

## RENCANA PENGGUNAAN RADIOGRAFI SINAR-X UNTUK UJI PASCA IRADIASI DI INSTALASI RADIOMETALURGI

Antonio Gogo, Helmi, Sungkono  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Telah ditentukan spesifikasi dari sistem radiografi sinar-x yang akan digunakan di fasilitas uji pasca iradiasi IRM pada tahun 2018. Dengan mempelajari spesifikasi pada dokumen penawaran serta dokumen yang berisi spesifikasi yang diinginkan, beberapa ulasan disajikan pada tulisan ini. Kebutuhan sistem radiografi sinar-x pada fasilitas uji pasca iradiasi seperti di IRM, merupakan hal yang mendesak, guna meningkatkan kemampuan IRM. Dengan panjang meja objek uji 1000 mm dan ukuran detektor 24,9 x 30,2 cm, maka objek uji berupa *short pin PWR* (460 mm) dan pelat bahan bakar (629 mm) dapat diakomodasi dengan satu kali pemindaian. Resolusi detektor 139  $\mu\text{m}$  (1,092 x 2,176 pixels) cukup memadai untuk hasil radiograf yang tajam. Generator sinar-x maksimum 320 Kv lebih besar dari sinar-x yang dapat dibangkitkan dari bahan bakar (123,1 keV). Variasi voltase sinar-x serta kecepatan pemindaian memungkinkan untuk mencari parameter operasi yang tepat.

Kata kunci: radiografi sinar-x, uji pasca iradiasi, IRM

### PENDAHULUAN

Dasar filosofi keselamatan dari desain bahan bakar nuklir adalah mempertahankan produk fisi tetap ditempatnya, baik pada kondisi operasi normal, selama kondisi kecelakaan, dan selama kondisi penyimpanan jangka panjang <sup>[1]</sup>. Dari titik pandangan ini, kriteria dasar dari desain bahan bakar adalah untuk meminimalkan fraksi kegagalan *cladding* bahan bakar yang dipabrikasi dan mencegah kegagalan lain yang signifikan dari bahan bakar selama digunakan untuk operasi reaktor <sup>[2]</sup>. Pengujian pelat elemen bakar merupakan suatu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, sebab mayoritas fenomena ketahanan elemen bakar tergantung antara bahan bakar dan *cladding*. Uji tidak merusak (NDT) merupakan uji awal dari rangkaian uji pasca iradiasi. Data hasil NDT merupakan pendekatan awal untuk fokus pada lokasi pengamatan adanya degradasi elemen bakar pasca iradiasi. Data dan informasi penting yang dikumpulkan terutama pada penurunan unjuk kerja *cladding*, merupakan data hasil pemeriksaan dari elemen bakar yang terkait dengan unjuk kerja keselamatan.

Instalasi Radiometalurgi (IRM) merupakan fasilitas penunjang penelitian dan pengembangan dalam hal uji pasca iradiasi elemen bakar nuklir di dalam Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS). Kegiatan uji pasca iradiasi yang dilakukan di IRM diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan unjuk kerja bahan bakar yang telah digunakan (teriradiasi) di dalam reaktor nuklir. Hasil penelitian dan pengembangan dari kegiatan uji pasca iradiasi dapat digunakan oleh desainer bahan bakar, fabrikator dan

operator reaktor dalam rangka perbaikan dan peningkatan desain bahan bakar dari segi keselamatan dan ekonomi.

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam analisis kerusakan bahan bakar nuklir pasca iradiasi, diantaranya metode uji tak merusak dan uji merusak. Dalam penelitian bahan bakar nuklir, metoda uji tak merusak seperti spektrometer gamma, radiografi sinar-x, dan tomografi gamma dan sinar-x dapat digunakan untuk mempelajari konsentrasi nuklida dan integritas serta deformasi dari bahan bakar nuklir. Sistem radiografi sinar-x dapat digunakan untuk mengamati deformasi dan defek pada bahan bakar nuklir pasca iradiasi dari RSG-GAS dan alat tersebut akan dipasang di *hot cell* 103 IRM, PTBBN-BATAN. Sejak komisioning *hot cell* di tahun 1990 belum terdapat sistem radiografi sinar-x di dalam *hot cell* secara lengkap dan komprehensif sehingga diperlukan sistem baru dengan mengikuti perkembangan teknologi digital pada radiografi sinar-x yang sudah banyak diterapkan pada dunia industri dan juga fasilitas uji pasca iradiasi (*hot cell*) di instalasi nuklir negara maju.

Pengamatan dan pengujian pasca iradiasi untuk bahan bakar nuklir dengan tingkat *burn-up* tinggi dan tingkat muat uranium yang lebih tinggi serta dengan ukuran spesimen tertentu seperti *short pin PWR* dan pelat elemen bakar (629 mm), direncanakan akan dilakukan di Instalasi Radiometalurgi (IRM), sekaligus merupakan kegiatan revitalisasi peralatan uji pasca iradiasi, termasuk radiografi sinar-x. Pemilihan teknik radiografi sinar-x yang tepat dan sesuai dengan kebutuhan, perlu mencermati perkembangan teknologi radiografi sinar-x serta kesesuaian dalam penerapannya di *hot cell* 103 IRM. Tetapi hal ini juga tidak terlepas dari ketersediaan anggaran yang ada dan tentu saja radiografi sinar-x 2D lebih murah dari radiografi sinar-x 3 D. Hasil kajian sebelumnya memang disarankan 3 *D X-ray Computerized Tomography (CT)* yang menggunakan *Line Detector Array (LDA)*<sup>[3]</sup>. Dengan pertimbangan anggaran yang terbatas dan secara teknis radiografi sinar-x yang dipilih sudah cukup memadai untuk digunakan dalam proses uji tak merusak dari bahan bakar berupa *short pin PWR* atau pelat bahan bakar RSG-GAS.

Dengan telah ditetapkan spesifikasi utama dari radiografi sistem sinar-x maka proses pengadaannya sudah dapat dilakukan. Penggunaan radiografi sinar-x di fasilitas uji pasca iradiasi IRM diharapkan dapat digunakan (tahun 2018) untuk meningkatkan kapabilitas uji pasca iradiasi dari IRM. Dengan radiografi sinar-x juga diharapkan untuk penambahan data NDT dari bahan bakar TMU 4,8 gU/cm<sup>3</sup> yang dari kegiatan sebelumnya sudah diperoleh data distribusi spektrum gamma, ketebalan dan visual. Kemudian diharapkan dapat dilanjutkan dengan perolehan data dari *Ultrasonic Testing*. Dengan data NDT yang cukup lengkap tersebut, maka dapat dilanjutkan ke proses uji destruktif seperti metalografi dan analisis *burn-up*.

Pada tulisan ini, spesifikasi umum dari sistem radiografi sinar-x yang akan digunakan dijelaskan, termasuk rencana instalasi dan penggunaan. Diharapkan proses instalasinya oleh pihak ketiga dibantu oleh pihak fasilitas, dapat berjalan dengan lancar dan alat dapat digunakan.

### **Tantangan**

Radiografi sinar-x lazim digunakan terhadap bahan bakar nuklir pasca iradiasi yang merupakan salah satu metoda untuk mengetahui unjuk kerja bahan bakar nuklir tersebut. Tingkat kesulitan yang dihadapi bila dibandingkan dengan penggunaan radiografi sinar-x pada umumnya yaitu, radiografi sinar-x terhadap objek berupa bahan bakar nuklir pasca iradiasi tersebut memancarkan radiasi gamma dan juga sinar-x. Besaran energi sinar-x dari bahan bakar nuklir mencapai 123,1 keV<sup>[3]</sup>. Dengan demikian maka dimensi atau tebal dari bahan bakar nuklir pasca iradiasi tidak menentukan spesifikasi utama generator sinar-x yang dibutuhkan, seperti pada penggunaan radiografi sinar-x untuk objek non iradiasi, tetapi besar energi sinar-x lebih ditentukan oleh energi sinar-x yang dipancarkan dari objek uji berupa bahan bakar nuklir teriradiasi.

Tantangan lainnya menggunakan radiografi sinar-x terhadap objek berupa material radioaktif, maka setiap titik dari penangkap citranya menerima *fogging gamma radiation* dari keseluruhan paparan radiasi dari setiap bagian dari objek tersebut. Efek dari *fogging radiation* dapat dikurangi dengan menempatkan sebuah *deep lead slit* diantara objek dan penangkap citra<sup>3]</sup>.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Telah ditentukan spesifikasi utama dari sistem radiografi sinar-x yang akan digunakan di fasilitas *hot cell* IRM, dengan objek uji berupa bahan bakar berupa *short pin PWR* (panjang 46 cm) atau pelat bahan bakar RSG-GAS.

#### **Generator sinar-x<sup>[4]</sup>**

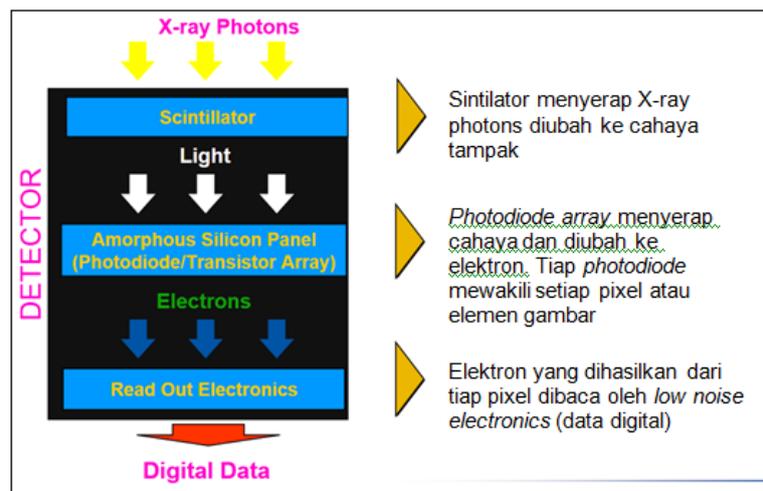
Generator sinar-x menggunakan Minifocus X-ray system HPX-320-11, dengan voltase maksimum sebesar 320 kV, power maksimum, 700 W/1500 W dan *Focal spot* (EN 12543) 0,4 mm / 1,0 mm. Kelengkapan lain terdiri dari generator 160 kV, kabel 160 kV sepanjang 10 m, berpendingin oli atau udara.

#### **Detektor<sup>[4]</sup>**

Detektor yang digunakan yaitu detektor resolusi tinggi berupa sintillator DRZ. Sintillator adalah bahan yang mengubah sinar radiasi seperti sinar-x ke cahaya tampak

(Gambar 1). Dengan menggunakan detektor cahaya seperti TFT (*Thin Film Transistor*), CCD (*Charge Couple Device*), sensor CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), gambar dapat diubah secara efisien menjadi gambar digital. Saat ini, seri DRZ adalah salah satu produk sintilator yang paling banyak digunakan di dunia, mulai dari aplikasi medis seperti radiografi dan terapi radiasi untuk aplikasi industri seperti inspeksi struktural dan inspeksi bagasi (<https://www.m-chemical.co.jp/en>). Seri DRZ digunakan dapat berupa FPD (*Flat Panel Detector*) yang terintegrasi dengan sistem komputer. Deskripsi dari spesifikasi detektor yaitu sebagai berikut:

- area aktif : 24,9 X 30,2 Cm<sup>2</sup>
- resolusi : 139 µm; 1,092 x 2,176 pixels
- A/D konverter : 16 bit
- lingkup energi : 40-320 Kv
- scintilator : DRZ
- *frame rate* : 9 fps (1X1); 30 fps (2x2)



Gambar 1: Skema detektor sintilator

### Instalasi

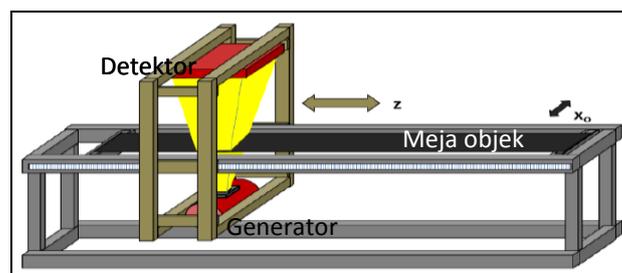
Pendinginan generator sinar-x dapat menggunakan oli atau udara. Apabila berpendingin oli, maka sistem pendingin berada di *service area* menggunakan pipa penyalur oli ke generator yang berada di dalam *hot cell* 103. Jalur pipa dapat memanfaatkan jalur pipa air pendingin generator sinar-x yang lama. Apabila berpendingin udara, maka tidak perlu sistem pendingin di *service area*, tetapi agar diperhatikan dampaknya ke sistem ventilasi udara *hot cell*.

Kabel data dari detektor dapat menggunakan *plug* kabel UT (*Ultrasonic Test*) di 103 atau membuat *plug* baru, tergantung peletakan posisi sistem sinar-x baru di *hot cell* 103

(6,1 x 2,3 m). Apabila peletakan sistem radiografi sinar-x di posisi jendela kiri atau posisi semula, maka alternatif lain dapat juga *plug* kabel UT dipindah dari jendela kanan ke jendela kiri dari *hot cell* 103, akan tetapi hal ini menyebabkan posisi kabel menghalangi operasionalitas *hot cell* 103. Alternatif lain juga dapat memanfaatkan jalur kabel data yang lama yang mengelilingi *hot cell* 103 dari depan *hot cell* terus ke belakang *hot cell* kemudian menggunakan *plug* kabel dinding *hot cell* ke dalam *hot cell*, akan tetapi agar diperhatikan kabel data terlindungi dari pengaruh kabel catu daya di jalur yang sama. *Plug* kabel pada dinding *hot cell* kemungkinan tidak perlu diganti, tetapi kemungkinan hanya konektor kabelnya saja yang diganti, disesuaikan dengan konektor kabel yang baru. Kabel catu daya (10 m) untuk generator sinar-x dapat menggunakan jalur kabel generator sinar-x yang lama di *hot cell* 103. Perangkat pengendali dan komputer (28" TFT monitor dan CPU) berikut alat dukungnya seperti UPS, dapat ditempatkan di *operating area* dekat jendela kiri *hot cell* 103. Setelah proses instalasi dan komisioning, kelengkapan dokumen termasuk manual alat (operasi dan perawatan) dan komisioning serta peralatan pendukung yang diperlukan harus tersedia. Pelatihan operasi dan perawatan yang memadai diwajibkan untuk beberapa staf fasilitas.

### Mekanisme gerak<sup>[4]</sup>

Objek diletakan di atas meja dan tidak perlu dikunci posisinya, sistem pengambilan gambar, (generator sinar-x di bawah dan detektor di atas, bergerak sepanjang objek (z) untuk menghasilkan radiograf digital. Meja objek juga dapat bergerak ke samping untuk memaksimalkan posisi pemindaian ( $X_0$ ). Beban maksimum 25 kg,  $X_0 \pm 50$  mm, z sepanjang 1000 mm yang digerakkan dengan motor. Dengan panjang ke arah sumbu z sampai dengan 1000 mm (Gambar 2), maka dimensi panjang dari *short pin PWR* (460 mm) dan pelat bahan bakar (630 mm) dapat diakomodasi. Mekanisme gerak ini didesain untuk menangani sumber sinar-x sampai dengan 320 kV. Variasi kecepatan pergerakan arah z dan variasi voltase generator sinar-x, dapat digunakan untuk menentukan parameter operasi yang tepat untuk setiap jenis objek uji.



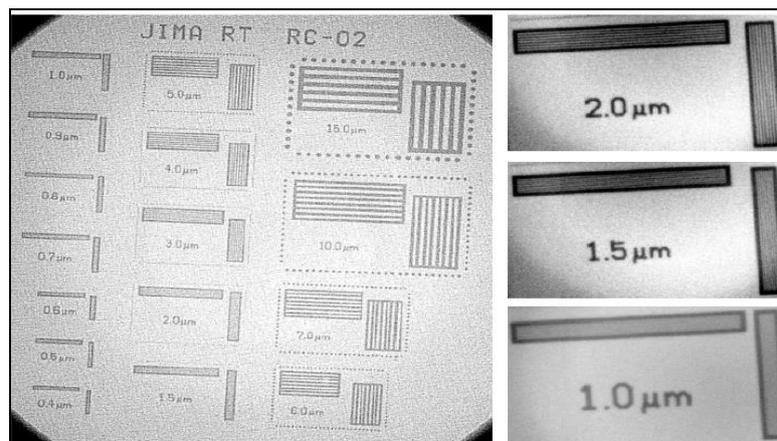
Gambar 2: Mekanisme gerak sistem X-ray<sup>[4]</sup>

Objek lain seperti kernel partikel berlapis (*coated fuel particles*) TRISO dengan diameter sekitar 1 mm perlu dipertimbangkan untuk dapat diamati dengan spesifikasi alat yang sama. Contoh sistem radiografi sinar-x yang sudah digunakan untuk kernel partikel berlapis (*coated fuel particle*) TRISO yaitu dengan 160 kV dan resolusi detektor, yaitu ukuran pixel 127  $\mu\text{m}$  dan jumlah pixels 1004 x 1004 pixels <sup>[5]</sup>. Spesifikasi ini tidak terlalu berbeda dengan yang akan digunakan di IRM (139  $\mu\text{m}$ ; 1,092 x 2,176 pixels).

### Uji unjuk kerja

Inspeksi dari sistem radiografi sinar-x, resolusi dapat diukur dengan menggunakan sampel standar tertentu yang dipilih dan sudah umum digunakan. Detektor yang digunakan dengan resolusi 139  $\mu\text{m}$  dan 1092 x 2176 pixels.

Contoh sampel standard berikut ini menggunakan *panel 1313 high speed* dengan jumlah pixel 1004x1004 pixels dan ukuran pixel 127  $\mu\text{m}$  (Gambar 3) dapat mengkonfirmasi ukuran 15 mikro sampai dengan 0,4 mikro. Pada contoh tersebut sebuah sistem radiografi sinar-x, resolusinya dapat dikonfirmasi sampai 1,0  $\mu\text{m}$  <sup>[3]</sup>.



Gambar 3: Hasil pengukuran resolusi dari X-ray 160 kV <sup>[5]</sup>

### KESIMPULAN

Spesifikasi utama sistem X-ray radiografi yang dipilih memadai untuk objek berupa pelat bahan bakar dan *short pin PWR*. Objek berupa partikel triso (*pebble bed*) perlu modifikasi terkait *handling* dan peletakan pada meja objek serta perlu uji coba terkait parameter operasi yang tentu sangat berbeda dengan pelat bahan bakar dan *short pin PWR*. Resolusi detektor 139  $\mu\text{m}$  (1,092 x 2,176 pixels) cukup memadai untuk hasil radiograf yang tajam. Variasi kecepatan pergerakan arah z dan variasi voltase generator

sinar-x (maksimum 320 kV), dapat digunakan untuk menentukan parameter operasi yang tepat untuk setiap jenis objek uji.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. IAEA TECDOC-978, Fuel Performance and Fission Product Behavior in Gas Cooled Reactors, International Atomic Energy Agency, November 1997.
2. Kazuhiro SAWA et.al., R&D Status and Requirements for PIE in the Fields of the HTGR Fuel and the Innovative Basic Research on HIGH-Temperature Engineering, JAERI-Conf 99-0, JP9950653.
3. Antonio Gogo, Kajian Penerapan Radiografi X-ray di Hot Cell 103 IRM, Prosiding Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2016. ISSN 0854-5561.
4. Anonim, Dokumen Lelang, Pengadaan Sistem X-ray Radiography Hot Cell Instalasi Radiometalurgi PTBBN-BATAN, 2017.
5. Young-jun Kim et al, Development of X-ray system for irradiated fuel in hot cell, Hot Lab conference 2016.