

PEMBAKUAN METODE UJI METALOGRAFI PEB U₃Si₂-Al PASCA IRADIASI

Maman Kartaman A, Anditania Sari Dwi P, Junaedi

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Pembakuan metode metalografi bahan pasca iradiasi di dalam *hotcell* dilakukan untuk menentukan parameter metalografi khususnya preparasi metalografi agar mudah dilakukan dan menghasilkan kualitas permukaan yang baik dan representatif. Jika dibandingkan dengan metalografi diluar *hotcell* maka ada beberapa perbedaan diantaranya adalah pada saat grinding tidak dapat sewaktu-waktu permukaan sampel ujinya dilihat langsung. Untuk melihat langsung permukaan hasil grinding relatif sulit dilakukan didalam *hotcell*. Diameter dudukan mounting juga dibuat longgar untuk memudahkan operator menempatkan mounting didalam dudukan spesimen. Proses preparasi metalografi dilakukan secara *remote* menggunakan manipulator diawali dengan tahapan pemotongan, *mounting*, *grinding* dan *polishing*. Tujuan pembakuan metode metalografi adalah menentukan parameter preparasi metalografi yang optimal khususnya proses pengamplasan dan pemolesan sehingga diperoleh data struktur mikro yang memiliki kualitas gambar bagus, representatif dan informatif. Hasil preparasi metalografi hingga kondisi poles diamati dengan mikroskop optik di *hotcell* 107. Kondisi permukaan secara keseluruhan adalah rata, bebas goresan yang kasar, sedikit kontaminasi yang menempel dan mengkilap, akan tetapi masih ada yang perlu dioptimalkan yaitu pencucian dengan ultrasonik. Ketebalan rata-rata minimum kelongsong AlMg₂ pada posisi *top*, *middle* dan *bottom* berturut-turut adalah 0,378; 0,391 dan 0,389 mm. Ketebalan minimum kelongsong merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi yaitu > 0,25 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketebalan kelongsong PEB U₃Si₂-Al TMU 2,96 g/cm³ sesuai persyaratan yaitu lebih dari 0,25 mm.

Kata kunci : metalografi, *hotcell*, manipulator, mikrostruktur, PEB U₃Si₂-Al

PENDAHULUAN

Instalasi radiometalurgi (IRM) memiliki fasilitas pengujian pra dan pasca iradiasi. Pengujian bahan dan bahan bakar yang ada di IRM meliputi pengujian tak merusak, dan uji merusak serta analisis fisika kimia terhadap bahan bakar nuklir baik bahan bakar nuklir reaktor riset maupun reaktor daya. Pengujian pasca iradiasi memegang peranan sangat penting dalam keberhasilan penelitian dan pengembangan bahan bakar reaktor riset dan daya. Hasil uji pasca iradiasi dari NDT, mikrostruktur, kimia dan mekanik dapat dijadikan evaluasi unjuk kerja bahan bakar setelah di iradiasi dalam reaktor, juga dapat dijadikan umpan balik bagi fabrikasi bahan bakar untuk mengetahui parameter proses fabrikasi yang optimum. Keseluruhan pengujian pascairadiasi bahan bakar nuklir akan memberikan data yang informatif dan representatif apabila dilakukan dengan metode yang benar sesuai standar. Pada penelitian ini dilakukan pembakuan metode uji metalografi terhadap bahan bakar MTR (*material testing reactor*) pasca iradiasi. Tujuan penelitian adalah mendapatkan parameter preparasi metalografi yang optimum yang bisa dilakukan didalam *hotcell* dengan kondisi permukaan hasil poles rata, bebas goresan dan kontaminasi. Pembakuan metode uji meliputi prosedur preparasi metalografi dari mulai pemotongan sampai poles yang

dilakukan di hotcell 104 – 106 menggunakan manipulator. Prosedur preparasi metalografi diluar dan didalam *hotcell* relatif sama akan tetapi karena penanganan di *hotcell* secara remote menggunakan manipulator, maka parameter metalografi harus ditentukan secara akurat terlebih dahulu untuk mengurangi atau meminimalisasi hasil uji yang tidak baik. Preparasi metalografi didalam *hotcell* sangat ditentukan oleh keterampilan operator dalam melakukan proses pemotongan, *mounting*, *grinding*, *polishing* serta etsa dengan bantuan tangan manipulator. Pembakuan metode uji pada proses metalografi ini dilakukan secara kualitatif karena pada proses ini tidak dihasilkan data numerik. Data uji yang dihasilkan adalah gambar mikrograf sampel baik kondisi *grinding*, *polishing* (*as-polished*) maupun *etching* (*as-etched*). Kondisi permukaan sampel yang baik akan diamati menggunakan mikroskop optik adalah permukaan yang rata, bebas dari kotoran minyak, partikel logam dan SiC yang terjebak, bersih dari goresan amplas yang dapat mengganggu interpretasi struktur mikro dari spesimen¹⁾

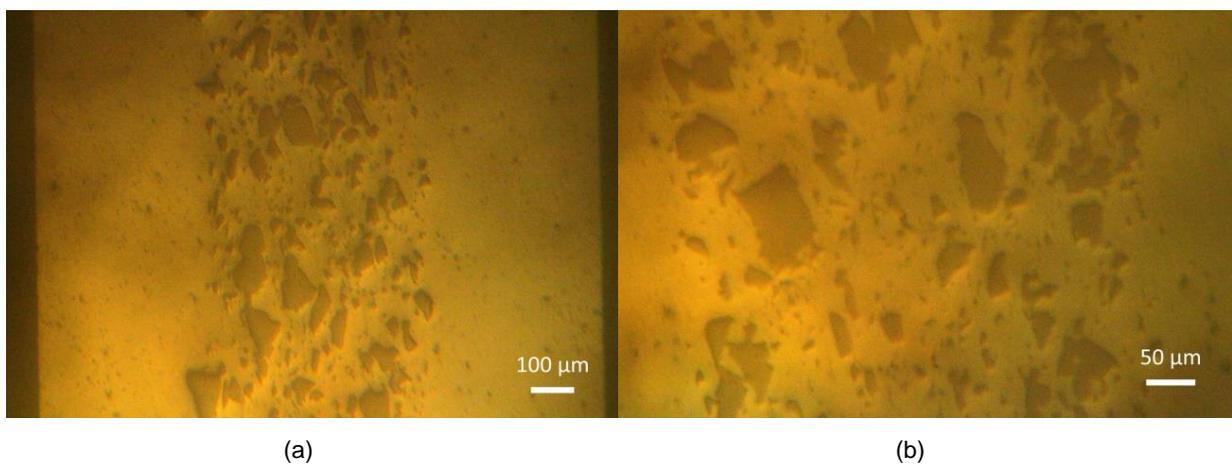
METODOLOGI

Sampel PEB U_3Si_2 -Al densitas $2,96 \text{ g/cm}^3$ pasca iradiasi hingga *burnup* sekitar 56% dipotong menjadi tiga bagian yaitu posisi dekat, tengah dan jauh. Pelat elemen bakar dipotong pada posisi atas, tengah dan bawah masing-masing satu buah dengan dimensi sekitar $30 \times 30 \text{ mm}$ pada arah 0° terhadap arah pengerolan. Langkah selanjutnya melakukan preparasi metalografi dari mulai pemotongan dengan *low speed cutting machine*, *mounting*, *grinding*, dan *polishing* yang dilakukan didalam hotcell 104 – 105. Pemotongan dengan *low speed cutting* adalah untuk mengurangi dimensi sampel dan juga menghilangkan deformasi pada tepi sampel akibat pemotongan sebelumnya. Pemotongan menggunakan *low speed cutting* menggunakan kecepatan putaran $150\text{-}200 \text{ rpm}$. Pemotongan sampel bagian atas, tengah, dan bawah masing masing dua buah dengan dimensi $10 \times 5 \text{ mm}$. Pemotongan masing-masing posisi dilakukan dengan arah melintang dan longitudinal. Setelah pemotongan, sampel *dimounting* untuk mempermudah proses preparasi dan pengujian metalografi. Sampel yang telah dipotong diletakkan di dalam wadah berbentuk pipa dimana bagian bawahnya ditutup menggunakan lakban, sehingga sampel menempel pada lakban dan tidak akan terjatuh ketika bahan *mounting* dituangkan. Setiap *mounting* terdiri dari dua arah potongan PEB dengan arah melintang dan longitudinal, sehingga terdapat 3 buah *mounting* yaitu posisi atas, tengah, dan bawah yang di dalamnya terdapat dua arah potongan. Bahan *mounting* menggunakan bahan resin epoksi dengan lama pengerasan sekitar 12 jam. Pembuatan bahan *mounting* dilakukan diluar *hotcell*, dengan mencampurkan epofix resin dan epofix *hardener* yang berwujud cair-cair. Rasio perbandingan volume penggunaan resin dan *hardener* yaitu 15 : 2 bagian, rasio berat

resin dan *hardener* yaitu 25 : 3 bagian^[1]. Pencampuran resin dan *hardener* dilakukan pada sebuah *cup* dan diaduk dengan hati-hati minimal selama 2 menit^[4], selanjutnya dituangkan ke dalam botol tertutup untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam *hotcell* 104 melalui *transfer port*. Campuran *mounting* dituangkan secara perlahan ke dalam cetakan yang telah berisi sampel uji untuk menghindari terbentuknya *gas bubble*. *Grinding* dilakukan dengan kertas amplas SiC grit 500, 800, 1200, dan 2400 secara berturut-turut dengan waktu *grinding* masing-masing 5 menit. *Grinding* dilakukan dengan kecepatan putar 200 rpm menggunakan *automatic grinding* dengan pembeban pada posisi tengah. Setelah permukaan sampel rata dan halus, dilakukan *polishing* untuk menghasilkan permukaan sampel yang mengkilat seperti cermin atau “*mirror like*”. *Polishing* menggunakan pasta intan dengan ukuran 3 dan 1 mikron masing masing selama 5 menit dengan kecepatan putar rendah sekitar 150 rpm dalam media air demin. Setelah dicuci dan direringkan maka selanjutnya sampel *as-polished* ditransfer ke *hotcell* 107 melalui konveyor. Pada tahap akhir metalografi adalah pengamatan struktur mikro sampel di *hotcell* 107 menggunakan mikroskop optik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan mikrostruktur PEB U_3Si_2 -Al pasca iradiasi pada bagian *bottom* ditunjukkan pada Gambar 2.a dan 2.b, secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2.c. PEB U_3Si_2 -Al terdiri dari kelongsong $AlMg_2$ dan *meat* U_3Si_2 -Al, dimana *meat* U_3Si_2 -Al dirol diantara kelongsong $AlMg_2$ sehingga bahan bakar U_3Si_2 -Al berada ditengah tengah kelongsong seperti terlihat pada Gambar 2.c. Ketebalan yang diinginkan hasil pengerolan panas dan dingin PEB U_3Si_2 -Al adalah 1,4 mm berdasarkan persyaratan bahan bakar nuklir tipe MTR yang digunakan di reaktor GA-Siwabessy^[2]. Hasil foto mikrostruktur dianalisis ketebalan kelongsong PEB U_3Si_2 -Al seperti ditunjukkan pada Gambar 2.a.





(c)

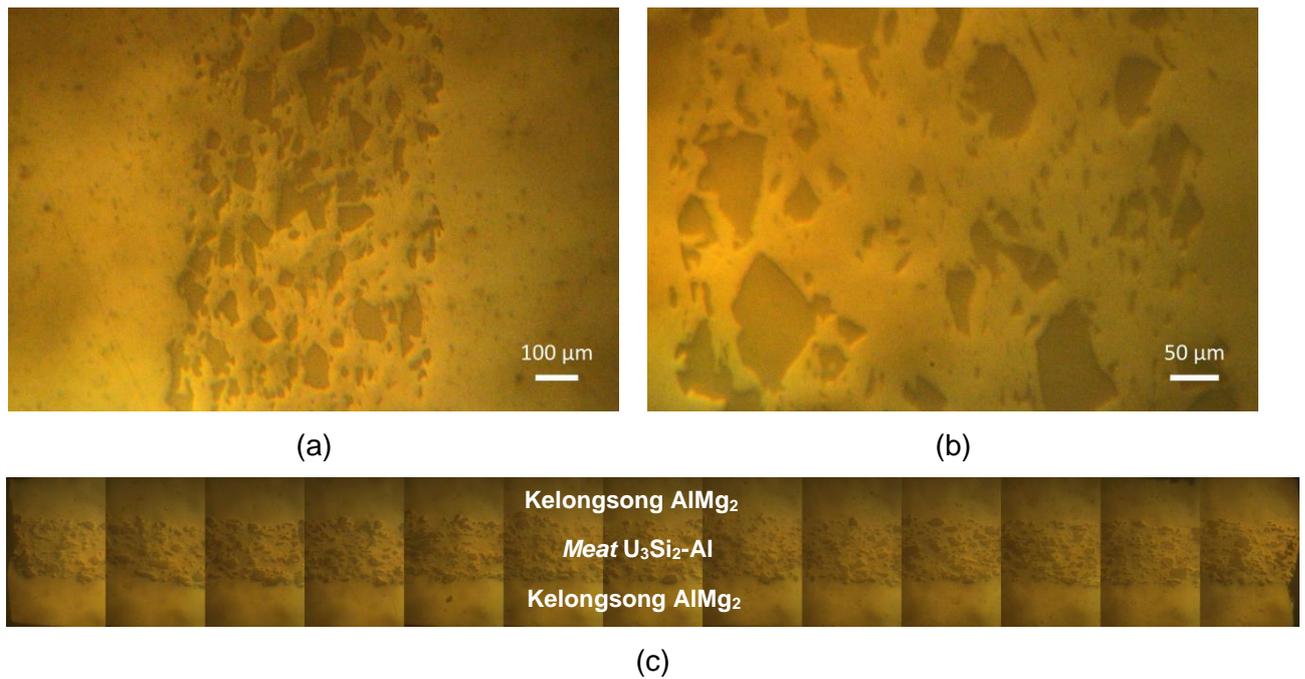
Gambar 2. (a) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *bottom* pada perbesaran 100x^[1],
 (b) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *bottom* pada perbesaran 200x^[1],
 (c) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *bottom* secara keseluruhan pada perbesaran 100x^[1]

Hasil analisis ketebalan kelongsong PEB U₃Si₂-Al pada bagian *bottom* disajikan pada tabel 1. Berdasarkan hasil pengukuran ketebalan kelongsong AlMg₂ pada bagian *bottom* diperoleh bahwa ketebalan kelongsong secara keseluruhan relatif sama seperti yang terlihat pada Gambar 2.a, tidak ada dispersan U₃Si₃ yang keluar dari matriks Al dan masuk kedalam kelongsong AlMg₂, seperti ditunjukkan secara lebih jelas pada foto mikrostruktur secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Gambar 2.c. Terlihat dari hasil mikrostruktur PEB bahwa partikel U₃Si₂ terdispersi secara merata di dalam matriks Al seperti ditunjukkan pada Gambar 2.b dengan perbesaran 200x, gambar yang lebih gelap adalah dispersan U₃Si₂ dan yang lebih terang adalah matriks Al.

Tabel 1. Hasil pengukuran ketebalan kelongsong AlMg₂ pada PEB U₃Si₂-Al bagian *bottom*

Posisi	Ketebalan kelongsong rata-rata (mm)	Ketebalan minimum (mm)	Ketebalan maksimum (mm)
1	0,405	0,389	0,405
2	0,390		
3	0,389		

Jenis bahan bakar dispersi diharapkan mengungkung partikel bahan bakar sehingga produk fisi dalam bentuk padat maupun gas yang dihasilkan selama proses iradiasi dapat terkumpul disekitar partikel bahan bakar tersebut^[3]. Hal tersebut dimaksudkan agar produk fisi utamanya dalam bentuk gas terdistribusi merata sehingga terhindar dari penggabungan gas membentuk *swelling*. Kemungkinan terbentuknya *swelling* harus ditekan serendah mungkin/dihindari karena dapat menurunkan unjuk kerja bahan bakar^[3].

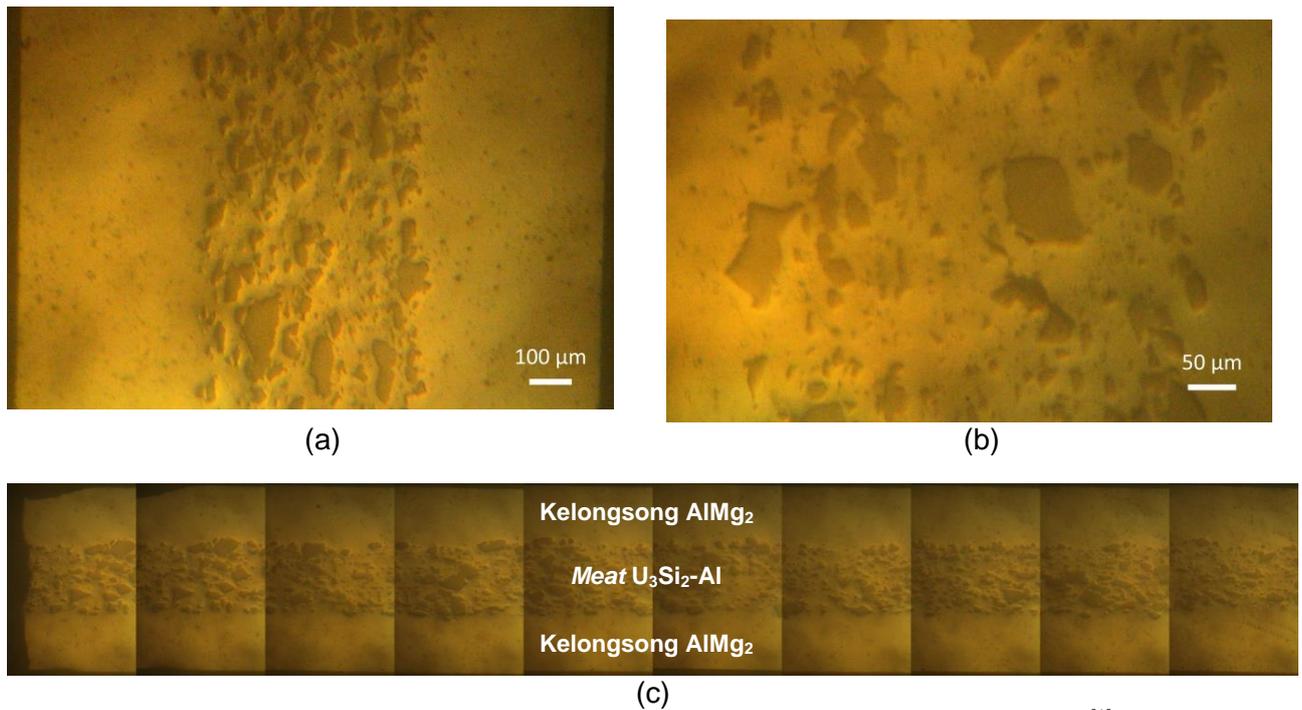


Gambar 3. (a) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *middle* pada perbesaran 100x^[1],
 (b) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *middle* pada perbesaran 200x^[1],
 (c) Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al bagian *middle* secara keseluruhan pada perbesaran 100x^[1]

Hasil pengamatan mikrostruktur pada PEB U₃Si₂-Al pada bagian *middle* ditunjukkan pada Gambar 3.a sampai 3.c. Berdasarkan gambar mikrostruktur tersebut dapat terlihat bahwa *meat* U₃Si₂-Al tidak keluar ke kelongsong AlMg₂ sama halnya seperti pada bagian *bottom*. Distribusi U₃Si₂ dalam matriks Al juga terlihat merata seperti terlihat jelas pada Gambar 3.b dengan perbesaran 200x. Hasil analisis ketebalan kelongsong PEB U₃Si₂-Al pada bagian *middle* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran ketebalan kelongsong AlMg₂ pada PEB U₃Si₂-Al bagian *middle*

Posisi	Tebal rata-rata kelongsong (mm)	Tebal minimum (mm)	Tebal maksimum (mm)
1	0,432	0,391	0,432
2	0,396		
3	0,391		



Gambar 4. (a) Mikrostruktur PEB U_3Si_2-Al bagian *top* pada perbesaran $100\times^{[1]}$,
 (b) Mikrostruktur PEB U_3Si_2-Al bagian *top* pada perbesaran $200\times^{[1]}$,
 (c) Mikrostruktur PEB U_3Si_2-Al bagian *top* secara keseluruhan pada perbesaran $100\times^{[1]}$

Hasil pengamatan mikrostruktur pada PEB U_3Si_2-Al pada bagian *top* ditunjukkan pada Gambar 4.a sampai 4.c. Berdasarkan gambar mikrostruktur tersebut dapat terlihat bahwa *meat* U_3Si_2-Al tidak keluar ke kelongsong $AlMg_2$ sama halnya seperti pada bagian lainnya. Distribusi U_3Si_2 dalam matriks Al juga terlihat merata seperti terlihat jelas pada Gambar 4.b dengan perbesaran $200\times$. Hasil pengukuran ketebalan kelongsong pada bagian *top* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran ketebalan kelongsong $AlMg_2$ pada PEB U_3Si_2-Al bagian *top*

Posisi	Ketebalan kelongsong rata-rata (mm)	Ketebalan minimum (mm)	Ketebalan maksimum (mm)
1	0,382	0,378	0,401
2	0,378		
3	0,401		

Berdasarkan pengamatan mikrostruktur PEB U_3Si_2-Al pada ketiga bagian yaitu *top*, *middle*, dan *bottom* menunjukkan batas ketebalan kelongsong $AlMg_2$ relatif rata dan tidak terdapat

meat bahan bakar yang keluar ke kelongsong AlMg₂. Ketebalan rata-rata pada kelongsong AlMg₂ bagian *top*, *middle*, dan *bottom* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketebalan rata-rata kelongsong AlMg₂ pada PEB U₃Si₂-Al

Posisi PEB U ₃ Si ₂ -Al	Ketebalan Minimum (mm)	Ketebalan Maksimum (mm)
<i>Bottom</i>	0,389	0,405
<i>Middle</i>	0,391	0,432
<i>Top</i>	0,378	0,401

Ketebalan rata-rata kelongsong pada bagian *bottom* adalah 0,394 mm, dengan ketebalan minimum 0,389 mm dan ketebalan maksimum 0,405 mm. Pada bagian *middle* adalah 0,406 mm, dengan ketebalan minimum 0,391 mm dan ketebalan maksimum 0,432 mm. Sementara itu, pada bagian *top* adalah 0,387, dengan tebal minimum 0,378 mm dan terbal maksimum 0,401 mm. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4, ketebalan kelongsong memenuhi ketentuan ketebalan kelongsong bahan bakar minimum sebesar 0,25 mm^[2]. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses iradiasi di dalam reaktor tidak memberikan pengaruh besar pada perubahan ketebalan kelongsong AlMg₂. Ketebalan kelongsong yang memenuhi persyaratan fabrikasi diharapkan dapat menjaga integritas bahan bakar. Selain itu, berdasarkan hasil foto mikrostruktur tidak menunjukkan adanya deformasi akibat *swelling*. Terbentuknya *swelling* akan mengurangi lebar celah aliran pendingin di dalam reaktor yang dapat menurunkan volume aliran pendingin dan berakibat kenaikan temperatur bahan bakar^[3]. Apabila *swelling* terlalu besar, maka aliran pendingin turun dan temperatur bahan bakar naik, yang sangat membahayakan apabila pelat elemen bakar pecah/retak sehingga harus dihindari karena dapat mengontaminasi air pendingin^[3]. Maka untuk menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan bahan bakar selama digunakan di dalam reaktor, integritas bahan bakar dan kelongsong harus terjaga.

KESIMPULAN

Mikrostruktur PEB U₃Si₂-Al densitas 2,96 gU/cm³ dapat dilihat dalam kondisi *as-polihed*. Kualitas mikrostruktur yang dihasilkan sangat tergantung dari preparasi metalografi dan keterampilan operator dalam mengoperasikan menggunakan manipulator. Parameter preparasi metalografi dari mulai *mounting*, *grinding* dan *polishing* telah ditentukan secara optimal yang disesuaikan dengan kondisi pengoperasian di *hotcell*. Pembakuan metode uji metalografi ditentukan secara kualitatif yaitu permukaan rata, bebas jejak goresan, mengkilat seperti cermin atau "*mirror like*". Parameter preparasi

metalografi dari mulai proses *mounting*, *grinding* dan *polishing* sampel PEB U_3Si_2 -Al densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ dapat diterapkan untuk sampel uji pasca iradiasi selanjutnya yaitu PEB U_3Si_2 -Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

1. M.K. Ajriyanto, A. B.Ginting. Junaedi. "Analisis Metalografi Pelat Elemen Bakar U_3Si_2 /Al Pasca Iradiasi Densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$." *Jurnal Ilmiah Daun Bakar Nuklir*. Vol 24.no '1. 2018.
2. Supardjo, Boybul, A. Kadarjono, "Pengaruh fabrikasi pelat elemen bakar U-7Mo/Al dengan variasi densitas uranium terhadap pembentukan pori di dalam *meat* dan tebal kelongsong," *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*. vol. 8,no. 2, hal. 67–122, 2012.
3. Anonim. "Diktat Teknologi Bahan Bakar dan Elemen Bakar Reaktor Riset." PUSDIKLAT BATAN. 2018.
4. Nielsen, J. Kresten, Maiboe, Jesper. "*Epofix and Vacuum: An Easy Method to Make Casts of Hard Substrates*". *Palaeontologia Electronica*, vol. 3. 2000.