

KARAKTERISASI BAHAN PELINDUNG NEUTRON B_2O_3 DENGAN TEKNIK RADIOGRAFI NEUTRON

Juliyani¹, Sutiarmo¹, Setiawan¹ dan Kristianti²

¹Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspipetek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

²Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - BATAN
Kawasan Puspipetek, Serpong 15314, Tangerang Selatan
e-mail: juliteguh@gmail.com

ABSTRAK

KARAKTERISASI BAHAN PELINDUNG NEUTRON B_2O_3 DENGAN TEKNIK RADIOGRAFI NEUTRON. Telah dilakukan karakterisasi bahan pelindung neutron yang dibuat sendiri dengan teknik radiografi neutron. Bahan *shielding* dibuat dengan bahan utama B_2O_3 dan penambahan campuran zeolit serta semen dengan komposisi 2 : 1 menggunakan metode *blending*. Bahan dibuat dengan ketebalan yang bervariasi dari 10 mm hingga 2 mm. Hasil karakterisasi menggunakan radiografi neutron menunjukkan bahwa untuk campuran zeolit + B_2O_3 dengan ketebalan 10 mm hampir seluruh berkas neutron terserap dengan baik dan turun hingga 60% pada ketebalan 2 mm. Demikian juga dengan B_2O_3 dalam campuran semen menunjukkan hasil yang serupa. Penggunaan bahan pengikat zeolit akan meningkatkan daya serap neutron dibanding dengan semen. Sebagai pembandingan dilakukan pembuatan bahan pelindung neutron yaitu B_4C + semen dengan ketebalan 6 mm dan hasilnya menunjukkan peningkatan daya serap neutron lebih rendah dibandingkan dengan B_2O_3 + semen untuk ketebalan yang sama. Sementara dari segi harga B_4C + semen memiliki harga 10 kali lipat lebih mahal dibanding dengan B_2O_3 + semen. Sehingga penggunaan B_2O_3 + semen relatif lebih murah dibanding dengan B_4C + semen.

Kata kunci: Pelindung neutron, Daya serap, Radiografi neutron

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF B_2O_3 NEUTRON SHIELDING MATERIALS USING THE NEUTRON RADIOGRAPHY TECHNIQUE. A characterization of own made neutron shielding materials using a neutron radiography technique has been done. Shielding materials are made of B_2O_3 as main substance with the addition of composition variation of zeolit and cement using a blending method. Each material for shielding is prepared at variation of thickness from 10 to 2 mm. Characterization using neutron radiography facility shows that the mixture of zeolite and B_2O_3 with the thickness 10 mm is able to absorb almost all neutron and it decreases to 60% at the thickness of 2 mm. A similar case is found in the mixture of cement and B_2O_3 . The use of zeolite slightly increase the neutron absorption compared to that of cement. As comparison a different type of neutron shielding material is made i.e., the B_4C + Cement with the thickness 6 mm and the result shows that the double increase in neutron absorption is found compared to the B_2O_3 + cement. Meanwhile in term of the price, the B_4C + cement is ten times more expensive than the B_2O_3 + cement. Therefore it can be concluded that the use of B_2O_3 + cement is relatively more economical than that of B_4C + cement.

Keywords: Neutron shielding, Absorption, Neutron radiography

PENDAHULUAN

Radiografi neutron merupakan salah satu teknik uji tak merusak yang menggunakan berkas neutron sebagai sumber peninarannya. Berkas neutron yang digunakan untuk percobaan radiografi neutron dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti akselerator, radioisotop atau reaktor nuklir [1].

Fasilitas radiografi neutron, RN1 yang terpasang pada tabung berkas S2 reaktor G.A.Siwabessy sejak awal diperuntukan sebagai alat uji tak rusak (*non destructive test*) untuk bahan-bahan industri. Tapi perlu diwaspadai,

karena terkadang menimbulkan dampak negatif bagi pekerja. Dampak negatif ini bersumber dari radiasi yang dipancarkan akibat pemanfaatan bahan radioaktif. Radiasi ini dapat membahayakan makhluk hidup yang berada disekitarnya karena dapat merusak sel-sel tubuh manusia dan dapat menyebabkan berbagai penyakit, seperti leukemia dan kanker.

Adanya penyediaan fasilitas gedung yang mampu melindungi pekerja dan lingkungan sekitarnya dari bahaya radiasi [2]. Maka dibuat berbagai jenis bahan

proteksi radiasi neutron untuk keperluan keselamatan kerja terhadap radiasi neutron. Bahan ini berfungsi sebagai *shielding* (perisai) radiasi neutron dan digunakan di reaktor riset maupun reaktor daya serta di fasilitas penunjangnya [3]. Bahan proteksi radiasi ini untuk mengurangi bahaya radiasi serendah-rendahnya, sehingga tingkat radiasinya sudah cukup aman atau tidak melebihi dosis yang diijinkan.

Salah satu bahan *shielding* radiasi neutron yang digunakan adalah *portland* semen dan zeolit sebagai matrik komposit dan senyawa boron berfungsi sebagai penyerap radiasi neutron. Daya serap bahan terhadap radiasi neutron tergantung pada *cross-section* (penampang lintang, σ) bahan [4]. Sedangkan σ merupakan fungsi dari massa jenis. Oleh karena itu komposisi bahan-bahan pembuat komposit akan menentukan kemampuan penyerapannya terhadap radiasi neutron. Selain komposisi yang mempengaruhi daya serapnya, faktor tebal tipisnya bahan juga menentukan besar kecilnya daya serap.

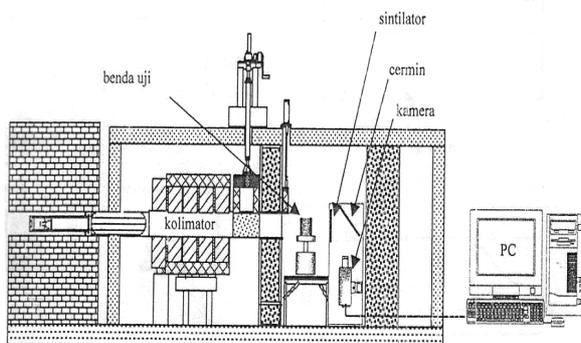
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari daya serap neutron terhadap bahan *shielding* yang berbasis B_2O_3 dengan unsur perekat masing-masing zeolit dan semen. Unjuk kerja kedua jenis *shielding* tersebut dibandingkan dengan bahan *shielding* komersial yang sudah banyak terdapat di pasaran yaitu B_4C + semen.

TEORI

Radiografi Neutron

Fasilitas radiografi neutron terdiri dari sumber neutron, *inner collimator*, *outer collimator*, *shutter* dan dudukan benda uji. Sumber neutron berasal dari RSG-GAS melalui S2. *Inner collimator* dan *outer collimator* berfungsi untuk menyetarakan berkas neutron. Secara skematik fasilitas radiografi neutron yang berada di PTBIN-BATAN diperlihatkan pada Gambar 1.

Sumber radiasi termal dapat diperoleh dari reaktor nuklir, mesin pemercepat partikel dan unsur radioaktif yang memancarkan neutron. Pencitraan dengan teknik radiografi neutron mirip dengan radiografi sinar-X dan sinar gamma. Teknik radiografi neutron menggunakan



Gambar 1. Skema fasilitas radiografi di PTBIN-BATAN

prinsip kerja berdasarkan atenuasi neutron yang berbeda-beda pada suatu bahan. Berkas neutron termal dari reaktor diarahkan pada bahan uji menggunakan kolimator, kemudian oleh bahan uji sebagian neutron diserap dan sebagian lainnya ditransmisikan oleh bahan uji untuk direkam oleh detektor dalam bentuk citra yang melukiskan struktur internal dari bahan uji [5].

Radiografi neutron melibatkan tiga komponen utama, meliputi : berkas neutron, obyek radiografi dan perangkat untuk merekam informasi intensitas radiasi yang terkait dengan berkas neutron yang ditransmisikan melalui obyek.

Gambar 2 memberikan suatu gambaran grafis dari sistem tiga komponen untuk spesimen obyek non-radioaktif. Besaran intensitas berkas neutron yang ditransmisikan oleh bahan uji ditentukan oleh koefisien atenuasi bahan sesuai Persamaan (1) [6]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

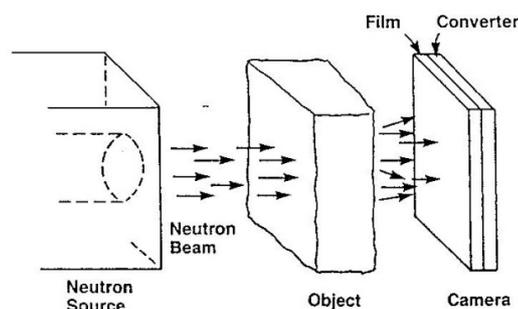
- I = Intensitas berkas neutron sesudah melewati sampel ($n \text{ cm}^{-2}$)
- I_0 = Intensitas berkas neutron sebelum melewati sampel ($n \text{ cm}^{-2}$)
- μ = Koefisien atenuasi datang (cm^{-1})
- t = Tebal bahan (cm)

Daya serapnya dapat ditentukan dengan Persamaan (2):

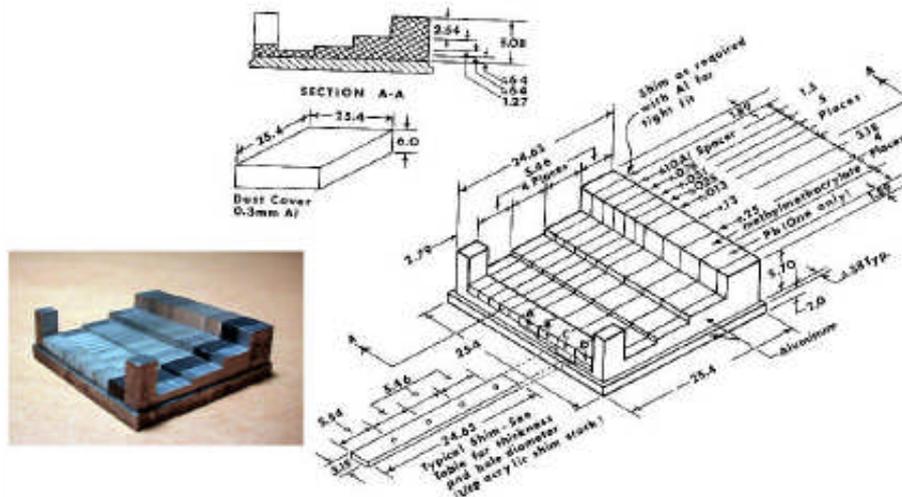
$$\text{Daya serap} = (I_0 - I) / I_0 \times 100 \% \quad \dots\dots (2)$$

Sampel Standar SI

Sensitivitas citra radiografi neutron dapat ditentukan secara kualitatif dari citra lubang dan celah cuplikan standar SI. Cuplikan ini dibuat dalam bentuk tangga dari bahan *acrylic resin* dengan ukuran panjang dan lebar 25,4 mm x 25,4 mm serta tebal tangga 0,64 mm hingga 5,08 mm. Pada struktur cuplikan ini dipasang 3 buah lempengan masing-masing mempunyai 4 buah lubang berukuran 0,13 mm hingga 0,51 mm. Ketiga lempeng tersebut diberi kode posisi A, B dan C, sedangkan celah yang terbuat dari pelat Al berukuran 0,013 mm hingga 0,25 mm



Gambar 2. Komponen sistem radiografi neutron [7]



Gambar 3. Konstruksi cuplikan SI

Tabel 1. Ukuran lubang pada sampel standar SI dengan ketebalannya (ASTM E545-86) [7].

Nomor Lubang	Ukuran Lubang (mm)	Tebal bahan (mm)	Nomor Lubang	Ukuran Lubang (mm)	Tebal bahan (mm)
1	0,51	0,64	7	0,25	2,54
2	0,51	1,27	8	0,25	5,08
3	0,51	2,54	9	0,13	0,64
4	0,51	5,08	10	0,13	1,27
5	0,25	0,64	11	0,13	2,54
6	0,25	1,27	12	0,13	5,08

dipasang diantara balok-balok *acrylic resin*. Konstruksi cuplikan SI tampak samping ditunjukkan pada Gambar 3.

Karakteristik fasilitas radiografi neutron dapat diklasifikasikan berdasarkan data-data jumlah lubang dan garis celah yang teramati pada citra cuplikan SI. Fasilitas radiografi neutron dapat diklasifikasikan berdasarkan ASTM E-545-05 seperti diperlihatkan pada Tabel 1 [7].

METODE PERCOBAAN

Metode yang dipakai untuk melihat daya serap dari sampel Zeolit + B_2O_3 , Semen + B_2O_3 dan Semen putih + *waterglass* + B_4C , adalah metode film (metode langsung) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Berkas neutron yang mengenai obyek sebagian akan ditransmisikan dan kemudian berkas yang ditransmisikan tersebut akan ditangkap oleh film dan konverter yang keduanya tersimpan dalam sebuah kaset. Melalui interaksi neutron- konverter- film akan dihasilkan citra radiografi yang akan dapat terlihat setelah melalui pemrosesan film. Metode film ini adalah sama dengan yang dijumpai pada metode radiografi pada umumnya.

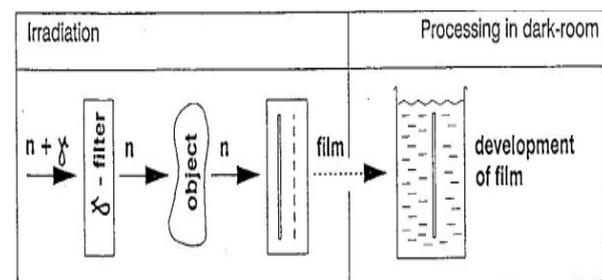
Bahan

Zeolit + B_2O_3 , Semen + B_2O_3 dan Semen putih + *waterglass* + B_4C , seperti terlihat pada Gambar 5. Untuk

memudahkan pembuatan, beberapa parameter dibuat sama. Parameter-parameter tersebut antara lain: berat antara semen atau zeolit terhadap senyawa B_2O_3 (Boron Oksida) adalah 2 : 1 dengan menggunakan teknik *blending*. Pembuatan sampel dilakukan di laboratorium di PRPN- BATAN.

Cara Kerja

Pemasangan benda uji pada kaset yang digunakan didampingi oleh sampel standar SI, bertujuan untuk menganalisis hasilnya apakah sudah cukup memadai untuk memberikan informasi yang akan dilihat. Sampel di tempelkan pada salah satu sisi dari kaset film. Selanjutnya dilakukan penembakan dengan berkas neutron menggunakan film AGFA D3, konverter gadolinium-125 dan waktu penyinaran selama 6 menit 45 detik.



Gambar 4. Skema fasilitas radiografi di PTBIN-BATAN



Gambar 5. Bentuk ketiga sampel dari kiri Zeolit + B_2O_3 , Semen putih + *waterglass* + B_4C dan Semen + B_2O_3

HASIL DAN PEMBAHASAN

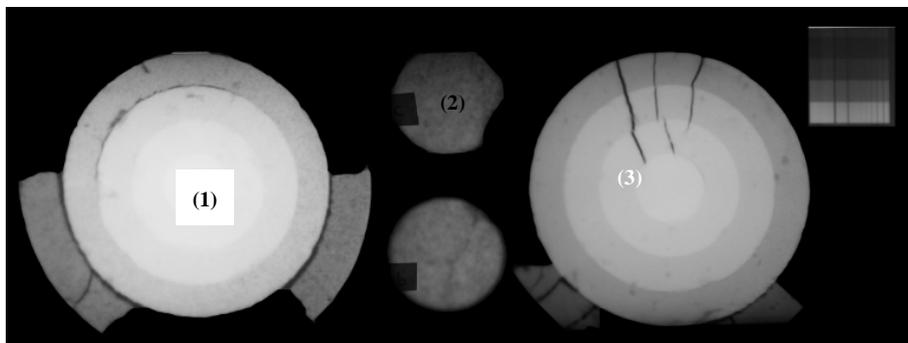
Pengujian suatu benda uji pada radiografi neutron sebaiknya didampingi dengan sampel standar (disini digunakan sampel standar SI) untuk mengetahui hasilnya sudah memenuhi prosedur standar yang benar. Prosedur standar yang benar disini adalah penggunaan waktu eksposur yang tepat sesuai dengan jenis film dan konverter yang digunakan. Dari hasil pengujian setelah melewati proses pencucian film dapat terlihat bahwa pengujian yang dilakukan menggunakan waktu penyinaran 6 menit 45 detik dengan film AGFA D3 dan konverter gadolinium-125 telah cukup memberikan informasi. Kualitas neutron dan resolusi yang dihasilkan

Tabel 2. Ukuran ketebalan garis yang terdapat pada sampel standar SI (ASTM E545-86) [7]

Nomor Garis	Tebal Garis (mm)
1	0,25
2	0,13
3	0,10
4	0,076
5	0,051
6	0,025
7	0,013

cukup baik, terlihat sampel standar SI yang digunakan sebagai referensi terlihat cukup jelas (7 garis dan 3 lubang).

Untuk mengetahui intensitas berkas neutron sesudah melewati sampel dilakukan pengukuran densitas pada film di 3 titik daerah sekitar sampel dengan menggunakan densitometer jenis DIGIT-X Xograph *imaging system* yang dapat menunjukkan densitas dalam bentuk digital. Karena sampel semen + B_4C yang bisa diuji menggunakan radiografi neutron hanya pada ketebalan 6 mm (ukuran yang lain hancur pada saat pengeluaran dari cetakan), sehingga yang bisa dibandingkan dengan sampel lain pada ukuran ketebalan 6 mm. Hasil pengukuran ketebalan garis dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan gambar hasil radiografinya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil radiografi neutron dari ketiga sampel dari kiri ke kanan : Zeolit + B_2O_3 (1), Semen putih + *waterglass* + B_4C (2), dan Semen + B_2O_3 (3)

Tabel 3. Data hasil pengujian daya serap bahan

No	Jenis Sampel	Tebal (mm)	Densitas				Daya Serap (%)
			I_1	I_2	I_3	I_{rerata}	
1.	I_0		2,04	2,44	2,25	2,27	
2.	Zeolit + B_2O_3	10	0,00	0,01	0,00	0,00	100
		8	0,05	0,06	0,06	0,06	97,36
		6	0,16	0,15	0,20	0,17	92,51
		4	0,42	0,44	0,37	0,41	81,94
		2	0,85	0,85	0,93	0,88	61,23
3.	Semen + B_2O_3	10	0,00	0,01	0,00	0,00	100
		8	0,07	0,10	0,09	0,09	96,04
		6	0,26	0,19	0,19	0,21	90,75
		4	0,42	0,41	0,43	0,42	81,50
		2	1,00	0,96	1,01	0,99	56,39
4.	Semen putih + <i>waterglass</i> + B_4C	6	0,54	0,54	0,61	0,56	75,33

Dari Gambar 6 tampak bahwa warna putih (terang) menunjukkan penyerapan neutron yang tinggi oleh bahan sedangkan warna abu-abu menunjukkan penyerapan yang relatif lebih rendah oleh bahan. Sementara itu warna gelap menyatakan sebagian besar neutron ditransmisikan oleh bahan. Penyerapan neutron yang tinggi disini disebabkan oleh ketebalan sampel yang tinggi dan/atau koefisien atenuasi yang tinggi dari bahan tersebut sesuai dengan rumus atenuasi radiasi yang ditunjukkan pada Persamaan (1).

Dari hasil pengujian daya serap bahan (Tabel 3) tampak bahwa Zeolit + B₂O₃ dibandingkan dengan Semen + B₂O₃ diberbagai ketebalan menunjukkan bahwa Zeolit berkontribusi pada peningkatan daya serap meskipun tidak cukup signifikan. Sebaliknya apabila kedua bahan itu dibandingkan dengan Semen putih + *waterglass* + B₄C khususnya pada ketebalan 6 mm tampak bahwa daya serap B₂O₃ untuk kedua zat pengikat tersebut (~ 91%) lebih tinggi dibandingkan dengan B₄C (75%). Sementara apabila ditinjau dari harga B₄C sepuluh kali lebih mahal dari B₂O₃ sehingga dapat disimpulkan penggunaan bahan B₂O₃ sebagai bahan pelindung neutron relatif lebih ekonomis dibanding B₄C.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan diperoleh bahwa daya serap bahan B₂O₃ + zeolit sedikit lebih tinggi dibanding dengan B₂O₃ + semen. Sementara itu untuk ketebalan yang sama (6 mm) B₂O₃ + semen daya serapnya lebih tinggi 18% dibanding B₄C + semen dan karena harga B₄C yang 10 kali lebih tinggi dibanding B₂O₃ penggunaan

B₂O₃ + semen relatif lebih hemat/murah dibanding dengan B₄C + semen.

DAFTAR ACUAN

- [1]. GREIM, H.P.LEEFLANG, R.MATFIELD, *Neutron Sources-Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992)
- [2]. ENDAH SAFITRI, *Beton Sebagai Perisai Radiasi Neutron Cepat, Media Teknik Sipil*, Surakarta (2006)
- [3]. SRI MULYONO ATMOJO, Simulasi Komposisi Komposit Elastis Karet Alam Senyawa Boron Untuk Proteksi Radiasi Neutron, *Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 4*, Serpong (2001)
- [4]. R.G. JAEGER dkk, *Engineering Compendium on Radiation Shielding*, Shielding Fundamentals and Methods, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, New York, **1** (1970)
- [5]. GUNAWAN, Penentuan Karakteristik Fasilitas Radiografi Neutron di Batan Serpong dengan Metode Film Converter Tunggal, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan 2008*, Serpong (2008)
- [6]. DOMANUS J.C, *Practical Neutron Radiography*, Commission of the European Communities Radiography Working Group, Kluwer Academic Publishers, London (1992)
- [7]. ASTM E545-05, *Standard Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiographic Testing*, (2010)