_8-Al$  dan  $U_3Si_2-Al$  mendapatkan derajat-bakar (declared burn up) masing-masing 51,84 % dan 50,29 %. Pemeriksaan mencakup pengamatan secara visual, pengukuran dimensional (ketebalan) dan uji metalografik dengan SEM. Data hasil uji dan pemeriksaan menunjukkan bahwa : lempeng elemen bakar dalam rakitan elemen bakar tetap utuh (tidak melengkung dan mengalami kerusakan dimensional yang mengancam keselamatan penggunaan), lempeng tidak menderita korosi pada tingkat yang mengkhawatirkan, terjadi pembentukan lapisan oksida pada permukaan lempeng, serta tercatat timbulnya rongga pada butir-butir bahan bakarnya yang disebabkan oleh deposisi gas hasil fisi. Namun demikian disimpulkan bahwa segenap perubahan yang terjadi tersebut masih di dalam batas yang diizinkan ditinjau dari aspek keselamatan pemakaian di dalam teras reaktor dan bahwa derajat dari elemen bakar masih dapat ditingkatkan menjadi lebih besar.

### ABSTRACT

POST IRRADIATION EXAMINATION OF RSG-GAS SPENT FUEL ELEMENTS. Post-irradiation examinations of RSG-GAS spent fuel elements have been carried out to observe their physical changes and performance under irradiation in the reactor. The work which has been performed at the Radiometallurgy Installation (RMI), Nuclear Fuel Element Centre has chosen one spent fuel element of NUKEM containing dispersion fuel  $U_3O_8-Al$  and one spent fuel element produced by Nuclear Fuel Element Centre as a prototype fuel element containing advanced dispersion fuel  $U_3Si_2-Al$ . The later was being tested and examined for its qualification. The declared burn up are 51.84 % and 50.29 % for oxide fuel and silicide fuel respectively. The examinations include visual and dimensional checks and metalography by SEM. The results showed that all fuel plates retain their integrity and do not suffer from severe corrosion but develop oxide layer on plate surface. The micrographs showed the existence of gas bubbles in the fuel particles which are resulted from fission gases depotition. Despite the observed changes the examinations further conclude that the extent of all observed changes are still within the allowable limits and therefore it is recommended to increase the discharged burnup level above 50 %.

### PENDAHULUAN

Dalam rangka melaksanakan program *Hot Start-Up* Instalasi Radiometalurgi, telah diputuskan untuk melakukan pemeriksaan pasca-iradiasi terhadap Elemen Bakar Bekas (EBB) dari Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) dengan memilih EBB berisi bahan bakar dispersi  $U_3O_8-Al$  dan  $U_3Si_2-Al$ . EBB berisi  $U_3O_8-Al$  berupa elemen bakar produk NUKEM (RFJ) yang digunakan di dalam RSG-GAS dalam operasi rutinnya. Sementara itu, EBB  $U_3Si_2-Al$  adalah salah satu dari 3 prototipe EB berbahan bakar mutakhir uranium silisida

yang sedang dikembangkan oleh Pusat Elemen Bakar Nuklir (PEBN). Prototipe EB uranium silida ini diputuskan diproduksi pada 1990 dan kemudian diizinkan untuk diuji iradiasi hingga tingkat-bakar (burn up) sekitar 50 % di teras RSG-GAS. Pada kenyataannya, kedua elemen bakar dikeluarkan dari teras reaktor dengan masing-masing dinyatakan berderajat bakar 51,84 % (EBB  $U_3O_8$ ) dan 50,29 % (EBB  $U_3Si_2$ ). Setelah melalui waktu pendinginan memadai di kolam elemen bakar bekas reaktor, kedua EBB dipindahkan ke *hot cell* reaktor untuk pemerik-

saan pelarikan  $\gamma$  (gamma-scanning) dan selanjutnya dipindahkan ke *hot cell* di Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk uji pasca iradiasi (UPD) lebih lengkap.

Makalah ini menyajikan hasil uji pasca iradiasi yang dilakukan di IRM terhadap kedua jenis EBB di atas, baik secara merusak maupun tidak merusak.

**BAHAN DAN TATA KERJA**

Elemen bakar bekas yang digunakan dalam percobaan uji pasca iradiasi di IRM adalah EBB bernomor RI-19, buatan NUKEM, yang berisikan bahan bakar dispersi  $U_3O_8-Al$  dan EBB bernomor RI- SIE2 butan PEBN tahun 1990 yang berisikan bahan bakar dispersi  $U_3Si_2-Al$ . Lempong elemen bakar (PEB)dari kedua EBB memiliki data teknis seperti diperlihatkan pada Tabel I.

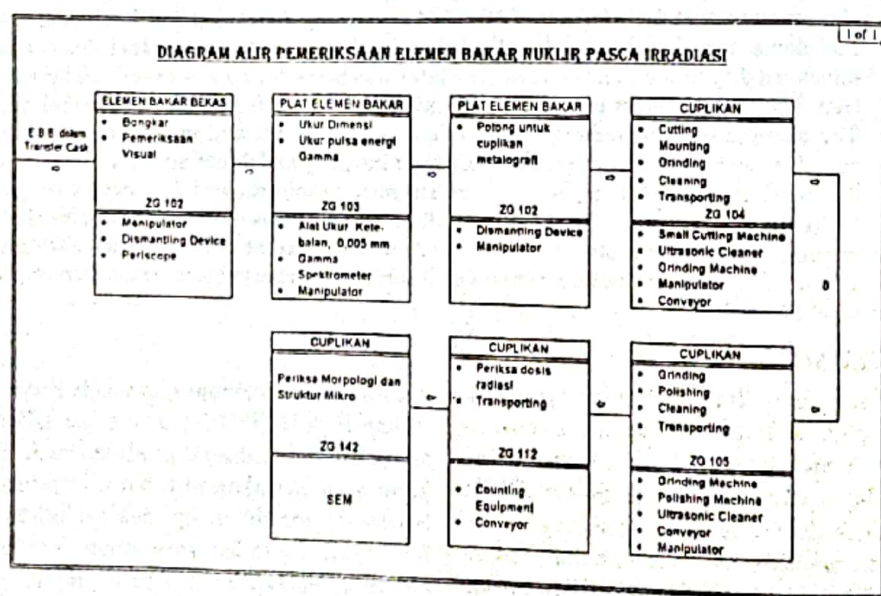
Dari kedua EBB tersebut diambil beberapa PEB sesuai dengan nomor identifikasi lempong yang telah ditetapkan. PEB lepasan itu kemudian dikenai uji pasca iradiasi dengan urutan tata kerja seperti diperlihatkan oleh diagram alir pada Gambar 1.

Setelah dikenai uji secara tak merusak, PEB selanjutnya dikenai uji secara merusak,

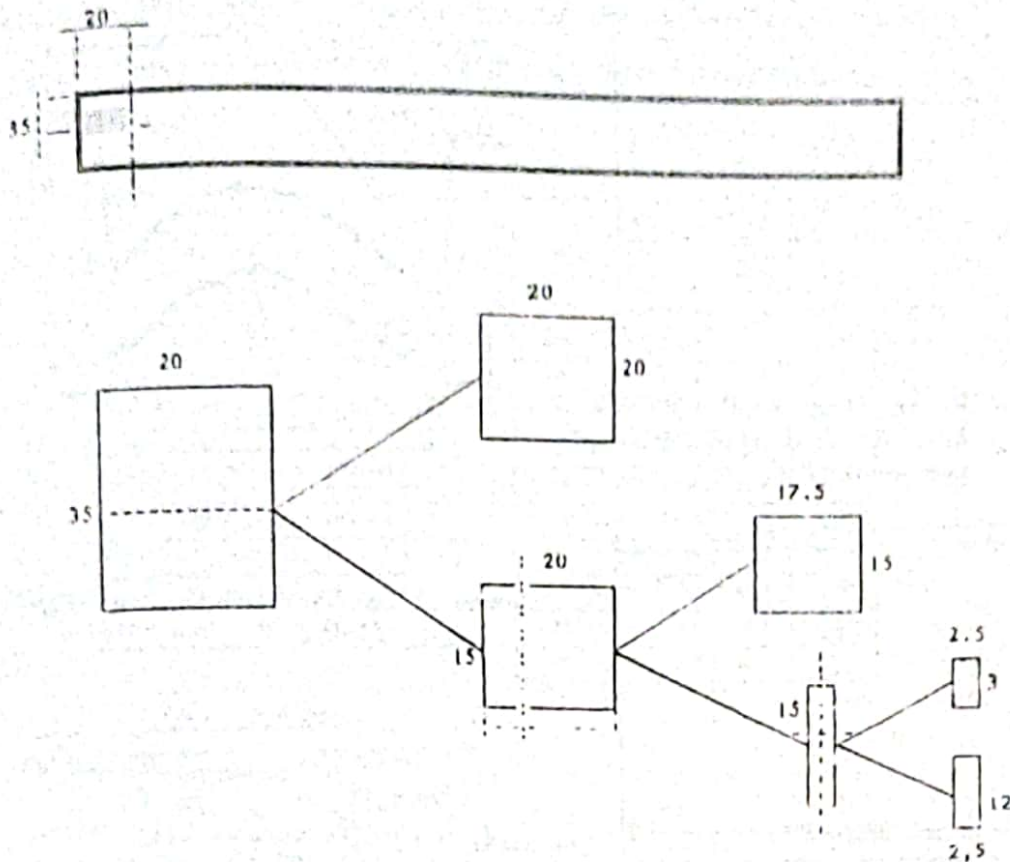
Tabel 1. Data teknis lempong elemen bakar.

Parameter	Lempong RI-039 EB bekas RI-19	Lempong IDA0036 EB bekas RI-SIE2
Jenis bahan bakar	$U_3O_8-Al$	$U_3Si_2-Al$
Berat uranium, g	60,78	59,99
U-loading, gU/cm <sup>2</sup>	3,2	3,2
Lama iradiasi, thn	> 2	= 2
Derajat bakar, %	51,84	50,29
Lama pendinginan, bulan	7	12
Perkayaan nominal, %	19,64	19,81
Tebal kelongsong, mm	0,36	0,34
Tebal meat, mm	0,64	0,64
Panjang lempong, mm	625	625
Panjang meat, mm	570,1	570

dengan cara dipotong-potong untuk pembuatan cuplikan analisis metalografi. Lokasi, ukuran dan teknik pemotongan ditetapkan sesuai dengan kebutuhan. Dalam hal ini potongan diambil pada bagian ujung bawah dari PEB yang menunjukkan secara visual adanya lapisan oksida. Urutan mekanisme pemotongan PEB dibagikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir pemeriksaan elemen bakar nuklir pasca iradiasi



Gambar 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Tak-Merusak

#### Pemeriksaan secara visual

Pertama kali dilakukan pemeriksaan secara visual terhadap EBB yang masih utuh (rakitan) sebelum dilakukan pencopotan (dismantling) dan kemudian terhadap PEB lepasan. Dokumentasi hasil pemeriksaan dilengkapi hasil pemotretan menggunakan periskop dengan daya pembesaran 12 x yang dipasang pada dinding dalam hot cell.

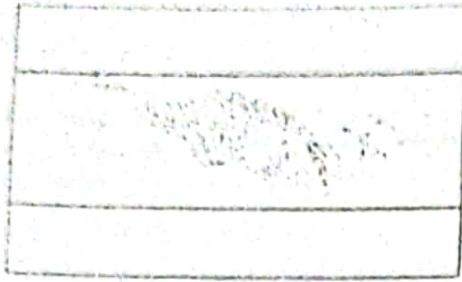
Pada pemeriksaan visual terhadap EBB utuh terlihat bahwa pada permukaan PEB terluarnya terdapat lapisan tipis berwarna kecoklatan berbentuk parabola. Kerusakan lain seperti pelepuhan PEB (blister), pitting corrosion dan goresan pada permukaan PEB maupun pembengkokan PEB tidak ditemukan. Sementara itu, kerangka struktur dari kedua EBB, yaitu lempeng sisi kanan dan kiri (side plates) serta ujung-pasang (endfitting), keduanya dari AlMgSi, masih menunjukkan keutuhan yang baik.

Dari EBB RI-19 dikeluarkan PEB urutan ke 5 dengan nomor identifikasi RI 039 dan RI-SIE2 diambil PEB pada urutan ke 12 bernomor identifikasi IDA 0036 dan urutan ke 20 bernomor IDA 0045, PEB bernomor RI-039 dan IDA 0036 ditemukan dalam kondisi bersih, sementara pada permukaan IDA 0045 terdapat bercak kecoklatan sebagai mana yang terdapat pada permukaan PEB terluar. Gambar-gambar hasil pemotretan diperlihatkan pada Gambar 3A dan B.

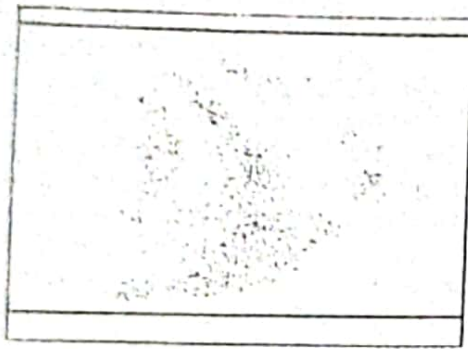
#### Pemeriksaan pelarikan $\gamma$

Pemeriksaan pelarikan  $\gamma$  dilakukan di dua tempat yang berbeda. Pemeriksaan terhadap rakitan EBB utuh dilakukan di hot cell RSG-GAS, sedang pemeriksaan terhadap PEB dilakukan di hot-cell IRM.

Detektor yang digunakan untuk kedua pemeriksaan ini adalah dari jenis Ge(Li) dan radionuklida yang akan diperiksa distribusinya adalah  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$ . Hasil pemeriksaan distribusi kedua radionuklida sepanjang rakitan EBB utuh dan PEB saling menunjukkan konsistensi berkaitan dengan profil derajat bakar.



Gambar 3A. Kenampakan PEB IDA 0045 muka-2, difoto dengan Periskop, pembesaran 5 x.



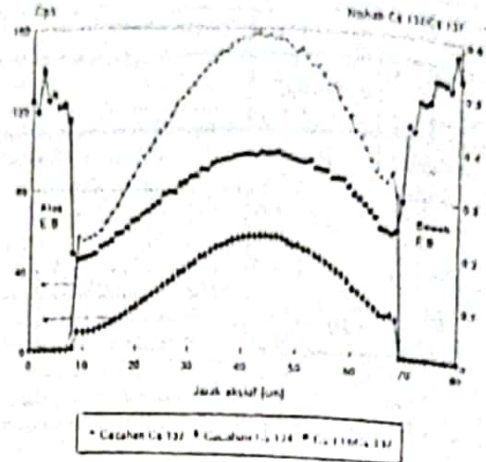
Gambar 3B. Kenampakan PEB IDA 0048 muka-2, difoto dengan Periskop, pembesaran 12 x.

Kedua profil memperlihatkan bahwa derajat bakar tertinggi terdapat pada posisi sekitar 25 cm dari ujung bawah. Data profil pelarikan gamma diberikan pada Gambar 4, 5a dan 5b.

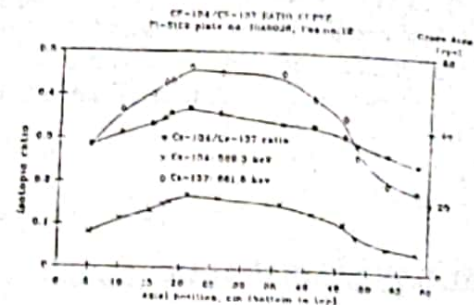
**Pengukuran tebal PEB**

Ketebalan PEB pasca iradiasi diukur dengan mikrometer pada keadaan PEB kering dengan pelarikan (scanning) setiap 5 cm dengan 3 titik pengukuran searah panjang PEB. Data ukur itu kemudian dibandingkan dengan data ketebalan PEB tersebut sebelum iradiasi yang diberikan oleh pabrik pembuntan elemen bakar. Dari hasil pengukuran ketebalan pasca iradiasi ditemukan bahwa :

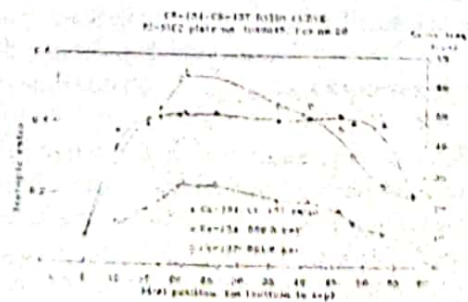
- Lemping RI-039 mengalami penambahan tebal rata-rata 0,0275 mm
- Lemping IDA-0036 mengalami penambahan tebal rata-rata 0,025 mm dan
- Lemping IDA-0045 mengalami penambahan tebal 0,030 mm



Gambar 4. Gambar pelarikan  $\gamma$  dan  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  RISIE2.



Gambar 5a. Luas cacahan kotor puncak Cs pada 569,3 keV dan 661,6 keV pada posisi no 12.



Gambar 5b. Luas cacahan kotor puncak Cs pada 569,3 keV dan 661,6 keV pada posisi no 20.

Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2, 3 dan 4.

Pertambahan ketebalan ini terjadi disebabkan berbagai hal antara lain :

Tabel 2. Data pengukuran ketebalan PEB nomor RI-309 dari EBB RI-19

DARI PERMUKAAN 1			DARI PERMUKAAN 2		
Hasil Ukur (mm)	Posisi (cm)	T <sub>av</sub>	Hasil Ukur (mm)	Posisi (cm)	T <sub>av</sub>
1,360 - 1,365 - 1,360	0,5	1,362	1,370 - 1,370 - 1,370	0,5	1,37
1,375 - 1,380 - 1,375	4	1,376	1,390 - 1,390 - 1,400	6	1,393
1,385 - 1,390 - 1,385	9,2	1,387	1,390 - 1,390 - 1,399	10,8	1,39
1,385 - 1,385 - 1,385	14,2	1,385	1,390 - 1,395 - 1,395	16	1,393
1,385 - 1,390 - 1,390	18,3	1,388	1,395 - 1,395 - 1,390	20,8	1,395
1,395 - 1,395 - 1,395	24,2	1,395	1,405 - 1,405 - 1,410	25,8	1,408
1,400 - 1,390 - 1,390	30,2	1,393	1,395 - 1,400 - 1,400	36,0	1,398
1,40 - 1,390 - 1,385	43	1,391	1,385 - 1,390 - 1,390	41,0	1,388
1,39 - 1,395 - 1,395	48,6	1,393	1,375 - 1,380 - 1,385	46,0	1,380
1,375 - 1,380 - 1,39	51,6	1,378	1,385 - 1,390 - 1,400	50,5	1,391
			1,400 - 1,390 - 1,380	54	1,390

Catatan : T<sub>permukaan-1</sub> = 1,385 mm

T<sub>permukaan-2</sub> = 1,390 mm

Tebal PEB rata-rata total, T<sub>rata2</sub> = (T<sub>permukaan-1</sub> + T<sub>permukaan-2</sub>) / 2 = 1,3875 mm.

Tebal PEB rata-rata sebelum iradiasi = 1,360 mm

Jadi pertambahan ketebalan PEB rata-rata sebesar 0,0275 mm atau 2,02 %.

Tabel 4. Data pengukuran ketebalan PEB nomor IDA 0045 dari EBB RI-SIE2

DARI PERMUKAAN 1			DARI PERMUKAAN 2		
Hasil Ukur (mm)	Posisi (cm)	T <sub>av</sub>	Hasil Ukur (mm)	Posisi (cm)	T <sub>av</sub>
1,360 - 1,365 - 1,360	0,5	1,36	1,370 - 1,370 - 1,370	0,5	1,37
1,375 - 1,380 - 1,375	5,0	1,38	1,390 - 1,390 - 1,400	6,0	1,39
1,385 - 1,390 - 1,385	10,0	1,39	1,390 - 1,390 - 1,390	11,0	1,39
1,385 - 1,385 - 1,385	15,0	1,39	1,390 - 1,395 - 1,395	16,0	1,39
1,385 - 1,390 - 1,390	20,0	1,39	1,395 - 1,395 - 1,395	21,0	1,39
1,395 - 1,395 - 1,395	25,0	1,40	1,405 - 1,405 - 1,410	26,0	1,41
1,400 - 1,390 - 1,390	39,0	1,39	1,395 - 1,400 - 1,400	36,0	1,40
1,400 - 1,390 - 1,385	44,0	1,39	1,385 - 1,390 - 1,390	41,0	1,39
1,390 - 1,395 - 1,395	49,0	1,40	1,375 - 1,380 - 1,385	46,0	1,38
1,375 - 1,415	54,0	1,40	1,385 - 1,390 - 1,400	52,0	1,39
			1,385 - 1,385 - 1,400	65,0	1,39

Catatan :

Tebal PEB rata-rata total sesudah iradiasi = 1,390 mm

Tebal PEB rata-rata sebelum iradiasi = 1,360 mm

Jadi pertambahan ketebalan PEB rata-rata sebesar 0,030 mm atau 2,2 %.

Tabel 3. Data pengukuran ketebalan PEB nomor IDA 0036 dari EBB RI-SIE2

DARI PERMUKAAN			DARI PERMUKAAN 2		
Hasil Ukur (mm)	Postel (cm)	$\bar{t}_{av}$	Hasil Ukur (mm)	Postel (cm)	$\bar{t}_{av}$
1,350 - 1,360 - 1,360	0.5	1,362	1,360 - 1,355 - 1,360	0.5	1,358
1,370 - 1,370 - 1,360	2.0	1,367	1,370 - 1,365 - 1,370	1.5	1,368
1,380 - 1,380 - 1,370	5.0	1,367	1,380 - 1,390 - 1,375	5.0	1,382
1,375 - 1,370 - 1,370	10.0	1,372	1,385 - 1,390 - 1,390	10.0	1,388
1,380 - 1,370 - 1,370	15.0	1,373	1,380 - 1,375 - 1,375	15.0	1,377
1,380 - 1,380 - 1,380	20.0	1,380	1,380 - 1,380 - 1,380	20.0	1,380
1,360 - 1,375 - 1,375	25.0	1,377	1,380 - 1,380 - 1,380	25.0	1,380
1,360 - 1,400 - 1,400	30.0	1,397	1,385 - 1,380 - 1,380	30.0	1,382
1,390 - 1,390 - 1,390	35.0	1,390	1,390 - 1,385 - 1,385	35.0	1,387
1,380 - 1,390 - 1,385	40.0	1,385	1,385 - 1,390 - 1,395	40.0	1,390
1,380 - 1,380 - 1,380	45.0	1,380	1,385 - 1,380 - 1,380	45.0	1,382
1,385 - 1,375 - 1,380	50.0	1,380	1,385 - 1,390 - 1,385	50.0	1,387
1,380 - 1,370 - 1,370	55.0	1,373	1,390 - 1,380 - 1,380	55.0	1,383
1,365 - 1,370 - 1,370	60.0	1,368	1,380 - 1,380 - 1,380	60.0	1,380
1,350 - 1,355 - 1,350	61.5	1,350	1,350 - 1,340 - 1,340	62.0	1,342

Catatan :

Tebal PEB rata-rata total sesudah iradiasi = 1,375 mm

Tebal PEB rata-rata sebelum iradiasi = 1,350 mm

Jadi pertambahan ketebalan PEB rata-rata sebesar 0,025 mm atau 18,5 %.

- tumbuhnya lapisan oksida pada permukaan kelongsong (cladding) paduan aluminium  $AlMg_2$ , suatu proses alami yang selalu menyertai pemaparan permukaan baru aluminium pada lingkungan (air kolam reaktor) dan
- terjadinya pembengkakan (swelling) dari partikel bahan bakar di dalam dispersi yang pada gilirannya akan menyumbangkan penebalan pada PEB.

Suatu penelitian yang dilakukan terhadap elemen bakar tipe MTR yang diiradiasi di reaktor ORR (Oak Ridge Research Reactor) selama 319 hari dan kemudian didinginkan selama 159 hari menunjukkan bahwa ketebalan lapisan oksida pada kelongsong mencapai  $11 \mu$  [1], sementara perubahan ketebalan karena pembengkakan dari bahan bakar dapat mencapai  $10 \mu$  [2]. Dengan demikian, perubahan ketebalan ketiga PEB yang diuji, setelah mempertimbangkan waktu tinggal dalam teras untuk iradiasi selama lebih dari 2 tahun diikuti waktu pendinginan 1 tahun, masih sangat wajar.

**Pemeriksaan Metalografi**

Pemeriksaan secara merusak metalografi dilakukan baik terhadap cuplikan-cuplikan PEB  $U_3O_8-Al$  maupun terhadap cuplikan-cuplikan PEB  $U_3Si_2-Al$ . Hasil pemeriksaan dan

analisis metalografi terhadap cuplikan PEB  $U_3O_8-Al$  menunjukkan bahwa :

- pada permukaan kelongsong telah terbentuk suatu lapisan tipis sejenis *luster* dan setelah dianalisis lebih jauh ternyata berupa oksida aluminium hidroksida  $Al_2O_3(OH)_x$  dengan tebal sekitar  $20 \mu$  (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Citra Scanning Electron Microscope terhadap lapisan Bohmite pada permukaan PEB

terbentuknya rongga (bubbles) besar di dalam butiran  $U_3O_8$  sebagai akibat dari peristiwa koalesensi (penggabungan dari rongga kecil berisi gas hasil fisi yang dihasilkan (lihat Gambar 7).



Gambar 7. Citra Scanning Electron Microscope terhadap butiran bahan bakar  $U_3O_8$  yang menunjukkan adanya rongga.

Sementara itu, hasil pemeriksaan secara merusak dengan metalografi terhadap cuplikan PEB  $U_3Si_2$ -Al menunjukkan bahwa telah terjadi hal-hal serupa seperti yang terjadi pada cuplikan  $U_3O_8$ -Al dengan perbedaan bahwa rongga terjadi pada *meat*, bukan pada butiran (lihat Gambar 8).

#### KESIMPULAN

Dari data yang dikemukakan di atas dan pembahasan yang diberikan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Unjuk kerja EB  $U_3Si_2$  hasil produksi PEBN tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok dengan unjuk kerja EB  $U_3O_8$ -Al hasil produksi NUKEM RFJ. Keduanya, pada derajat-bakar



Gambar 8. Citra Scanning Electron Microscope terhadap butiran bahan bakar  $U_3Si_2$  yang menunjukkan adanya rongga.

hingga sedikit di atas 50 % masih mempertahankan keutuhannya

- Tidak diketemukan adanya kerusakan berupa *pit corrosion* dan goresan pada permukaan PEB yang diperiksa, serta tidak diketemukan distorsi dimensional PEB.
- Pertambahan ketebalan PEB disebabkan oleh terbentuknya oksida dan hidroksida aluminium (boehmite) pada permukaan kelongsong AlMg2 dan terjadinya pembengkakan pada butiran-butiran bahan bakar dalam dispersi, namun kedua hal itu masih dalam batas yang diizinkan, tidak mengakibatkan kekhawatiran ancaman keselamatan karena menyempitnya kanal pendingin.
- Dengan melihat hasil uji pasca iradiasi secara keseluruhan maka keutuhan EBB maupun masing-masing PEBnya mengindikasikan bahwa sebenarnya *discharged burn up* masih layak untuk ditingkatkan lagi lebih tinggi dari 50 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Copeland, G.L., Hobbs, R.W., Hofman, G.L. and Snelgrove, J.L., Performance of low enriched  $U_3Si_2$ -Al dispersion fuel elements in the Oak Ridge Research Reactor, ANL/RERTR/TM-10, Illinois, USA (1987).
2. Suropto, A, Sugondo, Nasution, H. and Hofman, G.L., Postirradiation examination of a low enriched  $U_3Si_2$ -Al fuel element manufactured and irradiated at BATAN, Paper presented at the RERTR Meeting, September 18-23, Williamsburg, Virginia, USA (1994).
3. Hrovat, M., Hassel, H. W., Basic characteristics and requirements of MTR fuel, Proc., German-Indonesian Seminar, Jakarta (1985).

## DISKUSI

### Heryudo Kusumo :

1. Jenis korosi apa yang terjadi pada kelongsong EB yang diuji ?
2. Berapa batasan aman dari EB tersebut ?
3. Apakah bisa diperiksakan sampai seberapa jauh *burn up* EB bisa dicapai dimana EB masih dalam keadaan aman ?

### Hasbullah Nasution :

1. Pada penelitian ini yang terlihat baru berupa lapisan tipis dari oksida hidroksid aluminium ( $Al_2O_3(OH)_x$ , tidak murni korosi. Kondisi ini merupakan kondisi alam yang memang akan terjadi.
2. Sangat tergantung pada kondisi operasi reaktor, dengan memperhatikan faktor pendingin, temperatur dan lain-lain. Penentuan batasan perlu didukung oleh perhitungan-perhitungan neutronik.
3. Beberapa pustaka dan informasi dari produsen (NUKEM) EB Nukem masih layak digunakan hingga 63-70 % tentu dengan persyaratan-persyaratan khusus (kondisi operasional reaktor).