

PERSIAPAN UJI TIDAK MERUSAK PADA SAMPEL *SHORT FUEL PIN PWR* PASCA IRADIASI

Helmi Fauzi R, Refa Artika, Purwanta
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Persiapan uji tidak merusak pada sampel *Short Fuel PIN PWR* dilakukan untuk mengetahui kebutuhan pendukung dalam melakukan pengujian terhadap sampel tersebut baik untuk pra dan pasca iradiasi. Adapun peralatan uji yang pengujian menggunakan metode UT diperlukan adanya *probe* yang memiliki kemampuan untuk dapat mendeteksi adanya cacat pada sampel berbentuk silinder yaitu *Short fuel PIN PWR*, maka dengan melakukan identifikasi spesifikasi terhadap *probe* dan studi literature dapat menentukan jenis *probe* yang dibutuhkan. Tahapan kalibrasi terhadap *probe* dilakukan untuk mendapatkan nilai *velocity* yang tepat pada saat pengujian. Material standar Zirconium (Zr) digunakan sebagai bahan acuan ketebalan diperoleh nilai *velocity* pengujian sebesar 4467 m/s. Dalam pengujian menggunakan metode radiografi sinar-x terdapat beberapa variable operasi yang dapat dilakukan untuk mengoptimasi hasil citra diantaranya pengaturan jarak dari x-ray tube kedudukan sampel (jarak sumbu Y) dan pengaturan fitur besaran energy, arus, dan waktu penetrasi sinar – x terhadap sampel serta penambahan bahan pembanding zirconium dengan opsi (*Region Of Interest*) ROI. Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh optimasi citra terbaik pada parameter (sumbu Y;60 cm, 250 kV, 2000 μ A, 200 ms). Dari kedua metode yang digunakan dapat disimpulkan bahwa *hot cell* 103 Instalasi Radiometalurgi telah siap menguji sampel *Short fuel PIN PWR* pasca iradiasi dengan target pengujian permukaan *cladding* menggunakan UT dan pengujian dimensi, kondisi permukaan pellet dan posisi kelurusan pellet di dalam *cladding* secara tidak merusak menggunakan radiografi sinar-x.

Kata kunci: Uji tak merusak, *Fuel PIN PWR*, *Ultrasonic Testing*, *Probe*, radiografi sinar-x.

PENDAHULUAN

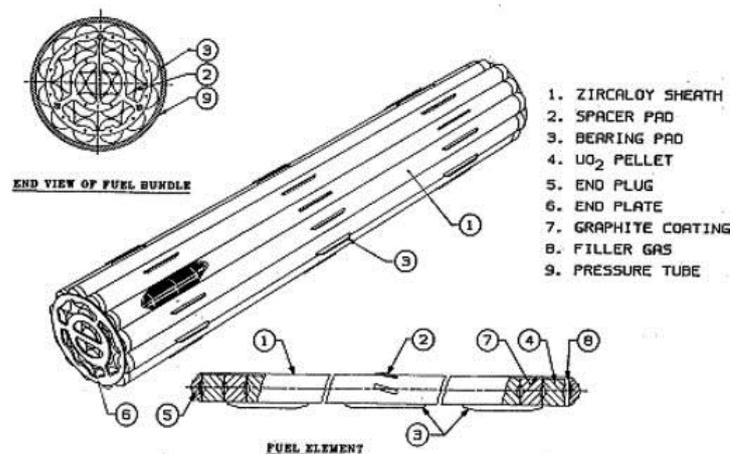
Instalasi radiometalurgi (IRM) memiliki fasilitas pengujian pra dan pasca iradiasi. Pengujian bahan dan bahan bakar yang ada di IRM meliputi pengujian tak merusak, uji merusak serta analisis fisikokimia terhadap bahan bakar nuklir baik bahan bakar nuklir reaktor riset maupun reaktor daya. Pengujian pasca iradiasi memegang peranan sangat penting dalam keberhasilan penelitian dan pengembangan bahan bakar reaktor riset dan daya. Hasil uji pasca iradiasi dari *Non Destructive Test* (NDT), struktur mikro, kimia dan mekanik dapat dijadikan evaluasi unjuk kerja bahan bakar setelah diiradiasi dalam reaktor, juga dapat dijadikan sebagai umpan balik bagi fabrikasi baha bakar untuk mengetahui parameter proses fabrikasi yang optimum. Keseluruhan pengujian pasca iradiasi bahan bakar nuklir akan memberikan data yang informatif dan representatif apabila dilakukan dengan metode yang benar sesuai dengan standar^[1]. NDT atau uji tak merusak merupakan bagian sentral dalam program uji pasca iradiasi. Teknik NDT seringkali digunakan untuk memperoleh gambaran elemen bakar pasca iradiasi secara singkat dan sebagai pendekatan awal untuk mempersempit daerah pengamatan degradasi elemen bakar pasca

iradiasi^[2]. Data hasil perolehan pengujian ini memberi kontribusi untuk menentukan daerah pengambilan sampel guna menentukan kebolehjadian penyebab dari perbedaan perubahan yang terjadi dalam elemen bakar melalui pemeriksaan uji tak merusak^[3]. Pada penelitian ini dilakukan penyiapan metode NDT pada material PIN PWR, kegiatan ini merupakan tahapan awal sebelum menentukan metode yang tepat digunakan ketika melakukan pengujian NDT pada material PIN PWR. Oleh karena itu, kegiatan penyiapan metode ini lebih menggunakan material *short fuel* PIN PWR pra iradiasi. Penyiapan metode NDT mencakup di dalamnya *Ultrasonic Test* (UT) dan x-ray radiografi untuk material *short fuel* PIN PWR yang dilakukan di *hot cell* 103. *Hot cell* sendiri merupakan suatu fasilitas yang didesain untuk penanganan bahan radioaktif aktivitas tinggi dengan sistem jarak jauh (*remote*) sehingga tidak ada kontak langsung antara personil dengan bahan uji. Pengujian dilakukan di *hot cell* 103 yang merupakan tempat dilakukannya pengujian bahan bakar dan struktur pasca iradiasi untuk pengujian uji tak merusak. Tujuan kegiatan dalam mendapatkan kebutuhan di lapangan yang dapat mendukung pengujian NDT maupun metode pengujian NDT terhadap material PIN PWR.

Penyiapan metode meliputi identifikasi terkait kebutuhan di lapangan seperti persiapan alat-alat pengujian baik untuk *ultrasonic testing* dan x-ray radiografi. Dengan adanya ketersediaan peralatan pendukung pengujian di lapangan kemudian dapat dilakukan persiapan metode pengujian terhadap PIN PWR. Persiapan metode dilakukan dengan menggunakan sampel *short fuel PIN PWR* pra iradiasi dan untuk memperkuat metode pada pengujian *ultrasonic testing* digunakan sampel Zr. Sampel Zr digunakan sebagai acuan dalam menentukan *velocity* yang tepat pada saat melakukan pengujian pada PIN PWR menggunakan *ultrasonic testing*. Pada pengujian x-ray radiografi persiapan metode dipersiapkan untuk nantinya mendapatkan citra hasil radiografi yang lebih baik dari material *short fuel PIN PWR* pra iradiasi. Hal ini mencakup dari penentuan nilai *focus object distance* (FOD) yang mewakili pergerakan sumbu-Y sebagai jarak objek ke titik fokus x-ray tube dan nilai parameter x-ray serta adanya bahan pembanding untuk mendapatkan hasil citra yang lebih baik. Hasil akhir adalah tersedianya peralatan dukung pada pengujian *ultrasonic testing* berupa *probe* yang sesuai digunakan pada material *short fuel PIN PWR* hingga menentukan nilai *velocity* yang tepat dengan menggunakan *probe* yang baru. Sementara itu, pengujian x-ray radiografi pada *short fuel PIN PWR* pra iradiasi didapatkan nilai parameter yang tepat.

METODOLOGI

Identifikasi dilakukan untuk mengetahui kebutuhan sampel yang perlu untuk pengujian NDT dengan metode *ultrasonic testing* terhadap sampel material *short fuel PIN PWR*. Identifikasi mencakup studi literatur untuk mengetahui keterkaitan *probe* yang dapat digunakan untuk pengujian *ultrasonic testing* pada material *short fuel PIN PWR*. Material *short fuel PIN PWR* memiliki bentuk berupa silinder dengan ukuran \varnothing 10.75 mm dengan panjang 445 mm dan diameter pellet \varnothing 9.00 mm dan panjang 9.9 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1^[4].



Gambar 1. Material *short fuel PIN PWR* pra iradiasi^[4]

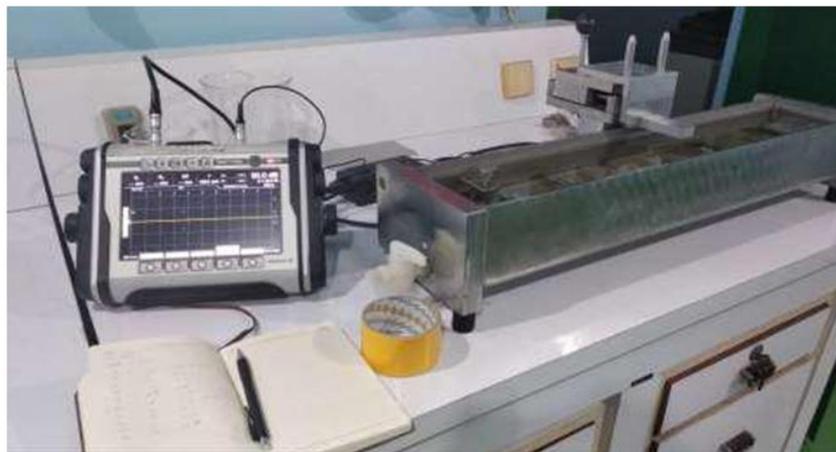
Dengan mengetahui dimensi material *short fuel PIN PWR*, diketahui data-data yang dapat mendukung tersedianya kebutuhan *probe* baru untuk pengujian *ultrasonic testing*. *Probe* baru yang dibutuhkan diidentifikasi kembali sesuai kebutuhan untuk pengujian *ultrasonic*. Dari berbagai aspek yang diperhatikan didapatkan satu jenis *probe* baru yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian *ultrasonic testing* terhadap material *short fuel PIN PWR*.

Probe yang baru kemudian dikalibrasi menggunakan alat *ultrasonic testing* SONOSCAN untuk menentukan nilai *velocity* yang tepat digunakan ketika melakukan pengujian terhadap material PIN PWR. Sampel yang digunakan adalah material Zr dengan dimensi ketebalan 17,97 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Material Zr pejal yang digunakan untuk kalibrasi *probe ultrasonic*

Sampel Zr dipilih karena sebagai pembanding terhadap material *short fuel PIN PWR* itu sendiri yang mana kelongsong *short fuel PIN PWR* terbuat dari material Zr. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan alat *ultrasonic SONOSCAN*, *probe* baru, dan bak UT yang ada di laboratorium NDT R.212 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

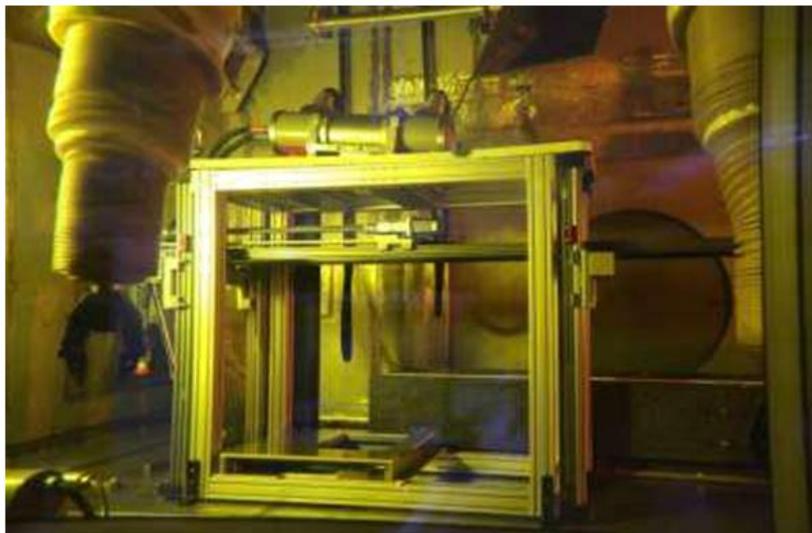


Gambar 3. Alat UT SONOSCAN dan bak UT di laboratorium NDT di R.212

Sampel Zr diletakkan di dalam bak UT yang telah diisi air kemudian *probe* dipasangkan dengan kabel konektor yang terhubung dengan alat UT SONOSCAN. Alat UT SONOSCAN diatur terlebih dahulu pada *setting calibration manually*, karena nilai ketebalan sampel Zr telah diketahui maka untuk mendapatkan *velocity* yang tepat yaitu dengan menginput nilai *velocity* untuk kemudian diamati hasil sinyal luaran dari sampel Zr. Pengujian dilakukan dengan cara immersion dimana sampel berada di dalam air dengan *probe* diletakkan tegak lurus terhadap sampel Zr dengan jarak 25 mm. Sinyal luaran diamati hingga terlihat sinyal BE₁ dan BE₂ yang kemudian *gate* diletakkan pada kedua sinyal BE untuk mengetahui nilai ΔS . Nilai ΔS inilah yang merupakan perwujudan dari nilai ketebalan sampel, Bila nilai ΔS sudah menunjukkan angka yang mendekati dengan nilai ketebalan material pada suatu nilai *velocity*, maka dapat disimpulkan bahwa itu merupakan

nilai *velocity* yang tepat untuk digunakan sebagai acuan selama melakukan pengujian *ultrasonic testing* terhadap material berbahan dasar Zr.

Tahap persiapan pengujian x-ray radiografi terhadap sampel material *short fuel PIN PWR* dilakukan dengan meletakkan sampel *short fuel PIN PWR* padaudukan mesin x-ray radiografi yang ada di dalam *hot cell* 103 ditunjukkan pada Gambar 4. Pengamatan hasil citra *short fuel PIN PWR* dapat dilihat pada layar monitor PC control. Disini dilakukan pengamatan pengaruh jarak FOD (*focus object distance*) yang merupakan jarak objek dari detektor dan variable *voltage* dan *current* dari x-ray tube. Hasil citra dari beberapa variable *voltage*, arus, dan FOD kemudian dibandingkan untuk menentukan nilai parameter yang menghasilkan citra hasil x-ray radiografi pada sampel *short fuel PIN PWR* yang baik. Nilai FOD dilakukan pada ketinggian 36 cm, 58 cm, 60 cm, dan 70 cm diukur dari detektor x-ray radiografi, kemudian dilakukan *scanning* pada tiap-tiap FOD dengan memberikan variable parameter x-ray radiografi yang berbeda-beda.



Gambar 4. Alat x-ray radiografi yang berada di dalam *hot cell* 103

Untuk mendapatkan hasil citra yang lebih baik lagi terhadap material ditambahkan material pembanding di samping PIN PWR dengan menambahkan adanya kelongsong kosong dan diisi dengan potongan material AlMg2 pejal. AlMg2 pejal dibubut hingga diameter 9,27 mm dan dipotong hingga berukuran panjang 1 cm, kemudian dimasukkan ke dalam kelongsong PIN dengan *space* 1 cm tiap AlMg2 dan total AlMg2 sebanyak 9 buah pada Gambar 5. Kelongsong AlMg2 pejal selanjutnya dikeluarkan dan digantikan dengan mengisikan Zr pejal dengan panjang 5 cm seperti pada Gambar 6 yang sebelumnya dilakukan pembubutan untuk memperkecil diameter dari 12 mm menjadi 9.27 mm ke dalam kelongsong PIN diletakkan sekiranya berada di tengah kelongsong PIN. Hasil citra yang

tergambar dengan adanya penambahan kedua material tersebut dianalisis untuk mendapatkan material pembanding yang tepat dalam mendapatkan hasil citra yang baik. Hasil citra yang tertampil selanjutnya dilakukan ROI (*Region of Interest*), perlakuan ini dimaksudkan untuk menyamakan nilai densitas abu yang tertampil menjadi bernilai sama dengan nilai densitas abu sesuai dengan daerah yang dirujuk. Perujukan ROI dilakukan di daerah Zr pejal dan kelongsong kosong agar mendapatkan hasil citra yang dapat membedakan antara kelongsong dan pelet *short fuel pin* PWR. Maka dari itu adanya material pembanding sangat diperlukan pada pengujian x-ray radiografi sebagai rujukan ROI.



Gambar 5. Material AlMg2



Gambar 6. Material Zr pejal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dilakukan untuk mengetahui *probe ultrasonic testing* yang tepat digunakan untuk material *short fuel PIN PWR*. Material *short fuel PIN PWR* yang merupakan versi mini dari bahan bakar PIN reaktor nuklir tipe PWR memiliki bentuk berupa silinder (rod) dengan kelongsong terbuat dari paduan zirkonium yang didalamnya berisi 32 pelet uranium (UO_2)^[4]. Untuk mengetahui jenis *probe ultrasonic* yang tepat digunakan pada material PIN PWR dimana memiliki bentuk berupa silinder dengan diameter 10.75 mm dan pellet UO_2 diameter 9.27 mm. *Probe* pengujian *ultrasonic* yang ada sekarang merupakan *probe* untuk pengujian pada material plat atau material apapun yang memiliki permukaan datar, sedangkan PIN PWR memiliki permukaan berupa silinder maka tidak memungkinkan digunakan *probe ultrasonic* yang telah ada. Spesifikasi lain yang diperlukan yaitu dengan mempertimbangkan aspek radiasi dimana bahan bakar PIN PWR nantinya tidak hanya diuji ketika keadaan pra iradiasi tetapi juga pada keadaan pasca iradiasi di dalam *hot cell* maka diperlukan *probe ultrasonic* yang tahan terhadap paparan radiasi. Teknik pengujian yang digunakan yaitu

teknik *water immersion* yang merupakan salah satu teknik pengujian pada UT, dimana benda uji dan *probe* dimasukkan ke dalam air pada saat pengujian^[5]. Pemilihan teknik ini karena PIN PWR pasca iradiasi memiliki tingkat paparan tinggi, sehingga *probe* tidak boleh kontak langsung dengan benda uji. Dari kriteria-kriteria ini maka *probe ultrasonic* yang digunakan untuk pengujian terhadap material PIN PWR dapat diketahui dilihat pada aspek-aspek seperti yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. kriteria pemilihan spesifikasi *probe ultrasonic* untuk PIN PWR

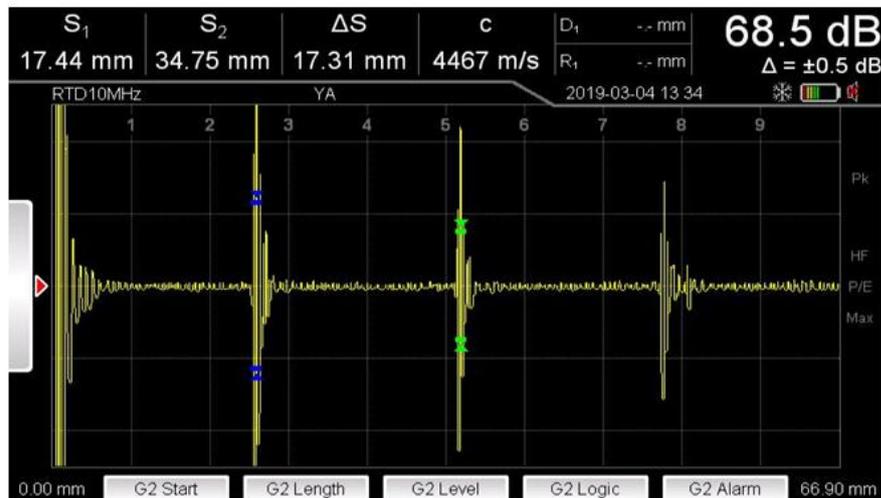
Kriteria	Kondisi
Dimensi	Silinder $\varnothing 10.75$ mm
Paparan Radiasi	Tinggi pada keadaan pasca iradiasi
Teknik Pengujian	Water Immersion

Dari beberapa aspek yang diperhitungkan maka dipilihlah *probe* berjenis RTD 18-974 immersion $\varnothing 10$ mm dengan frekuensi 10 MHz memiliki *focus* hingga 1 mm. *Probe* RTD dipilih karena memiliki ketahanan terhadap radiasi hingga 10^8 Rad sehingga aman digunakan ketika melakukan pengujian terhadap sampel pasca iradiasi. Dengan memiliki nilai *focus* hingga 1 mm diharapkan dapat menguji dengan baik keseluruhan permukaan PIN PWR karena dapat melihat kondisi pada tiap 1 mm di permukaan material uji. *Probe* RTD 18-974 yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Probe* RTD 18-974 untuk pengujian *ultrasonic* terhadap PIN PWR

Kemudian dilakukan kalibrasi terhadap *probe* dengan menggunakan sampel Zr pejal yang memiliki ketebalan 17.97 mm. Pengamatan dilakukan di laboratorium NDT R.212 dengan peralatan *ultrasonic testing* seperti pada Gambar 2, hasil pengamatan diamatai dari alat UT SONOSCAN tertampil seperti pada Gambar 8.



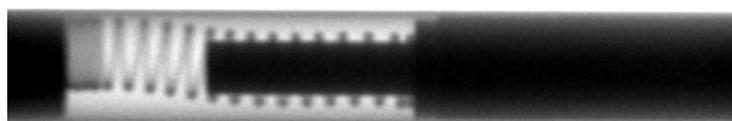
Gambar 8. Sinyal output hasil kalibrasi *probe* RTD 18-974 pada material Zr pejal

Tahap kalibrasi dilakukan untuk menentukan *velocity* yang tepat digunakan ketika melakukan pengujian terhadap sampel PIN PWR. Material Zr pejal dipilih sebagai wakil terhadap kelongsong PIN PWR yang terbuat dari Zirconium, maka dari itu dipilih material Zr pejal. Dipilihnya Zr pejal juga untuk memudahkan dalam mencari *velocity* Zr dimana nantinya perbedaan sinyal (ΔS) dari BE₁ dan BE₂ dapat teramati. Perbedaan sinyal menginterpretasikan sebagai ketebalan material Zr. Dari Gambar 8 dapat teramati adanya 4 sinyal, sinyal pertama menandakan sebagai IP yang merupakan initial pulse yaitu pulsa awal yang keluar dari *probe* menuju ke material melewati air. Sinyal kedua merupakan sinyal BE₁ (*Backwall Echo* 1) merupakan sinyal *ultrasonic* yang melewati bagian atas permukaan sampai ke bawah material yang kemudian akan dipantulkan kembali dari permukaan bawah material dan akan ditangkap oleh *probe* yang disebut sinyal BE₂ (*Backwall Echo* 2) dipetakan dengan sinyal ketiga, untuk sinyal berikutnya memiliki alur yang sama. *Gate* 1 dan *gate* 2 (garis warna biru dan hijau pada Gambar 8) diletakkan pada sinyal BE₁ dan BE₂, garis *gate* menunjukkan posisi sinyal yang dapat diamati dari nilai S1 dan S2 sehingga nilai ΔS dapat teramati. Pada kalibrasi ini didapatkan nilai ΔS 17.31 mm dengan *velocity* 4467 m/s, dari kedua nilai ini didapatkan analisa bahwa nilai *velocity* yang digunakan ketika melakukan pengujian *ultrasonic testing* terhadap material yang terbuat dari Zr digunakan nilai *velocity* 4467 m/s. Adanya perbedaan ketebalan dari hasil pengujian *ultrasonic testing* dengan nilai ketebalan asli dari material dikarenakan belum dilakukan pengujian lanjutan, tetapi dapat dipastikan bahwasanya untuk pengujian terhadap material Zr menggunakan *velocity* mulai dari 4467 m/s.

Pada pengujian NDT dengan metode *ultrasonic testing* masih dilakukan pada tahap awal yaitu untuk menentukan nilai-nilai parameter uji untuk mendapatkan citra yang mudah diamati. Hasil kegiatan uji x-ray radiografi dirangkum dalam Tabel 2 dan hasil citra pada Tabel 3, serta divisualisasikan dalam Gambar 9 hingga 17.

Tabel 2. hasil kegiatan uji x-ray radiografi terhadap PIN PWR

No	Kegiatan	Parameter utama	Hasil kegiatan
1	Pengujian terhadap sampel <i>short fuel</i> PIN PWR Pra iradiasi dengan variasi sumbu Y sebagai pencarian acuan parameter operasi.	Pin PWR dg sumbu Y = 70 cm. keV : 150 kV Current : 1900 μ A Integration time : 300 ms Focus : 0 (0.4 mm) Keadaan ROI	Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong <i>short fuel</i> PIN PWR dengan penyangga berupa pegas yang dipasang pada sisi ujung bawah seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Visualisasi dari material *short fuel* pin PWR pasca iradiasi

2	Pendalaman pengujian terhadap sampel <i>short feul</i> PIN PWR pra iradiasi terkait pengoptimalan citra hasil radiografi	Pin PWR dg sumbu Y = 60 cm. keV : 250 kV Current : 2000 μ A Integration time : 200 ms Focus : 1 (1 mm) Keadaan ROI	Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong <i>short fuel</i> PIN PWR pada posisi atas dalam keadaan ROI seperti pada Gambar 10
---	--	---	---



Gambar 10. Hasil citra *short fuel* pin PWR bagian atas dalam keadaan ROI

3		Pin PWR dg sumbu Y = 60 cm. keV : 250 kV Current : 2000 μ A Integration time : 260 ms Focus : 1 (1 mm) Keadaan ROI	Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong <i>short fuel</i> PIN PWR pada posisi atas dalam keadaan ROI focus pada pellet ke-3 pada Gambar 11 dan ke-6 pada Gambar 12 dihitung dari atas.
---	--	---	--



Gambar 11. Hasil citra bagian atas fokus pada pelet ke-3



Gambar 12. Hasil citra bagian atas fokus pada pelet ke-6

- 4 Pin PWR dg sumbu Y = 58 cm. Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong *short fuel* PIN PWR dengan penyangga berupa pegas yang dipasang pada sisi ujung bawah seperti pada Gambar 13, hasil citra sebagai pembandingan dengan saat tinggi dudukan 70 dan 60 cm
- keV : 250 kV
Current : 2000 μ A
Integration time : 260 ms
Focus : 1 (1 mm)
Keadaan ROI



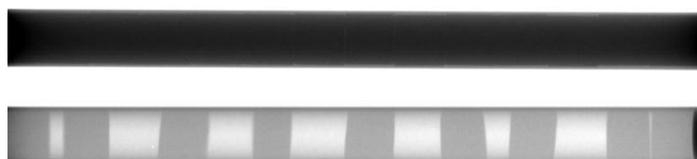
Gambar 13. Hasil citra *short fuel* pin PWR pada sumbu-Y 58 cm dalam keadaan ROI

- 5 Memasukkan sampel kelongsong *short fuel* PIN PWR dan diletakkan berdampingan dengan *short fuel* PIN PWR yang berisi pellet sebagai pembandingan dalam penentuan ROI untuk mendapatkan citra pellet dan kelongsong lebih baik
- Pin PWR dg sumbu Y = 58 cm.**
keV : 250 kV
Current : 500 μ A
Integration time : 260 ms
Focus : 1 (1 mm)
Keadaan ROI
- Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong *short fuel* PIN PWR pada posisi atas dalam keadaan ROI ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil citra *short fuel* pin PWR pada sumbu-Y 58 cm ditambah pembandingan

- 6 Memasukkan potongan sampel AIMg pejal dengan dimensi panjang 10 mm ke dalam kelongsong *short fuel* PIN PWR untuk penentuan ROI agar mendapatkan citra lebih baik
- Pin PWR dg sumbu Y = 36 cm.
keV : 250 kV
Current : 500 μ A
Integration time : 260 ms
Focus : 1 (1 mm)
Keadaan ROI
- Didapatkan visualisasi bentuk pellet didalam kelongsong *short fuel* PIN PWR pada posisi tengah dalam keadaan ROI dengan pemilihan area ROI menggunakan AIMg pejal dan kelongsong *short fuel* PIN PWR ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil citra *short fuel* pin PWR pada sumbu-Y 36 cm dengan material pembandingan AIMg pejal di dalam kelongsong *short fuel* pin PWR

- 7 Memasukkan potongan sampel Zr pejal dengan dimensi
- Pin PWR dg sumbu Y = 36 cm.
- Hasil citra lebih baik ketika dilakukan ROI dengan area

panjang 50 mm ke dalam kelongsong *short fuel* PIN PWR untuk penentuan ROI agar mendapatkan citra yang lebih baik

keV : 200 kV
 Current : 1000 μ A
 Integration time : 300 ms
 Focus : 1 (1 mm)
 Keadaan ROI

menggunakan Zr pejal dan kelongsong *short fuel* PIN PWR

Didapatkan hasil citra pada bagian tengah ditunjukkan Gambar 16 dan bagian atas ditunjukkan Gambar 17. Kondisi ini dijadikan acuan dalam melakukan uji x-ray radiografi terhadap *short fuel* pin PWR



Gambar 16. Hasil citra *short fuel* pin PWR pada sumbu-Y 36 cm dengan pembanding Zr pejal di bagian tengah



Gambar 17. Hasil citra *short fuel* pin PWR pada sumbu-Y 36 cm dengan pembanding Zr pejal di bagian atas

Hasil citra yang didapatkan belum sempurna, hal ini dikarenakan masih perlunya studi lanjutan terkait dengan hasil citra material *short fuel* PIN PWR untuk pengujian x-ray radiografi itu sendiri. Dari beberapa gambar dapat diketahui hasil gambar yang masih belum sempurna meskipun telah ditambahkan material penunjang sebagai material bantu dalam menentukan daerah ROI. Fungsi ROI sendiri digunakan untuk membuat tampilan citra memiliki nilai densitas yang sama sesuai dengan luas daerah yang dilakukan ROI. Ketika hasil citra tidak menggunakan fitur ROI maka yang terjadi seluruh citra yang tercetak hanya berwarna hitam keseluruhan seperti yang ditampilkan pada Gambar 18.

pelet-pelet di dalam kelongsong Zr dapat dilihat. Penentuan ROI juga tidak dapat dilakukan secara sembarangan, dimana dapat dilihat pada Tabel 3 beberapa citra yang terjadi ketika menggunakan beberapa jenis material pembanding. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwasanya ROI yang dilakukan hanya dapat berefek besar pada saat menggunakan material pembanding adanya Zr pejal di dalam kelongsong PIN. Dimensi ROI yang harus dilakukan juga tidak sembarangan, dimana pemilihan ROI harus mengenai Zr pejal dan ruang kosong kelongsong. Setelah ROI dipilih maka parameter x-ray berada pada nilai 200 kV dengan arus sebesar 1000 μ A, tetapi perlu diingat bahwasanya untuk menjaga nilai saturasi tetap $\leq 70\%$ untuk menjaga detektor dan tidak menunjukkan warna merah pada saturasi. Saat ROI dilepaskan sebelumnya nilai energi dan arus harus diturunkan agar nilai saturasi tidak melebihi batas.

KESIMPULAN

Probe ultrasonic testing untuk pengujian terhadap material PIN PWR telah tersedia dan terkalibrasi yang memungkinkan dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap material PIN PWR. *Velocity* yang tepat digunakan untuk menguji material PIN PWR pada nilai 4467 m/s. Untuk pengujian x-ray radiografi dalam mendapatkan citra yang lebih baik digunakan material pembanding berupa kelongsong pejal yang berisi Zr pejal dan dalam keadaan ROI. ROI dipilih pada material Zr pejal dan ruang kosong kelongsong, dimana dalam keadaan ROI parameter x-ray pada kondisi *voltage* 200 kV dan arus 1000 μ A. Nilai parameter x-ray ini hanya digunakan ketika citra dalam keadaan ROI untuk menjaga nilai saturasi $\leq 70\%$.

DAFTAR PUSTAKA

1. M.K.Ajriyanto, A.S. Dwi P. Junaedi. "Pembakuan Metode Uji Metalografi PEB U_3Si_2 -Al Pasca Iradiasi." *Hasil-Hasil Penelitian EBN*. 2017
2. A. Alghem, M. Kadouma, R. Benaddad. "NDT as a tool, for Post Irradiation Examination." *The 17th World Conference on Nondestructive Testing*, Shanghai, China, 25-28 Oct, 2008, pp.1-5
3. Y. Nampira, S. Ismarwanti. "Uji Tidak Merusak Bahan Bakar U_3Si_2 -Al Tingkat Muat Uranium 4,8 g/cm³ Pasca Iradiasi Fraksi Bakar 20% dan 40%." *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*. Vol 10 no 2. 2014.
4. T. Yulianto. "Daur Bahan Bakar Nuklir-Diktat Teknologi Bahan Bakar dan Elemen Bakar Reaktor Riset." PUSDIKLAT BATAN. 2018

5. M. Fauzi, dkk. "Analisis Cacat Blister pada Kelongsong Bahan Bakar U_3Si_2/Al Menggunakan *Ultrasonic Test*." *Jurnal Urania*. Vol 23 no 3 hal 139-204. 2017
6. F. Grunauer. "*Design, Optimization, and Implementation of the New Neutron Radiography*"
7. Facility at FRM-II. Dr. Rer. Nat. dissertation. Faculty of Physics, Technischen Universitat Munchen. 2005.