

KARAKTERISASI GABUNGAN FILM DAN KONVERTER SEBAGAI MEDIA PEREKAM CITRA PADA UJI TAK RUSAK RADIOGRAFI NEUTRON

Mardiyanto dan Syahfandi Ahda

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 13514, Tangerang

ABSTRAK

KARAKTERISASI GABUNGAN FILM DAN KONVERTER SEBAGAI MEDIA PEREKAM CITRA PADA UJI TAK RUSAK RADIOGRAFI NEUTRON. Telah dilakukan karakterisasi gabungan film dan skrin konverter yang merupakan media perekam citra sistem pencitraan radiografi neutron. Setiap film sinar-X memiliki kepekaan dan resolusi yang berbeda antara film yang satu dengan yang lainnya. Pada pemakaiannya dalam teknik uji tak rusak radiografi neutron, film tidak bisa langsung merekam citra obyek yang berupa distribusi intensitas berkas neutron. Oleh karena itu diperlukan skrin konverter yang mengubah berkas neutron menjadi berkas radiasi yang mampu menghitamkan film. Jenis skrin konverter ini ada berbagai jenis dan memiliki kemampuan untuk mengkonversikan berkas neutron menjadi berkas radiasi pengion yang berbeda (misal : sinar gamma, atau elektron). Oleh karena itu harus dilakukan karakterisasi gabungan film konverter sehingga waktu iradiasinya bisa dilakukan dengan tepat dan dapat diperoleh citra yang terbaik. Iradiasi dilakukan dengan menggunakan fluks neutron rata-rata sebesar $1,34 \times 10^6 \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Ada beberapa jenis film dan konverter yang digunakan dalam penelitian ini dan diperoleh waktu iradiasi yang tepat untuk gabungan film konverter, SR-5-Gd dan SR-5-KO 500 adalah 1020 detik dan 200 detik.

Kata kunci : Skrin konverter, Media perekam radiografi neutron, Kurva waktu penyinaran

ABSTRACT

FILM SCREEN CONVERTER SYSTEM CHARACTERIZATION AS THE IMAGING MEDIA OF NEUTRON RADIOGRAPHY NON-DESTRUCTIVE TESTING. Characterization of film-converter system for neutron radiography imaging has been conducted. The sensitivity and the resolution of different X-ray film are not the same. When X-ray film is used as a recording medium in neutron radiography, it does not response directly to neutron beam which contains object image. So, a neutron screen converter is needed to convert the neutron beam into another nuclear radiation which can blacken the film into latent image. There are many screen converter types that can convert the neutron beam into other radiation type such as gamma-ray or an electron beam. Base on the reason, it is necessary to do the research to have the appropriate exposure time for each film-conveter system in order to have the best neutron radiography non-destructive testing image. For conducting the research, an average neutron beam flux of $1.34 \times 10^6 \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ was used. Some X-ray film and screen converter type were used. The appropriate exposure time of film- converter, SR-5-Gd and SR-5-KO 500 of 1020 s and 200 s are obtained.

Key words : Screen converter, Neutron radiography imaging system, Time exposure curve

PENDAHULUAN

Uji tak rusak adalah suatu metoda pengujian untuk mengetahui adanya cacat pada suatu produk pada saat proses *manufacturing* ataupun produk yang sedang digunakan sebagai suatu sistem ataupun elemen dari suatu sistem. Ada beberapa teknik uji tak rusak ini yang telah populer baik di industri ataupun pada penggunaan yang lainnya. Teknik uji tak rusak tersebut antara lain adalah radiografi sinar-X dan sinar- γ , radiografi neutron, *Nuclear Magnetic Resonance (NMR)*, ultrasonik, *penetrant dye*, partikel magnetik dan arus *eddy*.

Uji tak rusak radiografi neutron memiliki kemiripan dengan radiografi sinar-X dan sinar- γ . Proses pengujian

juga memiliki kemiripan yakni berkas radiasi akan menembus bahan/obyek dan intensitas berkas inilah yang direkam sebagai citra dari obyek. Perbedaan antara keduanya terletak pada kemampuan/daya tembusnya. Untuk sinar-X dan sinar- γ , ia dapat menembus bahan yang memiliki berat atom rendah dengan baik dan daya tembusnya menurun dengan kenaikan berat atom bahan. Berkas neutron memiliki sifat daya tembus yang berlawanan dengan sinar-X dan sinar- γ dan cenderung bervariasi untuk setiap unsur bahkan setiap isotop.

Radiografi neutron adalah salah satu teknik uji tak rusak dengan menggunakan berkas neutron yang

terkolimasi. Neutron yang digunakan pada pengujian ini biasanya menggunakan neutron termal walaupun akhir-akhir ini mulai dilakukan penggunaan neutron cepat ataupun neutron dingin. Sebagai sumber neutron termal umumnya digunakan reaktor nuklir. Sumber neutron lain adalah mesin pemercepat partikel dan sumber radioisotop. Neutron yang dihasilkan oleh reaktor nuklir atau sumber radioisotop berupa neutron cepat. Untuk menurunkan energinya maka dilakukan termalisasi dengan menggunakan moderator berupa air, air berat, atau grafit. Neutron termal adalah neutron yang memiliki energi sebanding dengan energi panas sekitarnya.

Pengujian ada tidaknya cacat dalam sampel dapat dilakukan dengan menempatkan bahan pada ujung luar kolimator. Berkas neutron terkolimasi akan menembus obyek dan sebagian akan terserap. Berkas neutron yang menembus obyek itulah yang membawa informasi kondisi dari obyek yang sedang diuji. Informasi ini selanjutnya direkam dengan menggunakan medium perekam citra.

Ada beberapa jenis media perekam citra radiografi neutron antara lain adalah gabungan antara film sinar-X dengan skrin konverter, plat pencitraan (*imaging plate*), *palt track etch*, ataupun gabungan antara konverter cahaya dengan kamera baik analog ataupun digital. Dari beberapa jenis media perekam tersebut yang memiliki resolusi terbaik adalah gabungan antara film dan skrin konverter. Oleh karena itu walaupun harganya relatif lebih mahal maka penggunaan media perekam ini masih banyak digunakan terutama untuk menampilkan cacat kecil.

Resolusi dari media perekam citra radiografi neutron termal tidak hanya ditentukan oleh kualitas film namun juga ditentukan oleh jenis dari skrin konverter. Untuk menentukan kualitas jenis film dapat dilakukan dengan mudah karena resolusi dari film ditentukan berdasarkan pada ukuran dari butiran perak halida yang ditempelkan pada permukaan plastik yang transparan. Ukuran ini dinyatakan dalam ukuran yang disebut dengan istilah ASA/ISO. Masalah yang muncul adalah apabila antara film dan skrin konverter digabungkan maka resolusi media perekam ini tidak lagi bisa ditentukan hanya dari resolusi filmnya namun harus ditentukan resolusi perekam gabungan.

Selain dari itu pada setiap fasilitas radiografi neutron sudah seharusnya mempunyai kurva standar sebagai acuan untuk menentukan waktu pencitraan untuk setiap gabungan film-skrin konverter yang dimilikinya. Dengan adanya standar ini maka operator akan dengan mudah untuk menentukan waktu penyinaran dalam pembuatan suatu radiograf untuk setiap media perekam walaupun tidak bisa diperoleh waktu paparan yang eksak namun penentuan dengan metoda coba-coba bisa dihindarkan sehingga mengurangi biaya pembelian film karena jumlah film yang digunakan bisa diminimumkan.

Untuk menentukan karakteristik media perekam gabungan ini diusulkan untuk menggunakan transformasi

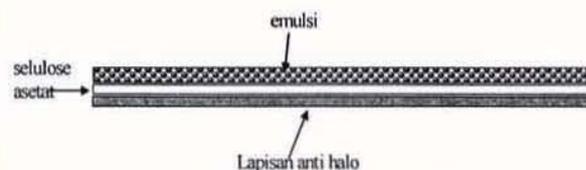
Fourier. Dengan metoda ini akan diperoleh fungsi alih (*transfer function*) dari media perekam gabungan [1].

Pada tulisan ini akan disajikan prosedur penentuan fungsi alih media perekam gabungan dan pembuatan kurva waktu penyinarannya.

TEORI

Film Sinar-X

Film sinar-X pada dasarnya sama dengan film fotografi biasa yakni terdiri dari selulose asetat yang tranparan sebagai landasan untuk melapiskan media perekam berupa emulsi yang terbuat dari perak halida yang dicampur dengan bahan perekat (*binder*). Pada awal perkembangannya film sebagai bahan landasan adalah lempengan kaca. Namun demikian karena kaca mudah pecah maka digantikan dengan bahan selulose asetat. Untuk melindungi film dari cahaya yang datang dari bagian belakang maka film dilindungi dengan menggunakan lapisan anti-halo [2]. Konstruksi film dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur film sinar-X

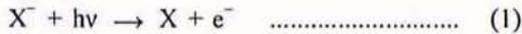
Perak halida berupa butiran-butiran padat. Ukuran dari butiran-butiran inilah yang selanjutnya akan menjadi ukuran dari kepekaan dari suatu film. Semakin besar ukuran butiran maka film tersebut akan menjadi lebih sensitif, namun kualitas citra akan menjadi kurang baik. Standar yang dipakai sebagai ukuran dari kepekaan film dinyatakan dalam ASA (*American Standards Association*) atau ISO (*International Organization for Standardization*).

Butiran-butiran Ag-halida yang berada dalam emulsi yang merupakan bahan yang sensitif terhadap cahaya ini selanjutnya akan menjadi perekam informasi intensitas cahaya pada saat film ini digunakan pada pencitraan radiografi neutron.

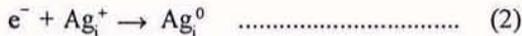
Proses terbentuknya citra radiografi pada film sinar-X sebenarnya telah lama dipelajari namun penjelasan secara teori yang memadai baru diperoleh setelah diterbitkannya makalah peneliti sebelumnya [3]. Berawal dari tulisan inilah berbagai penelitian dalam bidang kimia dan fisika padat yang terkait dengan fenomena fotosensitifitas bahan Ag-halida banyak dilakukan. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa sifat-sifat fotografis dari Ag-halida terutama AgBr sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan kristal, ketidak-murnian bahan, dan cacat permukaan (cacat Frenkel). Kondisi ini selanjutnya berpengaruh pada sensitifitas film dalam pembentukan citra permanen.

Proses Terbentuknya Citra Permanen Pada Film

Pada saat cahaya mengenai permukaan butiran Ag-halida maka akan terbentuk fotoelektron melalui reaksi:

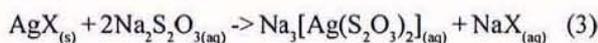


Setelah elektron terbentuk selanjutnya akan terjadi peristiwa penangkapan elektron oleh atom Ag^+ sehingga terbentuk atom logam Ag [4,5,6]:



Secara singkat pembentukan citra permanen terjadi jika cahaya yang telah berisi informasi citra mengenai emulsi film dan berinteraksi dengan butiran Ag-halida. Interaksi foton dengan halida terbentuk elektron yang selanjutnya ditangkap oleh ion Ag^+ sehingga terbentuk atom logam Ag. Jumlah elektron yang terbentuk sebanding dengan jumlah foton yang mengenai kristal. Daerah yang terkena foton dengan intensitas lebih besar akan menghasilkan elektron yang lebih besar sehingga terbentuk atom logam Ag yang memiliki konsentrasi lebih besar, sehingga gradien konsentrasi jumlah atom Ag terbentuk diseluruh permukaan film dan membentuk citra laten yang belum tampak [4,6].

Agar citra dapat terlihat maka ada dua tahap pemrosesan film yang diperlukan yakni proses pengembangan (*development process*) dan pemantapan (*fixing process*). Pada proses pengembangan, citra laten dibuat lebih tajam dengan penambahan zat kimia yakni *hydroquinone* yang mereduksi butiran-butiran yang berisi atom Ag. Proses ini sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi larutan pengembang. Pada proses ini citra laten sudah mulai tampak. Setelah dilakukan proses pengembangan maka dilanjutkan dengan proses pemantapan yakni untuk menghilangkan/melarutkan Ag-halida yang tidak terkena cahaya dari emulsi film dan juga untuk mencegah terjadinya proses reduksi terus berlangsung. Reaksi proses pemantapan film adalah sebagai berikut [4]:



Setelah proses pemantapan berakhir maka diperoleh film negatif dan untuk memperoleh citra positif maka dapat dilakukan penyinaran dengan cahaya

tampak terhadap film negatif tersebut dan intensitas cahaya yang ditransmisikan oleh film direkam dengan menggunakan kertas foto. Hal ini bisa dilakukan secara berulang-ulang untuk mendapatkan citra permanen pada kertas foto dalam jumlah sesuai dengan keinginan kita.

Skrin Konverter

Neutron merupakan radiasi yang tidak bermuatan sehingga tidak bisa mengionisasi bahan. Agar neutron bisa dideteksi maka perlu dikonversikan menjadi radiasi nuklir yang lain seperti sinar- γ melalui reaksi (n, γ) , elektron melalui reaksi (n, e) , atau (n, α) . Bahan yang bisa digunakan untuk keperluan tersebut antara lain adalah gadolinium dan lithium.

Sumber Radiasi Neutron

Pengujian tak merusak dengan menggunakan teknik radiografi neutron dapat dilihat pada Gambar 2. Berkas neutron baik yang berasal dari reaktor nuklir, mesin pemercepat partikel, ataupun radioisotop lintasannya dalam keadaan acak. Agar bisa dijadikan sebagai sumber neutron untuk radiografi neutron maka berkas tersebut harus dikolimasikan terlebih dahulu sehingga menjadi berkas yang hampir sejajar dengan jalan melewatkannya melalui sebuah kolimator.

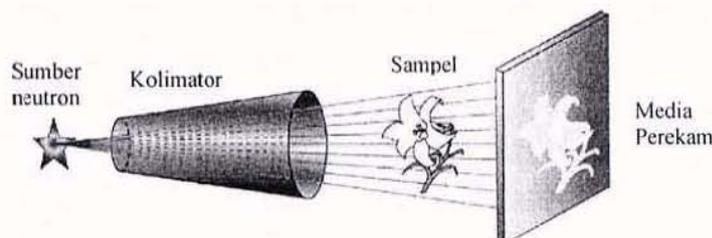
Kolimator biasanya dibuat dalam bentuk divergen (Gambar 2) dan ukuran panjang (L) dan lebar ujung masuk kolimator digunakan sebagai salah satu penentu kualitas berkas neutron.

Harga perbandingan L/D semakin besar kualitas citra menjadi lebih baik. Sampel dan media perekam sebaiknya diletakkan sedekat mungkin dengan ujung bagian luar dari kolimator.

METODE PERCOBAAN

Untuk melakukan percobaan ini, hal pertama yang dilakukan adalah mengukur besarnya fluks radiasi neutron pada bidang pencitraan. Untuk pengukuran fluks berkas neutron digunakan keping emas yang dipasang pada 5 titik yang berbeda. Keping emas yang telah menjadi aktif selanjutnya diukur aktivitasnya dan dihitung fluks neutronnya.

Setelah diperoleh harga fluks neutron maka dilakukan penyinaran media perekam citra yang berupa



Gambar 2. Fasilitas uji tak rusak radiografi neutron [7]

gabungan antara film dan konverter yang dimasukkan ke dalam kaset dimana film beberapa potongan konverter antara lain KH, KO-180B, KO-180F dan KO-380B (Tabel 1 dan Tabel 2). Ada 3 jenis film yang digunakan yakni Kodak SR-5, RXO-G dan 80 #. Lama penyinaran bervariasi dan setelah disinari selanjutnya film diproses dan diukur derajat kehitamannya dengan menggunakan densitometer.

Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan fasilitas radiografi yang dimiliki oleh Universitas Kyoto yang berada di Kota Kumatori dengan Reaktor Nuklir yang memiliki daya 5 MW dengan fluks neutron termal rata-rata pada daerah benda uji sebesar $1,34 \times 10^6$ neutron/(cm².s).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam percobaan ini kaset yang telah diisi dengan film dan konverter diletakkan pada posisi media perekam (Gambar 2) dan dilakukan penyinaran tanpa menggunakan sampel. Untuk mempersingkat waktu pelaksanaan percobaan maka beberapa jenis konverter dipotong kecil-kecil dan disusun bersama-sama dibelakang film. Agar diperoleh citra laten maka film yang telah diiradiasi selanjutnya diproses yakni melalui proses pengembangan dan pemantapan diruang gelap dengan waktu pengembangan dan pemantapan yang disesuaikan dengan anjuran dari pabrik pembuat bahan-bahan tersebut yakni 5 menit untuk waktu pengembangan dan 5 menit untuk pemantapan.

Pada Tabel 1 diperlihatkan harga derajat kehitaman film yang diukur dengan menggunakan densitometer untuk kombinasi gabungan film Kodak SR-5 dengan berbagai jenis potongan konverter yang diiradiasi dengan tiga waktu yang berbeda. Dengan cara yang sama digunakan kombinasi gabungan film RXO-G dengan beberapa konverter yang digunakan sebelumnya dan diperoleh data derajat kehitaman seperti yang terlihat

pada Tabel 2. Film RXO-G dapat dikategorikan sebagai film cepat jika dibandingkan dengan film Kodak SR-5, namun demikian kekurangannya adalah bahwa film ini resolusi dan kekontrasannya rendah.

Seperti telah dijelaskan di atas fungsi dari konverter adalah untuk mengubah neutron menjadi radiasi pengion atau sinar tampak. Logam gadolinium mengkonversikan berkas neutron menjadi elektron dengan energi 70 keV sehingga mudah diserap oleh film. Konverter ini memberikan resolusi citra yang paling tinggi < 10 µm, namun demikian merupakan konverter yang paling lambat. Konverter yang lebih sensitif adalah konverter KH, KO-180B, KO-180F, KO-380B, KO-380F, KO-750B, KO-750F, KO-500, KO-250, KO-125, G-12B, G-10, G-6, G-4, dan G-3 yang merupakan konverter jenis sintilator. Konverter ini jauh lebih cepat dibandingkan dengan konverter logam gadolinium (ketebalan sekitar 12 µm)[8].

Data tersebut selanjutnya dibuat kurva hubungan antara derajat kehitaman dengan waktu penyinaran dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5. Kurva sejenis ini sangat diperlukan agar diperoleh waktu penyinaran yang tepat sehingga diperoleh citra yang memiliki derajat kehitaman latar belakang yang terbaik yakni 2 [9].

Pembuatan kurva yang menunjukkan hubungan antara derajat kehitaman dan waktu penyinaran sebaiknya dilakukan untuk setiap fasilitas radiografi neutron, karena untuk memperoleh derajat kehitaman citra latar belakang pada suatu radiograf sangat dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya adalah jenis film, jenis konverter, jenis bahan pengembang dan pemantap, waktu pengembangan, suhu dan konsentrasi bahan pengembang, fluks neutron pada bidang pencitraan, dan lama penyinaran. Apabila suatu fasilitas radiografi tidak memiliki kurva semacam ini maka untuk mendapatkan radiograf dengan derajat kehitaman latar belakang sebesar 2 maka perlu dilakukan pembuatan

Tabel 1. Data pengukuran derajat kehitaman gabungan film Kodak SR-5 dengan beberapa jenis konverter

Film	Konverter	Densitas (Waktu Penyinaran 300 s)	Densitas (Waktu Penyinaran 120 s)	Densitas (Waktu Penyinaran 60 s)
Kodak SR-5	KH	3,43	1,32	0,33
	KO-180B	2,91	0,84	0,16
	KO-180F	1,30	0,20	0,05
	KO-380B	3,57	1,35	0,31
	KO-380F	2,94	0,84	0,16
	KO-750B	4,90	2,21	0,81
	KO-750F	2,90	0,90	0,18
	KO-500	3,54	1,32	0,29
	KO-250	2,86	0,86	0,16
	KO-125	1,40	0,23	0,05
	G-12B	4,17	1,77	0,57
	G-10	1,19	0,15	0,06
	G-6	1,16	0,16	0,05
	G-4	0,50	0,10	0,04
G-3	1,92	0,37	0,08	

Tabel 2. Data pengukuran derajat kehitaman gabungan film RXO-G dengan beberapa jenis konverter

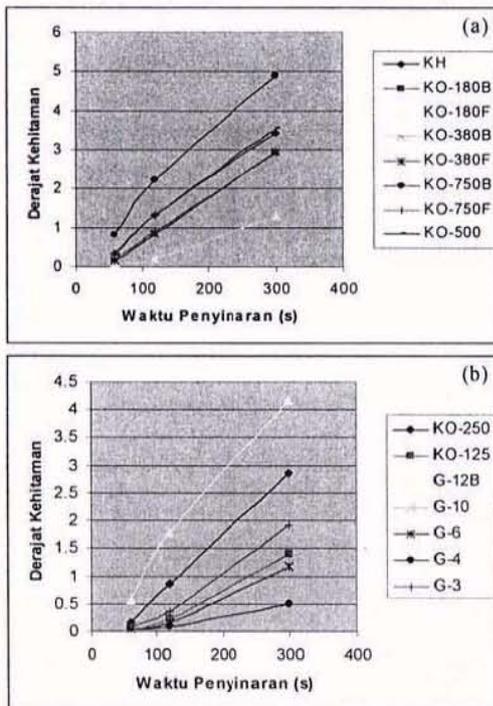
Film	Konverter	Densitas (Waktu Penyinaran 20 s)	Densitas (Waktu Penyinaran 12 s)	Densitas (Waktu Penyinaran 5 s)
RXO-G	KH	2,29	2,15	1,80
	KO-180B	2,07	1,84	1,40
	KO-180F	1,70	1,45	0,81
	KO-380B	2,29	2,14	1,77
	KO-380F	2,07	1,85	1,39
	KO-750B	2,41	2,32	2,06
	KO-750F	2,20	2,05	1,65
	KO-500	2,28	2,13	1,76
	KO-250	2,08	1,86	1,40
	KO-125	1,65	1,36	0,81
	G-12B	2,36	2,30	2,01
	G-10	2,20	2,04	1,63
	G-6	2,13	1,94	1,52
	G-4	2,01	1,77	1,31
G-3	1,78	1,50	0,97	
80#	Gd	Waktu Penyinaran (60 s)	Waktu Penyinaran (120 s)	Waktu Penyinaran (240 s)
		0,44	0,83	1,60
Kodak SR-5	Gd	Waktu Penyinaran (720 s)	Waktu Penyinaran (1080 s)	Waktu Penyinaran (1440 s)
		1,51	2,14	2,83

radiograf secara berulang-ulang dan tentu saja hal ini merupakan suatu pemborosan.

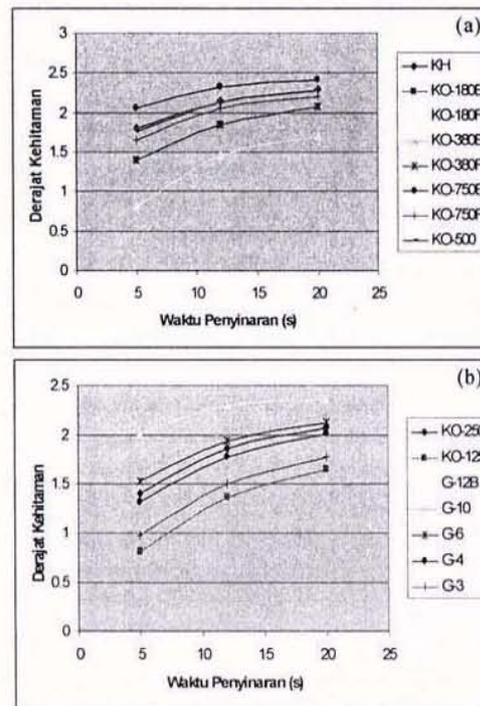
Dengan menggunakan kurva-kurva pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 selanjutnya dapat ditentukan waktu irradiasi yang tepat terhadap media perekam citra dari masing-masing gabungan antara film dan konverter baik dengan menggunakan teknik

interpolasi ataupun ekstrapolasi tergantung pada data yang ada dan diperoleh data waktu irradiasi yang tepat bagi setiap gabungan film-konverter seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

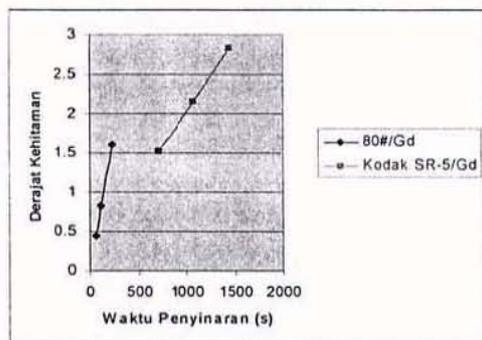
Kualitas citra yang direkam dengan menggunakan film tentu saja tidak saja ditentukan oleh waktu irradiasi yang tepat namun juga ditentukan oleh kualitas film dan



Gambar 3. Kurva antara waktu penyinaran (s) terhadap derajat kehitaman untuk berbagai jenis konverter dengan jenis film Kodak SR-5.



Gambar 4. Kurva antara waktu penyinaran (s) terhadap derajat kehitaman untuk berbagai jenis konverter dengan jenis film Kodak SR-5.



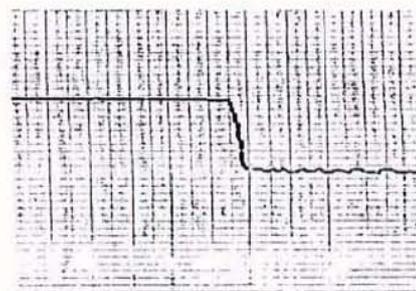
Gambar 5. Kurva antara waktu penyinaran (s) terhadap derajat kehitaman untuk film Kodak SR-5 dan 80# dengan konverter Gadolinium (Gd).

konverter yang digunakan. Kekontrasan citra sangat dipengaruhi oleh geometri penyusunan film konverter dalam kaset, resolusi film dan jenis konverter. Untuk gabungan jenis film konverter tertentu kekontrasannya dapat dimaksimalkan dengan menempelkan film ke konverter sedekat mungkin dengan cara memvakumkan kaset atau menekan kaset dengan menggunakan pegas.

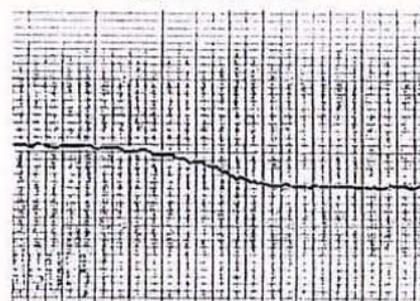
Untuk mendapatkan gabungan film konverter yang memiliki kekontrasan atau resolusi yang tinggi dapat dilakukan dengan mudah dengan menggunakan data waktu irradiasi yang tepat yakni waktu irradiasi yang paling panjang. Cara lain yang lebih baik adalah dengan menggunakan analisa matematis. Untuk itu direkam citra ujung pinggir sampel balok logam dan selanjutnya dilakukan *scanning* terhadap citra maka diperoleh kurva seperti pada Gambar 6. Data semacam ini dibuat untuk semua gabungan film-konverter dan selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan *Modulation Transfer Function*. Penjelasan secara mendalam dapat dilihat pada makalah penelitian sebelumnya [1].

Tabel 3. Tabel Waktu Penyinaran yang tepat untuk berbagai kombinasi film-konverter.

Skrin Konverter	Waktu Penyinaran yang tepat (s)	
	Jenis film Kodak SR-5	Jenis film RXO-G
KH	170	8
KO-180B	220	18
KO-180F	380	37
KO-380B	170	9
KO-380F	220	17
KO-750B	115	4
KO-750F	165	11
KO-500	200	8
KO-250	200	17
KO-125	390	40
G-12B	130	5
G-10	540	11
G-6	1200	16
G-4	340	20
G-3	400	30
Gadolinium (Gd)	Kodak SR-5	80#
	1000	200



(a) Kodak SR-5/Gd



(b) RXO-G/KO-500

Gambar 6. Kurva citra ujung (*Edge spread function*).

KESIMPULAN

Film setelah diiradiasi dilakukan pemrosesan untuk mendapatkan citra laten yakni proses pengembangan dan pematapan masing-masing selama 5 menit. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis film Kodak SR-5, RXO-G, dan 80#. Untuk film Kodak SR-5 dan RXO-G dikombinasikan dengan beberapa jenis konverter neutron yakni KH, KO-180B, KO-180F, KO-380B, KO-380F, KO-750B, KO-750F, KO-500, KO-250, KO-125, G-12B, G-10, G-6, G-4 dan G-3.

Dari penelitian ini untuk gabungan media perekam antara film SR-5 dengan masing-masing konverter tersebut diperoleh lama waktu irradiasi yang tepat adalah 170 detik, 220 detik, 380 detik, 170 detik, 220 detik, 115 detik, 165 detik, 200 detik, 200 detik, 390 detik, 130 detik, 540 detik, 1200 detik, 340 detik, dan 400 detik. Pada gabungan antara film RXO-G dengan masing-masing konverter tersebut diperoleh waktu irradiasi yang tepat yakni 8 detik, 18 detik, 37 detik, 9 detik, 17 detik, 4 detik, 11 detik, 8 detik, 17 detik, 40 detik, 5 detik, 11 detik, 16 detik, 20 detik dan 30 detik. Sedangkan untuk gabungan antara film Kodak SR-5 dan 80# dengan konverter Gadolinium diperoleh waktu penyinaran yang tepat 1000 detik dan 200 detik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Kanda, Dr. Fujine, dan Bapak Yoneda atas pemberian izin untuk menggunakan fasilitas neutron radiografi Universitas Kyoto dan juga atas segala bimbingan, dukungan dan diskusi-diskusi yang hangat sehingga penelitian ini bisa terlaksana.

DAFTARACUAN

- [1]. MARDIYANTO and MOHTAR, Determination of Modulation Transfer Function of Film-Converter Combination in Neutron, *Atom Indonesia*, **18** (2) (1992)
- [2]. R.M.SOELARKO, *Teknik Modern FOTOGRAFI*, PT. Karya Nusantara, (1982)
- [3]. http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_bromide
- [4]. GREENWOOD, N.N., EARNSHAW, A. *Chemistry of the Elements*, New York : Pergamon Press, (1984) 1185-87
- [5]. HAMILTON, J.F., Physical Properties of Silver Halide Microcrystals, *Photographic Science and Engineering*, **18** (5) (1974) 493-500
- [6]. MALINOWSKI, J., The Role of Holes in the Photographic Process, *The Journal of Photographic Science*, **16** (2) (1968) 57-62
- [7]. <http://neutra.web.psi.ch/What/index.html>
- [8]. REDDY, A.R. and RAO, M.V.N , Radiography, *Def. Sci. J.*, **32**(3) (1982)
- [9]. <http://compepid.tuskegee.edu/syllabi/clinical/small/radiology/chapter8.html>