

## PEMBUATAN PELAT ELEMEN BAKAR MINI U-7Mo/Al

Susworo, Suhardyo, Setia Permana  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

**PEMBUATAN PELAT ELEMEN BAKAR MINI U-7Mo/Al.** Pembuatan pelat elemen bakar/PEB mini U-7Mo/Al untuk mencari parameter fabrikasi yang tepat dalam rangka pengembangan bahan bakar dispersi tipe pelat dengan densitas uranium tinggi telah dilakukan. Proses pembuatan PEB mini U-7Mo/Al diawali dengan pembuatan *frame* dan *cover*, penyusunan Inti Elemen Bakar (IEB) U-7Mo/Al bersama *frame* dan *cover* menjadi paket rol yang susunan tersebut diikat dengan las *Tungsten Inert Gas (TIG)*. Paket rol dibentuk menjadi Pelat Elemen Bakar (PEB) mini U-7Mo/Al dengan teknik pengerolan panas dan dilanjutkan pengerolan dingin hingga ketebalan tertentu dan dipotong sesuai persyaratan bahan bakar. *Frame* dan *cover* dibuat dari lembaran logam paduan AlMg2 dengan ketebalan 3,15 mm untuk *frame* dan 2,7 mm untuk *cover* menggunakan mesin *punching*. Lubang *frame* disiapkan secara manual sesuai ukuran IEB U-7Mo/Al. Selanjutnya *frame*, *cover* dan IEB U-7Mo/Al dirakit menjadi paket rol dan pada sisi sambungannya diikat dengan las TIG dengan arus listrik antara 300 – 350 A. Paket rol ditipiskan dengan pengerolan panas pada temperatur 425°C (4 tahap) hingga terjadi penurunan dari ketebalan 8,65 mm menjadi 1,65 mm dan dilanjutkan pengerolan dingin hingga ketebalan 1,4 mm. Pelat hasil rol setelah dikenai proses pelurusan dipotong berukuran 70 x 150 x 1,4 mm untuk densitas uranium 3,6 gU/cm<sup>3</sup> dan 70 x 200 x ± 1,4 mm untuk densitas uranium 6 dan 7 gU/cm<sup>3</sup> dengan *meat* tepat di tengah-tengahnya. Hasil pengamatan dan pengukuran menunjukkan bahwa hasil PEB mini U-7Mo/Al dengan densitas uranium 3,6 gU/cm<sup>3</sup> (8 buah), 6,0 gU/cm<sup>3</sup> (2 buah) dan 7,0 gU/cm<sup>3</sup> (2 buah) dalam penelitian ini secara visual cukup baik, tidak terdapat cacat dipermukaannya. Bila diamati perubahan dimensi *meat* U-7Mo/Al mengalami pemanjangan sekitar 6 kali untuk seluruh densitas uranium, sedangkan lebar *meat* tidak berubah.

Kata kunci: Proses fabrikasi, bahan bakar dispersi U-7Mo/Al, PEB mini, U-7Mo/Al

### PENDAHULUAN

Bahan bakar dispersi merupakan partikel serbuk bahan bakar fisil yang di dispersikan secara merata kedalam serbuk logam non fisil (matriks), seperti UAl<sub>x</sub>/Al, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>/Al, U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al. Bahan bakar dispersi jenis U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al telah banyak digunakan sebagai bahan bakar reaktor nuklir tipe *Material Testing Reactor (MTR)*. Unjuk kerja bahan bakar dispersi U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al sangat baik, namun karena tuntutan keekonomian maka penelitian dan pengembangan bahan bakar menggunakan material baru yang memiliki densitas uranium tinggi terus dilakukan. Stabilitas iradiasi bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al sangat tinggi, tetapi densitas uranium maksimum yang dapat dicapai dari proses fabrikasinya hanya 4,80 gU/cm<sup>3</sup>. Apabila fabrikasi bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al densitas uranium diatas 4,8 gU/cm<sup>3</sup>, maka kemungkinan gagal akan lebih besar, terutama akibat pembentukan *dog bone* diujung pelat bahan bakar yang berakibat kelongsong menjadi tipis. Bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al selain mempunyai densitas uranium maksimum hanya 4,80 gU/cm<sup>3</sup> (1), juga

mempunyai kelemahan dan kesulitan dalam hal proses olah ulang gagal fabrikasi/bahan bakar bekas.

Bahan bakar dispersi  $U_3Si_2/Al$  yang digunakan di Reaktor Serbaguna GA. Siwabessy (RSG-GAS) adalah merupakan hasil litbang BATAN<sup>(2)</sup>. Kinerja bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  selama diiradiasi di dalam reaktor sangat stabil dan adanya *swelling* rendah, namun demikian penelitian dan pengembangan bahan bakar baru paduan U-Mo terus dilakukan.

Paduan U-Mo menjadi alternatif terpilih sebagai bahan bakar dispersi, sehingga densitas uranium dalam pelat elemen bakar dapat ditingkatkan menjadi  $>8,0 \text{ gU/cm}^3$  sesuai dengan yang diperlukan reaktor terkait penggunaan uranium pengayaan rendah<sup>(3,4)</sup>. Kelebihan lain paduan U-Mo sebagai bahan bakar adalah proses olah ulang lebih mudah dibandingkan bahan bakar  $U_3Si_2/Al$ <sup>(5)</sup>.

Berbekal pengalaman membuat elemen bakar dispersi  $U_3O_8/Al$  dan  $U_3Si_2/Al$  dan tersedianya fasilitas fabrikasi dan uji, maka penelitian pembuatan Pelat Elemen Bakar (PEB) mini U-Mo/Al dapat dilakukan.

## TATA KERJA

### Bahan

- Inti Elemen Bakar (IEB) Mini U-7Mo/Al
- *frame* dan *cover* dari bahan paduan Alumunium (AlMg2)

### Peralatan

Mesin rol, mesin *punching*, mesin las Tunsten Inert Gas (TIG), perangkat pikling dan *degreasing*, mesin poles, mesin potong, mikrometer.

### Langkah/tahapan kerja

#### • Pembuatan *frame* dan *cover*.

Pelat paduan AlMg2 berukuran 6 x 170 x 1000 mm dirol hingga ketebalan 3,15 mm untuk *frame* dan 2,7 mm untuk *cover*. Selanjutnya pelat hasil perolan diluruskan dengan mesin pelurus dan dipotong menggunakan mesin *punching* hingga diperoleh pelat dengan dimensi panjang 180 mm dan lebar 145 mm. Lakukan *degreasing* di dalam uap perkloretilen pada temperatur 120°C selama 30 menit kemudian dilakukan *aniling* 360°C selama 4 Jam. Bahan untuk *frame* dibuat lubang sesuai dimensi IEB,

kemudian di *degreasing*, selanjutnya keduanya di poles dan *degreasing* lagi untuk menghilangkan oli atau kotoran yang melekat pada permukaan *frame* atau *cover*.

- **Perakitan komposit PEB**

Inti Elemen Bakar (IEB) Mini U-7Mo/Al berukuran (25 x 15 x 3,27) mm<sup>3</sup> dipotong menjadi 2 bagian sama besar berukuran (12,5 x 15 x 3,27) mm<sup>3</sup> menggunakan pisau gergaji tangan yang dilakukan di dalam glove box.

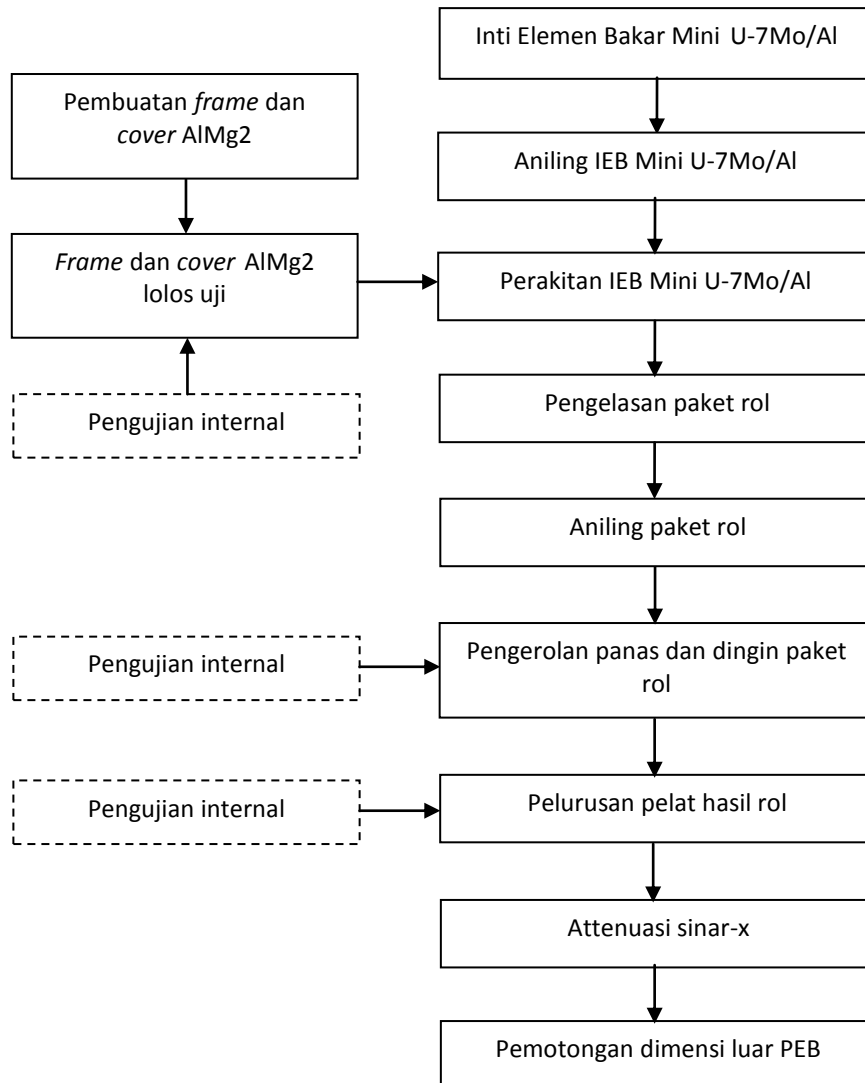
Siapkan kelongsong/pembungkus IEB dari bahan AlMg2 yang terdiri dari 1 buah *frame* berukuran (180 x 145 x 3,20) mm berisi 2 lubang berukuran sesuai dimensi IEB Mini (dengan posisi vertikal) dan 2 buah *cover* berukuran (180 x 145 x 2,70) mm.

IEB dimasukkan kedalam kelongsong/pembungkus yang telah dibersihkan (bebas kotoran dan minyak) membentuk komposit, lalu jepit kuat-kuat dan susun beberapa komposit tersebut hingga menjadi 1 paket rol yang siap untuk dilas pada masing-masing sisi pelatnya menggunakan arus 300 - 350 A. Setelah selesai dilakukan pengelasan, paket rol dibiarkan beberapa saat hingga menjadi dingin sebelum dilepas dari penjepitnya. Komposit paket rol dimasukkan kedalam tungku anil untuk dianil pada suhu 415°C selama 30 menit. Paket rol dikeluarkan dari tungku anil untuk kemudian dirol secara bertahap (4 tahap) hingga degradasi tebal komposit turun dari ketebalan awal 8,65 mm menjadi tebal akhir 1,65 mm. Lembaran pelat hasil rol panas dimasukkan kembali kedalam tungku anil untuk keperluan uji blister pada suhu 425°C selama 60 menit. Lembaran pelat PEB dari tungku anil dikeluarkan, biarkan beberapa saat hingga dingin dan lakukan pengamatan/uji blister secara *visual*. Lembaran pelat PEB hasil rol panas lalu dipotong pada keempat sisi-sisi ujungnya sebelum dilakukan perolan dingin.

Perolan dingin dilakukan bertahap (2 - 3 tahap) sehingga menjadi tebal akhir 1,40 mm. Lembaran pelat PEB hasil rol dingin *didegreasing* untuk menghilangkan minyak/oli pada permukaannya. Lembaran pelat yang sudah bersih kemudian dianil kembali pada suhu 425°C selama 60 menit. Lembaran pelat PEB dilurus-ratakan dengan mesin rol pelurus untuk mendapatkan lembaran pelat PEB lurus dan rata permukaannya. Lembaran pelat PEB dilubangi pada kedua ujungnya sebagai pijakan untuk memudahkan pemotongan sisi samping dan ujung pelat sesuai keperluan. Potongan pelat PEB dipotong kembali pada sisi dekat *meat* menjadi PEB mini. Setelah melewati beberapa tahapan pengujian kualitas, PEB mini dipoles permukaannya menggunakan mesin poles. Setelah mendapatkan tebal PEB yang

memenuhi syarat, PEB dicuci kimia menggunakan larutan soda, asam, selanjutnya dibilas dengan air bebas mineral.

Diagram alir proses pembuatan PEB Mini U-7Mo/Al secara lengkap dapat dilihat pada gambar 1.



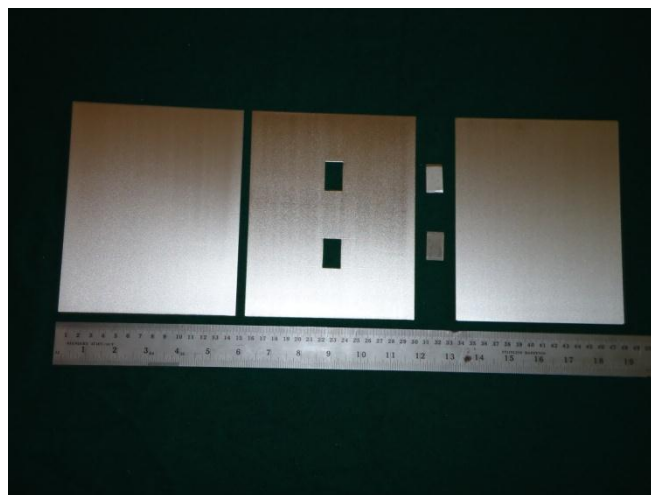
Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan PEB Mini U-7Mo/Al

## HASIL DAN PEMBAHASAN

IEB Mini U-7Mo/Al hasil kompaksi berukuran (25 x 15 x 3,27) mm untuk densitas uranium 3,6 gU/cm<sup>3</sup> (sebanyak 4 buah) dipotong menjadi 2 bagian sama besar berukuran (12,5 x 15 x 3,27) mm. Sedangkan IEB mini U-7Mo/Al dengan densitas uranium 6 dan 7 gU/cm<sup>3</sup> masing-masing sebanyak 2 buah berukuran (25 x 15 x 3,33)mm dan (25 x 15 x 3,37) mm. IEB Mini U-7Mo/Al dibuat bentuk mini dengan ukuran 1/10 dari IEB ukuran standar bahan bakar tipe pelat untuk tujuan efisiensi

karena PEB yang akan dibuat cukup banyak agar dapat diperoleh beberapa parameter uji seperti pengaruh panas, uji merusak untuk melihat pengaruh pengerolan, dan lain-lain. Pemotongan IEB U-7Mo/Al dilakukan di dalam *glove box* bermedia gas Argon. Selama proses pemotongan teramati bahwa IEB U-7Mo/Al cukup rapuh sehingga pada proses pemotongan dengan gergaji dilakukan dengan hati-hati untuk mendapatkan hasil potong yang presisi.

Selanjutnya masing-masing IEB Mini tersebut dimasukkan kedalam *frame* AlMg2 dengan dimensi lubang sesuai dengan dimensi IEB U-7Mo/Al, kemudian ditutup dengan *cover* AlMg2 membentuk komposit. Masing-masing komposit PEB berisi 2 buah IEB. U-7Mo/Al untuk densitas uranium  $3,6 \text{ gU/cm}^3$  dan 1 buah IEB. U-7Mo/Al untuk densitas uranium 6 dan  $7 \text{ gU/cm}^3$ . Contoh *frame*, *cover* dan IEB U-7Mo/Al dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Frame, Cover dan IEB U-7Mo/Al

Delapan buah komposit disusun menjadi 1 buah paket rol, kemudian masing-masing komposit dilas *TIG* beberapa titik pada ke-empat sisi sambungannya. Fungsi pengelasan dimaksudkan agar pada proses pengerolan panas tidak terjadi pergeseran antara *frame* dan *cover* sehingga posisi *meat* tetap berada di tengah-tengahnya, sedangkan pengelasan hanya pada beberapa titik pada keempat sisi sambungannya dengan tujuan agar selama proses pengerolan panas tahap pertama seluruh udara dapat keluar melalui daerah yang tidak dilas. Hal ini diharapkan semua udara dapat keluar dari zona bahan bakar dan terhindar dari terbentuknya blister/lepuhan. Hasil pengelasan paket rol PEB U-7Mo/Al dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil pengelasan paket rol PEB U-7Mo/Al

Sebelum dilakukan pengerolan panas, terlebih dahulu ke 8 komposit PEB U-7Mo/Al dianil pada temperatur 415°C selama 30 menit. Proses anil dimaksudkan agar komposit menjadi plastis, sehingga pada proses pengerolan tidak terjadi kerusakan material akibat *crack*/retak. Pengerolan panas dilakukan empat tahap untuk menipiskan paket rol dari 8,55 mm menjadi 1,65 mm agar. Pengerolan bertahap dimaksudkan agar diperoleh ikatan metalurgi yang baik dan menghindari adanya udara yang terjebak didalam zona bahan bakar sehingga membentuk blister. Pada pengerolan tahap pertama, daerah las untuk tiga PEB U-7Mo/Al pecah sehingga terjadi pergeseran antara *frame* dan *cover*, namun pada perolan tahap ke- dua ikatan *frame* dan *cover* cukup baik. Pecahnya las kemungkinan belum sempurna sehingga untuk pengelasan berikutnya perlu dicari parameter yang tepat. Hasil pengerolan panas paket rol dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik hasil pengerolan panas paket rol

No	Kode PEB	Tebal PEB, mm					Identifikasi blister
		Tebal awal	Pengerolan tahap 1	Pengerolan tahap 2	Pengerolan tahap 3	Pengerolan tahap 4	
1	A.a.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
	A.a.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
2	A.b.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
	A.b.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
3	A.c.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
	A.c.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada

No	Kode PEB	Tebal PEB, mm					Identifikasi blister
		Tebal awal	Pengerolan tahap 1	Pengerolan tahap 2	Pengerolan tahap 3	Pengerolan tahap 4	
4	A.d.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
	A.d.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
5	B.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
6	B.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
7	C.1	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada
8	C.2	8,55	7,00	5,60	2,60	1,65	Tidak ada

Sesuai persyaratan standar bahan bakar tipe pelat bahwa PEB memiliki ketebalan  $1,37^{\pm 0,5}$  mm, oleh karena itu pelat hasil pengerolan panas tahap empat ditipiskan lagi dengan pengerolan dingin. Dalam percobaan ini pengerolan dingin dilakukan dua tahap dan diperoleh pelat seperti ditunjukkan Gambar 4, serta hasil pengukuran tebal ditampilkan dalam Tabel 3. Pelat hasil pengerolan dingin terlihat bergelombang dan pada permukaannya terkontaminasi minyak pelumas dari kepala rol.



Gambar 4. Pelat hasil pengerolan dingin.

Tabel 3. Karakteristik PEB hasil pengerolan dingin.

No	Kode PEB	Tebal PEB pada pengerolan dingin Tahap I		Tebal PEB pada pengerolan dingin pada Tahap II	
		Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)	Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)
1	A.a.1& a.2	1,47	1,45	1,40	1,37
2	A.b.1& b.2	1,45	1,43	1,40	1,38
3	A.c.1 &c.2	1,44	1,42	1,39	1,37
4	A.d.1&d.2.	1,47	1,44	1,40	1,38
5	B.1	1,49	1,46	1,41	1,39
6	B.2	1,50	1,49	1,43	1,39

No	Kode PEB	Tebal PEB pada pengerolan dingin Tahap I		Tebal PEB pada pengerolan dingin pada Tahap II	
		Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)	Pengukuran 1 (mm)	Pengukuran 2 (mm)
7	C.1	1,49	1,48	1,41	1,40
8	C.2	1,50	1,49	1,42	1,39

Setelah diperoleh tebal pelat yang diinginkan, maka PEB hasil rol dingin yang terkontaminasi minyak pelumas dibersihkan dengan didegreasing kemudian dianil dalam tungku pada temperatur 425°C kemudian diluruskan dalam mesin pelurus pelat. Tujuan pelurusan agar diperoleh PEB yang lurus dan permukaannya menjadi rata. Selanjutnya pelat yang telah lurus dipotong menjadi PEB mini dengan posisi *meat* tepat di tengah tengahnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan dimensi PEB dan *meat* U-7Mo/Al dalam Tabel 4.



Gambar 5. Pelat Elemen Bakar Mini U-7Mo/Al

Tabel 4. Dimensi akhir PEB mini

Kode PEB U-7Mo/Al	Dimensi PEB mini U-7Mo/Al, mm		Dimensi meat U-7Mo/Al, mm	
	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar
A.a.1	150	70,75	75	15
A.a.2	150	70,75	75	15
A.b.1	150	70,75	75	15
A.b.2	150	70,75	75	15
A.c.1	150	70,75	75	15
A.c.2	150	70,75	75	15
A.d.1	150	70,75	75	15
A.d.2	150	70,75	75	15



Kode PEB U-7Mo/Al	Dimensi PEB mini U-7Mo/Al, mm		Dimensi meat U-7Mo/Al, mm	
	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar
B.1	200	70,75	150	15
B.2	200	70,75	150	15
C.1	200	70,75	150	15
C.2	200	70,75	150	15

## KESIMPULAN

Hasil PEB mini U-7Mo/Al dengan densitas uranium  $3,6 \text{ gU/cm}^3$  (8 buah),  $6,0 \text{ gU/cm}^3$  (2 buah) dan  $7,0 \text{ gU/cm}^3$  (2 buah) dalam penelitian ini secara visual cukup baik, tidak terdapat cacat dipermukaannya. Bila diamati perubahan dimensi *meat* U-7Mo/Al mengalami pemanjangan sekitar 6 kali untuk seluruh densitas uranium, sedangkan lebar *meat* tidak berubah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pegawai PTBN yang telah berkenan membantu pelaksanaan penelitian hingga tersusunnya laporan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. OLIVARES, L, et.al, "Nuclear Fuel Development Based on UMo Alloys under Irradiation Evaluation of LEU  $\text{U}_3\text{Si}_2$  -  $4,8 \text{ gU/cm}^3$  Test Fuel", The RERTR-2007 International Meeting on RERTR, Prague, Czech Republic, September, 2007.
2. ASLINA Br. GINTING, dkk, "Pengaruh Porositas Meat Bahan Bakar Terhadap Kapasitas Panas Pelat Elemen Bakar  $\text{U}_3\text{Si}_2$ -Al" Prosiding PPIPDIPM 2007, PTAPB-Batan, Yogyakarta, Juli 2007.
3. TRAVELLI. A, "Progress of the RERTR Program in 2001", 6<sup>th</sup> International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management, March, 2002.
4. LEENAERS. A, et.al, "Post Irradiation Examination of Uranium - 7% Molybdenum Atomized Dispersion Fuel", 8<sup>th</sup> International Topical Meeting on RRFM, Germany, March, 2004.
5. KIM, C.K, et.al, "Status of the Qualification program for Atomized UMo Dispersion Rod Type Fuel in Korea", 6<sup>th</sup> International Topical Meeting on RRFM, Belgium, March, 2002