

RADIOGRAFI NEUTRON : TEKNIK KOMPLEMENTER DARI RADIOGRAFI SINAR-X UNTUK UJI TAK RUSAK PRODUK INDUSTRI

Sutiarso, Setiawan dan Suyatno

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

RADIOGRAFI NEUTRON : TEKNIK KOMPLEMENTER DARI RADIOGRAFI SINAR-X UNTUK UJI TAK RUSAK PRODUK INDUSTRI. Teknik radiografi neutron belum banyak dikenal di Indonesia, tidak seperti halnya radiografi sinar-X yang telah banyak digunakan di berbagai industri sebagai alat uji tak rusak (*non-destructive test*). Telah dilakukan pengamatan atenuasi berkas neutron terhadap berbagai bahan teknik yang sering dijumpai di pasar menggunakan fasilitas radiografi neutron BATAN Serpong dan sebagai pembandingan atenuasi sinar-X oleh bahan yang sama. Hasilnya membuktikan bahwa neutron lebih sensitif terhadap obyek dari bahan berbasis hidrogen seperti polimer (plastik dan karet) dan juga neutron mampu menembus obyek dari bahan logam. Sebaliknya sinar-x hanya mampu mengamati obyek yang terbuat dari logam tapi tidak sensitif terhadap bahan polimer. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa kedua teknik saling melengkapi. Tulisan ini sekaligus mengenalkan fasilitas radiografi neutron yang ada di BATAN Serpong termasuk unjuk kerjanya sebagai alat uji tak rusak produk industri.

Kata kunci : Radiografi neutron, Produk industri, Atenuasi.

ABSTARCT

NEUTRON RADIOGRAPHY: A COMPLEMENTARY TECHNIQUE TO X-RAY RADIOGRAPHY FOR NON DESTRUCTIVE TESTING OF INDUSTRIAL PRODUCTS. Neutron radiography technique has not been widely known in Indonesia, unlike X-ray radiography which has been used in many industries as a non-destructive test. Investigation of neutron attenuation by various engineering materials which are available in the market has been done using neutron radiography facility in BATAN Serpong. As a comparison X-ray attenuation by the same materials is also investigated using X-ray radiography. The result shows that neutron are more sensitive to the object based on hydrogen such as polymer: plastics and rubber and neutron penetrates deeply into the metal objects. In contrast, X-ray is only able to observe metal objects but insensitive to polymer materials. It can be concluded that these two techniques are complementary. This paper is also aimed to introduce the neutron radiography facility at BATAN Serpong showing its performance as a tool for a non-destructive test of industrial products.

Key words : Neutron radiography, Industrial products, Attenuation

PENDAHULUAN

Teknik radiografi adalah suatu metoda untuk menguji bahan secara tak merusak (*Non Destructive Test*). Sejauh ini teknik radiografi yang banyak dikenal orang adalah teknik radiografi sinar-X yang sering digunakan oleh pihak industri untuk mengetahui kualitas produk dan mengamati cacat (*defect*) yang ada dalam produk industri. Radiografi sinar-X banyak digunakan orang karena peralatannya praktis mudah dibawa ke tempat pengujian (*portable*). Sebaliknya neutron yang sumber utamanya adalah reaktor nuklir masih terbatas jumlahnya dan obyek yang diuji harus dibawa ke tempat dimana fasilitas radiografi itu berada. Namun radiografi neutron memiliki beberapa kelebihan dibanding radiografi sinar-X, hal ini

disebabkan sifat unik dari neutron terhadap bahan yang tidak dimiliki oleh sinar-X

Teknik radiografi neutron adalah teknik radiografi yang menggunakan neutron sebagai *probenya*. Berbeda dengan sinar-X, neutron berinteraksi dengan inti atom sedangkan sinar-X berinteraksi dengan awan elektron [1]. Oleh karena itu interaksi sinar-X dengan bahan ditentukan oleh tingkat kerapatan elektron dalam kulit terluar atom atau dengan kata lain interaksinya meningkat dengan meningkatnya nomor atom bahan. Namun neutron karena interaksinya dengan inti atom maka ia tidak bergantung pada kerapatan elektron sehingga bahan dengan nomor atom tinggi seperti logam pada umumnya dengan mudah ditembus

oleh neutron. Interaksi neutron dengan bahan ditentukan oleh tampang lintang makroskopik (*macroscopic cross-section*) [2] dari inti atom yang hubungannya tidak berbanding lurus dengan nomor atom. Neutron mempunyai tampang lintang yang besar terhadap bahan-bahan seperti hidrogen, boron dan logam tanah jarang seperti gadolinium dan disporium. Hal ini menyebabkan neutron sensitif terhadap obyek yang terbuat dari bahan-bahan berbasis hidrogen seperti plastik, karet dan bahan polimer umumnya. Karena kedua teknik ini memberikan informasi yang berbeda maka kedua teknik ini menjadi teknik yang saling melengkapi untuk mendapatkan informasi dari obyek yang diamati.

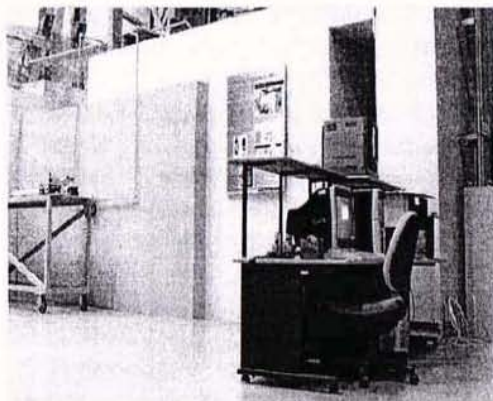
Fasilitas radiografi neutron telah tersedia di PTBIN-BATAN dan terpasang pada lubang berkas S2 yang terletak di balai percobaan reaktor (*XHR*). Peralatan radiografi neutron ini diperuntukkan sebagai alat uji tak rusak bahan/produk industri. Peralatan ini berfungsi dengan baik dan siap digunakan untuk penelitian dan pengujian bahan.

Makalah ini akan menyajikan informasi mengenai fasilitas radiografi neutron yang ada di BATAN Serpong beserta prinsip kerja serta aplikasinya sebagai alat uji tak rusak produk industri. Perbedaan prinsip kerja radiografi neutron dan sinar-X serta kelebihan dan kekurangan masing-masing teknik sebagai alat uji bahan akan dijelaskan. Beberapa hasil yang diambil menggunakan fasilitas radiografi ini akan disajikan dan hasilnya dibandingkan dengan hasil pengujian yang sama menggunakan radiografi sinar-X.

TEORI

Fasilitas Radiografi Neutron di BATAN

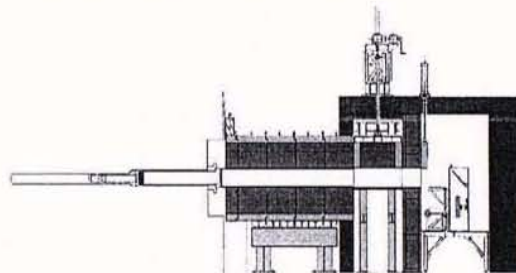
BATAN sebagai satu-satunya lembaga nuklir di Indonesia memiliki tiga buah reaktor riset yang terdapat di Bandung, Yogyakarta dan Serpong. Pada ketiga reaktor tersebut terdapat fasilitas radiografi neutron, namun dari ketiganya fasilitas radiografi neutron yang relatif siap untuk digunakan adalah fasilitas radiografi neutron di Serpong.



Gambar 1. Fasilitas radiografi neutron di Balai Percobaan Reaktor G.A.Siwabessy.

Fasilitas radiografi neutron di Serpong dipasang pada lubang berkas tangensial S2 (Gambar 1), penggunaan lubang tangensial ini memberikan keuntungan dari aspek teknisnya karena berkas neutron yang keluar dari lubang berkas tersebut yang relatif lebih bersih dari sinar gamma dibanding dengan tabung bekas radial. Fraksi sinar gamma yang besar akan mengganggu proses radiografi sehingga akan mempengaruhi gambar radiografi yang dihasilkan.

Peralatan radiografi terdiri dari komponen utama yaitu kolimator, penutup berkas (*shutter*), meja sampel dan film/kamera. Gambar 2 menunjukkan gambar skematik dari peralatan radiografi neutron yang terletak di balai percobaan reaktor. Kolimator dalam (*inner collimator*) dimasukkan ke lubang berkas S2 melewati dinding biologi reaktor hingga menuju teras reaktor. Kolimator dalam tersebut dihubungkan dengan kolimator luar (*outer collimator*) yang tampak terselubungi oleh pelindung berkas (*shielding*). Di ujung dari kolimator luar dipasang penutup berkas utama (*main shutter*) terbuat dari bahan beton, parafin dan timbal yang dioperasikan menggunakan sistem hidrolis. Di depan *main shutter* diletakkan penutup berkas tambahan (*auxiliary shutter*) yang dapat digerakkan secara cepat menggunakan sistem pneumatik. *Shutter* kedua ini berfungsi untuk mengatur waktu penyinaran (*exposure time*).

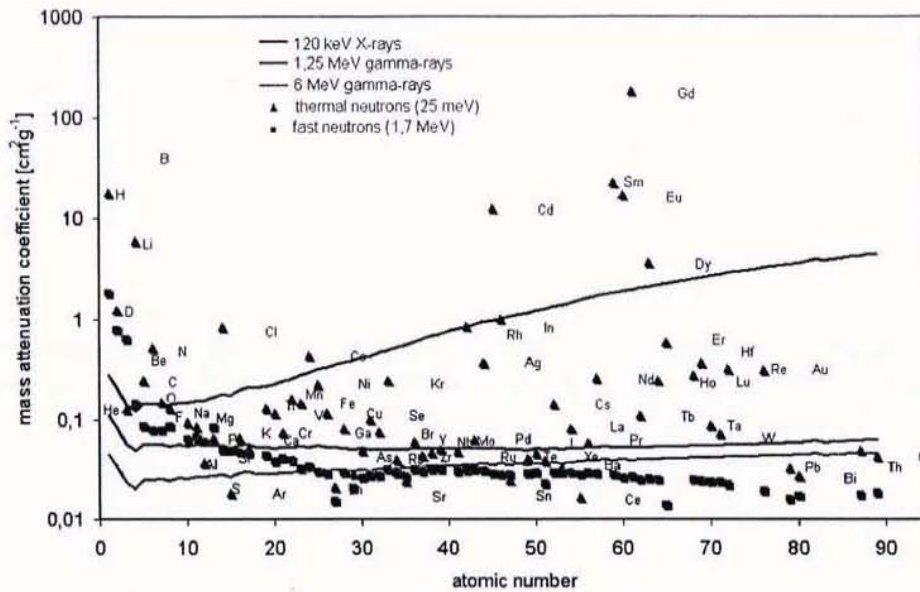


Gambar 2. Gambar skematik dari peralatan radiografi neutron di Balai Percobaan Reaktor G.A.Siwabessy.

Pengukuran fluks neutron di meja sampel memberikan harga fluks antara $10^6 - 10^7$ n/cm²/dt dengan perbandingan neutron terhadap gamma (*n/g ratio*) sebesar $> 10^6$ n/cm²/mR [3]. Dengan sistem kolimator yang ada diperoleh *L/D ratio* = 83 dimana L adalah jarak obyek ke diafragma dan D adalah diameter diafragma, yang menunjukkan tingkat kolimasi berkas yang cukup baik. Perbandingan neutron termal dengan epitermal dinyatakan dengan *Cd ratio* yang besarnya untuk sistem ini sebesar 6,4. Diameter berkas yang tersedia adalah 30 cm. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran benda uji maksimum yang diperbolehkan tidak boleh melebihi ukuran berkas.

Prinsip Kerja

Radiografi neutron sebagaimana radiografi lainnya bekerja menggunakan prinsip atenuasi. Neutron yang datang melalui benda uji akan diatenuasi



Gambar 3. Koefisien atenuasi masa sebagai fungsi dari nomor atom [5]

oleh bahan-bahan yang mendukungnya dimana sebagian akan diserap dan sebagian lagi akan ditransmisikan. Besarnya neutron yang diserap tergantung pada kemampuan bahan dalam mengatenuasi neutron yang biasanya dinyatakan dengan koefisien atenuasi. Disamping itu banyaknya neutron yang diteruskan oleh benda uji juga bergantung pada tebal bahan uji. Neutron yang diserap atau ditransmisikan oleh bahan dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini [4]:

$$I = I_0 \exp [-\mu_x] \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- I = Intensitas yang melalui obyek
- I₀ = Intensitas awal sebelum mengenai obyek
- μ = Koefisien atenuasi
- x = Tebal obyek

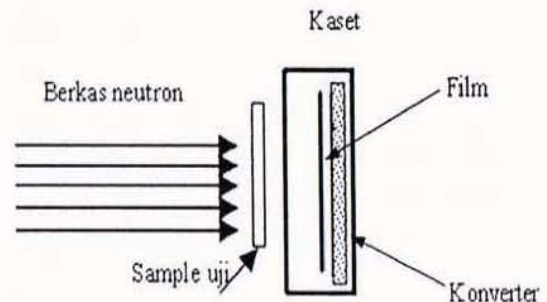
Kuat atau lemahnya interaksi neutron dengan bahan ditentukan oleh besar atau kecilnya tampang lintang makroskopiknya (*macroscopic cross section*) yang dalam hal ini tidak hanya bergantung pada unsur kimianya saja, tetapi bergantung juga pada isotop-isotopnya. Tampang lintang isotop dari unsur yang sama dapat berbeda beberapa besaran. Sehingga apabila benda uji terdiri dari campuran beberapa isotop maka tampang lintang makroskopik totalnya adalah jumlah dari dari isotop-sotopnya dikalikan dengan fraksi beratnya. Tampang lintang total adalah jumlah dari tampang lintang masing-masing unsur. Dari sisi teknis besaran tampang lintang ini sering dinyatakan dengan koefisien atenuasi (massa). Gambar 3 adalah data koefisien atenuasi masa dari berbagai unsur untuk berbagai berbagai berkas: sinar-X, neutron, gamma.

Tampak bahwa koefisien atenuasi untuk neutron termal pada berbagai bahan tidak terdapat keteraturan

dengan nomor atom. Tidak seperti halnya dengan koefisien atenuasi untuk sinar-X yang meningkat secara linier dengan meningkatnya nomor atom bahan. Unsur-unsur seperti hidrogen dan boron dengan nomor atom rendah memiliki koefisien atenuasi massa yang tinggi sebaliknya logam seperti aluminium, besi dan tembaga koefisien atenuasinya rendah terhadap neutron termal. Tampak juga bahwa koefisien atenuasi ini bervariasi besarnya dengan besarnya energi dari berkas yang digunakan.

METODE PERCOBAAN

Pengambilan gambar radiografi neutron untuk percobaan ini menggunakan film standar fotografi Agfa D7 atau Kodak MX-125 dengan ukuran (4 x 10) inci. Film diletakkan dalam sebuah kaset yang di dalamnya terdapat sebuah skrin konverter yang terbuat dari bahan gadolinium. Konverter berfungsi untuk mengkonversi neutron menjadi sinar gamma dan elektron yang akan bereaksi dengan film. Obyek yang akan diuji diletakkan di luar kaset, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk obyek berukuran kecil biasanya ditempelkan pada permukaan kaset.



Gambar 4. Pengambilan gambar radiografi neutron

Lama pemaparan (*exposure*) tergantung dari jenis filmnya, untuk film Agfa lama pemaparan adalah 1 menit sedangkan untuk film Kodak 3 menit 40 detik. Setelah obyek disinari dalam waktu tersebut kemudian kaset dibawa ke ruang gelap disamping peralatan radiografi neutron untuk mengeluarkan filmnya. Selanjutnya film dimasukkan ke dalam kantong kedap cahaya untuk kemudian dibawa ke kamar gelap diluar gedung reaktor untuk diproses. Pemrosesan dilakukan dengan teknik standar dari pabrik menggunakan larutan *developer* dan *fixer* yang telah disediakan.

Untuk percobaan pertama yaitu pengamatan atenuasi neutron terhadap barang teknik, bahan-bahan teknik yang akan diamati baik yang logam maupun non-logam disiapkan dalam ukuran kurang lebih 2 cm x 2 cm. Bahan kemudian disusun berderet sedemikian rupa di atas permukaan kaset yang kemudian siap untuk disinari dengan neutron. Untuk percobaan kedua obyek yang diamati adalah sebuah filter oli mobil, disinari dengan neutron dan sinar-X sebagai pembanding.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 menunjukkan foto dari sampel yang akan diambil gambarnya baik menggunakan neutron maupun sinar-X, yang terdiri lempengan berbagai bahan seperti aluminium, tembaga, baja, besi dan kadmium di deretan kiri dan kayu, karet B₄C, Teflon, akrilik dan parafin di sebelah kanan. Hasil radiografi neutron untuk bahan-bahan tersebut ditampilkan di sebelah kiri dari foto sedangkan di sebelah kanan adalah radiograf sinar-X sebagai pembanding. Tampak dari kedua radiograf tersebut perbedaan atenuasi yang jelas antara neutron dan sinar-X. Aluminium tampak transparan oleh neutron sebaliknya sinar-X diserap hanya sebagian. Sementara kayu menyerap sebagian neutron karena kemungkinan terdapat unsur air (H₂O) di dalamnya, sementara itu sinar-X dilewatkan begitu saja oleh kayu. Tembaga, seperti halnya dengan aluminium hampir melewati

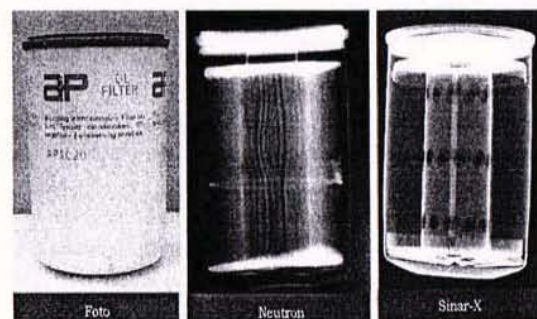
sebagian besar neutron, namun tembaga menyerap dengan sangat baik sinar-X yang tampak dari radiograf ini menampilkan warna putih terang.

Sebaliknya B₄C yang mengandung boron menyerap dengan baik neutron tapi sebaliknya B₄C melewati secara keseluruhan sinar-X. Hal yang sama berlaku untuk logam-logam yang lainnya seperti baja dan besi. Namun untuk logam kadmium menyerap kedua berkas dengan baik, hal ini dikarenakanampang lintang neutron yang tinggi terhadap kadmium, namun ia juga termasuk logam bernomor atom tinggi sehingga juga menyerap dengan baik sinar-X.

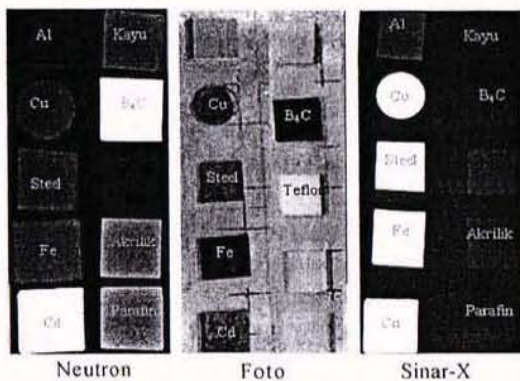
Bahan-bahan yang terbuat dari polimer seperti akrilik dan parafin tampak menyerap baik neutron namun tidak halnya dengan sinar-X. Dari ini jelas bahwa perbedaan yang nyata tentang informasi yang diberikan oleh kedua teknik ini.

Radiografi neutron dari produk industri seperti filter oli mobil ditampilkan pada Gambar 6 dengan pebanding radiograf sinar-X dari obyek yang sama.

Tampak perbedaan informasi yang nyata antar keduanya. Neutron mampu menampilkan dengan jelas bagian filter yang terbuat dari kertas serabut (non-logam) sementara sinar-X dapat menampilkan bagian poros tengah dari filter oli tersebut yang terbuat dari logam. Kedua informasi tersebut saling melengkapi satu sama lain sehingga apabila kedua informasi ini digabungkan akan memberikan informasi menyeluruh yang lengkap mengenai obyek tersebut.



Gambar 6. Radiografi neutron dan sinar-X pada sebuah filter oli mobil memberikan informasi yang berbeda namun saling melengkapi



Gambar 5. Perbedaan atenuasi neutron dan sinar-X oleh berbagai bahan teknik. Warna terang menunjukkan berkas diserap baik oleh bahan, sebaliknya berkas yang diteruskan ditunjukkan oleh warna gelap.

KESIMPULAN

Fasilitas radiografi neutron yang ada di reaktor G.A Siwabessy telah siap digunakan untuk uji tak rusak produk industri. Neutron mempunyai kelebihan yakni mampu mengamati obyek yang terbuat dari bahan berbasis hidrogen seperti bahan polimer dan ia mampu menembus obyek yang terbuat dari logam yang keduanya tidak dapat dilakukan menggunakan sinar-X.

Sementara sinar-X mampu mengamati obyek yang terbuat dari logam dengan jelas. Karena masing-masing teknik memberikan informasi yang berbeda tentang obyek

yang diamati maka kedua teknik ini merupakan teknik saling melengkapi satu dengan yang lain.

DAFTAR ACUAN

- [1]. DOMANUS, J.C., *Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic, Dordrecht, London, (1992)
- [2]. RINARD, P, *Neutron Interaction With Matter*, <http://www.fas.org>, (2007)
- [3]. SUTIARSO, et.al, Neutron Radiography Facility in Serpong, *Neutron News*, 17 (4) (2006)
- [4]. http://www.ati.ac.at/~neutropt/experiments/Radiography/basic_exp_layout.html.
- [5]. BUTCHERL, T, et. al, Radiography and Tomography Using Fission Neutrons at FRM-II, *The 7th World Conference on Neutron Radiography*, Roma, Italy, (2002)