

SIMULASI PENENTUAN *PELLET TO PELLET* MENGUNAKAN RADIOGRAFI NEUTRON

Arlinah Kusnowo
Pusat Reaktor Serba Guna

ABSTRAK

SIMULASI PENENTUAN *PELLET TO PELLET GAP* MENGGUNAKAN RADIOGRAFI NEUTRON. Kerusakan pada elemen bakar reaktor dapat dideteksi dengan menggunakan radiografi neutron. Jika elemen bakar telah digunakan di dalam reaktor untuk operasi rutin ada kemungkinan terjadi cacat. Cacat dapat terjadi pada ruangan antara pelet dan kelongsong maupun kelongsongnya sendiri. Telah dilakukan percobaan untuk persiapan ke arah analisis cacat pada elemen bakar reaktor. Untuk itu dilakukan simulasi menggunakan susunan pelet dan lempeng aluminium setebal 0,1; 0,2; 0,3, dan 0,4 mm. Hasil yang diperoleh dari proses radiografi neutron dengan daya 700 kW menunjukkan bahwa simulasi ini cukup baik untuk meniru keadaan yang mungkin terjadi pada iradiasi elemen bakar yang sesungguhnya.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SIMULATED PELLET TO PELLET GAP USING NEUTRON RADIOGRAPHY. The defect on the irradiated fuel element could be detected using neutron radiography. The defect could occur in pellet to pellet gap, cladding, or even cladding to pellet gap. An investigation has been performed to detect pellet to pellet gap defect that might occur in an irradiated fuel element. An Al foil of 0,1; 0,2; 0,3, and 0,4 mm was inserted between pellets to simulate various pellet to pellet gap. The neutron radiography used had power of 700 kW. The result showed that this simulation represented well enough problems that irradiated fuel element may experience.

PENDAHULUAN

Elemen bakar reaktor baik untuk reaktor daya maupun reaktor riset mungkin saja mengalami perubahan, jika telah menjalani paparan dosis neutron yang tinggi di dalam reaktor. Pada umumnya elemen bakar terdiri dari daging elemen bakar, kadang disebut sebagai pelet, ruangan antar pelet, kelongsong dan bagian lain untuk memperkuat elemen bakar tersebut. Ruang antar pelet disebut *pellet to pellet gap*. Keberadaan dan dimensi dari ruangan ini mestinya tak berubah selama elemen bakar tersebut masih digunakan. Namun demikian, bila hasil pembelahan yang berupa gas tersebut mendesak pelet, maka akan terjadi perubahan pada dimensi ruang tersebut. Jika hal ini berlanjut, maka kemungkinan besar akan terjadi kerusakan pada pelet atau bahkan pecahnya pelet. Keadaan seperti ini tentu tidak diinginkan¹. Oleh sebab itu perlu ada pemeriksaan terhadap elemen bakar tersebut tadi, di mana hasilnya dapat digunakan sebagai umpan balik pada desain elemen bakar tersebut. Radiografi neutron merupakan metode utama untuk pemeriksaan itu², karena pengaruh sinar *gamma* yang timbul dari elemen bakar terpakai tersebut tidak mengganggu prosesnya dan interpretasi hasilnya sederhana. Pemeriksaan elemen bakar terpakai saat ini di Indonesia sulit dilaksanakan. Hal ini disebabkan

belum lengkapnya peralatan yang tersedia. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan simulasi yang bertujuan untuk melihat apakah fasilitas radiografi neutron yang ada dapat mendeteksi adanya *pellet to pellet gap* tersebut. Beberapa pelet disusun dalam wadah aluminium dan baja tahan karat. Dengan menyelipkan Al dengan berbagai ketebalan, dilakukan proses radiografi neutron metode tak langsung. Penelitian ini diharapkan dapat memicu penelitian selanjutnya mengenai analisis dimensi elemen bakar.

METODE RADIOGRAFI NEUTRON

Metode radiografi neutron non dinamik secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yaitu metode langsung dan metode tak langsung³. Pada metode langsung, film, layar dan obyek terletak pada medan neutron. Metode tak langsung mempunyai perbedaan pada letak film. Film diletakkan jauh dari berkas neutron, sehingga tidak terjadi bayangan di film secara langsung. Metode yang terakhir ini lebih menguntungkan apabila diinginkan pemeriksaan terhadap elemen bakar bekas.

Elemen bakar bekas pada umumnya memancarkan banyak sinar *gamma*. Jika

dilakukan radiografi neutron dengan metode langsung, maka sinar *gamma* ini akan mengacaukan gambar yang terjadi. Proses yang terjadi pada metode tak langsung untuk pemeriksaan elemen bakar bekas diuraikan di bawah ini.

Elemen bakar bekas dan layar (konverter) diiradiasi dengan neutron termal. Pada layar terekam bayangan elemen bakar tersebut. Selanjutnya untuk memperoleh gambar radiografi neutronnya, layar tersebut dibawa ke kamar gelap dan di situ dilakukan pemaparan film oleh sinar *gamma* yang dipancarkan oleh layar, maka terbentuklah gambar elemen bakar tersebut.

DATA FISIKA FASILITAS

Data fisika fasilitas radiografi neutron yang digunakan tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Data fisika fasilitas NR^{4,5}

Fluks neutron termal	n/cm ²	5x10 ⁷
D/L	-	76
Rcd	-	5
Dia. dalam kolimator	cm	2
Panjang kolimator	cm	156
Diameter obyek	cm	15

DATA LAYAR, FILM DAN ELEMEN BAKAR

Yang dimaksud layar dalam hal ini adalah bahan yang digunakan untuk merekam bayangan. Mekanisme perekaman bayangan adalah sebagai berikut. Berkas neutron yang telah melalui elemen bakar mengalami atenuasi. Atenuasi ini merepresentasikan apa yang ada pada elemen bakar tersebut, sehingga adanya cacat pada elemen bakar tersebut akan tampak. Setelah itu berkas neutron akan tiba pada layar yang umumnya disebut sebagai konverter. Terjadi reaksi (n, γ) dan layar menjadi aktif dan mengeluarkan sinar *gamma*. Pada penelitian ini digunakan layar disprosium. Layar ini kemudian dibawa ke kamar gelap. Di sini film dipapari oleh layar, sehingga terbentuk bayangan. Pada tabel berikut ini ditampilkan data layar, film dan elemen bakar yang digunakan.

Tabel 2. Data layar³

Bahan	Disprosium
Tampang lintang total	2050 barn
Kelimpahan	28,1 %
Reaksi	Dy(n, γ)Dy
Waktu paruh	1,2 menit

Tabel 3. Data film yang digunakan

Nama film	Agfa Gavaert
Jenis	Industri, D7
Kecepatan relatif	1

Tabel 4. Data pelet yang digunakan

Pembuat	PPTN
Pengayaan	3 %
Panjang, cm	4
Diameter, cm	1,5

SIMULASI PELLET TO PELLET GAP

Untuk mensimulasikan adanya kehadiran *pellet to pellet gap* yang ada pada elemen bakar dilakukan hal berikut ini. Pada kelongsong yang terbuat dari aluminium dan kelongsong lain dari baja tahan karat dimasukkan pelet dengan pengayaan 3 %. Pelet ini belum pernah diradiasi. Antara dua pelet diselipkan lembaran (keping) aluminium untuk mensimulasikan adanya ruang antara pelet tersebut. Karena diameter berkas yang homogen hanya 10 cm, hanya disediakan empat simulasi ruang antara yaitu 0,1; 0,2; 0,3 dan 0,4 mm. Alasan dipilihnya aluminium untuk simulasi ini adalah ketersediaannya cukup besar dan harganya murah. Kemudian dilakukan proses radiografi neutron. Daya yang digunakan adalah 700 kW dan waktu iradiasi adalah 2 jam. Kelongsong Al dan kelongsong baja tahan karat dipilih karena pada umumnya elemen bakar mempunyai kelongsong dari bahan tersebut.

HASIL

Dengan daya 700 kW dan waktu iradiasi 2 jam dan paparan pada film sebesar 46 menit setelah waktu tunda 1 jam, diperoleh hasil seperti tertera pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Waktu pemaparan pada film telah dipilih dari beberapa pilihan yang memberikan densitas terbaik.

DAYA	: 700 KW
WAKTU RADIASI	: 2 JAM
WAKTU EXPOSE	: 46 MENIT
GAP	: ALUMINIUM 01 mm 02 mm 03 mm 04 mm

Gambar 1. Kelongsong Al

DAYA	: 700 KW
WAKTU RADIASI	: 2 JAM
WAKTU EXPOSE	: 46 MENIT
GAP ALUMINIUM	
FOIL	: 0,1 mm ; 0,2 mm 0,3 mm ; 0,4 mm

Gambar 2. Kelongsong baja tahan karat

DAYA	: 700 KW
WAKTU RADIASI	: 2 JAM
WAKTU EXPOSE	: 46 MENIT
GAP	: 0,1 mm ; 0,2 mm
ALUMINIUM FOIL	: 0,3 mm ; 0,4 mm

Gambar 3. Kelongsong Al dan baja tahan karat

BAHASAN

Dari gambar yang diperoleh dapat dilihat bahwa simulasi adanya ruang antar pelet dapat terdeteksi sampai 0,1 mm. Selanjutnya untuk 0,2; 0,3 dan 0,4 mm dapat juga terdeteksi. Penelitian untuk dimensi yang lebih kecil juga perlu dilakukan. Karena keterbatasan peralatan, hasil yang dapat diperoleh juga terbatas. Nilai-nilai 0,1; 0,2; 0,3 dan 0,4 mm adalah dimensi yang sebenarnya. Sedangkan pada gambar yang diperoleh ukuran ini sulit ditentukan dengan alat yang ada. Ini merupakan persoalan untuk melaksanakan analisis dimensi elemen bakar yang terpakai. Pada kelongsong darai aluminium, diameter pelet dapat jelas terpisah dari kelongsong, tetapi tidak demikian halnya dengan kelongsong dari baja tahan karat. Jika kelongsong dirangkap, maka pemisahan ini tampak jelas kembali. Hal ini terjadi karena beda tampang lintang hamburan UO_2 da Al sangat besar, yaitu $0,191 \text{ cm}^2/\text{gm}$ dan $0,036 \text{ cm}^2/\text{gm}$. Sedangkan baja tahan karat hampir sama dengan UO_2 , yaitu $0,14 \text{ cm}^2/\text{gm}$.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan lembar aluminium dapat ditiru adanya ruang antara pelet ukuran 0,1 mm.
2. Kelongsong dari aluminium baik untuk menunjukkan adanya beda ruang antar elemen bakar dan kelongsong.
3. Diperlukan kategori berkas neutron (menurut ASTM) yang lebih baik untuk memperoleh gambar yang lebih tajam.
4. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk analisis dimensi pada elemen bakar yang sudah terpakai.

TANYA JAWAB

1. GUNANDJAR

- Simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk mempersiapkan suatu metode penentuan celah antar pelet (*pellet to pellet gap*) menggunakan neutron radiografi. Simulasi dengan menyelipkan aluminium setebal 0,1 s.d. 0,4 mm. Padahal pada pelet-pelet yang berada pada batang kelongsong elemen bakar (yang masih segar/belum iradiasi) mempunyai celah (*gap*) kurang dari 0,1 mm (bahkan mungkin tanpa celah) dan setelah iradiasi bila terjadi lelehan *gap* tersebut akan makin kecil. Oleh karena itu menurut hemat kami simulasi tersebut kurang sesuai dengan kejadian yang sebenarnya. Mohon penjelasan.

ARLINAH KUSNOWO

- Sebenarnya tujuan utama adalah untuk dimensional analysis.

2. HASNEL SOFYAN

- Mohon dijelaskan faktor-faktor koreksi yang digunakan dalam proses simulasi neutron radiografi.
- Sampai berapa persen kesalahan/perbedaan antara hasil secara simulasi dengan hasil penelitian (standar yang berlaku) untuk dapat menyatakan bahwa suatu simulasi tersebut cukup baik.

ARLINAH KUSNOWO

- Proses ini belum menggunakan koreksi, karena kita belum melakukan dimensional analysis terhadap pelet tadi.
- Untuk ini perlu perhitungan/eksperimen dimensional analysis. Dengan dimensional analysis perlu pengambilan gambar neutron

radiografi dari beberapa arah dan ini belum dilakukan.

3. SUDARMONO

- Se jauh mana visualisasi yang telah dilakukan pada elemen bakar dengan neutron radiografi dan bagaimana hasilnya.

ARLINAH KUSNOWO

- Baru simulasi tadi dan pernah mencoba 2 pelet dengan pengkayaan berbeda. Tetapi ini tidak dilakukan di sini, hasilnya cukup bisa membedakan pengkayaan tersebut, tetapi hamburan masih terlihat.

4. NUSIN SAMOSIR

- Apakah neutron radiografi yang di RSG-GAS, bisa mendeteksi kestabilan/keandalan struktur bahan bakar yang sedang diiradiasi pada teras reaktor khususnya pada burn-up 50 % dan >56 % . Data ini sangat diperlukan untuk pengembangan disain bahan bakar pada burn-up > 56 % .

ARLINAH KUSNOWO

- Yang bisa dideteksi adalah :
 - 1) pellet to pellet gap
 - 2) dishing
 - 3) chip
 - 4) pellet to caldding gap
 - 5) bambooning, dll kerusakan pada elemen bakar i.e. integritas bahan bakar.

5. SUGIHARTO

- Sepertinya kami tidak melihat adanya penetrometri pada penelitian itu. Bagaimana cara menghitung pellet to pellet gap pada film neutron radiografi.
- Mungkinkah dapat dibuat/dirancang neutron radiografi yang portabel.

ARLINAH KUSNOWO

- Ini adalah simulasi, jadi belum sampai pada dimensional analysis. Dalam simulasi ini digunakan Al yang sudah diketahui tebalnya.
- Bisa, dengan Cf-252. Biasanya perusahaan penerbangan di USA, mempunyai portabel noutron radiography.

6. TUKIRAN S.

- Simulasi dilaksanakan pada daya 700 kW, sedangkan biasanya EB reaktor daya diiradiasi pada daya 600 MW (\pm 900 MW). Bagaimana keadaan simulasi dengan keadaan yang sesungguhnya?
- Disain kolimator kurang baik, sedangkan hasil yang diperoleh cukup baik. Apakah tidak ada pengaruh disain kolimator dengan hasil simulasi?

ARLINAH KUSNOWO

- Simulasi berarti menggunakan Al untuk meniru pellet to pellet gap. Untuk melaksanakan neutron radiografi persyaratannya, antara lain fluks termal adalah minimum setara 5×10^6 m/cm²s. Jadi jika dengan 700 kW sudah cukup, tentu dayanya tidak perlu tinggi-tinggi.
- Hasilnyapun masih belum baik menurut kriteria ASTM. Disain kolimator berpengaruh pada hasil simulasi. Jika dilakukan dengan kolimator dengan RCd > 150, gambar akan lebih baik.

7. SULIYANTO

- Apakah neutron radiografi dapat juga digunakan untuk mendeteksi kerusakan (analisis cacat) pada pelat elemen bakar reaktor riset U3O8-Al dengan pengkayaan \pm 20 % ?
- Bila dapat digunakan nutron radiografi, bagaimanakah cara simulasinya ?

ARLINAH KUSNOWO

- Di luar negeri digunakan untuk membedakan pengkayaan bahan bakar, di sini belum.
- jika ada pellet yang berbeda pengkayaannya, maka tinggak memasukkan di kelongsong dan lakukan neutron radiografi metoda tak langsung.

8. HILMAN RAMLI

- Apakah dilakukan perbandingan perubahan pellet to pellet gap antara sebelum dan sesudah iradiasi (pada daya 700 kW)?
- Bila ya, bagaimana hasilnya, karena tidak terlihat pada hasil/kesimpulan yang diberikan.

ARLINAH KUSNOWO

- Tidak. Pellet to pellet gap diradiasi untuk fresh pellet dan ketebalan Al 0,2;0,3 dan 0,4 mm.
- Jika ada waktu, bisa dilakukan, apa anda berminat dengan menggunakan NR PRSG ?

9. G.A. MASOARA

- Dari presentasi ibu :
 - Telah dilakukan pekerjaan neutron radiografi di PPTN Bandung dengan NR-Dry pada tahun-tahun yang lalu,
 - Di PRSG ada fasilitas NR-Dry dan NR-Wet.
 - Adanya indikator sensitivity yang harus dipergunakan dalam pekerjaan NR.
- Persyaratan untuk hasil neutron radiografi, sensitivitasnya harus berapa % ?
- Di PRSG, fasilitas NR-Wet atau NR-Dry, yang mana akan memberikan sensitivitas yang lebih baik ?

ARLINAH KUSNOWO

- Sensitivitasnya tergantung permintaan dan ini sesuai dengan disain kolimator.
- NR Dry (real time) akan memberikan hasil lebih sensitif, jika $RCd \gg 100$ dan jika disain kolimator baik.

10. ASMEDI SURIPTO

- Apakah teknik neutron radiografi dapat pula untuk mendeteksi relative density secara axial sepanjang pelet ?
- Kalau tak salah, cara yang diketengahkan adalah cara tak-langsung (?). Lalu apakah pengaruh sinar gamma terekam dalam layar In/Dy sehingga membuat image dari gap menjadi kabur ?

ARLINAH KUSNOWO

- Bisa. Contohnya untuk membedakan pengkayaan yang bervariasi, jika beam bagus (memenuhi persyaratan) hal ini dapat jelas terlihat.
- Cara tak langsung berarti ada reaksi (Dy,n) . Reaksi ini tidak terjadi jika Dy disinari gamma dari elemen bakar ini disebabkan neutron epitermis masih banyak dan tampang hamburan besar.