

Peningkatan Kualitas Citra Radiografi Neutron Menggunakan Film Lapisan Tunggal

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

ABSTRAK

Peningkatan Kualitas Citra Radiografi Neutron Menggunakan Film Lapisan Tunggal. Teknik radiografi neutron merupakan salah satu teknik uji tak merusak yang banyak digunakan untuk mengamati struktur internal bahan. Informasi struktur bahan uji dapat diperoleh dari citra film radiografi yang dihasilkan dimana kualitasnya akan bergantung pada jenis film yang digunakan. Untuk mengamati pengaruh film terhadap kualitas citra, uji radiografi neutron telah dilakukan terhadap saklar dan steker listrik serta cuplikan standar *Sensitivity Indicator* (SI) menggunakan dua jenis film yang berbeda. Caranya, cuplikan tersebut disinari dengan berkas neutron dari tabung berkas S2 Reaktor RSG-GAS di Serpong dan citranya direkam menggunakan film lapisan tunggal Agfa D3 dan film lapisan ganda Agfa D7. Selanjutnya, kualitas citra radiografi ditentukan dengan mengukur densitas latar belakang dan mengamati secara visual citra cuplikan uji. Hasil pengukuran memberikan nilai densitas latar belakang citra sebesar 2,81 untuk jenis film Agfa D3 dan 2,06 untuk jenis film Agfa D7. Dari pengamatan visual terhadap citra cuplikan uji diketahui bahwa bagian-bagian cuplikan yang terbuat dari plastik tampak lebih terang dibandingkan dengan bagian yang terbuat dari logam sesuai dengan teori dan jenis film Agfa D3 menghasilkan citra yang lebih jelas dibandingkan dengan film Agfa D7. Dari citra cuplikan SI juga diketahui bahwa citra garis dan lubang pada film Agfa D3 tampak lebih jelas dibanding citranya pada film Agfa D7. Berdasarkan nilai densitas latar belakang dan pengamatan visual citra cuplikan uji dapat disimpulkan bahwa penggunaan film lapisan tunggal dapat meningkatkan kualitas citra radiografi neutron dari cuplikan uji.

Kata Kunci : radiografi neutron, uji tak merusak, film lapisan tunggal, struktur internal, komponen listrik

ABSTRACT

The Improvement of Neutron Radiography Image Quality Using Single Emulsion Coated Film. Neutron radiography technique is one of non destructive techniques used to investigate the internal structure of materials. The structure of materials can be obtained from the radiographic images in which their qualities depend on the type of film used. To observe the effect of film type on the radiographic image quality, neutron radiography tests have been performed for electrical switch and plug samples as well as for standard sensitivity indicator (SI) sample using two type of films. The samples were irradiated by neutron beam emerging from the RSG-GAS reactor in Serpong and their images were recorded by a single emulsion coated film Agfa D3 and double emulsions coated film Agfa D7. The image quality were determined by measuring the background densities and by visual inspection of the sample image. The measured background density are 2.81 for the Agfa D3 film and 2.06 for the Agfa D7 film. The visual inspection of the tested samples showed that the part of sample made of plastic seem brighter than the part made of metal and the the Agfa D3 film produce clearer image than the the Agfa D7 film. It was observed from the SI image that the lines and holes images of the Agfa D3 film are clearer than that of the Agfa D7. Based on the background densities and the images quality of the tested samples it can be concluded that the use of single emulsion coated film can improve the neutron radiography quality images of the tested samples.

Keywords : neutron radiography, non destructive test, single emulsion coated film, internal structure, electrical component

1 Pendahuluan

Radiografi neutron merupakan salah satu teknik uji tak merusak untuk mengamati struktur internal bahan. Pengujian dengan teknik ini dapat dilakukan dengan beberapa metoda seperti metoda film/langsung, metoda *real time* ataupun metoda tomografi neutron. Pada makalah ini hanya akan dibahas pengujian radiografi neutron dengan metoda langsung menggunakan film sebagai media perekam citranya.

Citra radiografi neutron dapat memiliki kualitas yang berbeda-beda. Selain dipengaruhi oleh kualitas berkas neutron, citra radiografi neutron juga ditentukan oleh jenis film yang digunakan. Film jenis kodak misalnya akan menghasilkan kualitas citra yang berbeda dengan film jenis Agfa. Masing-masing jenis film memiliki karakteristik sendiri-sendiri. Selama ini pengujian radiografi neutron di PTBIN sering dilakukan menggunakan jenis film lapisan ganda (*double emulsion coated film*). Seiring dengan perkembangan di bidang teknologi film, para praktisi radiografi mulai banyak menggunakan jenis film lapisan tunggal (*single emulsion coated film*). Untuk mengetahui pengaruh jenis film terhadap kualitas citra, uji radiografi neutron telah dilakukan menggunakan film lapisan tunggal (Agfa D3) dan film lapisan ganda (Agfa D7) dan hasilnya diuraikan pada makalah ini. Sebagai bahan uji digunakan cuplikan komponen listrik berupa saklar dan steker listrik serta cuplikan standar *sensitivity indicator* (SI).

Pengujian dilakukan menggunakan fasilitas radiografi neutron yang ada di PTBIN-BATAN Serpong. Ketiga cuplikan uji tersebut disinari dengan berkas neutron yang memancar dari tabung berkas tangensial S2 reaktor RSG-GAS di Serpong. Berkas neutron yang ditransmisikan oleh sampel selanjutnya dikonversi oleh konverter menjadi radiasi pengion yang dapat menghitamkan film. Berkas radiasi tersebut kemudian direkam menggunakan film Agfa D3 dan Agfa D7. Citra bahan uji hasil pengujian dengan kedua jenis film tersebut dianalisis untuk melihat perubahan terhadap kualitas citra yang terbentuk. Dari pengujian ini diharapkan dapat diperoleh informasi atau data-data pengaruh jenis film terhadap peningkatan kualitas citra radiografi neutron yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai teknik alternatif pada pengujian radiografi neutron di BATAN.

2 Teori

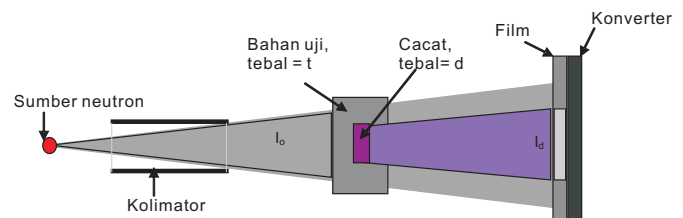
Radiografi neutron adalah teknik pencitraan yang menggunakan berkas neutron untuk menyinari bahan ujinya.

Berkas neutron yang digunakan pada eksperimen radiografi neutron dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti akselerator, radioisotop atau reaktor nuklir [1]. Sedangkan cara pengujiannya dapat digunakan metode film (metoda langsung), metoda *real time* atau metoda tomografi [2]. Dalam makalah ini, pembahasan akan dibatasi pada pengujian radiografi neutron dengan metoda langsung menggunakan detektor jenis film.

Tidak seperti sinar-x, interaksi neutron dengan bahan bersifat unik. Neutron banyak diserap oleh bahan-bahan bernomor atom kecil seperti boron, plastik atau bahan-bahan yang mengandung banyak hidrogen dan karbon. Sebaliknya, neutron dengan mudah dapat menembus bahan-bahan bernomor atom besar seperti logam baja atau timbal. Interaksi neutron yang unik ini menjadikan teknik radiografi neutron digunakan secara luas sebagai teknik uji tak merusak dalam bidang nuklir maupun non nuklir [3].

2.1 Prinsip kerja radiografi neutron

Semua teknik radiografi, termasuk teknik radiografi neutron menggunakan prinsip kerja yang sama, yaitu berdasarkan serapan atau absorpsi berkas ketika melewati suatu bahan. Bila berkas neutron termal dari reaktor diarahkan pada bahan uji maka sebagian neutron diabsorpsi dan sebagian lagi akan ditransmisikan menembus bahan uji. Berkas neutron yang ditransmisikan oleh bahan uji kemudian dikonversi oleh konverter menjadi radiasi pengion yang dapat menghitamkan film [4]. Selanjutnya berkas radiasi yang memancar dari konverter direkam menggunakan detektor jenis film. Citra yang terbentuk pada film akan memberikan informasi mengenai gambaran struktur internal dari bahan uji. Sistem pengujian radiografi neutron menggunakan detektor film secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Sistem pengujian radiografi neutron dengan metoda film.

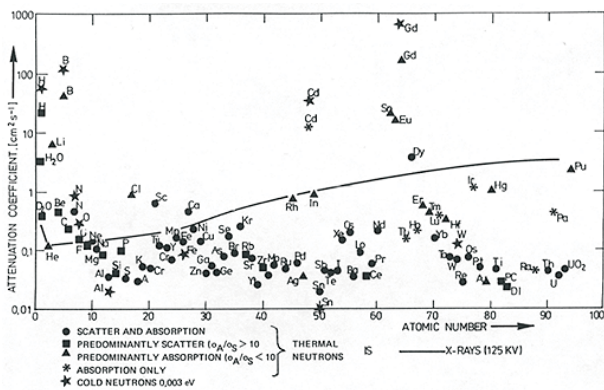
Besar kecilnya intensitas neutron yang ditransmisikan oleh bahan uji ditentukan oleh besar kecilnya koefisien absorpsi bahan sesuai dengan perumusan berikut [5].

$$I_d = I_0 \exp \{ -\mu(t - d) - \mu_d d \} \tag{1}$$

dimana t : tebal bahan uji, d : tebal cacat dalam bahan, μ_d : koefisien absorpsi cacat ; μ : koefisien bahan uji; I_0 : intensitas neutron datang dan I_d : intensitas yang ditransmisikan oleh cacat.

2.2 Koefisien absorpsi

Sifat absorpsi bahan terhadap neutron bersifat acak. Tidak seperti koefisien absorpsi bahan terhadap radiasi sinar-x yang berbentuk kurva kontinu, koefisien absorpsi bahan terhadap neutron bersifat deskrit dan tidak berbanding linier dengan nomor atom bahan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Atom hidrogen (H) dan boron (B) misalnya memiliki koefisien absorpsi terhadap neutron lebih besar dibanding dengan atom besi (Fe) dan tembaga (Cu). Sebaliknya, koefisien absorpsi atom H dan B terhadap sinar-x harganya lebih kecil dibandingkan dengan koefisien absorpsi atom Fe dan Cu. Perbandingan data koefisien absorpsi neutron dan sinar-x untuk berbagai jenis bahan ditunjukkan pada Gambar 2 [6].



Gambar 2: Koefisien absorpsi berkas sinar - x dan neutron pada bahan [6].

2.3 Film radiografi neutron

Film radiografi mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Film radiografi umumnya dibuat dari lembaran plastik transparan (*cellulosa-acetat-base*) yang dilapisi emulsi dari bahan silver halida misalnya AgBr. Ada film yang dilapisi bahan emulsi pada kedua sisinya yang dikenal dengan istilah film lapisan ganda (*double emulsion coated film*), namun ada juga film yang dilapisi bahan emulsi hanya pada satu sisinya saja atau film lapisan tunggal (*single emulsion coated film*) [7].

Film radiografi dibuat dengan ukuran butiran emulsi yang bervariasi. Berdasarkan besarnya butiran emulsi, film radiografi dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis yaitu film dengan ukuran butiran kecil (*fine grain*), film

dengan ukuran butiran medium (*medium fine-grain*) dan film dengan ukuran butiran besar (*coarse grain*). Film dengan butiran kecil biasa disebut dengan film kecepatan rendah (film lambat), sedangkan film dengan ukuran butir emulsi besar disebut dengan film dengan kecepatan tinggi (film cepat). Setiap jenis film tersebut akan memiliki respon terhadap radiasi yang berbeda dan akan mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan.

Bahan emulsi pada film sangat sensitif terhadap cahaya. Bila disinari cahaya, bahan Ag akan menjadi ion dan bergerak di dalam bahan emulsi yang akhirnya akan terperangkap di dalam daerah ketidaksempurnaan kristal. Ion Ag tersebut akan menarik muatan negatif di sekitarnya dan mengendap dalam bentuk atom Ag. Bila film dicuci, endapan Ag tersebut akan menghasilkan citra pada film.

2.4 Densitas film

Densitas film radiografi neutron menunjukkan tingkat kehitaman citra pada film. Film dengan tingkat kehitaman yang tinggi memiliki densitas yang tinggi pula. Secara kuantitatif, densitas film radiografi dinyatakan sebagai logaritma dari perbandingan intensitas cahaya yang datang pada film dengan intensitas yang ditransmisikan oleh film. Secara matematik, densitas film dapat dinyatakan dengan persamaan,

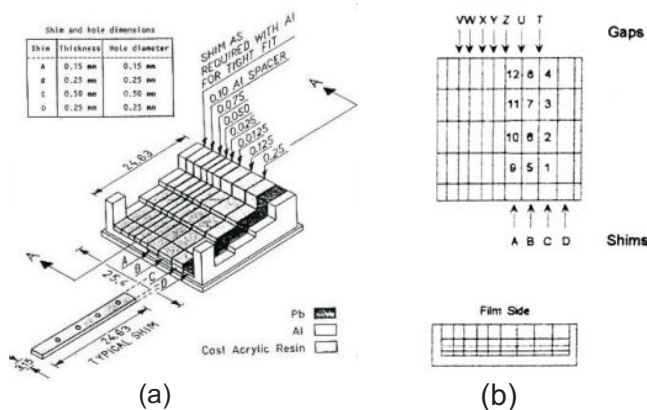
$$D = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (2)$$

dimana I_0 adalah intensitas yang datang pada film, sedangkan I adalah intensitas yang ditransmisikan oleh film [8].

2.5 Kualitas Citra

Kualitas citra radiografi neutron dapat ditentukan melalui pengukuran densitas latar belakang dan pengamatan secara visual citra radiografi dari cuplikan uji atau cuplikan SI. Cuplikan SI dibuat dalam bentuk *step* (tangga) dari bahan *acrylic resin* dengan ukuran panjang dan lebar 25,4 mm × 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 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 di antara blok-blok *acrylic resin* dengan kode T, U, V, W, X, Y dan Z. Konstruksi cuplikan SI tampak samping ditunjukkan pada Gambar 3. Menurut ASTM, citra radiografi dikatakan baik, bila densitas latar belakang pada

film mempunyai harga antara 2 dan 3 atau citra garis dan lubang dari cuplikan SI dapat teramati [9].



Gambar 3: (a) Gambar konstruksi cuplikan SI (b) Kode garis [9].

3 Tata Kerja

3.1 Bahan dan Alat

Sebagai bahan uji digunakan produk komponen listrik berupa saklar dan steker listrik yang diperoleh dari pasaran serta cuplikan standar SI (*Sensitivity indicator*). Dalam eksperimen ini diamati 2 buah cuplikan saklar, yang satu diset pada posisi On sedangkan satunya lagi diset pada posisi Off. Cuplikan steker yang diamati memiliki dua buah colokan masing-masing mempunyai terminal untuk koneksi kabel. Dua buah kabel dimasukkan ke dalam steker dimana kabel 1 disambung ke Terminal 1, sedangkan kabel 2 sengaja tidak disambungkan ke Terminal 2.

Untuk memproses film pasca penyinaran digunakan larutan *developer* dan larutan *fixer*. Larutan *developer* dibuat dengan mencampurkan 50 gr serbuk *developing agent* AGFA G - 230 A dan 283,5 gr *developing agent* AGFA G - 230 B, kemudian melarutkannya di dalam 2,5 liter air. Sedangkan larutan *fixer* dibuat dengan melarutkan 590,65 gr *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 (RN1) yang terpasang pada tabung berkas tangensial S2 Reaktor RSG-GAS di Serpong. Sebagai konverter digunakan konverter K-125, sedangkan sebagai media perekam digunakan jenis film lapisan tunggal Agfa D3 dan film lapisan ganda Agfa D7. Disamping itu, eksperimen ini juga menggunakan peralatan pendukung seperti *stop watch*, perangkat pencuci film, *viewer* (*view-*

Lite 0417), *dryer*, *dark room*, lampu pengaman dan densitometer Speedmaster SM-14.

3.2 Metode Eksperimen

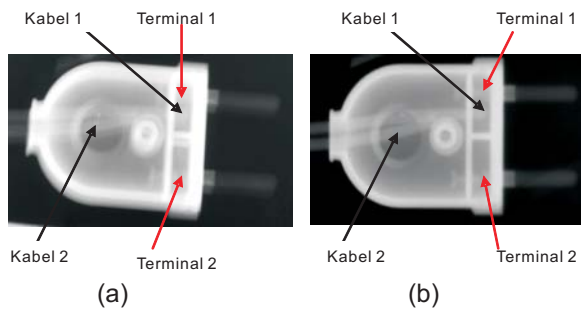
Pengamatan citra radiografi neutron dilakukan dengan menyinari cuplikan uji dengan neutron dan merekam citranya menggunakan detektor jenis film lapisan tunggal dan film lapisan ganda. Pertama-tama film lapisan tunggal Agfa D3 dan konverter dimasukkan ke dalam kaset dengan posisi film di depan konverter dan permukaan film yang terlapis emulsi menghadap ke arah konverter. Cuplikan uji berupa saklar, steker listrik dan cuplikan SI dipasang pada posisi cuplikan, kemudian disinari berkas neutron selama 10 menit. Cara yang sama dilakukan untuk detektor film Agfa D7 dengan waktu penyinaran selama 1 menit 10 detik. Selanjutnya kaset radiografi diambil dari ruangan pengukuran dan filmnya dikeluarkan dari kaset di dalam ruang gelap, kemudian disimpan dalam kantong kedap cahaya untuk selanjutnya dilakukan pencucian film di dalam kamar gelap.

Pencucian film dilakukan di kamar gelap dengan cara sebagai berikut. 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, dicuci lagi dengan air bersih yang mengalir, kemudian dikeringkan di dalam *dryer*. Setelah film benar-benar kering, selanjutnya dikeluarkan dari *dryer* dan dimasukkan ke dalam wadah kertas untuk melindungi film dari goresan sebelum dilakukan proses pengukuran densitas dan analisis.

Kualitas citra ditentukan dengan mengukur densitas latar belakang atau mengamati secara visual citra cuplikan uji. Pengukuran densitas latar belakang film citra cuplikan uji dilakukan menggunakan densitometer Speedmaster-SM14, sedangkan pengamatan citra secara visual dilakukan menggunakan alat *viewer*.

4 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan radiografi neutron cuplikan steker listrik menggunakan fasilitas radiografi neutron di BATAN ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4a menunjukkan citra radiografi neutron cuplikan steker listrik yang diperoleh menggunakan film lapisan tunggal Agfa D3, sedangkan citra yang diperoleh menggunakan film lapisan ganda Agfa D7 ditunjukkan pada Gambar 4b.



Gambar 4: Citra radiografi neutron cuplikan steker listrik.

Dari gambar 4a dan 4b terlihat adanya ketidak sempurnaan koneksi kabel di dalam steker. Kabel bagian atas (kabel 1) tersambung ke ujung logam colokan (terminal 1), sementara kabel 2 tidak tersambung ke ujung logam colokan (terminal 2). Hasil ini sesuai dengan kondisi steker yang sebenarnya.

Bahan yang berbeda dalam saklar menghasilkan citra yang berbeda pada film. Tampak pada Gambar 4 bahwa citra dari bagian-bagian yang terbuat dari plastik terlihat lebih terang, sedangkan citra dari bagian yang terbuat dari logam terlihat agak samar. Hal ini disebabkan karena berkas neutron yang melewati bahan plastik mengalami penyerapan yang besar sehingga intensitas yang datang pada film relatif rendah. Sementara berkas yang menembus bagian logam mengalami penyerapan yang lebih kecil akibatnya intensitas yang mengenai film relatif lebih besar. Hasil pengukuran densitas citra pada bagian plastik dan logam cuplikan steker ditunjukkan pada Tabel 1.

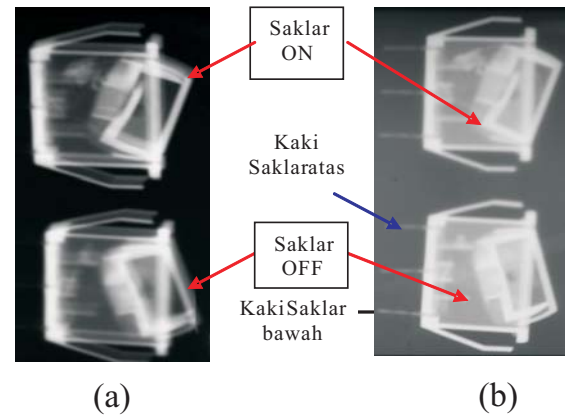
Tabel 1: Densitas citra radiografi neutron pada bagian plastik dan logam cuplikan steker listrik.

No.	Film Agfa D3		Film Agfa D7	
	Bagian plastik	Bagian Logam	Bagian plastik	Bagian Logam
1.	1,25	2,57	1,19	1,32
2.	1,24	2,58	1,15	1,45
3.	1,24	2,56	1,12	1,43

Dari pengukuran densitas dengan film Agfa D3 diperoleh nilai densitas rata-rata sebesar 1,24 pada citra plastik dan sebesar 2,57 pada citra logam. Pengukuran densitas pada citra yang diperoleh dengan film agfa D7 menghasilkan densitas rata-rata sebesar 1,15 pada citra plastik dan sebesar 1,40 pada citra logam. Tampak bahwa citra plastik memiliki nilai densitas yang lebih rendah dari densitas citra logam dan citra bahan uji pada film Agfa D3 tampak lebih jelas dibandingkan dengan citranya pada film Agfa D7.

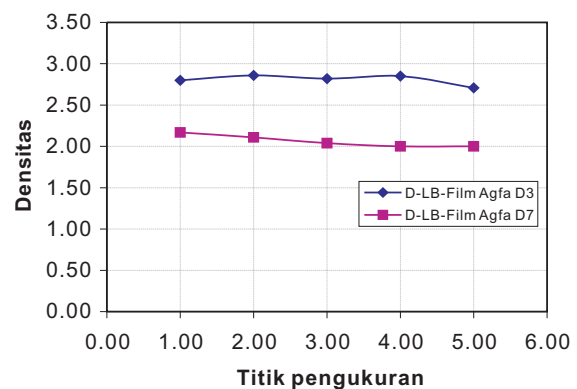
Gambar 5 menunjukkan hasil pengamatan citra radiografi neutron cuplikan saklar listrik. Citra radiografi neu-

tron yang diperoleh menggunakan film lapisan tunggal Agfa D3 ditunjukkan pada Gambar 5a, sedangkan citra saklar listrik yang diperoleh menggunakan film lapisan ganda Agfa D7 ditunjukkan pada Gambar 5b.



Gambar 5: Citra radiografi cuplikan saklar listrik a. dengan film Agfa D3; b. dengan film Agfa D7.

Dari Gambar 5 tampak bahwa bagian-bagian dalam dari saklar listrik terlihat cukup jelas. Pada saat saklar *ON*, kaki saklar bagian bawah terlihat terhubung dengan bahan konduktor yang terpasang pada tombol saklar sehingga kaki saklar bagian atas dan bawah tersambung. Sebaliknya ketika saklar *OFF*, kaki saklar bagian bawah terbuka sehingga tak ada sambungan antara kaki bawah dan kaki atas.



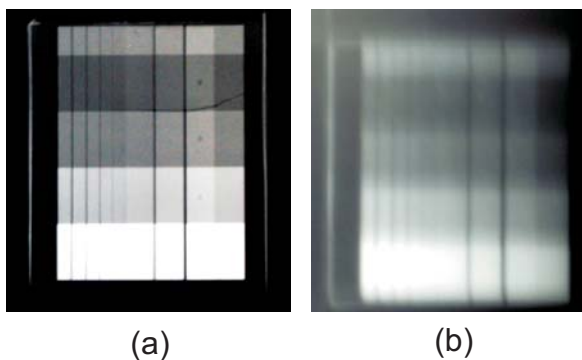
Gambar 6: Densitas latar belakang citra radiografi untuk film lapisan tunggal dan lapisan ganda.

Seperti halnya pada citra steker, bagian yang terbuat dari bahan plastik pada cuplikan saklar tampak lebih terang dibandingkan dengan citra dari bagian logam. Densitas rata-rata citra bahan plastik pada film Agfa D3 adalah 1,24 dan harganya untuk citra bahan logam adalah sebesar 2,57. Pengukuran densitas citra yang diperoleh dengan film agfa D7 menghasilkan densitas rata-rata citra plas-

tik sebesar 1,15 dan densitas rata-rata citra logam sebesar 1,40. Tampak bahwa citra plastik memiliki harga densitas yang lebih rendah dari densitas citra logam. Hal ini sesuai dengan perkiraan teori yang menjelaskan bahwa neutron banyak diserap oleh bahan-bahan yang mengandung atom hidrogen dan mudah menembus bahan-bahan logam.

Kualitas citra pada film juga dapat ditentukan dari nilai densitas latar belakang pada film yang digunakan. Gambar 6 menunjukkan data hasil pengukuran densitas latar belakang untuk film Agfa D3 dan Agfa D7. Kedua jenis film memiliki densitas yang berbeda, namun nilai keduanya berada di antara 2 dan 3. Data ini menunjukkan bahwa citra yang diperoleh sudah memenuhi persyaratan.

Kualitas citra radiografi neutron dapat pula ditentukan melalui pengamatan citra cuplikan standar SI. Hasil pengukuran citra radiografi neutron untuk cuplikan SI ditunjukkan pada Gambar 7. Dari gambar 7a tampak bahwa citra ketujuh garis/celah T, U, V, W, X, Y dan Z tampak jelas, sedangkan pada Gambar 7b kelima citra garis T, U, V, W, X tampak cukup jelas, namun citra garis Y dan Z tampak samar-samar. Dari Gambar 7 juga dapat diamati citra lubang dari cuplikan SI. Sebanyak 4 citra lubang berukuran 0,51 mm tampak cukup jelas pada citra film Agfa D3, sedangkan citra lubang tersebut tampak kurang begitu jelas pada citra film Agfa D7. Dari pengamatan secara visual terhadap citra kedua cuplikan uji tampak bahwa citra yang diperoleh menggunakan film Agfa D3 terlihat lebih jelas dibandingkan dengan citra yang diperoleh dengan film Agfa D7.



Gambar 7: Citra radiografi neutron untuk cuplikan SI a. Film Agfa D3; b. Film Agfa D7.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian radiografi neutron terhadap cuplikan saklar dan steker listrik serta cuplikan standar SI menggunakan detektor film lapisan tunggal dan film lapisan ganda dapat disimpulkan sebagai berikut: Bagian

bahan uji yang terbuat dari plastik memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian bahan uji yang terbuat dari logam. Penggunaan film lapisan tunggal dapat menghasilkan citra radiografi neutron bahan uji yang lebih jelas.

6 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Alim Tarigan, Kepala PRSG dan teman-teman di Bidang Operasi Reaktor, PRSG yang telah menyediakan neutron untuk penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Staf Bidang Spektrometri Neutron serta semua pihak yang telah membantu dalam kegiatan pengujian ini.

Daftar Pustaka

- [1] I. Greim, H.P. Leeftang, 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] J.F.W. Markgraf and R. Matfield, *Converters- Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992).
- [5] J.C. Domanus, *Introduction-Practical Neutron Radiography*, Kluwer Academic Publishers, London, (1992).
- [6] P. Von der Hart and H. Rottger, *Neutron Radiography Handbook*, D Reidel Publishing Company, London, (1981).
- [7] Syahrudin, *Pengenalan Teknik Radiografi*, AUTRI, (2002).
- [8] <http://www.ndt-ed.org>.
- [9] ASTM E545-05, Standard Test Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiographic Examination, ASTM International, 2005.