

PENGARUH DENSITAS URANIUM DALAM PELAT ELEMEN BAKAR U-7Mo/Al-Si MENGGUNAKAN KELONGSONG AlMgSi1 TERHADAP HASIL PROSES Pengerolan

Agoeng Kadarjono, Supardjo, Boybul, Maman Kartaman A

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

e-mail: agungbatan2@gmail.com

(Naskah diterima: 02-09-2013, disetujui: 25-09-2013)

ABSTRAK

PENGARUH DENSITAS URANIUM DALAM PELAT ELEMEN BAKAR U-7Mo/Al-Si MENGGUNAKAN KELONGSONG AlMgSi1 TERHADAP HASIL PROSES Pengerolan.

Pembuatan pelat elemen bakar/PEB U-7Mo/Al-Si bertujuan untuk mempelajari pengaruh densitas uranium dalam bahan bakar U-7Mo/Al-Si terhadap hasil proses pengerolan. Kegiatan dimulai dari membuat komposit dengan cara memasukkan inti elemen bakar/IEB U-7Mo/Al-Si kedalam lubang *frame* dan kedua permukaannya ditutup dengan *cover*, kemudian pada keempat sisi sambungannya dilas TIG pada beberapa titik agar *frame* dan *cover* tidak bergeser selama pengerolan. Satu unit paket rol berbahan AlMgSi1 berisi 8 buah komposit, yang terdiri dari 3 buah komposit berisi IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas $3,6 \text{ gU/cm}^3$, 1 buah komposit berisi IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas 6 gU/cm^3 , 2 buah komposit berisi IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas 7 gU/cm^3 , 1 buah komposit berisi IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas 8 gU/cm^3 , dan 1 buah komposit berisi IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas 9 gU/cm^3 , akan dibuat PEB dalam ukuran mini. Seluruh komposit tersebut dianil pada suhu $\pm 480^\circ\text{C}$ selama 30 menit, lalu dirol panas dalam empat tahap, dan dirol dingin dalam tiga-empat tahap untuk mendapatkan ketebalan akhir $\pm 1,40 \text{ mm}$. Pengujian terhadap PEB hasil pengerolan diantaranya meliputi cacat permukaan, ketebalan PEB, dan radiografi sinar-x. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengerolan PEB dengan densitas $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$ menghasilkan pelat dengan ketebalan $\pm 1,4 \text{ mm}$, sedangkan PEB dengan densitas 9 gU/cm^3 menghasilkan pelat cacat. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa material AlMgSi1 dapat digunakan sebagai material kelongsong untuk PEB dengan densitas $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$.

Kata kunci: U-7Mo/Al-Si, AlMgSi1, densitas uranium, pelat elemen bakar, pengerolan.

ABSTRACT

EFFECT OF URANIUM DENSITY OF U-7Mo/Al-Si FUEL USING AlMgSi1 CLADDING ON ROLLING PROCESS RESULT. *The manufacture of U-7Mo/Al-Si fuel element plate is aimed to study the effect of uranium density of U-7Mo/Al-Si fuel on the rolling process result. The manufacture begins with the making of composite by inserting U-7Mo/Al-Si fuel element cores into holes of frame, placing cover on the second surface, and subsequently welding the four-side joints by TIG at some points so that the frame and the cover do not shift during rolling. One unit of*

AlMgSi1 rolling package contains 8 pieces of composite, i.e. 3 pieces of composite containing fuel element cores with a density of 3.6 gU/cm^3 , 1 piece of composite with a density of 6 gU/cm^3 , 2 pieces of composite with a density of 7 gU/cm^3 , 1 piece of composite with a density of 8 gU/cm^3 , and 1 piece of composite with a density of 9 gU/cm^3 . Each piece of the composite is made into a miniature scale plate. The entire composite is annealed at a temperature of 480°C for 30 minutes, hot rolled for four times, and cold rolled for three-four times in order to get the final thickness of $\pm 1.40 \text{ mm}$. Tests on the rolled fuel element plates include surface defects, thickness, and x-ray radiography. The test results indicate that the rolling of fuel element plates with a density of $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$ produces a thickness of $\pm 1.4 \text{ mm}$, while the fuel element plates with a density of 9 gU/cm^3 produce defective plates. The results of this research indicate that the AlMgSi1 can be used as cladding material for fuel element plate with a density of $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$.

Keywords: U-7Mo/Al-Si, AlMgSi1, uranium density, fuel element plate, rolling.

PENDAHULUAN

Pada mulanya reaktor riset menggunakan bahan bakar dispersi UAl_x/Al dengan uranium pengayaan tinggi ($> 90\% \text{ }^{235}\text{U}$) dan densitas uranium $1,7 \text{ gU/cm}^3$. Adanya kebijakan proliferasi untuk menghindari penyalahgunaan, maka dihimbau agar seluruh reaktor riset menggunakan bahan bakar dengan uranium pengayaan rendah $< 20\% \text{ }^{235}\text{U}$ sesuai dengan program RERTR (*Reduced Enrichment for Research and Test Reactors*) yang dicanangkan pada tahun 1978. Dampak dari perubahan tersebut adalah terjadinya penurunan jumlah ^{235}U menjadi 1/5 dari desain volume bahan bakar yang sama. Untuk mendukung program RERTR tersebut diperlukan penelitian dan pengembangan bahan bakar baru untuk mengatasi penurunan tersebut. Salah satu cara untuk mempertahankan jumlah ^{235}U di dalam bahan bakar minimal sama dengan uranium pengayaan tinggi adalah dengan menaikkan densitas uranium menjadi $\pm 8 \text{ gU/cm}^3$ menggunakan paduan uranium berbasis U-Mo (Uranium-Molybdenum)^[1].

Pemilihan paduan U-Mo sebagai kandidat bahan bakar didasarkan pada sifat paduan yang sesuai dengan kebutuhan bahan bakar reaktor riset seperti memiliki densitas tinggi ($> 16 \text{ g/cm}^3$), tampang lintang serapan neutron rendah, dan mampu

mempertahankan struktur kristal $\gamma\text{-U}$ selama proses iradiasi^[2].

Bahan bakar dispersi dari paduan U-Mo telah diteliti dan dikembangkan khususnya pada rentang kandungan unsur Mo rendah (5–10% berat), namun dari beberapa referensi banyak yang sudah mengarah pada paduan U-Mo dengan kandungan 7% berat Mo^[3,4,5]. Bahan bakar dispersi U-7Mo/Al tipe pelat meskipun mampu menaikkan densitas uraniumnya, tetapi masih memiliki tingkat *swelling* yang tinggi dibanding bahan bakar jenis silisida ($\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$). Salah satu upaya untuk menurunkan tingkat *swelling* adalah menambahkan unsur Si ke dalam paduan bahan bakar berbentuk U-7Mo-xSi/Al atau ke dalam matriks kelongsong berbentuk U-7Mo/Al-Si^[6].

Bahan bakar dispersi tipe pelat merupakan campuran serbuk bahan bakar yang didispersikan ke dalam serbuk matriks dan dibentuk menjadi inti elemen bakar/IEB dengan cara kompaksi pada tekanan tinggi. Selanjutnya IEB bersama pelat *frame* dan *cover* dirakit dan dibentuk menjadi pelat elemen bakar/PEB dengan teknik pengerolan panas dan dingin. Untuk bahan bakar dispersi U-7Mo-xSi/Al atau U-7Mo/Al-Si, fabrikasi dimulai dengan memasukkan IEB U-7Mo-xSi/Al atau U-7Mo/Al-Si ke dalam lubang *frame* dan kedua permukaannya ditutup dengan *cover*

dan dilas TIG beberapa titik pada keempat sisi sambungannya agar pelat *frame* dan *cover* tidak bergeser selama pengerolan, selanjutnya dibuat PEB dengan teknik pengerolan. Material *frame-cover* dapat dibuat dari material berbasis logam paduan Al (Aluminium) diantaranya paduan AlMg2, AlMgSi1, atau material lain yang umum digunakan sebagai kelongsong dalam operasi reaktor jenis *material testing reactor* (MTR).

Proses pengerolan merupakan salah satu proses penting dalam membuat elemen bakar tipe pelat, karena pada proses ini parameter suhu, waktu, jarak antar rol, densitas, sifat, dan jenis material yang akan dirol saling berkaitan antara satu dengan yang lainnya. Jenis uji yang harus dilakukan sesuai dengan persyaratan pada PEB meliputi uji pengembangan (*blister*) secara visual dan ultrasonik, dimensi PEB, homogenitas atau distribusi uranium di dalam *meat* PEB dengan attenuasi sinar-x, dimensi dan bentuk *meat* serta *white spots* dengan radiografi sinar-x, ketebalan kelongsong, dan cacat permukaan. Penelitian ini bertujuan membuat PEB U-7Mo/Al-Si densitas uranium 3,6 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 gU/cm³ menggunakan bahan kelongsong

pelat AlMgSi1 untuk mempelajari pengaruh densitas dalam PEB U-7Mo/Al-Si terhadap hasil proses pengerolan baik pengerolan panas maupun pengerolan dingin melalui pengujian tidak merusak (*Non Destruction Test*) diantaranya pengamatan permukaan PEB secara visual, pengukuran tebal PEB, dan penayangan PEB menggunakan radiografi sinar-x.

Pada penelitian ini pembuatan PEB U-7Mo/Al-Si dilakukan dengan teknik pengerolan panas dan dingin serta karakterisasi sesuai jenis uji yang dipersyaratkan bahan bakar tipe pelat. Data yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai data awal untuk acuan penelitian bahan bakar dispersi lebih lanjut.

TATA KERJA

Penelitian dimulai dengan pembuatan IEB U-7Mo/Al-Si dengan teknik kompaksi. Serbuk U-7Mo (fraksi butir < 150 μm) dan serbuk matriks Al-Si dengan perbandingan berat sesuai densitas uranium yang dibuat seperti ditunjukkan pada Tabel 1, kemudian dihomogenisasi dan dikompaksi pada tekanan 20 bar.

Tabel 1. Komposisi serbuk U-7Mo dan matriks campuran serbuk Al dan Si.

Jumlah	Densitas U, gU/cm ³	Berat serbuk U-7Mo, g	Berat serbuk matriks, g	
			Al	Si
3	3,6	4,4009	2,0104	0,1005
1	6,0	7,3349	1,5101	0,0755
2	7,0	8,5573	1,3019	0,0651
1	8,0	9,7798	1,0935	0,0547
1	9,0	11,0023	0,8851	0,0443

Hasil kompaksi menghasilkan IEB U-7Mo/Al-Si berukuran panjang, lebar, dan ketebalan (25,0x15,0x \pm 3,15) mm. Seluruh IEB U-7Mo/Al-Si dipotong menjadi 2 bagian yang sama berukuran (12,5x15,0x \pm 3,15) mm, kecuali IEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas uranium 7 gU/cm³ dibuat tetap

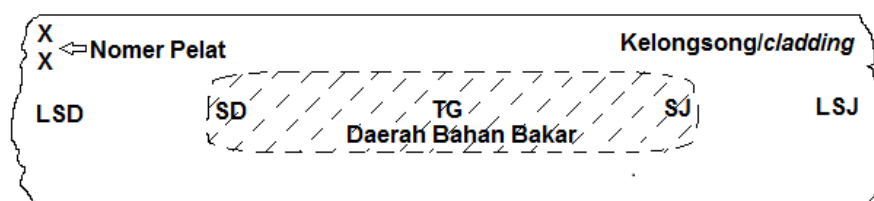
utuh. Masing-masing IEB U-7Mo/Al-Si dimasukkan ke dalam lubang pelat *frame* berbahan AlMgSi1 berukuran (180x140x3,15) mm dengan ukuran lubang sesuai dimensi IEB, lalu ditutup dengan dua buah pelat *cover* berbahan AlMgSi1 berukuran 180x140x2,7 mm membentuk

satu buah komposit. Seluruh komposit dirakit dan ditumpuk menjadi satu membentuk paket rol, kemudian pada keempat sisi sambungan komposit diikat menggunakan las TIG beberapa titik agar *frame* dan *cover* tidak bergeser selama pengerolan. Seluruh komposit diukur ketebalannya lalu dianil pada suhu $\pm 480^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses pengelasan. Sebelum komposit dirol, jarak antar roda rol pada mesin rol diatur sesuai ketebalan material yang akan dirol. Pengerolan panas dilakukan dalam empat tahap dengan posisi ujung pelat digilir secara bergantian. Pengerolan tahap akhir diperoleh ketebalan pelat $\pm 1,6$ mm, kemudian dianil kembali pada suhu $\pm 480^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Selanjutnya pelat dikeluarkan dari tungku anil dan dibiarkan menjadi dingin di udara bebas, kemudian diamati secara visual untuk mengetahui kemungkinan terbentuknya *blister* di daerah sekitar *meat*. Pengerolan dingin dilakukan dalam tiga-empat tahap hingga terjadi penipisan dari ketebalan $\pm 1,6$ mm menjadi $\pm 1,40$ mm, kemudian dipanaskan pada suhu $\pm 480^{\circ}\text{C}$

selama 1 jam untuk menghilangkan tegangan sisa. Pelat hasil pengerolan dingin diluruskan menggunakan mesin rol pelurus, kemudian posisi *meat* diamati dengan penayangan menggunakan radiografi sinar-x sekaligus membuat lubang sebagai acuan untuk pemotongan PEB sesuai dimensi yang dikehendaki. Setelah pelat hasil pengerolan dipotong menjadi PEB dengan posisi *meat* di tengah-tengahnya, dilanjutkan pengujian meliputi: ketebalan PEB, dimensi dan bentuk *meat* serta *white spot* dengan radiografi sinar-x, serta ketebalan kelongsong dengan teknik metalografi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Paket rol (rakitan komposit) berisi IEB U-7Mo/Al-Si dirol panas secara berurutan dan bergantian pada tiap-tiap ujungnya (LSD dan LSJ) ketika dimasukkan kedalam roda rol, dan hasil pengerolan langsung diukur ketebalannya. Posisi dan hasil pengukuran ketebalan pelat hasil pengerolan ditampilkan pada Gambar 1 dan Tabel 2.



Gambar 2. Titik-titik pengukuran tebal PEB

Tabel 2. Data pengukuran ketebalan komposit sebelum pengerolan.

Komposit No	Densitas Uranium gU/cm^3	ketebalan komposit, mm				
		Daerah di Luar Sisi Dekat (LSD)	Daerah Sisi Dekat (SD)	Daerah Sisi Tengah (TG)	Daerah Sisi Jauh (SJ)	Daerah di Luar Sisi Jauh (LSJ)
1 ; 2 ; 3	3,6	8,62	8,62	8,63	8,63	8,62
4	6	8,65	8,66	8,65	8,65	8,65
7 ; 8	7	8,66	8,66	8,65	8,66	8,65
5	8	8,67	8,67	8,67	8,67	8,67
6	9	8,69	8,69	8,66	8,70	8,70

Data pengukuran ketebalan komposit sebelum pengerolan yang ditampilkan pada Tabel 2 diperoleh ketebalan yang cenderung tidak beraturan, hal ini karena penggunaan pelat *frame-cover* disesuaikan dengan pemilihan ketebalan IEB U-7Mo/Al-Si. Ketebalan komposit setelah dirakit diupayakan sekitar 8,8 mm agar hasil pengerolan panas (dalam empat tahap) diperoleh ketebalan akhir $\pm 1,6$ mm. Ketebalan komposit sekitar 8,8 mm tersebut dilakukan dengan cara mengatur ketebalan IEB dan pelat *frame-cover*. Proses pengerolan panas berlangsung empat tahap dimaksudkan agar ketebalan pelat di setiap tahapan pengerolan tidak terjadi penurunan secara drastis yang dapat berakibat terjadinya retak atau pecah pada pelat hasil pengerolan. Serbuk bahan bakar U-7Mo hasil proses hidriding-dehidriding-*milling* bersifat keras dan mempunyai densitas lebih

tinggi dibanding serbuk matriks, sehingga menyebabkan daerah bahan bakar (SD, TG, dan SJ) menjadi lebih keras dan mempunyai densitas lebih tinggi dibanding daerah kelongsong (LSD dan LSJ). Sifat keras di daerah bahan bakar menyebabkan penambahan ketebalan *meat* seiring dengan kenaikan densitas uranium dalam bahan bakar. Semakin tinggi densitas uranium menyebabkan jumlah serbuk bahan bakar U-7Mo bertambah banyak, sehingga dapat mengakibatkan jumlah serbuk matriks (Al+Si) semakin sedikit. Penambahan ketebalan *meat* akan menyebabkan ketebalan kelongsong menjadi berkurang/tipis, sehingga berdampak pada terbentuknya *dogbone* di ujung *meat* PEB. Pengaruh densitas uranium terhadap ketebalan PEB U-7Mo/Al-Si hasil pengerolan panas tahap akhir ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pengukuran ketebalan PEB U-7Mo/Al-Si hasil pengerolan panas tahap akhir.

PEB No	Densitas Uranium gU/cm^3	Ketebalan PEB, mm				
		Daerah di Luar Sisi Dekat (LSD)	Daerah Sisi Dekat (SD)	Daerah Sisi Tengah (TG)	Daerah Sisi Jauh (SJ)	Daerah di Luar Sisi Jauh (LSJ)
1 ; 2 ; 3	3,6	1,54	1,55	1,54	1,55	1,54
4	6	1,54	1,58	1,58	1,58	1,54
7 ; 8	7	1,55	1,59	1,59	1,59	1,54
5	8	1,55	1,59	1,58	1,59	1,56
6	9	1,55	1,59	1,60	1,62	1,57

Pelat elemen bakar U-7Mo/Al-Si hasil pengerolan panas dianil pada suhu $\pm 480^\circ\text{C}$ selama 1 jam untuk menghilangkan tegangan sisa kemudian diamati kemungkinan terbentuknya *blister*. Hasil pengamatan seluruh PEB U-7Mo/Al-Si tidak teramati adanya *blister* di daerah/sekitar *meat* bahan bakar. Proses pengerolan

dingin dilakukan tiga-empat tahap hingga diperoleh ketebalan pelat akhir $\pm 1,4$ mm. Selanjutnya pelat dipotong dan dibuat ukuran mini sesuai hasil penayangan menggunakan radiografi sinar-x dan diukur ketebalannya. Hasil pengukuran ketebalan PEB setelah dirol dingin ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data pengukuran ketebalan PEB U-7Mo/Al-Si hasil pengerolan dingin.

PEB No	Densitas Uranium gU/cm ³	Ketebalan pelat rata-rata, mm				
		Daerah di Luar Sisi Dekat (LSD)	Daerah Sisi Dekat (SD)	Daerah Sisi Tengah (TG)	Daerah Sisi Jauh (SJ)	Daerah di Luar Sisi Jauh (LSJ)
Aa1 – Aa6	3,6	1,39	1,40	1,40	1,39	1,39
Bb1 – Bb2	6	1,40	1,42	1,42	1,41	1,40
Cc1 – Cc2	7	1,40	1,41	1,42	1,42	1,40
Dd1 – Dd2	8	1,41	1,43	1,43	1,43	1,40
Ee1 – Ee2	9	tdu	tdu	tdu	tdu	tdu

Ket: tdu = tidak diukur

Pengukuran ketebalan PEB hasil pengerolan dingin, mengalami perbedaan yang cukup signifikan antara daerah kelongsong/*cladding* (LSD dan LSJ) dan daerah bahan bakar (SD, TG, SJ) seperti ditampilkan pada Tabel 4. Tampak bahwa perbedaan jenis material yang mengalami pengerolan memberikan pengaruh ketebalan yang berbeda. Daerah bahan

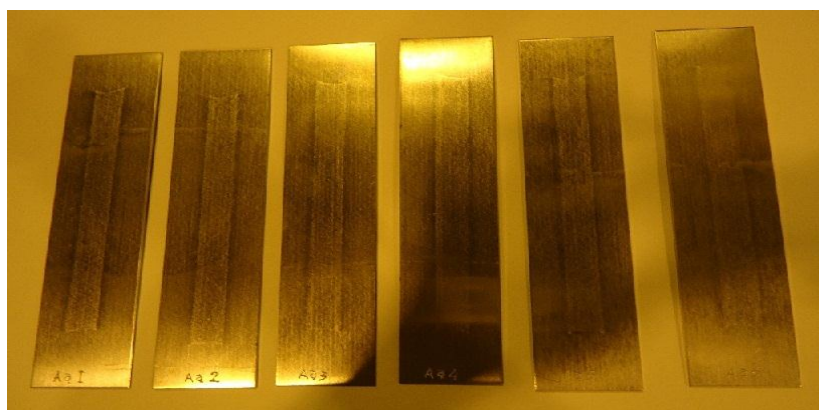
bahan bakar yang terdiri dari daerah *meat* bahan bakar U7Mo/Al-Si dan pelat AlMgSi1 menghasilkan pengukuran yang lebih tebal dibanding daerah yang hanya berisi material AlMgSi1 (di luar *meat*). Perbedaan ketebalan tersebut disebabkan oleh kekerasan yang dimiliki oleh masing-masing material seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kekerasan *meat* PEB U-7Mo/Al-Si dan kelongsong AlMgSi1.

Densitas U, gU/cm ³	Kekerasan rerata, VHN	
	<i>meat</i> PEB UMo/Al-Si	Kelongsong AlMgSi1
3,6	57,5	45,8
6	68,2	50,1
7	72,3	52,5
8	74,1	51,8
9	82,8	36,4

Data pengamatan permukaan secara visual pada PEB U-7Mo/Al-Si dari

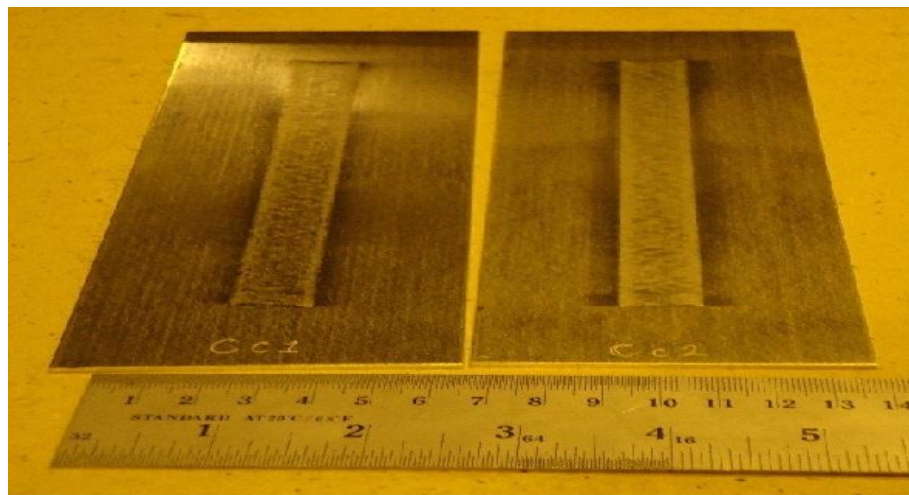
Aa1–Dd2 dan PEB no. 6 ditampilkan pada Gambar 2, 3, dan 4.



Gambar 2. Data pengamatan permukaan PEB U-7Mo/Al-Si Aa1–Aa6.



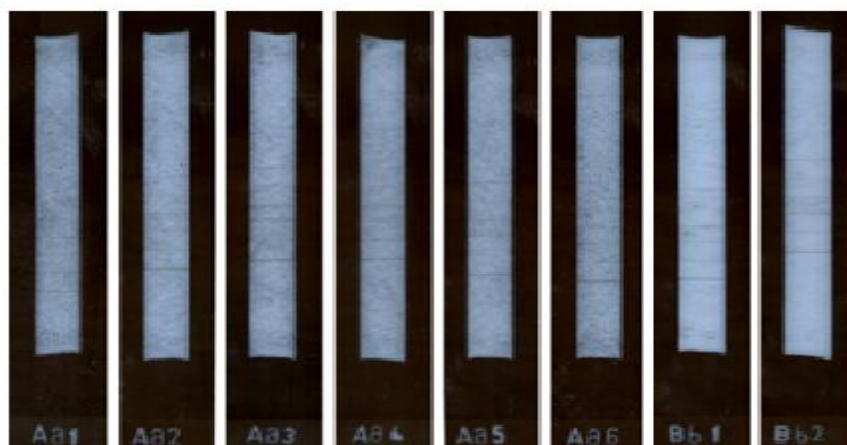
Gambar 3. Data pengamatan permukaan U-7Mo/Al-Si PEB Bb1–Bb2 dan Dd1–Dd2.



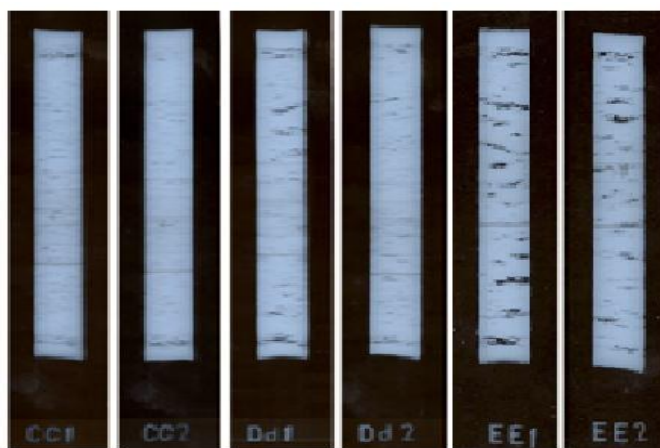
Gambar 4. Data pengamatan permukaan PEB U-7Mo/Al-Si Cc1–Cc2.



Gambar 5. Data pengamatan permukaan PEB U-7Mo/Al-Si No. 6



Gambar 6. Tayangan PEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas $3,6 \text{ gU/cm}^3$ (PEB Aa1–Aa6) dan PEB dengan densitas 6 gU/cm^3 (PEB Bb1–Bb2).



Gambar 7. Tayangan PEB U-7Mo/Al-Si dengan densitas $7 - 9 \text{ gU/cm}^3$ (PEB Cc1–Ee2)

Pengaruh pengerolan pada PEB menyebabkan pertambahan panjang pelat ke arah longitudinal sehingga panjang *meat* seluruh PEB bertambah rata-rata menjadi 75 mm dari panjang semula 12,5 mm (enam kali penambahan panjang), demikian pula dengan PEB mini No. 6 bertambah rata-rata menjadi 150 mm dari panjang semula 25 mm (enam kali penambahan panjang). Penambahan panjang yang sama-sama 6 kali panjang semula karena proses pengerolan komposit menjadi PEB dioperasikan dengan kondisi operasi dan perlakuan yang sama. Selain itu hasil tayangan menunjukkan bahwa PEB Aa1–Aa6, Bb1–Bb2, dan Cc1–Cc2 tidak terjadi pengelompokan (aglomerasi) atau semua campuran antara bahan bakar U-7Mo dan

matriks Al-Si terdistribusi secara merata di sepanjang *meat* seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Sementara itu PEB Dd1–Dd2 dan Ee1–Ee2 terjadi pengelompokan di sepanjang permukaan *meat* PEB seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan berakibat terbentuk *dog-bone* yang digambarkan dalam bentuk garis hitam menjulang ujung *meat* bahan bakar. Terbentuknya aglomerasi dan *dog-bone* diduga dari penggunaan serbuk bahan bakar U-7Mo dengan fraksi butir yang terlalu besar ($< 150 \mu\text{m}$) atau penggunaan matriks Al yang tidak dianil terlebih dahulu. Dengan demikian penggunaan material AlMgSi1 tidak dapat digunakan sebagai material kelongsong bahan bakar.

SIMPULAN

Proses pengerolan PEB dengan densitas $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$ menghasilkan pelat dengan ketebalan $\pm 1,4 \text{ mm}$, sedangkan pengerolan PEB dengan densitas 9 gU/cm^3 menghasilkan pelat cacat. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa material AlMgSi1 dapat digunakan sebagai material kelongsong untuk PEB dengan densitas $\leq 8 \text{ gU/cm}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Snelgrove J.L, Lemoine P, Adelfang P, Arkhangelsky. (2003). Qualification and Licensing of U-Mo Fuel. 7th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management, Aix-en-Provence, France.
- [2]. Supardjo, Widodo G. (2007). Kajian Pengaruh Bentuk Butir Serbuk UMo Dalam Fabrikasi Bahan Bakar Dispersi UMo-Al Tipe Pelat. URANIA, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 13 No. 4, : 147 -190, ISSN 0852-4777.
- [3]. Hofman G.L, Kim Y.S, Rest J, Robinson A.B, Wachs D.M. (2008). Post Irradiation Analysis of the Latest High Uranium Density Mini Plate Test: RERTR-8. RRFM, Hamburg, Germany, page. 14-18.
- [4]. Oliveira F.B, Durazzo M, Carvalho E.F.U, Saliba-Silva A.M, Riella H.G. (2007). Powder Formation of γ Uranium-Molybdenum Alloys via Hydration-Dehydration. The RERTR-2007 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Prague, Czech Republic.
- [5]. Olivares L, Marin J, Lisboa J, Pesenti H. (2008). Powder Production of Uranium-Molybdenum-Metal Alloys Applying Hydride-Dehydride Methodology. RERTR 2008 – 30th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Washington, USA.
- [6]. Marin J, Lisboa J, Barrera M, Olivares L, Torres G. (2008). Current Status and Development of Fuel for Research Reactors in Chile. RRFM, Hamburg, Germany, page. 43-49.