

METODE UJI TAK MERUSAK PEB U_3Si_2/Al DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ PRA IRADIASI MENGGUNAKAN UT DAN RADIOGRAFI SINAR-X

Antonio G, Helmi F.R, M. Fauzi
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

Ultrasonic Testing (UT) dan radiografi sinar-X merupakan metode yang dipilih untuk menyajikan sebagian data uji tak merusak terkait unjuk kerja Pelat Elemen Bakar (PEB) teriradiasi. Dari rangkaian uji coba terhadap dua teknik UT (*pulsed echo* dan *through transmission*) dengan *immersion probe* pada kondisi pra iradiasi, telah diperoleh teknik *through transmission* menggunakan dua *probe* yang berperan sebagai *transmitter* dan *receiver*, dengan jarak masing-masing ke objek uji sebesar 20 mm. Kecepatan rambat gelombang yang dipilih sebesar 1545 m/s. Persen FSH sinyal luaran adanya blister dengan tidak adanya blister sangat berbeda sehingga mempermudah analisis. Kemampuan UT mendeteksi adanya *blister* diasumsikan sama dengan kemampuan mendeteksi adanya *swelling* pada proses iradiasi (adanya rongga yang terisi gas pada PEB). Radiografi sinar-X sudah dipasang di *hot cell* 103 dan telah berhasil diuji fungsi dengan PEB U_3Si_2/Al teriradiasi dan telah menghasilkan radiograf digital yang cukup baik. Parameter uji fungsi yang digunakan, Voltase 100 kV; arus 2500 μA dan daya 250 W. Parameter utama dari detektor yaitu waktu integrasi 130 ms. Pada kegiatan berikutnya perlu dilakukan optimalisasi terkait parameter operasi radiografi sinar-X.

Kata kunci: uji tak merusak, PEB U_3Si_2/Al , UT, radiografi sinar-X

PENDAHULUAN

Uji tak merusak (NDT) merupakan proses awal dari rangkaian proses uji pasca iradiasi di fasilitas *hot cell* Instalasi Radiometalurgi (IRM). Pembakuan metode NDT terhadap objek uji berupa Pelat Elemen Bakar (PEB) sudah dilakukan sebelumnya yang meliputi, pengamatan visual, pengukuran tebal dan pengamatan dengan spektrometer gamma. Kegiatan pembakuan metode uji tak merusak PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pra iradiasi merupakan kegiatan tahun ke-empat yang merupakan komponen dari kegiatan sub-output dokumen teknis uji bahan dan bahan bakar nuklir pra dan pasca untuk reaktor riset. Evaluasi terhadap data hasil pengukuran tebal PEB, dapat diketahui jika ada perubahan dengan membandingkannya dengan hasil pengukuran ketebalan pra-iradiasi. Bila ada perubahan, perlu diketahui apakah masih dalam batas yang diizinkan. Begitu juga dengan data pengamatan visual, dapat diketahui adanya perubahan warna (bercak), cacat, kelengkungan dan lain sebagainya. Pengamatan distribusi hasil belah dan derajat bakar dengan spektrometer gamma. Dari data pencacahan dapat dibuat kurva hubungan antara cacah puncak ^{134}Cs dan ^{137}Cs terhadap posisi PEB sehingga derajat bakar dapat diketahui. Dengan UT dapat diketahui adanya cacat *blister* dan dengan visualisasi Radiografi Sinar-X dapat diketahui kondisi *meat* dan *cladding* apakah ada perubahan dibandingkan dengan

data pra-iradiasi. Saling konfirmasi antar data NDT yang diperoleh, dapat menetapkan posisi sampel yang akan diambil untuk dapat diinvestigasi lebih lanjut dengan DT. Pengambilan sampel PEB dilakukan dengan teknik *punching* sehingga sisa PEB tetap dalam satuan PEB yang relatif utuh yang tidak lagi menyisakan banyak potongan. Dengan teknik *punching* di *hot cell* 102 diperoleh ukuran PEB sekitar 3 x 3 cm, yang kemudian dipotong lebih kecil lagi jadi beberapa sampel di *hot cell* 104 untuk pengamatan mikro struktur dan difusi hasil belah serta analisis derajat bakar secara radiokimia.

Pada kegiatan tahun sebelumnya telah ditetapkan metode inspeksi cacat pada PEB dengan *Ultrasonic Testing* (UT) dengan *immersion probe* dan visualisasi PEB dengan Radiografi Sinar-X. Pada tahun 2018, adalah penetapan teknik *through transmission* dan parameter operasi dari *immersion probe* UT serta instalasi dan uji fungsi Radiografi Sinar-X yang menggunakan *Flat-Panel Detector* (FPD). Uji fungsi Radiografi Sinar-X tersebut menggunakan PEB pasca iradiasi, merupakan syarat keberterimaan alat tersebut dari Pihak Ketiga ke Pihak Pengguna (PTBBN –BATAN). Selain itu juga telah dilakukan uji coba untuk mencari parameter yang optimum dengan objek uji berupa PEB non iradiasi. Dengan proses uji fungsi tersebut, maka parameter operasi Radiografi Sinar-X dapat diperoleh. Langkah selanjutnya pada tahun 2019, adalah optimalisasi parameter uji untuk Radiografi Sinar-X, baik untuk PEB maupun untuk *short pin PWR* sedangkan untuk UT adalah optimalisasi parameter uji untuk *short pin PWR*. Dengan ditetapkan/dibakukan metode yang digunakan untuk UT dan Radiografi Sinar-X pada NDT dari proses uji pasca iradiasi di IRM yang akan dituangkan dalam bentuk SOP, maka proses uji pasca iradiasi selanjutnya berupa PEB akan menggunakan SOP tersebut.

METODOLOGI

a. Ultrasonic testing (UT)

Pada kegiatan tahun 2017, telah ditetapkan teknik *through transmission* merupakan teknik yang dipilih dibandingkan dengan teknik *pulsed echo* untuk mendeteksi adanya *blister* pada PEB. Dengan teknik *through transmission*, sinyal luaran pengujian sampel kelongsong AlMg2 hanya menghasilkan satu sinyal yang merupakan representasi besarnya energi gelombang ultrasonik yang diterima oleh *probe receiver* setelah melewati suatu material. Pada saat *probe* melakukan *scanning* pada bagian normal dihasilkan maksimum sinyal hingga 85 %*Full Screen Height* (%FSH), dan ketika *probe* melakukan *scanning* pada bagian *blister* terjadi penurunan sinyal yang cukup signifikan, ketinggian maksimum sinyal hanya mencapai 5%FSH^[1]. Perbedaan yang signifikan antara sinyal

luaran yang dihasilkan pada bagian normal dengan bagian *blister* akan mempermudah untuk mengetahui adanya *blister*.

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel kelongsong bahan bakar yang berupa paduan AlMg2 (material pembentuk kelongsong pelat elemen bakar U_3Si_2/Al) dengan ketebalan 1,3 mm yang mengandung cacat berupa *blister* pada permukaan benda uji. Alat yang digunakan adalah *Ultrasonic Flaw Detector Sonoscreen ST10* dengan spesifikasi sebagai berikut, *gain* 38 dB; *voltage* 200 V; *pulse width* 90 ns; PRF 2 kHz. Penentuan cepat rambat gelombang dilakukan dengan cara menguji sampel pada bagian tanpa cacat, dimana jarak antara *probe* terhadap benda uji diatur pada jarak 20 mm. Jarak optimal diperoleh ketika sinyal pantul mencapai tinggi maksimum. Penentuan jarak optimal *probe* pada teknik *through transmission* dilakukan dengan cara mengatur jarak antar kedua *probe* dari 36 mm hingga 42 mm dengan variasi jarak sebesar 1 mm.

b. Radiografi Sinar-X

Alat yang digunakan adalah Diondo X-ray sistem yang telah terpasang di dalam *hot cell* 103. Peralatan dukung berupa tarafo, *cooler*, panel berada di *service area* sedangkan sistem kendali berada di *operating area* dari IRM. Peralatan dukung lainnya berupa manipulator untuk menempatkan PEB uji serta untuk mengatur ketinggian sumber sinar-X dengan objek (FOD). Bahan uji yang digunakan dalam kegiatan ini adalah PEB dengan cacat tertentu serta sampel hasil lasan.

Proses pengoperasian radiografi sinar-X di *hot cell* 103, adalah sebagai berikut^[6]:

Setelah *warming-up* (sekitar 20 menit) maka peralatan siap digunakan. Tombol X-ray dan detektor dinyalakan dan muncul pada layar monitor. Kemudian dilakukan pengaturan terhadap tegangan, arus, *filter* dan lainnya sesuai menu yang tertera pada monitor pada perangkat lunak pengendalian. Nilai saturasi dijaga agar tidak melebihi 79% yang dapat mengakibatkan nilai saturasi akan berubah warna menjadi kuning kemudian merah. Dengan menggunakan tombol pergeseran yang ada di damping kanan layar gambar di komputer maka bagian objek uji yang akan diambil dapat diatur. Dengan menekan tombol "play" maka proses penembakan dimulai dan tunggu beberapa saat. Jika telah selesai maka secara otomatis hasil pengujian akan tersimpan di komputer. Dengan memvariasikan parameter operasi berupa tegangan, arus, *filter* dan FOD dan lainnya maka dapat ditentukan parameter yang tepat untuk hasil digital radiograf yang optimum.

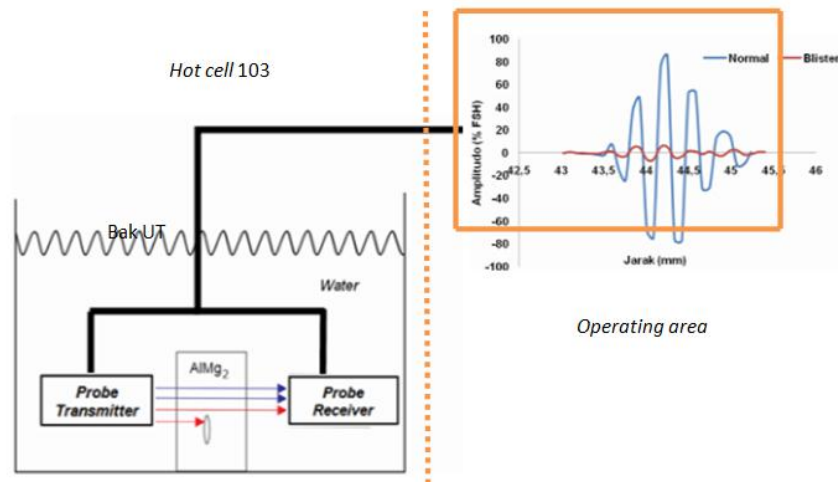
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji coba menggunakan UT terhadap PEB U_3Si_2/Al dengan teknik *through transmission* menunjukkan perbedaan sinyal luaran yang lebih jelas antara bagian normal dengan bagian *blister* pada kelongsong bahan bakar dibandingkan teknik *pulse-echo*. Hal ini juga sangat membantu operator untuk menganalisis sinyal luaran pada UT pada bagian yang tidak ada *blister* dengan bagian yang ada *blister*^[1]. Serupa dengan teknik UT yang digunakan pada kendali kualitas terhadap PEB yang juga menggunakan teknik *through transmission*. Adanya *blister* pada sampel yang sama juga sudah dibuktikan secara metalografi. Mekanisme terjadinya blister dimulai selama penyiapan campuran serbuk U_3Si_2 dan Al, pengepresan IEB, dan penyiapan paket rol, ada kemungkinan terjadi penyerapan uap air oleh serbuk Al. Pada perolan panas, uap air itu akan cepat bereaksi dengan U_3Si_2 di dalam *meat* dan membentuk gas hidrogen. Gas hidrogen hasil reaksi terdifusi keluar dari zona bahan bakar membentuk *blister* di dalam kelongsong. Adanya *blister* akan mengurangi kesempurnaan ikatan sehingga mengurangi kekuatan kelongsong. Apabila hal ini terjadi maka akan berbahaya selama diiradiasi di dalam teras reaktor, karena kemungkinan *blister* akan terisi oleh gas fisi yang dapat menyebabkan kebocoran, terlebih pada *burn-up* tinggi. Pada proses pabrikasi, perlakuan panas dapat menekan terbentuknya gas hidrogen dari reaksi uap air dan U_3Si_2 di dalam *meat* untuk berdifusi melalui kelongsong. Dengan perlakuan demikian terbentuknya *blister* akan dapat dihindari^[2].

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa cepat rambat gelombang longitudinal di medium air (*immersion type* dengan air sebagai *couplant*) diperoleh sebesar 1545 m/s. Jarak optimal antar kedua *probe* dengan teknik *through transmission* adalah 40 mm. Pengujian pada bagian *blister* dengan teknik *through transmission* terjadi penurunan sinyal luaran sebesar 80 %FSH. Tinggi dan besarnya amplitudo sinyal luaran yang dihasilkan dari hasil pengolahan gelombang ultrasonik direpresentasikan oleh ketinggian sinyal luaran pada monitor alat UT dalam satuan % *Full Screen Height* (FSH). Semakin berkurang nilai %FSH maka energi gelombang ultrasonik yang diterima oleh *probe receiver* juga semakin kecil artinya cacat di dalam benda uji semakin besar. Parameter optimal dan teknik *through transmission* yang diperoleh selanjutnya akan digunakan untuk menentukan cacat blister pada pelat elemen bakar pasca iradiasi.

Inspeksi terhadap cacat berupa *blister* terhadap PEB uji dengan ultrasonik dilakukan di *hot cell* 103. PEB yang akan diuji diletakan pada posisi sampel di PEB di dalam bak UT yang telah terisi air sebagai *couplant*. Periksa kesiapan alat dan masukan

parameter cepat rambat gelombang berdasarkan material dari benda uji serta periksa ulang jarak probe terhadap benda uji, apakah sudah sesuai dengan parameter yang sudah ditetapkan sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pengujian/pemeriksaan terhadap benda uji



Gambar 1. Mekanisme teknik *through transmission*

sambil sinyal yang muncul diamati secara cermat (secara manual). Apabila terjadi penurunan sinyal secara signifikan pada posisi tertentu, agar dicatat dan diulang secara cermat pada bagian tersebut. Sinyal luaran dianalisis dibandingkan dengan library data yang sudah dibuat sebelumnya terkait sinyal adanya *blister*. Kemudian hasil analisis disimpan dan pengujian/pemeriksaan lanjut dapat dilakukan untuk bagian lainnya dari PEB, dan dilakukan dengan cara yang sama dengan cara sebelumnya untuk keseluruhan permukaan PEB. Hasil analisis dengan metode UT ini kemudian dikonfirmasi dengan hasil dari gamma spektrometer, radiografi sinar-X, pengamatan visual dan pengukuran tebal terhadap PEB yang sama. Bila diperlukan dapat dilakukan pengulangan pada bagian tertentu dari PEB tersebut sampai dipastikan bagian mana yang akan dicuplik dari PEB uji tersebut.

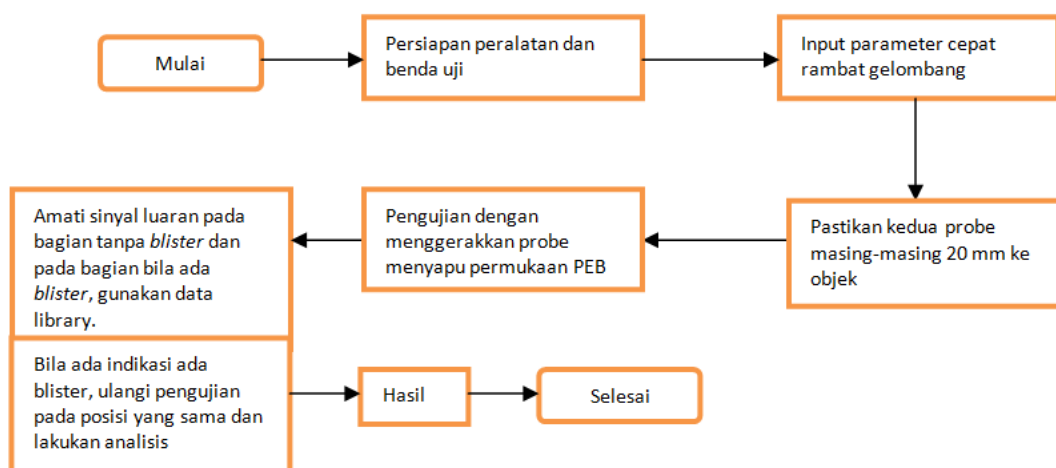
Parameter:

1. jarak yang relatif baik antara *probe* terhadap benda uji diperoleh pada 20 mm
2. jarak optimum antar kedua *probe* (*through transmission*) 40 mm untuk pengukuran normal dan yang terdapat *blister*

Aspek lain penting yang perlu diperhatikan dalam peningkatan derajat bakar adalah penambahan volume bahan bakar (*swelling*) yang berakibat pada bertambahnya ketebalan pelat bahan bakar. *Swelling* pada bahan bakar dispersi terutama disebabkan oleh akumulasi hasil fisi, baik gas maupun padat, dan fasa hasil interaksi kimiawi antara partikel

bahan bakar dengan matrik aluminium. Mengingat tebal saluran pendingin di antara dua pelat bahan bakar RSG-GAS hanya sekitar 0,255 cm, maka penambahan ketebalan yang terjadi pada pelat bahan bakar dikhawatirkan akan mengganggu aliran pendingin yang menyebabkan kenaikan temperatur operasi bahan bakar. *Swelling* pada bahan bakar U_3Si_2 akibat akumulasi gas hasil fisi menunjukkan perilaku mirip dengan bahan bakar UO_2 , yaitu *swelling* naik tajam setelah iradiasi mencapai densitas fisi tertentu. Hal ini dikarenakan gelembung gas hasil fisi mulai terbentuk, dan sejalan dengan kenaikan densitas fisi, gelembung gas hasil fisi akan tumbuh dan bertambah banyak^[4].

Blister (pada proses pabrikasi) dan *swelling* (pada proses iradiasi) sama-sama bercirikan adanya rongga yang terisi oleh gas pada PEB. Apabila UT dapat mendeteksi adanya *blister*, maka dapat disimpulkan UT juga mampu untuk mendeteksi adanya *swelling* dan hal ini perlu ditindaklanjuti pada saat melakukan uji pasca iradiasi terhadap PEB dengan UT di *hot cell* 103.



Gambar 2. Skema alur proses UT terhadap PEB

a. Radiografi Sinar-X

Pada kegiatan tahun 2017 telah ditentukan jenis radiografi sinar-X yang akan digunakan dan pada tahun 2018. Pada tahun 2018 dilakukan proses pengadaan dan instalasi sistem di *hot cell* 103. Setelah instalasi selesai (November 2018), dilakukan uji coba terhadap semua sistem dari Radiografi Sinar-X dan dinyatakan siap untuk ke tahapan berikutnya yaitu uji fungsi. Sesuai kontrak pengadaan, uji fungsi dilakukan langsung dengan PEB teriradiasi. Tiga PEB dengan densitas uranium $4,8 \text{ gU/cm}^3$ yang telah diiradiasi, diambil dari kolam reaktor RSG-GAS dan ditransfer ke IRM melalui KH-IPSB3. Salah satu PEB digunakan untuk uji fungsi. Setelah dilakukan dengan PEB teriradiasi,

berikutnya dengan PEB pra iradiasi guna menentukan parameter operasi yang optimum berupa PEB pra iradiasi dengan cacat serta sampel hasil lasan.

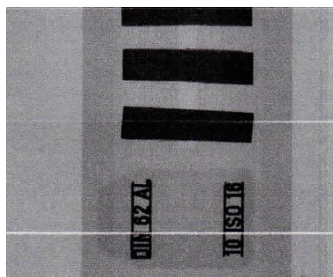
Hasil citra x-ray yang diperoleh dapat membedakan adanya cacat pada permukaan PEB. Cacat yang terbentuk merupakan cacat yang memang sudah ada di dalam material, yang mana cacat tersebut sengaja dibuat. Dari Gambar 3, dapat terlihat perbedaan setiap cacat dari perbedaan densitas kehitaman.



Gambar 3. Citra x-ray material cacat

Pada sampel PEB hasil las (Gambar 4) belum terlihat adanya cacat pada permukaan las. *Image Quality Indicator* (IQI) 10 ISO 16 dan DIN 62 Al (wire) juga tidak terlihat dengan jelas. Hasil radiograf digital pada sampel las belum menunjukkan hasil yang memuaskan sehingga parameter operasi yang optimum perlu dicari lebih lanjut dengan memvariasikan jarak, dan tiga parameter utama dari sinar-X yaitu: voltase; arus dan daya serta parameter utama dari detektor yaitu waktu integrasi.

E1025 dapat digunakan sebagai standar praktis untuk *hole-type image quality indicators*. E747 dapat digunakan kendali kualitas uji radiografi yang menggunakan *wire image quality indicators* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

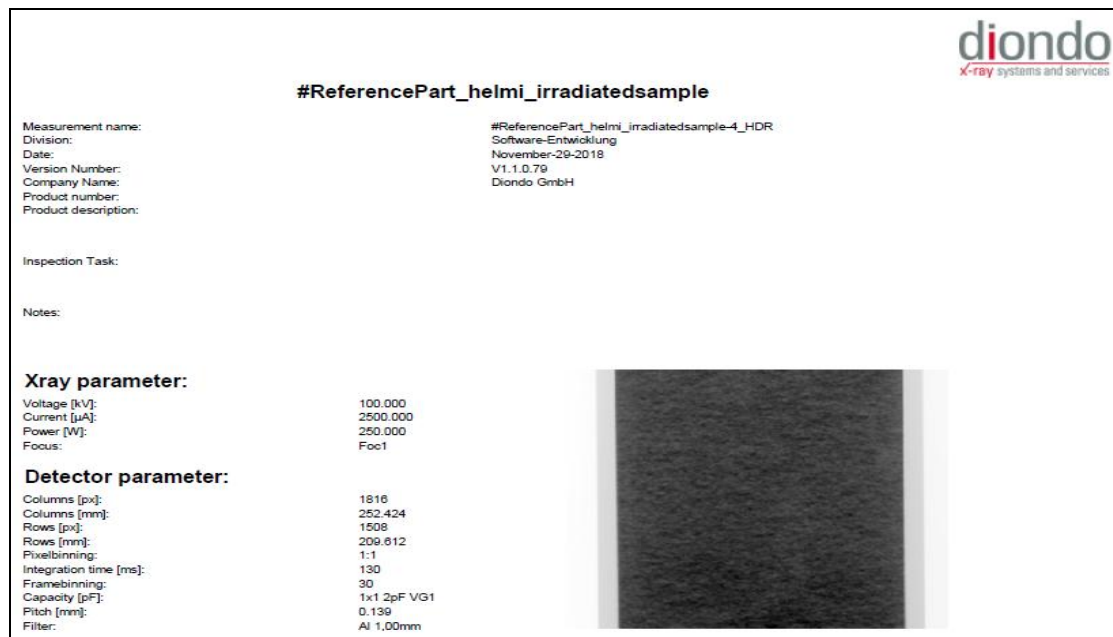


Gambar 4. Radiograf digital sampel las



Gambar 5. IQI ASTM e747 wire^[7]

Hasil uji fungsi terhadap PEB teriradiasi sudah dilakukan dengan hasil yang cukup memuaskan. Pada Gambar 6, disajikan contoh report (laporan) dalam format pdf yang langsung bisa tercetak oleh sistem radiografi sinar-X. Pada Gambar 3 juga tersaji parameter sinar-X dan parameter detektor hasil dari visualisasi PEB teriradiasi. Tiga parameter utama dari sinar-X yaitu: Voltase 100 kV; arus 2500 μ A dan daya 250 W. Parameter utama dari detektor yaitu waktu integrasi 130 ms. Hasil visualisasi tampak dengan jelas batas *meat* dengan *cladding* (Gambar 6).



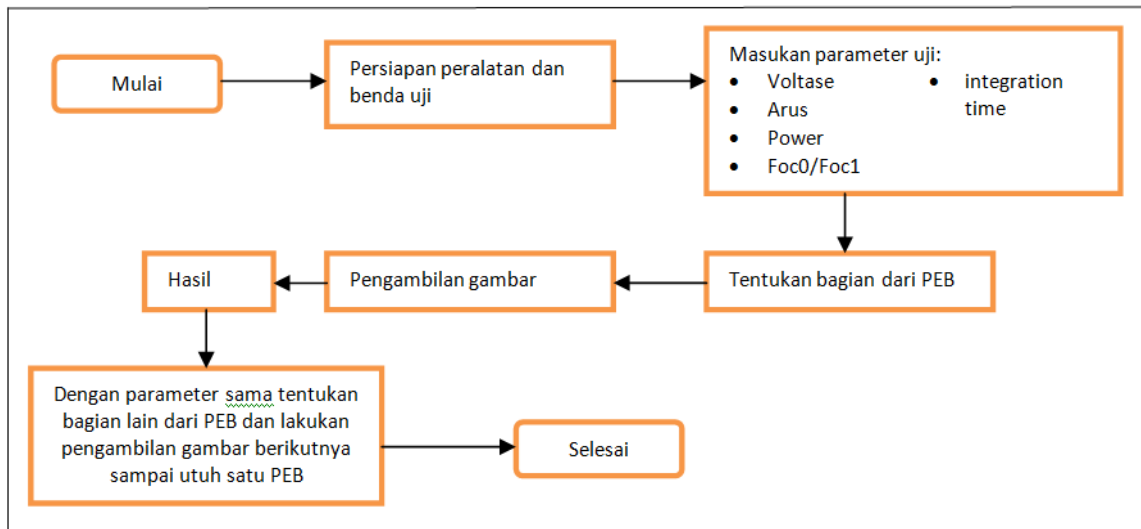
Gambar 6. Hasil visualisasi PEB teriradiasi

Pada kegiatan berikutnya (tahun 2019) akan ditentukan parameter operasi yang optimum, baik untuk PEB maupun *short pin PWR*. Sebelum ditentukan parameter dengan objek pasca iradiasi maka dilakukan terlebih dahulu untuk objek pra iradiasi. Parameter operasi meliputi parameter sinar-X yang meliputi voltase (kV), arus (μ A), daya (W) dan *Focus, Foc1 atau Foc0*. Juga termasuk parameter detektor yang paling berpengaruh yaitu *integration time* (ms).

b. Data NDT lainnya

Terkait lapisan oksida, masih diperlukan metoda lain seperti *Eddy Current Testing* untuk pengukuran ketebalan oksida yang terbentuk pada permukaan PEB. Hal ini diperlukan karena: pertumbuhan oksida yang berlebihan mengarah ke korosi permukaan PEB, lapisan yang lebih tebal berpengaruh terhadap temperatur bahan bakar. Data ketebalan oksida juga diperlukan untuk interpretasi unjuk kerja bahan bakar. Validasi

pengukuran ini dapat menggunakan metalografi. Metode ini dapat menggunakan ASTM untuk uji dengan *Eddy current* [3].



Gambar 7. Skema alur proses radiografi sinar-X terhadap PEB

Pengukuran densitas dengan *immersion density* untuk mengetahui perubahan volume PEB perlu juga dilakukan. Data dari pengukuran densitas ini dapat mengindikasikan adanya *swelling*. Batasan maksimum *swelling* terhadap prosentase volume harus ditetapkan sebelumnya yang relatif sama dengan batasan penambahan tebal PEB. Seperti di reaktor riset Hanaro dibatasi sebesar 20% *volumetric swelling*[5].

KESIMPULAN

Dari hasil pelaksanaan kegiatan DIPA tahun 2018 untuk pembakuan metoda uji tak merusak berupa UT sudah dapat dilakukan dengan jarak optimum antar kedua *probe* (*through transmission*) 40 mm untuk pengukuran normal dan yang terdapat *blister* dengan cepat rambat gelombang longitudinal di medium air (*immersion type* dengan air sebagai *couplant*) diperoleh sebesar 1545 m/s. dan sudah dilakukan.

Metoda uji tak merusak berupa radiografi sinar-X untuk PEB cacat pra iradiasi, baru uji coba untuk melihat cacat dengan hasil cukup memadai (belum optimum). Untuk objek uji berupa hasil lasan yang cukup kecil juga belum kelihatan dengan jelas. Tiga parameter utama berupa: voltase 100 kV; arus 2500 μ A dan daya 250 W serta parameter utama detektor berupa waktu integrasi 130 ms, telah cukup berhasil untuk uji fungsi radiografi

sinar-X. Metoda uji sudah ditentukan tetapi optimalisasi parameter operasi masih berlanjut di tahun 2019.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada rekan kerja yang telah memberi masukan dalam penyusunan tulisan ini hingga dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad Fauzi, dkk., Analisis Cacat Blister Pada Kelongsong Bahan Bakar U_3Si_2/Al Menggunakan Ultrasonic Test, *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, p ISSN 0852-4777; e ISSN 2528-0473, Vol 23, No 3 (2017): Oktober 2017.
2. Supardjo, Permasalahan Fabrikasi Bahan Bakar U_3Si_2-Al dengan Tingkat Muat Uranium Tinggi, *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir PEBN-BATAN*, ISSN 1410-1998, Jakarta 18-19 Maret 1996. digilib.batan.go.id/e-prosiding/File%20Prosiding/Energi/PEBN_Maret_96/Data/Suparjo.pdf. Diunduh 01 April 2019.
3. Francine Rice, et al., *Post Irradiation Examinations of High Performance Research Reactor Fuels*, National Academy of Science Technical Review, Idaho National Laboratory. dels.nas.edu/resources/static-assets/nrsb/miscellaneous/U-Mo-Fuel-Dev/robinson.pdf, diunduh 02 April 2019.
4. Bambang Herutomo, Tri Yulianto, Evaluasi Perilaku Swelling Iradiasi Bahan Bakar RSG-GAS, *Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir*, Volume 2 No. 2 Juni 2006, 56-115, ISSN 1907-2635. jurnal.batan.go.id/index.php/jtbn/article/download/432/822, diunduh tanggal 4 April 2019.
5. H.T Chae et al., *Irradiation Performance of U_3Si LEU Fuels in Hanaro*, <https://www.researchgate.net/publication/268348068>, diunduh 05 April 2019.
6. Diondo, *X-ray System and Services*, Operator Manual x-ray Inspection System K4, Revision 1.0, 27/11/2018
7. <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/AdvancedTechniques/RealTimeRadiography/ProcedureDevelopment.htm>, diunduh tanggal 11 Juni 2019.