

PENENTUAN KARAKTERISTIK FASILITAS RADIOGRAFI NEUTRON DI BATAN SERPONG DENGAN METODE FILM KONVERTER TUNGGAL

Gunawan, Sutiarto, Suyatno dan Setiawan
Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

PENENTUAN KARAKTERISTIK FASILITAS RADIOGRAFI NEUTRON DI BATAN SERPONG DENGAN METODE FILM KONVERTER TUNGGAL. Karakterisasi fasilitas radiografi neutron yang ada di BATAN Serpong sebelumnya telah dilakukan dengan metode film menggunakan konverter ganda. Hasilnya menunjukkan kualitas berkas yang tidak terlalu baik. Penelitian dengan metode yang sama telah dilakukan, namun menggunakan konverter tunggal. Pengukuran dilakukan terhadap cuplikan standar ASTM E545-05 yang terdiri dari *Beam Purity Indicator* (BPI) dan *Sensitivity Indicator* (SI) menggunakan berkas neutron dari tabung berkas tangensial S2 Reaktor G.A. Siwabessy dan film *silver halida* merek Kodak sebagai perekam citra (*image*). Citra radiografi diukur dengan waktu *expose* sekitar 3 menit 20 detik dan pencucian film diproses sesuai dengan persyaratan fabrikasi. Dari analisis citra radiografi dengan konfigurasi ini diperoleh karakteristik berkas neutron yang lebih baik dengan kandungan neutron termal meningkat dari 44 % menjadi 60,95 %, jumlah lubang yang teramati meningkat dari 3 lubang menjadi 4 lubang. Berdasarkan data kandungan neutron termal, fasilitas radiografi neutron di BATAN Serpong dapat diklasifikasikan ke dalam kategori II sesuai dengan standar ASTM E 545-05.

Kata kunci : Karakteristik fasilitas radiografi neutron, Metode film, Konverter tunggal

ABSTRACT

CHARACTERISTIC DETERMINATION OF NEUTRON RADIOGRAPHY FACILITY AT BATAN SERPONG USING FILM METHOD AND SINGLE CONVERTER. Characterization of neutron radiography facility installed at BATAN's reactor has been done previously using film method with double converter. The result showed that the quality was inadequate. The same experiment with the same method but using a single converter has been carried out. The measurement was done on standard sample ASTM E 545-05 consisting of *Beam Purity Indicator* (BPI) and *Sensitivity Indicator* (SI) using the collimated neutron beam from tangential beam tube S2 of G.A.Siwabessy reactor and KODAK silver halide film as an image recorder. Radiography image was obtained by using exposure time of 3 minutes 20 seconds and the film was processed according to the standard procedure from the factory. The result shows that the present configuration gives better beam quality in which thermal neutron content increases from 44 % to 60.95 %, and the number of hole observed increases from 3 to 4. Referring to the data of this thermal neutron content, the neutron radiography facility at BATAN Serpong is categorized as class II according to ASTM E 545-05 standard.

Key words : Neutron radiography characteristic, Film method, Single converter

PENDAHULUAN

Radiografi neutron merupakan salah satu teknik uji tak merusak yang menggunakan berkas neutron sebagai sumber penyinarannya. Berkas neutron yang digunakan untuk eksperimen radiografi neutron dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti akselerator, radioisotop atau reaktor nuklir [1]. Sedangkan cara pengujiannya dapat digunakan metode film (*direct method*), metode transfer dan metode tomografi [2]. Dalam makalah ini pembahasan dibatasi pada eksperimen radiografi neutron dengan metode film konverter tunggal menggunakan neutron termal dari reaktor nuklir.

Tidak seperti sinar-X, interaksi neutron dengan bahan bersifat unik. Neutron banyak diserap oleh bahan-bahan beratom ringan dan dapat menembus bahan-bahan beratom berat. Interaksi neutron yang unik dan daya tembus neutron yang besar pada suatu bahan menjadikan teknik ini telah diaplikasikan secara luas dalam bidang nuklir maupun non nuklir sejak tahun 1955 [3].

Untuk memperluas pendaayagunaan berkas neutron yang dihasilkan oleh reaktor G.A. Siwabessy di BATAN Serpong, sebuah fasilitas radiografi neutron telah dipasang pada tabung berkas tangensial S-2.

Fasilitas ini terdiri dari beberapa komponen utama seperti sumber neutron, kolimator, pembuka/penutup berkas neutron, meja cuplikan, kaset radiografi, film dan konverter. Disamping itu, fasilitas ini juga dilengkapi dengan peralatan pendukung untuk pencucian film dan densitometer untuk pengukuran densitas citra.

Sejak dipasang hingga sekarang, fasilitas ini telah dimanfaatkan untuk pengamatan berbagai jenis bahan dan telah mengalami pengembangan khususnya pada bagian kolimator luarnya. Namun berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan metode film dan konverter ganda, kualitas berkas yang diperoleh masih memiliki kandungan atau jumlah neutron termal relatif rendah [4]. Untuk mendapatkan teknik radiografi neutron yang lebih optimal, pada penelitian ini telah dilakukan penentuan karakteristik fasilitas radiografi neutron dengan metode yang sama, namun menggunakan konverter tunggal.

TEORI

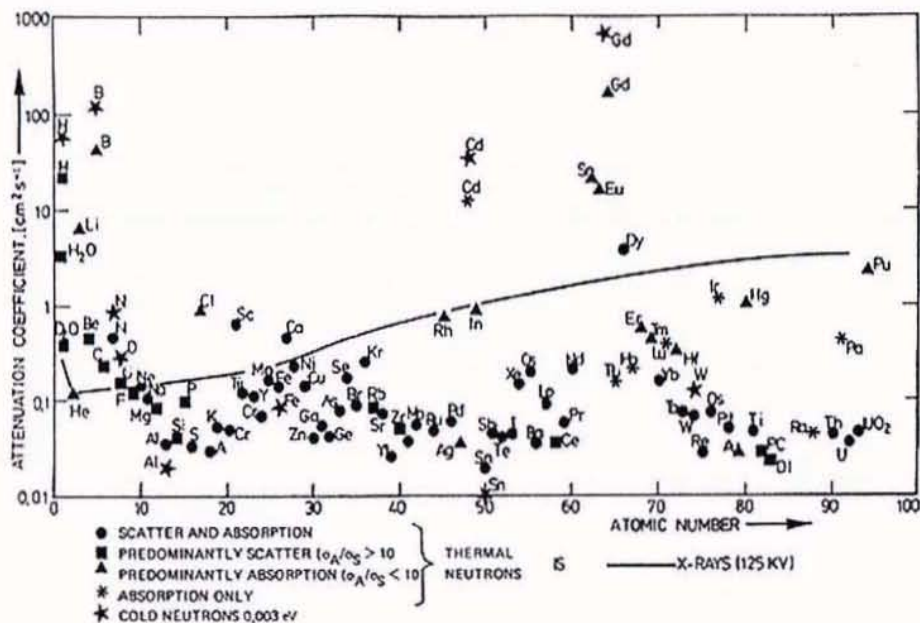
Neutron memiliki interaksi yang unik dengan bahan. Berkas neutron akan mengalami atenuasi yang besar bila melewati bahan-bahan dengan nomor atom

kecil seperti air, hidrokarbon, cadmium dan boron. Sebaliknya untuk ketebalan yang sama, neutron hanya sedikit mengalami atenuasi ketika menembus bahan-bahan dengan nomor atom besar seperti baja, timbal dan uranium [3]. Daya tembus neutron yang besar pada berbagai jenis bahan memungkinkan teknik ini digunakan untuk mengamati cacat atau struktur internal bahan tanpa harus merusaknya.

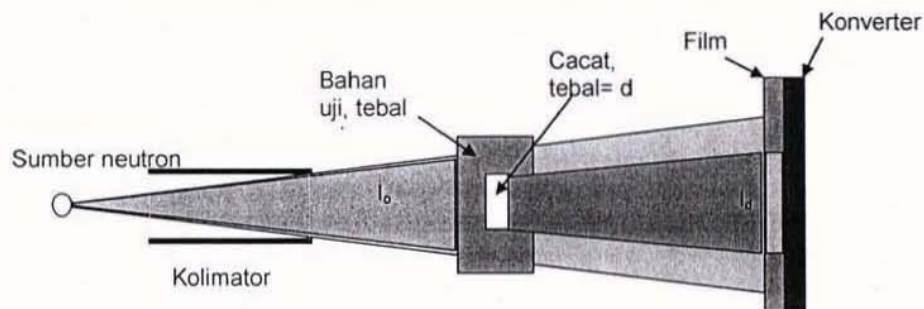
Tidak seperti koefisien atenuasi bahan terhadap radiasi sinar-x yang berbentuk kurva kontinu, koefisien atenuasi bahan terhadap neutron bersifat acak. Perbandingan data koefisien atenuasi neutron dan sinar-x untuk berbagai jenis bahan ditunjukkan pada Gambar 1 [5].

Prinsip Kerja Radiografi Neutron

Teknik radiografi neutron menggunakan 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 sebagiannya lagi ditransmisikan menembus bahan uji. Berkas neutron yang ditransmisikan oleh bahan uji akan



Gambar 1. Koefisien atenuasi berkas sinar-X dan neutron pada bahan [5].



Gambar 2. Sistem pengujian radiografi neutron

direkam oleh detektor dalam bentuk citra yang menggambarkan struktur internal dari bahan uji. Sistem pengujian radiografi neutron dengan metode film menggunakan konverter tunggal secara skematik ditunjukkan dalam Gambar 2.

Besar kecilnya intensitas neutron yang ditransmisikan oleh bahan uji ditentukan oleh besar kecilnya koefisien atenuasi bahan sesuai dengan perumusan berikut [6,7],

$$I = I_0 \exp(-\mu t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- I_0 = Intensitas radiasi neutron datang,
- μ = Koefisien atenuasi bahan
- t = Ketebalan bahan

Bila di dalam bahan uji terdapat cacat seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, maka intensitas radiasi yang melauai bahan tersebut memenuhi Persamaan (2),

$$I_d = I_0 \exp \{ -\mu(t-d) - \mu_d d \} \quad \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

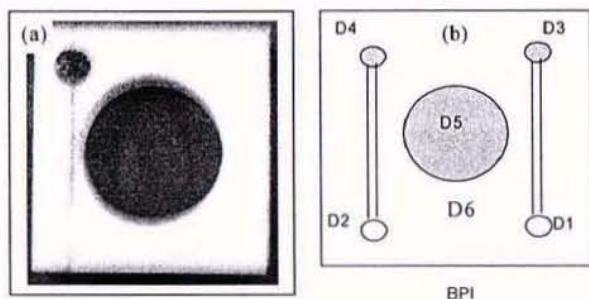
- d = Tebal cacat dalam bahan
- μ_d = Koefisien atenuasi cacat

Kualitas Citra Radiografi Neutron

Kualitas citra radiografi neutron dapat ditentukan berdasarkan pada analisis data dari citra indikator kualitas berkas yang diekspos bersama-sama dengan bahan uji. Ada dua jenis indikator kualitas citra yang digunakan, yaitu : cuplikan standar *BPI* (*Beam Purity Indicator*) dan cuplikan standar *SI* (*Sensitivity Indicator*) yang dikeluarkan oleh *ASTM* (*American Society for Testing and Material*).

Kualitas Berkas

Kualitas berkas neutron yang keluar dari reaktor dapat ditentukan secara kuantitatif dengan mengukur



- D1 : Densitas dari disk boron nitrida bagian bawah
- D2 : Densitas dari disk boron nitrida bagian atas
- D3 : Densitas dari disk timbal bagian bawah
- D4 : Densitas dari disk timbal bagian atas
- D5 : Densitas latar belakang film di lubang bagian tengah
- D6 : Densitas bagian teflon.

Gambar 3. (a). Foto dan (b). Gambar konstruksi cuplikan *BPI*.

densitas citra dari cuplikan *BPI* menggunakan densitometer. Menurut G. Bayon dkk. [8], ada 6 bagian yang perlu diukur dari citra cuplikan *BPI* yaitu : densitas D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 dan D_6 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Besaran-besaran yang menunjukkan kualitas berkas neutron ditentukan menggunakan Persamaan (3) sampai dengan Persamaan (6) [8].

Jumlah Neutron Termal (C)

$$C = \frac{D_5 - (\text{Nilai terbesar antara } D_1 \text{ dan } D_2 + (D_4 - D_3))}{D_5} \times 100 [\%] \quad (3)$$

Jumlah Neutron Terhambur (S)

$$S = \frac{D_1 - D_2}{D_5} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (4)$$

Jumlah Gamma (γ)

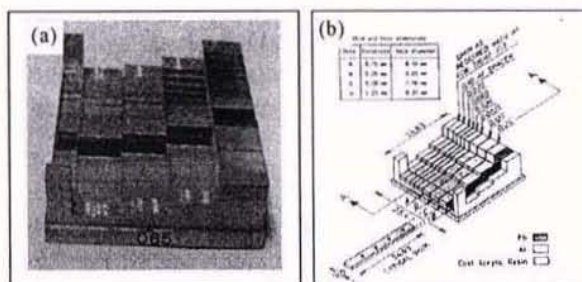
$$\gamma = \frac{D_6 - (\text{Nilai terendah antara } D_3 \text{ dan } D_4)}{D_5} \times 100 [\%] \dots (5)$$

Jumlah produksi pasangan elektron dan positron (P)

$$P = \frac{D_3 - D_4}{D_5} \times 100 [\%] \quad \dots\dots\dots (6)$$

Sensitivitas Citra

Sensitivitas citra radiografi neutron dapat ditentukan secara kualitatif dari citra lubang dan celah cuplikan standar *SI*. Cuplikan ini dibuat dalam bentuk *step* (tangga) dari bahan *acrylic resin* dengan ukuran panjang dan lebar 25,4 mm x 25,4 mm serta ketebalan *step* mulai dari 0,64 mm hingga 5,08 mm. Pada bodi cuplikan ini dipasang tiga buah lempengan (*shim*) masing masing mempunyai 4 buah lubang berukuran mulai dari 0,13 mm hingga 0,51 mm. Ketiga lempeng tersebut masing-masing diberi kode posisi A, B dan C, sedangkan celah yang terbuat dari pelat aluminium dengan ukuran mulai dari 0,013 mm hingga 0,25 mm dipasang diantara blok-blok *acrylic resin*. Konstruksi cuplikan *SI* tampak samping ditunjukkan pada Gambar 4 [8].



Gambar 4. Foto (a) dan Gambar konstruksi (b) cuplikan *SI*

Karakteristik fasilitas radiografi neutron dapat diklasifikasi berdasarkan data-data kandungan neutron termal dari cuplikan BPI serta jumlah lubang dan garis/celah yang teramati pada citra cuplikan *SI*.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk menentukan karakteristik fasilitas radiografi neutron meliputi cuplikan standar *Beam Purity Indicator (BPI)*, standar *Sensitivity Indicator (SI)*, larutan *developer*, larutan *fixer* serta film standar Denstep dan film Kodak MX125. Larutan *developer* dibuat dengan mencampurkan 50 g serbuk *developing agent AGFA G-230 A* dan 283,5 g *developing agent AGFA G-230 B*, kemudian melarutkannya di dalam 2,5 liter air. Sedangkan larutan *fixer* dibuat dengan melarutkan 590,65 g *fixing agent AGFA G-305* ke dalam 2,5 liter air.

Peralatan yang digunakan pada pengukuran radiografi neutron terdiri dari peralatan utama, yaitu fasilitas radiografi neutron termal (RN1) dan peralatan pendukung yang meliputi: film, konverter K-125, *stop watch*, perangkat pencuci film, *viewer*, *dryer*, *dark room portable*, lampu pengaman, kaset film dan densitometer.

Cara Kerja

Pengukuran citra radiografi neutron dilakukan dengan metode film menggunakan konverter tunggal. Pertama-tama film Kodak MX125 dan konverter dimasukkan ke dalam kaset dengan posisi film di depan konverter. Cuplikan *BPI* dan *SI* ditempelkan pada permukaan kaset yang berdekatan dengan film, kemudian ditempatkan dalam pusat berkas neutron dengan posisi cuplikan menghadap ke sumber neutron. Setelah cuplikan disinari dengan neutron selama 3 menit 20 detik, selanjutnya kaset radiografi diambil dari ruangan pengukuran dan filmnya dikeluarkan dari kaset dan disimpan dalam kantong kedap cahaya untuk kemudian dilakukan pencucian film di dalam kamar gelap.

Pencucian film dilakukan sesuai dengan prosedur atau instruksi kerja pencucian film LUM-IK-01.02 [9]. Film dimasukkan ke dalam larutan *developer* selama kurang lebih 5 menit, kemudian dicuci dengan air mengalir sampai bersih. Setelah itu film tersebut dimasukkan ke dalam larutan *fixer* selama 10 menit lalu dicuci lagi dengan air bersih yang mengalir. Film kemudian digantung menggunakan *film hanger* dan dikeringkan di dalam *dryer*. Setelah film kering, selanjutnya dikeluarkan dari *dryer* dan dimasukkan ke dalam wadah kertas untuk melindungi film dari goresan sebelum dilakukan proses pengukuran densitas dan analisis.

Densitas citra radiografi neutron cuplikan *BPI* diukur menggunakan densitometer. Sebelum digunakan, densitometer Sakura PDA-81 terlebih dahulu dikalibrasi menggunakan film standar Denstep Agfa[10].

Selanjutnya densitometer digunakan untuk mengukur densitas citra pada bagian D1, D2, D3, D4, D5 dan D6 dari cuplikan *BPI*. Hasil pembacaan densitas tersebut kemudian dikoreksi dengan faktor koreksi yang diperoleh dari hasil kalibrasi densitometer seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

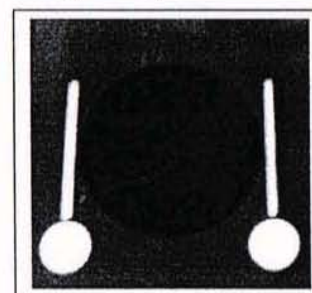
Tabel 1. Densitas film cuplikan *BPI*

Film	Kodak MX125
D1	1.08
D2	1.06
D3	2.55
D4	2.62
D5	2.99
D6	2.61

Selanjutnya besaran-besaran yang menunjukkan kualitas berkas neutron yang meliputi jumlah neutron termal, jumlah neutron terhambur, jumlah sinar gamma dan jumlah produksi pasangan ditentukan menggunakan Persamaan (3) sampai dengan Persamaan (6). Sedangkan untuk mengetahui kemampuan alat radiografi neutron dalam memotret benda uji ditentukan dari pengamatan secara visual citra radiografi dari cuplikan *SI*. Karakteristik fasilitas radiografi neutron dapat diklasifikasi berdasarkan data-data kualitas berkas serta jumlah lubang dan garis yang teramati pada citra cuplikan *SI* menggunakan tabel Kategori Radiografi Neutron berdasarkan ASTM E 545-05.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan citra radiografi neutron cuplikan *BPI* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Citra cuplikan *BPI*

Berkas neutron yang melewati cuplikan *BPI* berinteraksi dengan *disk* yang terbuat dari bahan boron nitrida, cadmium dan timbal yang berada di dalamnya. Karena boron nitrida dan cadmium memiliki koefisien atenuasi neutron lebih besar dibanding timbal, maka intensitas neutron yang ditransmisikan oleh boron nitrida dan cadmium ke konverter menjadi lebih rendah ketimbang yang ditransmisikan oleh timbal. Hal ini mengakibatkan film pada bagian boron nitrida dan cadmium mendapat penyinaran dengan intensitas yang lebih rendah sehingga

menghasilkan citra terang pada film seperti tampak pada Gambar 5. Sebaliknya citra pada bagian timbal dan lubang di tengah-tengah cuplikan tampak samar-samar karena neutron sedikit diserap oleh bahan tersebut sehingga film terekspos neutron lebih banyak dan citranya menjadi sedikit lebih gelap.

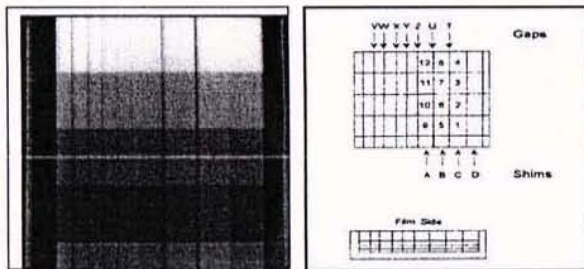
Selanjutnya densitas film pada masing-masing bagian dalam Gambar 5 diukur menggunakan densitometer. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing-masing bagian, kemudian hasilnya dirata-ratakan dan ditunjukkan dalam Tabel 1.

Perhitungan menggunakan Persamaan (3) sampai dengan Persamaan (6) menghasilkan data-data kualitas berkas seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas berkas pada fasilitas radiografi neutron di BATAN Serpong.

Film	Kodak MX125
Jumlah neutron termal (%)	60.95
Jumlah neutro terhambur (%)	0.78
Jumlah gamma (%)	0.48
Jumlah produksi pasangan (%)	2.85

Gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran citra radiografi neutron untuk cuplikan SI.



Gambar 6. Citra radiografi neutron untuk cuplikan SI

Dari Gambar 6 tersebut tampak bahwa citra dari garis/celah nomor 1, nomor 2, nomor 3, nomor 4 dan nomor 5 tampak jelas, sedangkan garis nomor 6 masih dapat dilihat walaupun agak samar-samar. Pada Gambar 6 juga dapat diamati citra lubang sebanyak 4 buah dengan ukuran 0,51 mm. Hasil pengamatan secara visual terhadap citra cuplikan SI pada Gambar 6 secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Garis dan ukuran garis terkecil yang dapat dilihat pada citra SI.

Garis (G)	Hasil Pengamatan	Ukuran garis (mm)
1	tampak	0.25
2	tampak	0.13
3	tampak	0.10
4	tampak	0.076
5	tampak	0.051
6	tampak	0.025
7	-	-

Tabel 4. Lubang dan ukuran lubang yang dapat diamati pada citra SI.

Lubang (H)	Ukuran lubang (mm)	Hasil Pengamatan
1	0.51	tampak
2	0.51	tampak
3	0.51	tampak
4	0.51	tampak
5	0.25	Tidak tampak
6	0.25	Tidak tampak
7	0.25	Tidak tampak
8	0.25	Tidak tampak
9	0.13	Tidak tampak
10	0.13	Tidak tampak
11	0.13	Tidak tampak
12	0.13	Tidak tampak

Berdasarkan data hasil pengukuran kualitas berkas dari citra BPI dan pengamatan visual citra SI, suatu fasilitas radiografi neutron dapat diklasifikasikan berdasarkan ASTM E545 ke dalam beberapa kategori seperti ditunjukkan dalam Tabel 5 [11].

Analisis citra radiografi cuplikan BPI dan SI dengan metode film menggunakan konverter tunggal dapat menghasilkan karakteristik berkas neutron yang lebih baik dari pengukuran sebelumnya. Jumlah kandungan neutron termalnya meningkat dari 44 % menjadi 60,95 %, sedangkan jumlah lubang yang teramati meningkat dari 3 lubang menjadi 4 lubang. Berdasarkan data kandungan neutron termalnya, fasilitas radiografi neutron di BATAN Serpong

Tabel 5. Kategori radiografi neutron berdasarkan ASTM E 545-05 [11].

Kategori	Jumlah neutron termal (%)	Jumlah Lubang	Jumlah Garis/Celah	Jumlah neutron terhambur (%)	Jumlah gamma (%)	Jumlah produksi pasangan (%)
I	65	6	6	5	3	3
II	60	6	6	6	4	4
III	55	5	5	7	5	5
IV	50	4	5	8	6	6
V	45	3	5	9	7	7

dapat diklasifikasikan ke dalam kategori II sesuai dengan standar ASTM E545-05.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran radiografi neutron dengan metode film menggunakan konverter tunggal dapat disimpulkan bahwa fasilitas radiografi neutron di BATAN Serpong mempunyai kandungan neutron termal sebesar 60,95 %, jumlah lubang 4 buah dan jumlah celah 6 buah. Harga jumlah kandungan neutron termal dan lubang yang teramati meningkat dari pengukuran yang telah dicapai sebelumnya. Berdasarkan kandungan neutron termal yang diperoleh, fasilitas radiografi neutron yang ada di BATAN Serpong dapat diklasifikasikan ke dalam kategori II sesuai standar ASTM E545-05.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Drs. Alim Tarigan, Kepala PRSG-BATAN dan teman-teman di Bidang Operasi Reaktor, PRSG-BATAN yang telah menyediakan neutron untuk penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Staf Bidang Spektrometri Neutron khususnya Saudara Nadi Suparno Amd., Juliyani, Amd. Indarto, Amd. serta semua pihak yang telah membantu dalam penyiapan alat dukung untuk penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. I. GREIM, H.P. LEEFLANG, R. MATFIELD, *Neutron Sources- Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992)
- [2]. J.C. DOMANUS, R. MATFIELD, J.F.W. MARKGRAF, D.J. TAYLOR, *Imaging Techniques-Neutron Sources-Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992)
- [3]. N. ASHOUB, H. BOCK, G. SCHERPKE, *The Neutron Radiography Facility at the Atominstitut-Vienna, Regional Meeting: Nuclear Energy in Central Europe*, Portoroz, Slovenia, (1993)
- [4]. A. INSANI, SUNARDI, SETIAWAN, SUYATNO, WAHYU HAGONO, JUNAEDI, *Pemberdayaan Fasilitas Radiografi Neutron, Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke 5*, P3IB-BATAN, (2003)
- [5]. P. VON DER HART AND H. ROTTGER, *Neutron Radiography Handbook*, D Reidel Publishing Company, London, (1981)
- [6]. <http://www.ndt.net/ndtaz.php>.
- [7]. J.C. DOMMANUS, *Introduction-Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992)

- [8]. G. BAYON AND J.C. DOMANUS, *Indicators for Image Quality Control-Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992)
- [9]. SUTIARSO, GUNAWAN, S. YUSUF, *Instruksi Kerja Pencucian Film Radiografi Neutron*, Dokumen Sistem Manajemen Mutu LUMBS, PTBIN-BATAN, (2008)
- [10]. K. MARSTBOMM, *Structurix Certified Denstep*, NIST, (2007)
- [11]. ASTM E545-05, *Standard Test Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiographic Examination*, ASTM International, (2005)