

## PENGUJIAN METALOGRAFI PEB $U_3Si_2/Al$ TMU $2,96\text{ g/cm}^3$ PASCAIRADIASI MENGGUNAKAN MIKROSKOP OPTIK

Maman Kartaman A, Junaedi, Anditania Sari DP, Ely Nurlaely dan Sri Ismarwanti  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairadiasi, dilakukan pengujian metalografi dan struktur mikro di dalam *hotcell* instalasi radiometalurgi. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui kestabilan bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  setelah iradiasi di dalam reaktor hingga *burn up* 56%. Pelat elemen bakar dipotong pada posisi atas, tengah dan bawah masing-masing satu buah dengan ukuran sekitar  $3 \times 3\text{ cm}^2$ . Setelah itu dilakukan preparasi metalografi mulai pemotongan dengan *low speed cutting machine*, *mounting*, *grinding*, dan *polishing* yang dilakukan di dalam *hotcell* ZG 104–105. Pemotongan dengan *low speed cutting* adalah untuk mengurangi dimensi sampel dan juga menghilangkan deformasi pada tepi sampel akibat pemotongan sebelumnya. *Mounting* menggunakan bahan resin dan pengeras dengan *curing time* > 10 jam. *Grinding* dengan kertas ampas hingga ukuran 2400 mesh dan waktu *grinding* 3-5 menit. *Polishing* dengan pasta intan hingga ukuran 1 mikron selama 5 menit dengan kecepatan putar sekitar 150 rpm. Pengamatan struktur mikro dilakukan di *hotcell* 107 dengan perbesaran sekitar 200 kali. Mikrograf yang dihasilkan adalah partikel dispersan dengan bentuk dan ukuran beragam dalam matrik Al. Beberapa dispersan mengalami retak dan mengelompok namun relatif sedikit dan masih didalam matrik Al. Matrik Al berfungsi sebagai penghantar panas dan juga pelindung terhadap bahan hasil fisi sehingga hasil fisi tidak keluar dari matrik atau *cladding*. Dispersan  $U_3Si_2$  tidak terlihat hasil fisi berupa gas atau void. Hal ini diduga disebabkan oleh fraksi bakar relatif rendah dan juga resolusi serta perbesaran mikroskop optik yang rendah. Antarmuka dispersan dan matrik juga tidak terlihat fasa baru atau senyawa antarmuka yang terbentuk akibat iradiasi. Ketebalan *cladding* rata-rata sekitar 0,365 mm dengan ketebalan minimum adalah 0,322 mm dan maksimum adalah 0,404 mm. Pada daerah batas inti dan *cladding* tidak ada partikel dispersan yang masuk kedalam *cladding*. Oleh karena itu secara keseluruhan sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairadiasi masih memiliki intergritas dan kestabilan cukup baik. Ketebalan *cladding* sesuai persyaratan bahan bakar yaitu diatas 0,25 mikron.

**Kata kunci:** PEB  $U_3Si_2/Al$ , pascairadiasi, uji metalografi

### PENDAHULUAN

Bahan bakar reaktor riset yang digunakan di RSG – GAS pada saat ini adalah jenis silisida yaitu  $U_3Si_2/Al$  TMU  $2,96\text{ g/cm}^3$ . Selama berada di dalam reaktor, bahan bakar mengalami beberapa jenis pembebanan diantaranya yaitu fluks *neutron* dan suhu fluks *neutron* yang diterima bahan bakar sebesar  $131,1\text{ W/cm}^3$  dan suhu air pendingin maksimal  $48,67^\circ\text{C}$ , sedangkan suhu yang diterima pada bagian inti bahan bakar dan antarmuka inti–*cladding* lebih dari  $200^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir mempunyai beberapa fasilitas utama diantaranya adalah Instalasi Radiometalurgi (IRM) yang dapat digunakan untuk pengujian pascairadiasi bahan bakar nuklir untuk reaktor riset dan reaktor daya. Instalasi Radiometalurgi mempunyai fasilitas untuk pengujian tidak merusak di dalam *hotcell* 101-103 dan uji merusak di dalam *hotcell* 104-112. Bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  setelah mengalami iradiasi di dalam reaktor dimungkinkan mengalami degradasi sifat diantaranya adalah perubahan struktur mikro, penurunan sifat mekanik dan perubahan fisik lainnya. Untuk itu pada penelitian ini dianalisis perilaku bahan bakar

U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al setelah mengami iradiasi hingga *burn up* 56%. Hal ini diperlukan guna pengembangan bahan bakar selanjutnya dan juga sebagai evaluasi kinerja bahan bakar setelah mengalami iradiasi. Salah satu pengujian merusak pascairadiasi adalah pengujian dan analisis metalografi. Pengamatan struktur mikro dapat memberikan informasi mengenai unjuk kerja bahan bakar. Informasi yang sangat penting yang harus diamati dan analisa adalah ketebalan *cladding*, porositas atau gas *bubble* akibat iradiasi terutama pada bagian inti atau partikel U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>, pembentukan fasa kedua atau intermetalik pada *interface* dispersan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> dan matrik Al. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk menentukan kualitas atau unjuk kerja bahan bakar selama iradiasi di reaktor yang ditentukan dengan uji merusak yaitu analisis metalografi. Pada penelitian sebelumnya menyatakan bahwa sampel PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al setelah mengalami pemanasan hingga suhu 500°C tidak menunjukkan perubahan struktur mikro dan pada bagian kelongsong hanya mengalami perubahan ukuran butir akibat pemanasan. Penelitian lain menyatakan bahwa untuk bahan bakar U<sub>3</sub>Si/Al yang telah mengalami iradiasi hingga *burn-up* 60% mengalami interaksi antara partikel bahan bakar U<sub>3</sub>Si dengan matrik Al<sup>[3]</sup>. Bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> yang mengalami *heat* fluks tinggi menunjukkan perubahan struktur mikro. Pengamatan dengan elektron sekunder pada SEM menunjukkan adanya *interection layer* dan *small bubble* pada partikel U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>.

## METODOLOGI

Tahapan kegiatan dalam penelitian ini adalah meliputi tahap preparasi metalografi dan pengamatan struktur mikro. Tahapan preparasi metalografi dilakukan di dalam *hotcell* 104 dan 105, sedangkan pengamatan struktur mikro di dalam *hotcell* 107.

Preparasi metalografi :

1. PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al terlebih dahulu dipotong pada tiga bagian yaitu posisi sisi dekat, sisi tengah, dan sisi jauh masing-masing satu potongan sampel
2. Pemotongan di dalam *hotcell* 104 menggunakan alat potong *low speed cutting* dengan pisau potong dari bahan intan sehingga deformasi akibat potongan relatif kecil
3. *Mounting* ketiga sampel menggunakan bahan resin epoksi dan *hardener* dengan waktu *curing time* > 10 jam
4. Proses *mounting* menggunakan wadah pipa paralon diameter 3 cm dan bagian bawah dilakban untuk dudukan sampel supaya tegak
5. Letakkan sampel diatas lakban dengan posisi permukaan yang akan diamati menghadap kebawah
6. Siapkan campuran bahan *mounting* yang terdiri dari resin epoksi dan *hardener* diluar *hotcell* (operating area) dan dimasukkan melalui lubang depan

7. Tuangkan campuran resin dan *hardener* kedalam wadah *mounting* hingga seluruh sampel tertutup bahan *mounting*
8. Biarkan hingga mengeras secara alamiah dengan lama pengerasan sekitar > 10 jam
9. Tranfer sampel yang telah di-*mounting* melalui konveyor ke *hotcell* 105
10. Pengamplasan sampel menggunakan mesin *grinding/polishing* di dalam *hotcell* 105
11. Proses *grinding* dilakukan bertahap dari ukuran kertas SiC 500, 800, 1200, 2000 dan 2400 dengan kecepatan putar 150-200 rpm selama masing-masing 5 menit.
12. Sampel dicuci dengan pencuci ultrasonik untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan sampel
13. Proses *polishing* menggunakan pasta intan dari ukuran 3 sampai 1 mikron
14. Pemolesan dilakukan dengan kecepatan putar 100-150 rpm selama masing-masing 5 menit
15. Cuci sampel yang telah dipoles dan keringkan
16. Tranfer sampel tersebut ke *hotcell* 107 untuk uji struktur mikro

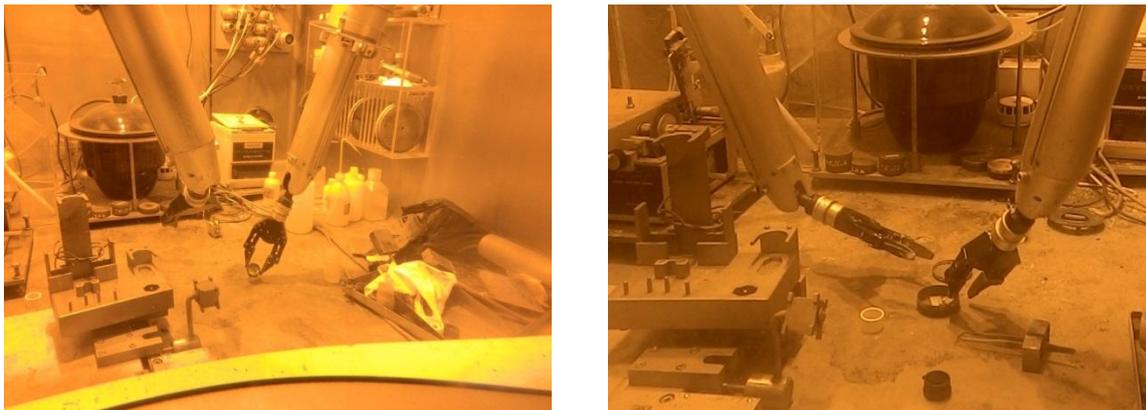
Pengamatan strukturmikro di dalam *hotcell* 107 :

1. Letakkan sampel uji diatas dudukan sampel mikroskop optik dengan manipulator
2. Hidupkan mikroskop optik sesuai petunjuk pengoperasian
3. Lakukan pengamatan sampel dari satu ujung ke ujung lainnya dengan perbesaran kecil sekitar 50 kali
4. Foto sampel uji dengan perbesaran 50 dan 200 kali pada beberapa bagian lain.

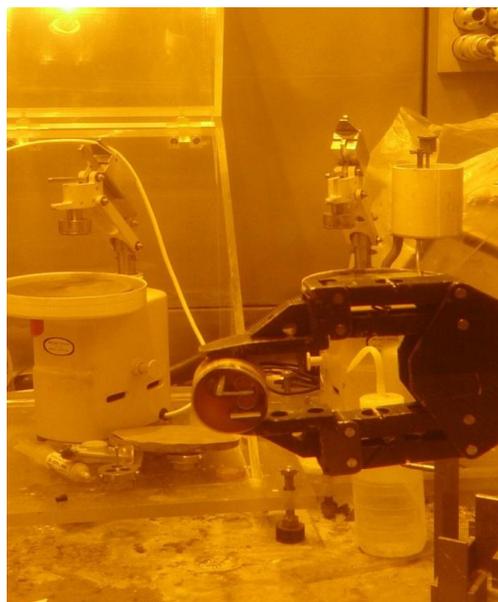
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi metalografi dimulai dari tahapan pemotongan sampel, *mounting*, *grinding* dan *polishing*. Sampel yang telah dipotong sebelumnya di *hotcell* 102 lalu dipotong lagi dengan ukuran lebih kecil yaitu sekitar 1 x 1 cm menggunakan *low speed cutting* di *hotcell* 104. Pemotongan dengan alat *low speed cutting* menghasilkan deformasi relatif kecil sehingga tidak mempengaruhi strukturmikro. Hasil pemotongan ditunjukkan pada gambar 1, terlihat bahwa hasil potong dengan *low speed cutting* menghasilkan permukaan sampel lebih halus, bebas deformasi dan permukaan rata. Kondisi permukaan halus dan rata adalah yang sesuai dengan kebutuhan proses selanjutnya yaitu *mounting* dan *grinding* atau *polishing*. Proses *mounting* menggunakan resin dan *hardener* yang memiliki *curing time* cukup lama yaitu > 10 jam. Hal ini diperlukan karena pencampuran antara resin dan *hardener* diluar *hotcell*, lalu dimasukkan kedalam *hotcell* melalui *wall plug* di *hotcell* 104 dan pada saat penuangan dalam cetakan kondisi campuran bahan *mounting* masih kondisi cair. Pada saat meletakkan sampel kedalam cetakan perlu dilakukan secara cermat agar kondisi permukaan rata sehingga

memudahkan proses *grinding*. Hasil proses *mounting* ditunjukkan pada gambar 2. Terlihat bahwa sampel PEB posisi atas, tengah dan bawah termounting dengan cukup baik yaitu permukaan sampel rata dan tidak ada cacat pori terbuka pada permukaan *mounting* terutama pada batas antara sampel dan bahan *mounting*. *Grinding* dilakukan bertahap dari ukuran kertas amplas SiC #500, 800, 1200, 2000 dan 2400, sedangkan *polishing* dengan pasta intan dari ukuran 3 dan 1 mikron. Hasilnya *polishing* ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Permukaan hasil *grinding/polishing* harus rata dan goresan yang homogen dan tidak ada partikel kertas amplas atau logam yang menempel di permukaan sampel. Permukaan sampel yang telah dipoles didalam *hotcell* 105 tidak dapat diamati dengan jelas karena terlalu jauh dan membutuhkan kamera makro untuk pengamatan yang lebih detail. Berdasarkan pengujian sebelumnya diperoleh bahwa proses *grinding* membutuhkan waktu sekitar 3-5 menit untuk setiap jenis ukuran amplas, sedangkan *polishing* dilakukan selama masing-masing 3 menit dengan kecepatan putar lebih rendah. Goresan yang dihasilkan adalah relatif homogen dan rata.

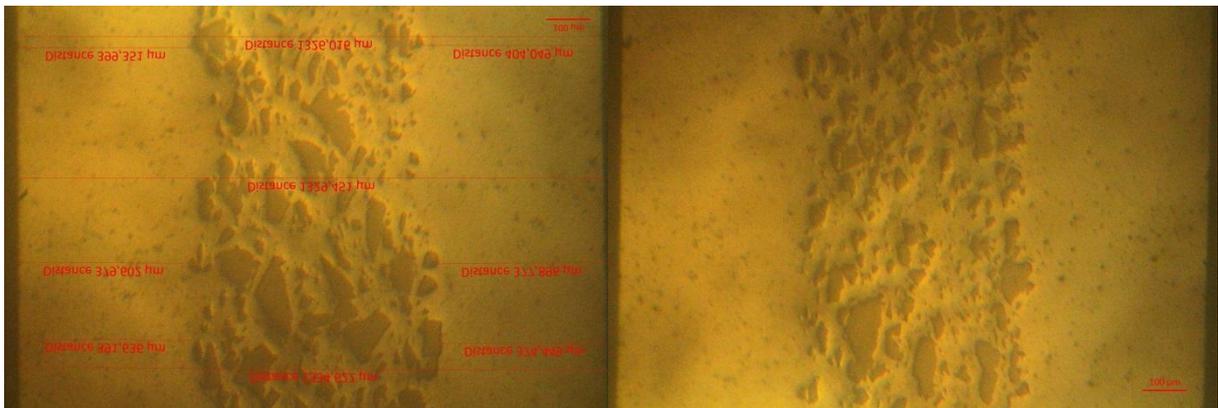


Gambar 1. *Mounting* sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairradiasi

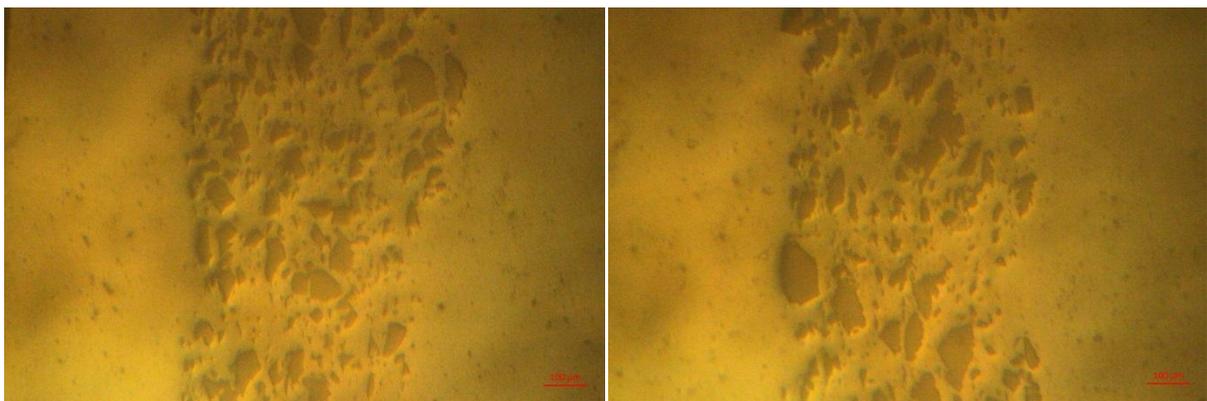


Gambar 2. Sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairradiasi hasil *mounting*

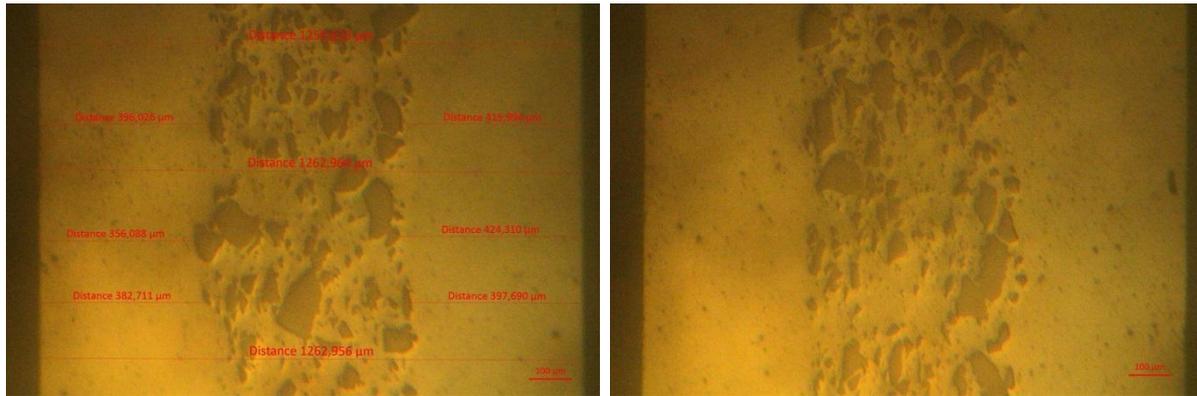
Pengamatan struktur mikro sampel pasca iradasi dilakukan dengan mikroskop optik di *hotcell* 107. Kondisi sampel yang diamati adalah kondisi as-polished. Hasil pengamatan struktur mikro sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  yang telah dipoles ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Pengamatan struktur mikro PEB  $U_3Si_2/Al$  dilakukan pada bagian kelongsong dan inti elemen bakar. Pemolesan menggunakan pasta intan dengan ukuran 1 mikron yang ditambahkan pada kain poles. Tujuan pemolesan adalah untuk menghasilkan permukaan yang mengkilap seperti cermin atau memantulkan cahaya secara baik. Pada gambar terlihat kontras antara dispersan  $U_3Si_2$  dan matrik Al dan juga *cladding* AlMg2. Perbedaan kontras ini diakibatkan oleh perbedaan sifat kekerasan yang berbeda sehingga menghasilkan kemampuan refleksi yang berbeda juga. Secara keseluruhan menghasilkan mikrograf cukup baik yaitu goresan akibat pengamplasan tidak terlihat.



a) Sisi dekat



b) Tengah



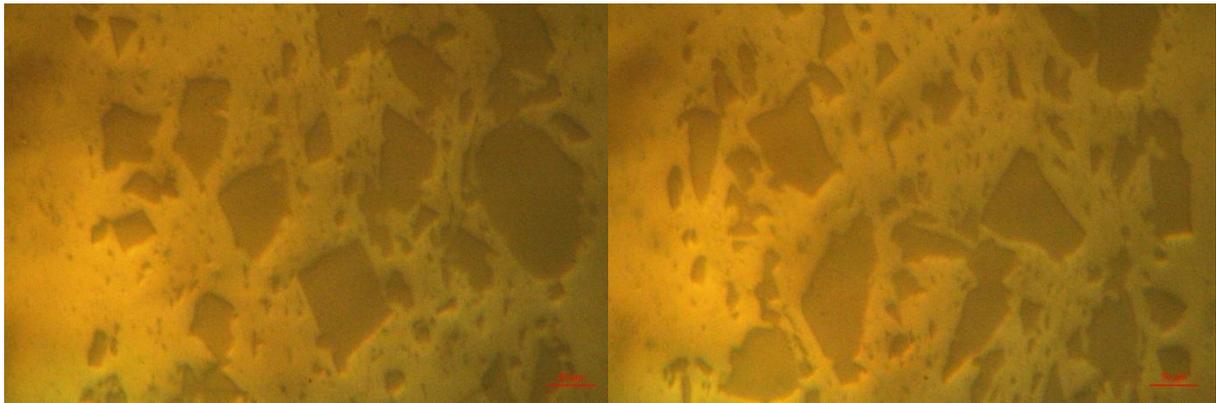
c) Sisi jauh

Gambar 3. Mikrograf sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairadiasi perbesaran 50 kali. A) sisi dekat, b) tengah, c) sisi jauh

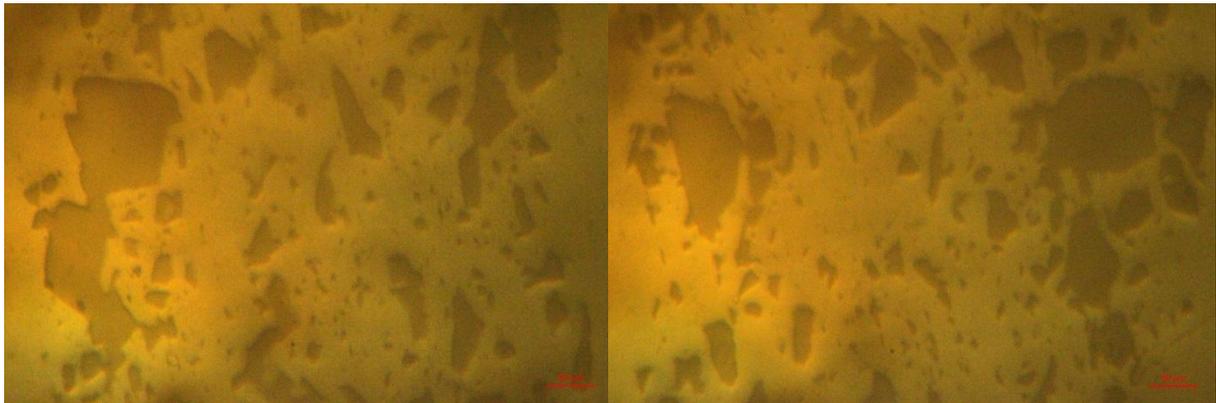
Tabel 1. Ketebalan kelongsong  $AlMg_2$

No	Posisi sampel	Ketebalan rata-rata (mm)	Ketebalan minimum (mm)	Ketebalan maksimum (mm)
1	Sisi dekat	0,3746	0,368	0,399
2	Tengah	0,3854	0,374	0,404
3	Sisi jauh	0,3656	0,322	0,397

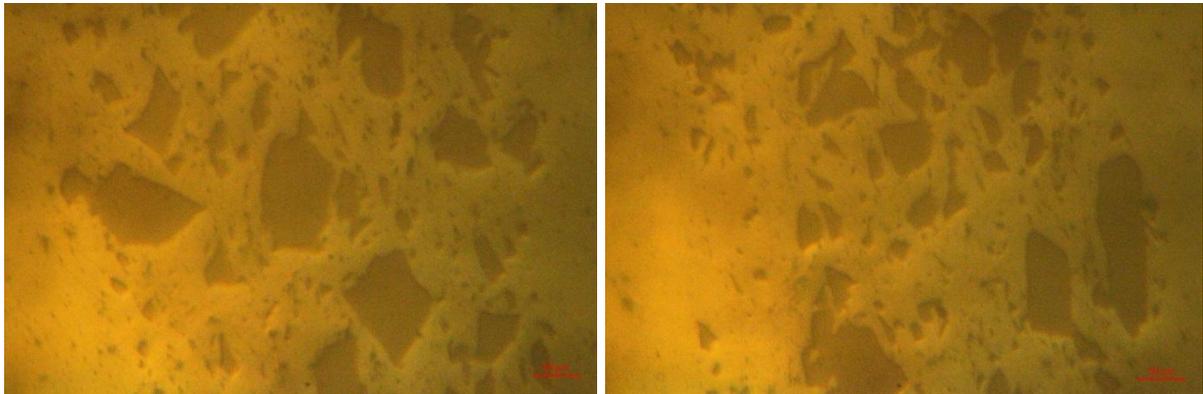
Pada Gambar 3.a sampai 3.c terlihat secara keseluruhan penampang lintang sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  yaitu kelongsong  $AlMg_2$ , disperan  $U_3Si_2$  dan matriks Al. Pada kelongsong  $AlMg_2$  terdapat beberapa bagian yang agak gelap dan bentuk tidak beraturan yang diduga adalah partikel  $U_3Si_2$  yang terkikis akibat pengamplasan. Dispersan  $U_3Si_2$  yang diampelas akan terkikis dan beberapa partikel tersebut mengendap dan terperangkap pada kelongsong. Pada interface dispersan dan kelongsong tidak terlihat adanya dispersan yang berdisufi kedalam kelongsog  $AlMg_2$ . Batas antara kelongsong dan inti elemen bakar masih relatif merata. Ketebalan kelongsong rata-rata pada posisi atas adalah 0,3746 mm, dengan ketebalan minimum 0,368 mm. Pada posisi tengah memiliki ketebalan rata-rata sebesar 0,3854 mm dan ketebalan minimum sebesar 0,374 mm. Sedangkan untuk sampel PEB posisi bawah mempunyai ketebalan rata-rata sebesar 0,3656 mm dan ketebalan minimumnya sebesar 0,322 mm. Persyaratan ketebalan kelongsong bahan bakar yang harus dipenuhi adalah  $> 0,25$  mm. Dari data tersebut ketebalan kelongsong masih memenuhi perstarayan yaitu lebih dari 0,25 mm.



a) Sisi dekat



b) Tengah



c) Sisi jauh

Gambar 4. Mikrograf sampel PEB  $U_3Si_2/Al$  pascairadiasi perbesaran 200 kali. A) Sisi dekat, b) Tengah, c) Sisi jauh

Hasil pengamatan dengan mikroskop optik di *hotcell* 107 pada perbesaran sekitar 200 kali ditunjukkan pada Gambar 4.a, 4.b, dan 4.c. Mikrograf sampel uji terlihat lebih detail dan hanya pada bagian inti. Dispersan  $U_3Si_2$  terlihat berwarna lebih gelap dibanding matriknya. Bentuk dispersan tidak beraturan dan relatif homogen meskipun ada beberapa dispersan yang ukurannya jauh lebih kecil. Dispersan  $U_3Si_2$  terdispersi merata dalam matrik Al dan setiap dispersan dikelilingi oleh matrik Al yang berfungsi sebagai penghantar panas. Dispersan  $U_3Si_2$  merupakan penghantar panas buruk sedangkan matrik Al

memiliki daya hantar panas baik oleh karena itu dispersan harus tersebar merata dalam matrik untuk menghasilkan perpindahan panas yang baik. Reaksi fisi dapat berupa gas dan produk fisi lainnya. Pada Gambar 4.b tidak terlihat adanya gas *bubble* atau porositas pada matriks. Selain itu juga pada antar muka dispersan dan matriks Al tidak terlihat adanya senyawa intermetalik pada antarmuka. Senyawa intermetalik ini mungkin terbentuk akibat reaksi antara uranium dan matrik Al. Pengamatan dengan mikroskop optik saat ini masih belum cukup memadai karena dilakukan dengan perbesaran sekitar 200 kali yang memiliki resolusi kecil sehingga fitur atau mikrograf seperti gas *bubble* dan senyawa antar muka tidak teramati dengan jelas. Oleh karena itu akan dilakukan perbaikan pada teknik preparasi metalografi maupun pada mikroskop optik yaitu menambah lensa objektif dengan perbesaran hingga 500 atau 800 kali. Preparasi metalografi terutama pembersihan setelah *grinding* dan *polishing* harus menggunakan pembersih *ultrasonic* dan dilakukan berulang. Pembersihan dengan *ultrasonic* dapat memungkinkan partikel yang mengendap di bagian *cladding* terlepas dan juga pori atau porositas serta gas *bubble* dimungkinkan dapat terlihat jelas. Pada perbesaran yang lebih tinggi dapat dihasilkan mikrograf atau strukturmikro yang lebih informatif dan detail sehingga evaluasi terhadap kinerja bahan bakar menjadi lebih optimum.

## KESIMPULAN

Secara keseluruhan mikrograf yang dihasilkan memberikan informasi awal yang cukup mengenai penampang lintang dispersan  $U_3Si_2$  dan juga kelongsong  $AlMg_2$  meskipun mikrograf seperti gas *bubble* dan senyawa intermetalik dan juga fitur lainnya akibat iradiasi belum teramati dengan jelas. Hal ini dapat disebabkan oleh peralatan yang terbatas dan juga diduga *burn up* bahan bakar sekitar 56% belum menghasilkan dampak iradiasi yang menghasilkan perubahan strukturmikro.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Suwardi., (2012), *Performance Prediction Of High Density Nuclear fuel Plate Containing U-7%Mo/Al*. Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania. Vo.18 No.3 , Oktober 2012: 163-171.
2. Maman Kartaman A, Yusuf Nampira, Junaedi, Sri Ismarwanti. (2013). struktur mikro dan karakteristik mekanik peb  $U_3Si_2/Al$  TMU 2,96 g/cm<sup>3</sup> pasca perlakuan panas suhu 500°C, Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta Issn 1978-0176, 31 Oktober 2013.
3. G. Ruggirello, H. Calabroni, M. Sanchez and G. Hofman, (2009), "*Post-Irradiacion Examination of  $U_3Si_2-Al$  Fuel Element Manufactured And Irradiated In Argentina.*

4. S. Van Den Berghe, A. Leenaers, E. Koonen, P. Jacquet, L. Sannen, (2010), "Microstructure Of  $U_3Si_2$  Fuel Plates Submitted To A High Heat Flux", SCK•CEN, Reactor Materials Research, Boeretang 200, B-2400 Mol Belgium, RERTR 2010-32nd, International Meeting On Reduced Enrichment For Research and Test Reactor, Idaho National Laboratory, P.O. Box 1625, Idaho Falls, ID 83415, USA.
5. Anonim. (2001). *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. ASTM E3.
6. Anonim. (2004). *Metallography and microstructures*. ASM Handbook Vol. 9