

# BAB 5

## Fabrikasi Inti Elemen Bakar dan Pelat Elemen Bakar U-6Zr-5Nb/Al

Masrukan, Slamet Pribadi, Setia Permana, M. Husna Alhasa

### 5.1. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) mempunyai tugas untuk mengembangkan teknologi bahan bakar nuklir, baik untuk bahan bakar reaktor riset maupun reaktor daya. Pengembangan bahan bakar reaktor daya diarahkan untuk menguasai teknologi pembuatan bahan bakar *prototype* elemen bakar *Pressurized Water Reactor* (PWR), berkas bahan bakar *Heavy Water Reactor* (HWR) dan bahan bakar reaktor jenis lain seperti Reaktor Suhu Tinggi (RST). Di sisi lain, pengembangan bahan bakar reaktor riset ditujukan untuk menguasai teknologi pembuatan bahan bakar reaktor riset yang mempunyai densitas tinggi [1, 2]. Densitas bahan bakar berkaitan dengan muatan uranium persatuan volume. Apabila densitas bahan bakar tinggi, maka jumlah uranium yang dapat dimuatkan ke dalam bahan bakar persatuan volume menjadi lebih banyak [3].

Beberapa paduan uranium sedang dicoba untuk dikembangkan menjadi kandidat bahan bakar reaktor riset, menggantikan paduan uranium silisida ( $U_3Si_2/Al$ ) yang saat ini masih digunakan. Paduan uranium yang dapat dikembangkan menjadi bahan bakar untuk reaktor riset adalah paduan uranium yang mempunyai daerah fasa  $\gamma$  yang luas seperti U-Cr, U-Mo, U-Nb, U-Re, U-Ru, U-Ti, U-V dan U-Zr [4]. Paduan U-Zr merupakan salah satu paduan yang dapat digunakan untuk membuat bahan bakar baik bahan bakar reaktor riset maupun reaktor daya. Apabila digunakan untuk bahan bakar reaktor daya maka paduan Zr dibuat dalam bentuk hidrida zirkonium (U-ZrH) atau dapat ditambahkan paduan logam lain misalnya Pu, Th [5]. Sebagai contoh, pada reaktor cepat berpendingin sodium (SFR = *Sodium cooled Fast Reactor*), menggunakan paduan U-Zr dan U-Pu-Zr sebagai bahan bakarnya [6].

Paduan U-Zr digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset perlu ditambahkan logam pemadu untuk memperbaiki karakternya. Paduan U-Zr pada temperatur kamar didominasi oleh fasa  $\alpha$  yang tidak stabil, mudah terjadi *swelling*, sehingga harus diubah agar menjadi fasa  $\gamma$  yang stabil [7]. Pengubahan fasa  $\alpha$  menjadi fasa  $\gamma$  dapat dilakukan dengan cara *quenching* atau dengan menambahkan unsur logam atau dengan kombinasi kedua-duanya [8]. Beberapa unsur atau logam dapat ditambahkan, diantaranya Ti, Mo dan Nb [9].

Pada proses *quenching* serbuk bahan bakar paduan U-Zr-Nb dipanaskan hingga daerah satu fasa  $\gamma$  dan ditahan untuk beberapa lama, selanjutnya didinginkan cepat dengan cara dicelupkan ke dalam air. Oleh karena terjadi pendinginan secara cepat

sehingga paduan U-6Zr-5Nb yang berfasa tunggal  $\gamma$  tidak sempat untuk kembali ke bentuk semula yaitu fasa  $\alpha$  dan fasa  $\delta_1$ .

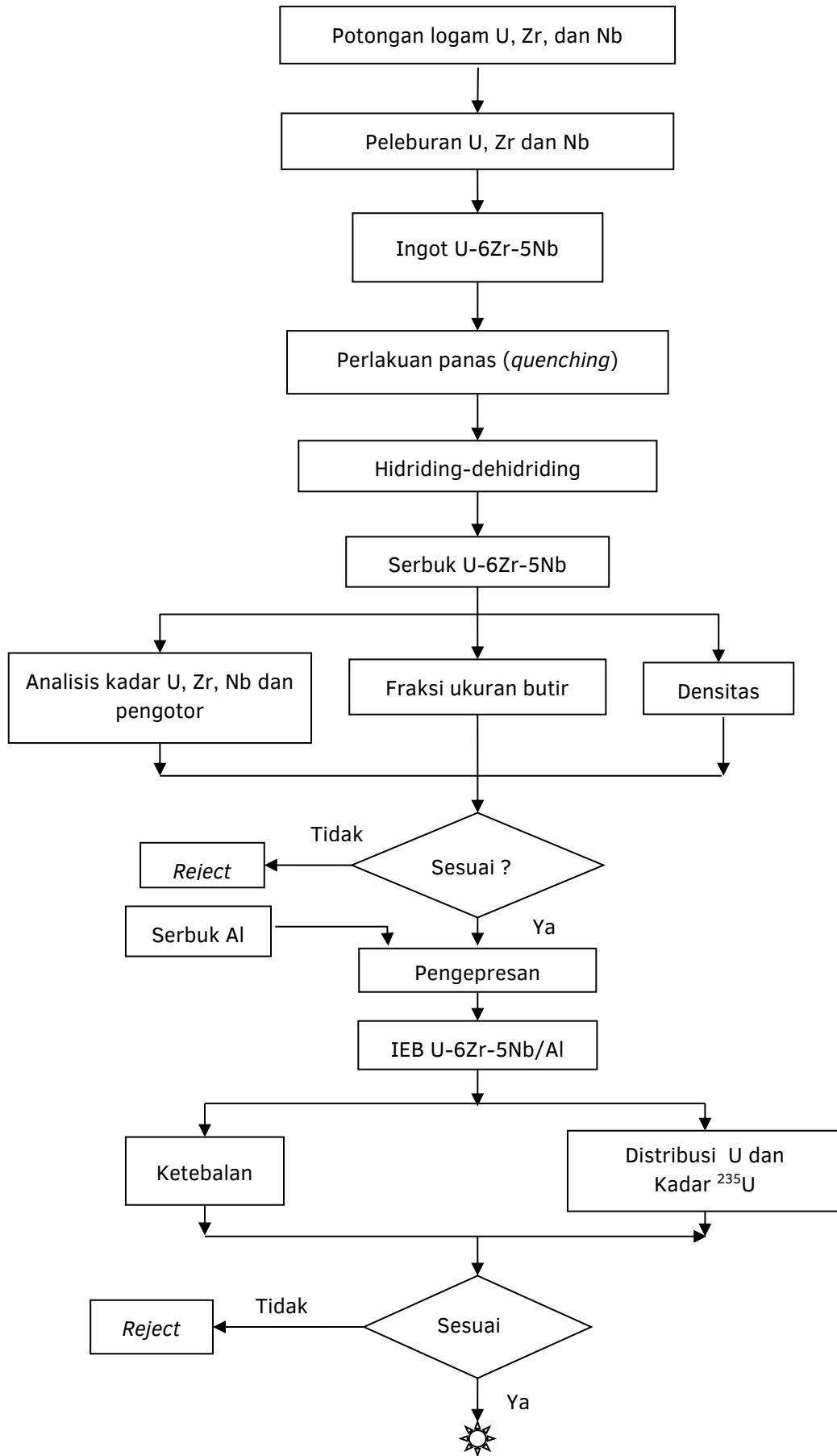
Sementara itu, pada penambahan unsur logam seperti Nb ke dalam paduan U-Zr maka paduan U-Zr yang semula berfasa  $\alpha$  dan fasa  $\delta_1$ , akan diubah menjadi fasa  $\gamma$  dengan masuknya unsur Nb. Masuknya unsur logam Nb ke dalam paduan U-Zr bisa secara substitusi. Pembuatan Pelat Elemen Bakar (PEB) berbasis paduan U-Zr juga dilakukan oleh Bruno dkk yang telah membuat serbuk U-6Zr-5Nb dan dilanjutkan untuk dibuat PEB [10]. Peneliti J Durand, juga telah membuat PEB dari paduan U-6Zr-5Nb dengan komposisi Zr sebesar 4% dan Nb sebesar 2% [11]. Paduan U-Zr dan U-Zr-Nb juga dikembangkan di Argentina dan telah dicoba untuk dilakukan fabrikasi dengan cara *monolithic* menggunakan kelongsong zirkaloi-4. Pada tahap awal dilakukan fabrikasi dengan densitas uranium 7 dan 10 gU/cm<sup>3</sup> [12].

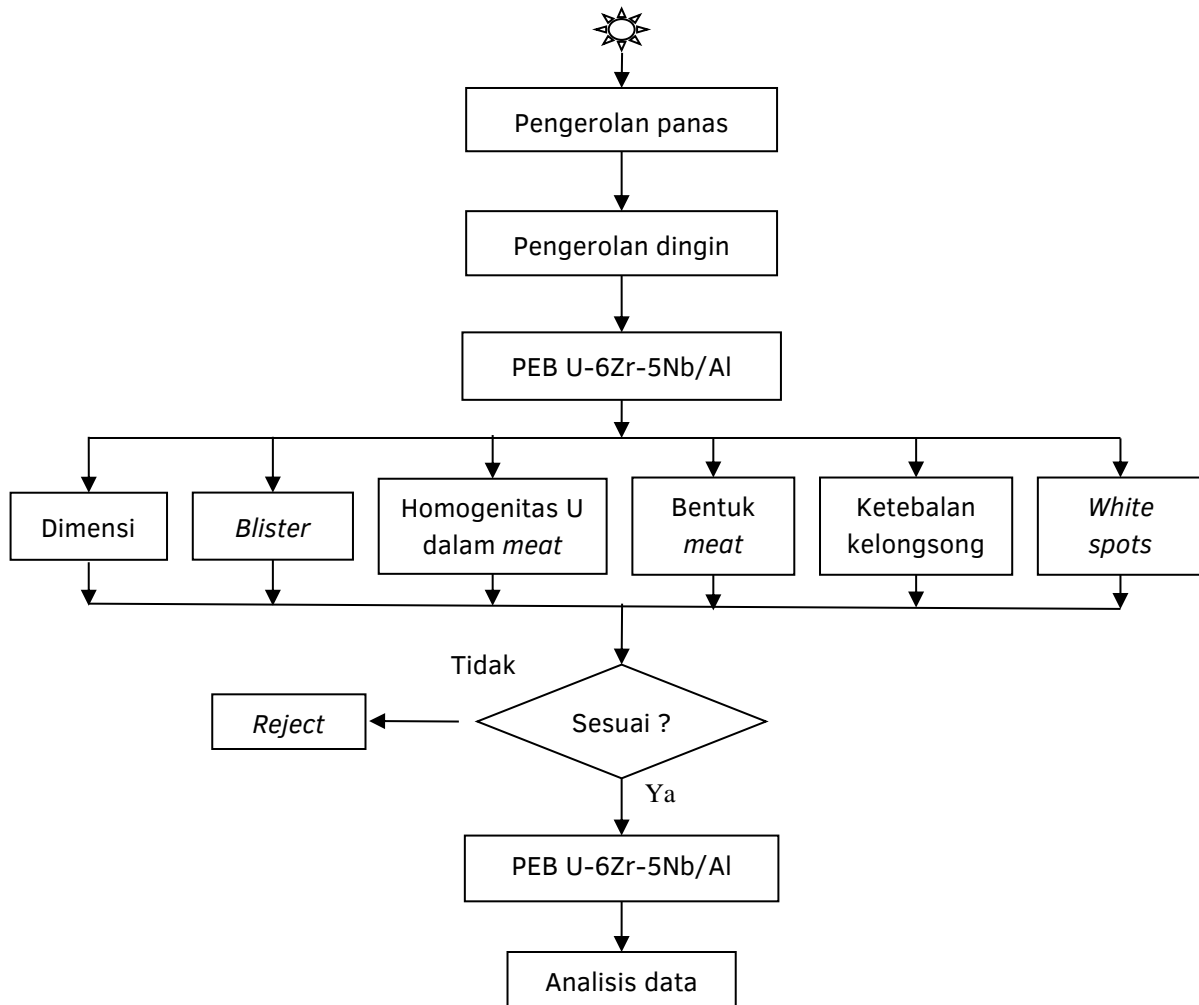
Pada bab ini diuraikan pembuatan PEB U-6Zr-5Nb/Al mini dengan densitas uranium masing-masing sebesar 5,2; 6,0; dan 7,0 gU/cm<sup>3</sup>. Tujuan dari studi ini adalah diperoleh parameter proses pembuatan PEB U-6Zr-5Nb/Al. Apabila parameter proses pembuatan PEB U-6Zr-5Nb/Al telah diperoleh, maka teknologi pembuatan PEB berbasis U-Zr dapat ditindaklanjuti dan dikuasai. Hal ini akan menambah ketersediaan jenis bahan bakar selain bahan bakar yang sudah ada dan meningkatkan kemandirian dalam penyediaan varian bahan bakar.

## 5.2. METODOLOGI

Pada tahap awal, dibuat serbuk U-6Zr-5Nb dari ingot U-6Zr-5Nb yang dibuat dari logam U, Zr dan Nb, yang dilebur menggunakan tungku peleburan busur listrik. Komposisi U-6Zr-5Nb terdiri dari logam U = 89%, Zr = 6% dan Nb = 5% berat. Serbuk U-6Zr-5Nb diperoleh melalui proses hidriding dehidriding ingot U-6Zr-5Nb. Serbuk U-6Zr-5Nb yang diperoleh ditambah dengan serbuk Al dengan perbandingan berat sesuai dengan densitas uranium 2 gU/cm<sup>3</sup>; 6,0 gU/cm<sup>3</sup> dan 7,0 gU/cm<sup>3</sup> dan kemudian dihomogenisasi.

Campuran homogen dimasukkan ke dalam cetakan (*dies*) dan dipress sehingga membentuk inti elemen bakar (IEB). IEB dimasukkan ke dalam *frame* dan ditutup dengan *cover* menggunakan AlMg2 dan dilas pada beberapa titik keempat sisi sambungannya sehingga membentuk komposit bahan bakar. Komposit bahan bakar dirol panas pada temperatur 425°C sampai empat tahap hingga ketebalan 1,65 mm dan dilanjutkan pengerolan dingin sehingga diperoleh ketebalan pelat 1,47 mm. Pelat hasil pengerolan dibersihkan dengan uap *perchloroethylene* dalam bak *degreasing* dan dilanjutkan dengan *aniling* dalam tungku sirkulasi udara pada temperatur 425°C selama 60 menit. Pelat hasil perlakuan diatas dipotong sebagian dan dilakukan uji metalografi PEB untuk mengamati kondisi *meat dan* ketebalan kelongsong, sedangkan pelat yang lain dilakukan pengujian *white spots* dan *blister*. Diagram alir proses pembuatan PEB U-6Zr-5Nb/Al mini ditunjukkan pada Gambar 5.1.





Gambar 5.1. Diagram alir proses pembuatan PEB U-6Zr-5Nb/Al

### 5.3. DISKUSI

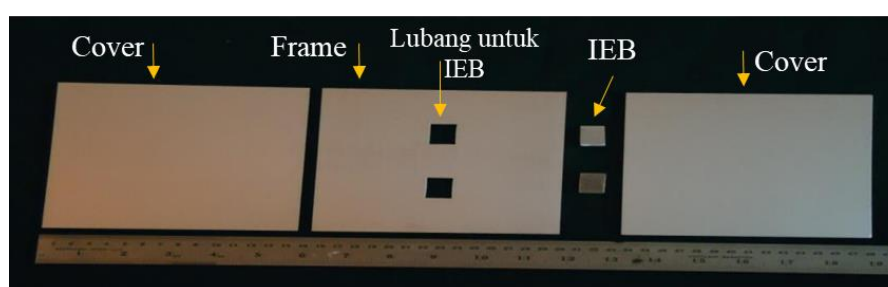
#### 5.3.1. Pembuatan IEB dan PEB U-6Zr-5Nb/Al

Pembuatan IEB dimulai dari penyiapan serbuk U-6Zr-5Nb hasil proses hidriding-dehidriding yang dicampur dengan serbuk Al dengan perbandingan berat sesuai dengan densitas uranium 5,2; 6,0 dan 7,0 gU/cm<sup>3</sup>. Pengepresan campuran serbuk U-6Zr-5Nb dengan Al pada tekanan 10-20 bar menghasilkan IEB berdimensi panjang 25 mm, lebar 15 mm dengan ketebalan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil pengukuran ketebalan IEB U-6Zr-5Nb/Al

No	Densitas (gU/cm <sup>3</sup> )	Berat U-6Zr-5Nb (g)	Berat Al (g)	Berat IEB (g)	Ketebalan IEB (mm)
1	5,2	6,17	2,06	8,23	3,47
2	6,0	7,12	1,92	9,05	3,14
3	7,0	8,23	1,74	9,97	3,17

Dimensi IEB hasil pengepresan sangat berpengaruh terhadap ketebalan hasil pengerolan PEB U-6Zr-5Nb/Al. Apabila ketebalan IEB melebihi persyaratan yang ditentukan ( $3,15^{\pm 0,05}$  mm) akan berdampak pada kualitas PEB U-6Zr-5Nb/Al hasil proses pengerolan. Tabel 5.1 memperlihatkan ketebalan IEB dengan densitas  $5,2 \text{ gU/cm}^3$  melebihi standar ketebalan yang dipersyaratkan. Sementara itu, untuk densitas  $6,0$  dan  $7,0 \text{ gU/cm}^3$  telah memenuhi ketebalan yang dipersyaratkan. Pada pengepresan campuran U-6Zr-5Nb dan serbuk Al berdensitas  $5,2 \text{ gU/cm}^3$ , tekanan yang digunakan lebih rendah dibandingkan tekanan yang digunakan untuk mengepres campuran U-6Zr-5Nb dan serbuk Al berdensitas  $6,0$  dan  $7,0 \text{ gU/cm}^3$  sehingga menghasilkan IEB yang lebih tebal. IEB U-6Zr-5Nb/Al bersama *frame* dan *cover* yang terbuat dari paduan AlMg2 sebagai kelongsong PEB ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. *Frame*, IEB dan *cover* AlMg2

IEB U-6Zr-5Nb/Al hasil pengepresan kemudian dirakit bersama *frame* dan *cover* dengan teknik pengelasan membentuk rakitan rol. Rakitan rol dikenakan pengerolan panas dan dingin secara bertahap. Pengerolan panas PEB U-6Zr-5Nb/Al dilakukan dalam empat tahap pada temperatur  $425^{\circ}\text{C}$ . Pengerolan PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas  $5,2 \text{ gU/cm}^3$ , diawali dari ketebalan  $8,35$  mm menjadi  $6,9$  mm pada pertama dan  $1,60$  mm pada tahap akhir seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Ketebalan PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas  $5,2 \text{ gU/cm}^3$

Tahap pengerolan	Waktu pemanasan (menit)	Ketebalan (mm)
I	30	6,9
II	3	5,52
III	6	2,51
IV	3	1,60

Pengerolan PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas  $6,0 \text{ gU/cm}^3$ , diawali dari ketebalan  $8,35$  mm menjadi  $6,9$  mm pada pertama dan  $1,65$  mm pada tahap akhir seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Ketebalan PEB U-6Zr-5Nb densitas 6,0 gU/cm<sup>3</sup>

Tahap pengerolan	Waktu pemanasan (menit)	Ketebalan (mm)
I	30	6,9
II	3	5,51
III	6	2,5
IV	3	1,65

Pengerolan PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas 7,0 gU/cm<sup>3</sup>, diawali dari ketebalan 8,35 mm menjadi 6,65 mm pada tahap pertama dan 1,68 mm pada tahap akhir seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Ketebalan PEB U-6Zr-5Nb densitas 7,0 gU/cm<sup>3</sup>

Tahap pengerolan	Waktu pemanasan (menit)	Ketebalan (mm)
I	30	6,65
II	3	5,55
III	6	2,54
IV	3	1,68

Ketebalan PEB U-6Zr-5Nb/Al pada setiap tahap pengerolan panas menunjukkan hasil yang baik karena masih dalam batas ketebalan standar. PEB U-6Zr-5Nb/Al hasil pengerolan panas dari tahap I sampai IV ditunjukkan pada Gambar 5.3.



(a)

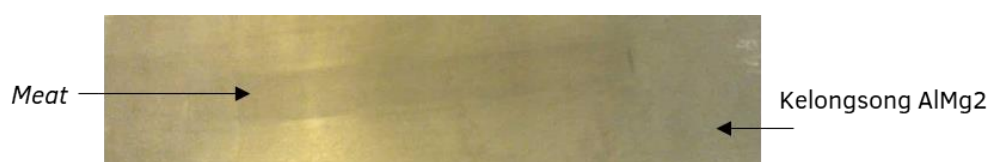


(b)

PEB hasil Pengerolan panas

Gambar 5.3. Pengerolan panas. (a) Mesin rol, (b) PEB U-6Zr-5Nb/Al hasil pengerolan panas.

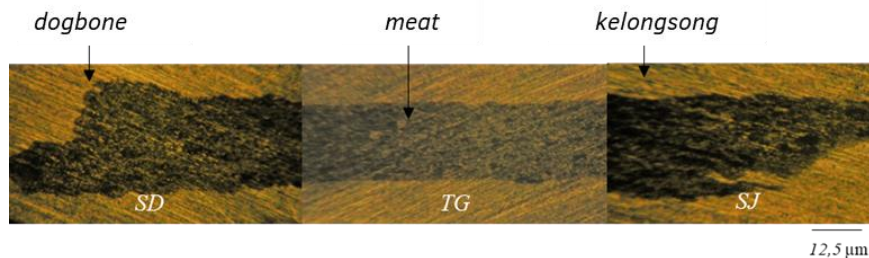
PEB U-6Zr-5Nb/Al dengan ketebalan tersebut dilanjutkan dengan proses pengerolan dingin yang dilakukan secara bertahap hingga diperoleh ketebalan 1,47 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4. PEB U-6Zr-5Nb/Al

### 5.3.2. Pemeriksaan mikrostruktur PEBU-6Zr-5Nb/Al

Hasil pemeriksaan mikrostruktur PEBU-6Zr-5Nb/Al dengan densitas 5,2 gU/cm<sup>3</sup> terdapat *dogbone* pada kedua ujung sisi dekat (SD) dan sisi jauh (SJ), sedangkan pada bagian tengah (TG) terlihat bentuk *meat* U-6Zr-5Nb/Al merata seperti pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Mikrostruktur PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas 5,2 gU/cm<sup>3</sup>

Demikian pula PEB dengan densitas 6,0 dan 7,0 gU/cm<sup>3</sup> menunjukkan adanya *dogbone*. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kekerasan antara kelongsong dengan *meat* bahan bakar dan densitas yang semakin tinggi mengakibatkan aliran material mengarah dan berkumpul di kedua ujung membentuk *dogbone* selama proses pengerolan. *Dogbone* dapat dikurangi dengan cara mengganti material kelongsong yang mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dari AlMg2.

### 5.3.3. Pengukuran ketebalan kelongsong

Hasil pengukuran ketebalan kelongsong PEB U-6Zr-5Nb/Al yang ditunjukkan pada Tabel 5.5, terlihat bahwa kelongsong PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas 7,0 gU/cm<sup>3</sup>, memiliki ketebalan 0,246 mm pada sisi jauh (SJ) dan 0,224 mm pada sisi dekat (SD). Ketebalan tersebut masih lebih tipis dari ketebalan yang dipersyaratkan 0,250 mm. Hal ini disebabkan densitas U semakin tinggi, jumlah uranium di dalam PEB semakin banyak, sehingga pada saat pengerolan, terjadi penumpukan uranium yang menyebabkan ketebalan kelongsong berkurang.

Tabel 5.5. Ketebalan kelongsong PEB U-6Zr-5Nb/Al

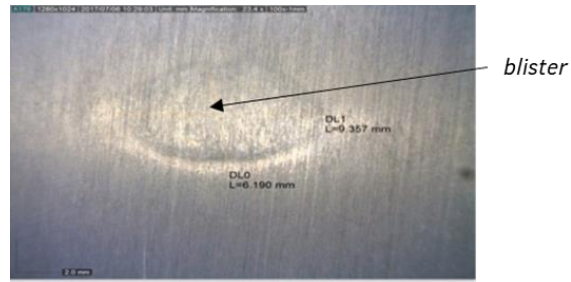
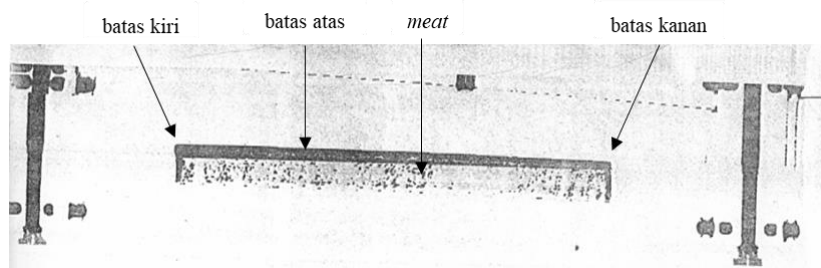
No	Densitas U (gU/cm <sup>3</sup> )	Ketebalan (mm)					
		SJ		TG		SD	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	5,2	0,293	0,314	0,365	0,373	0,266	0,276
2	6,0	0,303	0,270	0,432	0,382	0,254	0,314
3	7,0	0,284	0,246	0,419	0,413	0,294	0,224

### 5.3.4. Blister

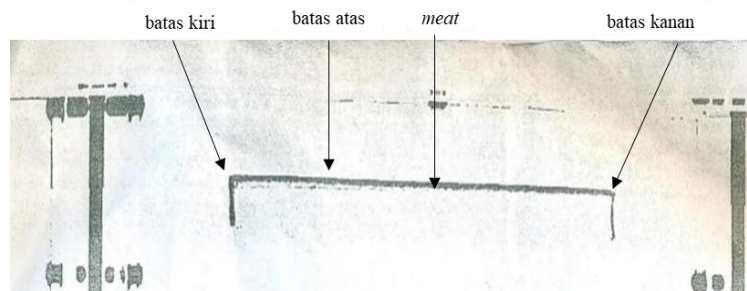
Hasil pengujian *blister* secara visual dan peralatan ultrasonik ditampilkan pada Tabel 5.6, contoh gambar pengujian *blister* secara visual ditampilkan pada Gambar 5.6, sedangkan gambar hasil uji *blister* menggunakan peralatan ultrasonik ditampilkan pada Gambar 5.7. Pengamatan secara visual dan menggunakan peralatan ultrasonik terhadap permukaan PEB U-6Zr-5Nb/Al menunjukkan tidak teridentifikasi adanya *blister*.

Tabel 5.6. Hasil pengamatan blister PEB U-6Zr-5Nb/Al secara visual dan ultrasonik

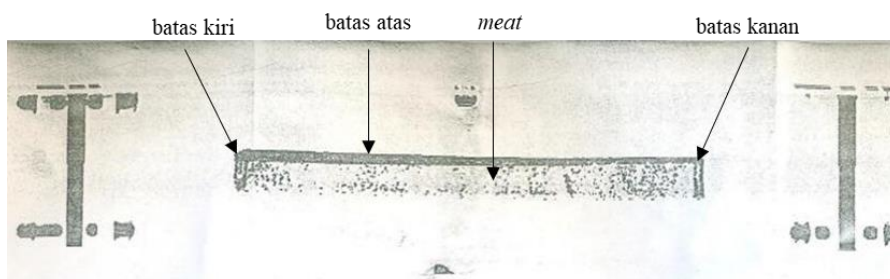
No	Densitas (gU/cm <sup>3</sup> )	Blister	
		Visual	Ultrasonik
1	5,2	Tidak ada	Tidak ada
2	6,0	Tidak ada	Tidak ada
3	7,0	Tidak ada	Tidak ada

Gambar 5.6. Contoh gambar *blister* pada PEB [13]

a.



b.



c.

Gambar 5.7. Hasil pengujian *blister* menggunakan alat ultrasonik (a) Densitas 5,2 gU/cm<sup>3</sup>, (b) 6,0 gU/cm<sup>3</sup>, dan (c) 7,0 gU/cm<sup>3</sup>



### 5.3.5. *White spots*

Hasil pengujian *white spots* yang ditampilkan pada Gambar 5.8 menunjukkan bahwa semua PEB U-6Zr-5Nb/Al pada sepanjang PEB baik di sisi atas maupun bawah dan kedua ujungnya tidak terdapat *white spots*. *White spots* merupakan partikel uranium yang keluar dari daerah *meat* yang terjadi pada saat pengerolan. Keberadaan *white spots* yang jauh dari zona *meat* perlu dihindari karena selama proses iradiasi berlangsung memungkinkan hasil fisi berpotensi keluar dari kungkungan kelongsong. Hal ini akan berakibat kepada pencemaran air pendingin reaktor.



Gambar 5.8. Hasil pengujian *white spots* PEB U-6Zr-5Nb/Al

## 5.4. KESIMPULAN

IEB dari hasil pengepresan campuran U-6Zr-5Nb dan serbuk Al untuk densitas 5,2 gU/cm<sup>3</sup>, mempunyai ketebalan di atas persyaratan yang diijinkan, sedangkan untuk densitas 6 dan 7 gU/cm<sup>3</sup> masih memenuhi persyaratan. PEB U-6Zr-5Nb/Al hasil fabrikasi masih terdapat *dogbone*. Ketebalan kelongsong untuk PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas 5,2 dan 6,0 gU/cm<sup>3</sup> telah memenuhi persyaratan karena ketebalan kelongsong >0,250 mm, namun untuk PEB U-6Zr-5Nb/Al densitas 7,0 gU/cm<sup>3</sup>, tidak memenuhi persyaratan karena ketebalan kelongsong <0,250 mm. Sementara itu, semua PEB U-6Zr-5Nb/Al baik densitas 5, 6, dan 7 gU/cm<sup>3</sup> tidak ditemukan *white spots* maupun *blister*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masrukan. Pembuatan dan karakterisasi ingot paduan U-Zr untuk bahan bakar PWR. Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir “Urania”. Oktober 2012;18(3): 120–129.
- [2] Masrukan K, M. H Alhasa, Yanlinastuti. Korelasi komposisi unsur terhadap sifat termal serbuk bahan bakar U-ZrH<sub>x</sub>. Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir “Urania”. Juni 2016; 22(2):75-86.
- [3] L. Olivares, J. Marin, J. Lisboa and H. Pesenti. Powder Production of Uranium-Molybdenum-Metal Alloys Applying Hydride-Dehydride Methodology. Proceeding RERT, Washington, D.C. USA.2008.
- [4] Supardjo. Pengembangan Paduan Uranium Berbasis U-Mo Sebagai Kandidat Bahan Bakar Nuklir Untuk Reaktor Riset Menggantikan Bahan Bakar DispersiU<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, Pusat Pengembangan Energi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2011.

- [5] Alex Moore. Atomistic Study of The Structure, Thermodynamics, and Morphological Evolution of Uranium Zirconium Alloys [Dissertation]. School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology; August 2016.
- [6] Ki-HwanKim, Jong-HwanKim, Seok-JinOh, Jung-WonLee, Ho-JinLee, and Chan-BockLee. Fabrication of U-10wt.%Zr metallic fuel rodlets for irradiation test in bor-60 fast reactor. Science and Technology of Nuclear Installations Journal. Volume 2016, Article ID 4385925, Agustus 2016;1-7.
- [7] A. Landa, P. Soderlind, P. E. A. Turchi. Density-functional study of U-Mo and U-Zr alloys. Journal of Nuclear Materials, November 2010; 2 (1): 1-30.
- [8] Supardjo. Study of the Change Process as Fuel U-Mo Powder Dispersion U-Mo/Al for a Research Reactor. Proceedings PPI-PDIPTN-Yogyakarta, Accelerator Center and Process Materials-BATAN. July 10, 2007.
- [9] Masrukan K, M. H. Al Hasa, Jan Setiawan, Slamet Pribadi. Effect of Nb element content in U-Zr alloy on hardness, microstructure and phase formation. Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania". Juni 2015; 21(2):57-63.
- [10] Bruno M. Aguiar, Daniel M. Braga, João B. Paula, Walter de Brito and Wilmar B. Ferraz. Methodology of U-Zr-Nb Alloy Powder Passivation Obtained by Hydride-Dehydride Process. Proceeding of International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007, Santos, SP, Brazil. September 29 to October 5, 2007. pp 1-6.
- [11] J.P. Durand, Maugard, A. Gay. Technical Ability of New MTR High Density Fuel Alloys Regarding the Whole Fuel Cycle. Proceeding of RRFM Meeting in BRUGES. March 29-31, 2008. pp. 55-71.
- [12] C.L. Komar Varelaa , L.M. Gribaudo, R.O. González, S.F. Aricó, Instituto Sabato. Transformation behavior of the Cu(Zr,Nb) phase under continuous cooling conditions. Journal of Nuclear Materials. Juli 2014;453 (2014): 124-130.
- [13] M. Fauzi, R. Himawan, Helmi F.R, Setia P., Antonio Gogo. Analisis cacat *blister* pada kelongsong bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  menggunakan ultrasonic test. Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania. Oktober 2017; 23 (3): 153-164.

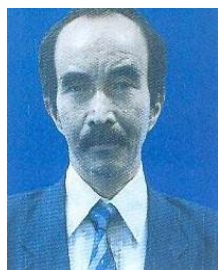
## BIOGRAFI PENULIS



**Masrukan**, lahir di Jepara Jawa Tengah pada tanggal 12 Agustus 1958. Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) jurusan Teknik Kimia tahun 1985 di Universitas Diponegoro, Semarang, dan program pasca sarjana (S2) Teknik Produk dan Manufaktur pada tahun 2008 di Institut Sains dan Teknologi (ISTN), Jakarta. Menjadi pegawai di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) - BATAN dari tahun 1986 hingga sekarang. Pada tahun 1998 masuk menjadi peneliti dengan jabatan Ajun Peneliti Muda, dan pada tahun 2013 menjabat sebagai Peneliti Utama. Memimpin jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania" dari tahun 2003 hingga 2010, menjadi ketua Komisi Pembina Tenaga Peneliti (KPTP) dari tahun 2011-2012. Menjadi peneliti utama pada pogram penelitian kerjasama antara BATAN dengan Kementerian Ristekdikti pada tahun 2009, 2010, 2011, dan 2012 serta pada tahun 2015 menjadi peneliti utama pada program riset INSINAS dari Kementerian Ristekdikti. Pengalaman mengikuti seminar di luar negeri antara lain: *Intenational on Materials Technology Conference and Exhibition (IMTCE)* di Malaysia tahun 2012, *International Conference on Mechanical, Automotive, and Materials Engeenering* di Hongkong tahun 2013, dan *International Conference on Mechanical, Automotive, and Materials Engeenering* 2014 di Singapura. Memperoleh paten sederhana Alat Pengatur Ketinggian Barang dan paten biasa Proses Pembuatan Paduan Pelat Aluminium melalui Sintesis Deformasi Untuk Meningkatkan Kekerasan, serta satu buah paten dalam proses penilaian yaitu Serbuk Bahan Bakar U-6Zr dan Proses Pembuatannya.



**Slamet Pribadi**, lahir di Cilacap pada tanggal 8 Febuari 1970. Menyelesaikan Pendidikan Diploma III dari Pendidikan Ahli Teknik nuklir (PATN)-BATAN pada tahun 1999. Dari tahun 1990-1991 bekerja di perusahaan swasta PT. Royal Standar bagian Quality Qontrol. Pada tahun 1992 hingga sekarang masuk sebagai pegawai Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir sebagai teknisi dibidang metalografi mikroskop optik dan teknisi peralatan Difraksi Sinar X (XRD). Masuk fungsional pranata nuklir pada tahun 2018 dengan jabatan Penyelia. Pengalaman mengikuti pelatihan/seminar antara lain: *International Training Course on Nuclear Forensics Methodologies*, JRC Kalsruhe, Jerman dari tanggal 17 Oktober hingga 28 October 2016, dan seminar di Singapura pada tanggal 14 hingga 16 Mei 2018 dengan topik *Seminar on Hardness Testing/Structure Expert And sample Preparation Workshop*.



**Setia Permana**, lahir di Bandung pada tanggal 24 November 1964. Menyelesaikan pendidikan di Sekolah Teknik Menengah Pembangunan (STMP)/SMK jurusan Elektro Radio / Komunikasi pada tahun 1985. Menjadi pegawai Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN dari tahun 1986 hingga sekarang. Masuk fungsional Pranata Nuklir pada tahun 1990 dengan jabatan Asisten Pranata Nuklir Madya dan dari tahun 2011 dan pada saat ini mencapai jabatan Pranata Nuklir Penyelia .Pengalaman pelatihan/seminar antara lain: Radiografi Tk 2 tahun 1991, Requalifikasi Uji Radiografi Level 2 tahun 2013, Sistim Otomasi Industri Berbasis PLC, seminar *IAEA Expert Mission and Workshop on Decontamination of Hot Cell Facilities and Overview of Post Irradiation Examination* tahun 2017, dan pelatihan Penyegaran Operasi Instalasi Radiometalurgi pada tahun 2018.



**Mohammad Husna Alhasa**, lahir di Langsa, Aceh Timur pada tanggal 28 Agustus 1958. Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) jurusan mesin dari Universitas Syiah Kuala (UNSYIAH) pada tahun 1983 dan pendidikan pasca sarjana (S2) jurusan Ilmu dan Rekayasa Nuklir dari Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 1993. Mulai bekerja di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir dari tahun 1985 hingga sekarang. Masuk fungsional peneliti pada tahun 1995 dengan jabatan Ajun Peneliti Muda dan pada tahun 2010 menjabat sebagai Peneliti Utama. Menjadi ketua Komisi Pembina Tenaga Fungsional dari tahun 1993 hingga 1998 dan tahun 2018. Memimpin jurnal ilmiah daur bahan bakar nuklir "Urania" dari tahun 2011 hingga 2013. Menjadi peneliti utama pada program Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa

(PKPP) kerjasama BATAN dengan Kementerian Ristek pada tahun 2009, 2010 dan 2011. Pada tahun 2015 tergabung dalam tim anggota riset INSINAS dari Kementerian Ristekdikti. Pengalaman mengikuti seminar di luar negeri pada *International Conference on Mechanical, Automotive, and Materials Engineering 2014* di Singapura. Memperoleh dua buah paten dari Kementerian Hukum dan HAM dengan judul Alat Uji Korosi *Portable*, dan Proses Pembuatan Panduan Pelat Aluminium melalui Sintesis Deformasi Untuk Meningkatkan Kekerasan. Dua paten tersebut telah mendapatkan *granted* dan satu paten sedang dalam proses penilaian di Kemenkumham berjudul Serbuk Bahan Bakar U-6Zr dan Proses Pembuatannya.