

KARAKTERISASI PANEL PERISAI RADIASI SINAR-X DIAGNOSTIK

Sri Mulyono Atmojo
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 71 Serpong Tangerang

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi panel baja-timbal yang akan digunakan untuk perisai radiasi sinar-X diagnostik. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh kualitas panel yang memadai jika digunakan untuk daun pintu ruang kedokteran nuklir. Panel terdiri dari tiga lapisan, yaitu lembaran baja-timbal-baja. masing-masing lembaran mempunyai tebal 1,5 mm, dengan susunan sebagai berikut: Panel kesatu, kedua, ketiga, dan keempat, masing-masing terdiri dari lembaran baja-timbal-baja, baja-timbal-timbal-baja, baja-timbal-timbal-timbal-baja, dan baja-timbal-timbal-timbal-timbal-baja. Pesawat sinar-X dengan tegangan operasi 50 – 75 kV dan waktu ekspose 0,06 detik digunakan dalam pengujian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju dosis radiasi sinar-X yang melewati panel I, II, III, IV, (untuk tegangan operasi yang sama), relatif tidak berubah. Verifikasi laju dosis menggunakan British Standard diperoleh laju dosis radiasi setelah melewati panel, memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh BAPETEN, Kesimpulan dari karakterisasi ini adalah bahwa panel perisai dapat digunakan sebagai daun pintu untuk ruangan kedokteran nuklir di rumah sakit yang menggunakan radiasi sinar-X untuk diagnostik.

Kata kunci : perisai, sinar-X diagnostik

ABSTRACT

The characterization of shield panel of X-ray radiation was carried out. Aim of the characterization is to find the panel in that qualities comply with the reference, so the panel can be used for the folding door of nuclear medical. Panel consists of three sheets that is steel-lead-steel. In that sheet are 1,5 mm thickness respectively. The first, second, third, and forth panel consists of steel-lead-steel, steel-lead-lead-steel, steel-lead-lead-lead-steel, steel-lead-lead-lead-lead-steel,. Absorption strength of panel was tested by X-ray unit in which 50 – 75 kV operation voltage were used during 0,06 second. Results of these test show that radiation dose rate were transmission trough panel I, II, III, IV, relative not difference for the same operation voltage.. Dose rate verification by British Standard show that the dose rate comply with the BAPETEN regulation. Conclusion of these experiments is that the panel shields can be used for the folding door for nuclear medical.

Key words : shielding, X-ray diagnostic

PENDAHULUAN

Berbagai jenis perisai radiasi sinar-X dibuat orang, dengan maksud untuk menghindari adanya paparan radiasi yang berlebihan. Pada pemanfaatan radiasi sinar-X untuk keperluan diagnosa, perisai yang dibuat harus memenuhi kriteria tertentu, yaitu paparan radiasi sinar-X yang keluar dari ruangan tidak boleh melebihi 2,5 $\mu\text{Sv/jam}$. [1] Agar kriteria itu tercapai, maka harus diketahui energi sinar-X yang dibangkitkan pada tegangan operasi tabung pesawat sinar-X tersebut. Biasanya tegangan operasi pesawat sinar-X untuk keperluan diagnosa ini berkisar antara 50 – 75 kV. Pada tegangan operasi ini akan dibangkitkan energi sinar-X maksimum sekitar 50 – 75 keV. [2] Oleh karena itu, semua perhitungan yang digunakan di dalam makalah ini akan didasarkan pada energi ini. Salah satu hal yang penting untuk menentukan kemampuan penyerapan bahan terhadap radiasi sinar-X dan sejenis, diperlukan tetapan yang disebut koefisien serapan massa atau linier bahan perisai. Tabel 1 merupakan tabel koefisien serapan massa baja dan timbal untuk berbagai energi sinar-X. Kedua bahan ini yang sering dipilih, dan digabung dalam pembuatan perisai radiasi sinar-X atau gamma, karena baja mempunyai sifat yang baik digunakan sebagai bahan konstruksi, sedang timbal mempunyai sifat yang baik sebagai bahan penyerap radiasi.

Tabel 1. Koefisien serapan massa - dan baja untuk berbagai energi [3]

Energi, MeV	Koefisien serapan massa (μ/p), cm^2/gr	
	Baja	Timbal
0,050	1,84	7,17
0,055	1,49*	5,82*
0,060	1,13	4,47
0,065	0,99*	3,88*
0,070	0,84*	3,30*
0,075	0,70*	2,71*
0,080	0,50	2,12

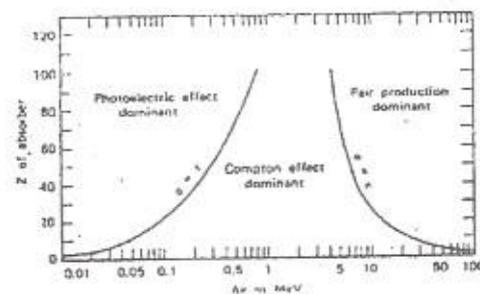
* nilai pendekatan

Pada makalah ini diuraikan tentang konstruksi dan karakterisasi panel pintu

yang akan digunakan untuk ruangan pemeriksaan menggunakan sinar-X.

DASAR TEORI

Panel sebagai perisai harus mampu menyerap radiasi sinar-X yang sedang digunakan untuk pemeriksaan atau diagnosa. Mekanisme penyerapan ini tidak lain adalah adanya interaksi radiasi sinar-X dengan unsur pembentuk bahan perisai, yang berakibat perpindahannya energi radiasi kepada unsur tersebut. Energi ini digunakan oleh elektron orbital untuk proses eksitasi, yaitu suatu proses berpindahannya elektron dari lintasan orbitalnya ke tingkat yang lebih tinggi, atau untuk lepas dari lintasan orbitalnya. Perpindahan energi yang besar kepada unsur pembentuk perisai mencirikan bahwa perisai mempunyai kemampuan menyerap energi cukup baik. Untuk energi sinar-X antara 50 -75 keV bahan perisai yang baik mempunyai Z yang besar. [4]. Pada Gambar 1 terlihat bahwa bahan timbal akan sangat cocok digunakan sebagai bahan utama panel perisai. Timbal mempunyai koefisien serapan cukup besar, tetapi timbal tidak baik sebagai bahan konstruksi.

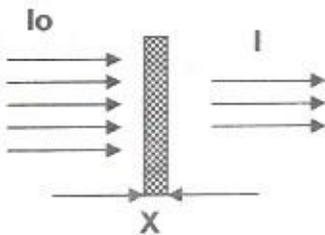


Gambar 1. Grafik kebolehan jadian proses interaksi radiasi dengan materi [4]

Oleh karena itu, jika kedua bahan itu akan digunakan sebagai daun pintu, maka timbal harus dikombinasikan dengan lembaran baja dengan tebal tertentu, sehingga fungsi sebagai daun pintu terpenuhi.

Mekanisme penyerapan radiasi oleh bahan panel dapat dijelaskan sebagai berikut:

Jika arah radiasi yang datang pada panel seperti pada Gambar 3, maka korelasi antara intensitas radiasi sebelum melewati panel (I_0) dan setelah melewati panel (I), dapat dinyatakan dalam persamaan 1. [5]



$$I = I_0 \times e^{-\mu x} \dots\dots\dots (1)$$

dengan : μ = koefisien serapan linier bahan panel
 x = tebal bahan panel

Daya serap panel dapat dinyatakan dengan persamaan 2 berikut. [6]

$$DS = \{(I_0 - I) / I_0\} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$= (1 - e^{-\mu x}) \times 100\%$$

Dengan kedua persamaan ini dapat ditentukan kemampuan penyerapan radiasi dari panel yang dibuat, sebagai sampel daun pintu.

Sebagai contoh pada pengoperasian pesawat sinar-X sebesar 50 kV energi maksimum adalah 50 keV. untuk bahan baja :

$$\mu/p = 1,84 \text{ cm}^2/\text{gram}$$

$$\mu \text{ baja} = 1,84 \times 7,86 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 14,46 \text{ cm}^{-1}$$

$$X_{\text{baja}} = 1,5 \text{ mm} = 0,15 \text{ cm}$$

$$\text{Daya serap DS}$$

$$= (1 - e^{-14,46 \times 0,15}) \times 100\%$$

$$= 88,57 \%$$

Demikian perhitungan ini dapat digunakan untuk menentukan daya serap lembaran bahan yang disusun bersama

TATAKERJA

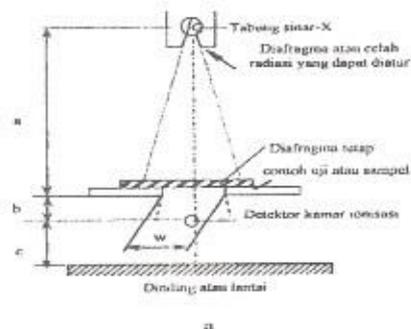
Pada penelitian ini, panel perisai radiasi ini akan digunakan untuk pintu ruangan bangunan kedokteran nuklir.

Tiga jenis sampel panel dibuat dari lembaran baja-timbal-baja, dengan tebal masing-masing 1,5 mm, panjang x lebar = 60 x 40 cm. Susunan masing-masing panel perisai seperti tertera pada Tabel 2, dan diantara baja-timbal terdapat ruang udara setebal 5 cm. Pada sistem yang seperti ini, lapisan udara yang terdapat di dalam panel dianggap tidak mempengaruhi penyerapan, karena udara mempunyai koefisien serapan massa dan massa jenis yang kecil, sehingga koefisien serapan liniernya juga kecil. Dengan demikian daya serap lapisan udara terhadap radiasi sinar-X juga kecil, sehingga dapat diabaikan.

Tabel 2. Susunan dan tebal bahan panel perisai radiasi sinar-X

Jenis perisai	Susunan dan tebal bahan, mm		
	Baja	Timbal	Baja
P I	1,5	1,5	1,5
P ii	1,5	3	1,5
P III	1,5	4,5	1,5
P IV	1,5	6	1,5

Tataletak peralatan dan bahan yang akan diuji seperti pada Gambar 2. Intensitas radiasi sinar-X sebelum melewati panel (I_0) diukur tanpa panel, sedangkan intensitas radiasi sesudah melewati panel (I) diukur dengan panel diletakkan diantara sumber sinar-X dan detektor. Tegangan operasi pesawat sinar-X dan waktu ekpose sesuai dengan yang biasa digunakan untuk keperluan diagnostik, yaitu tegangan operasi bervariasi dari 50 – 75 kV, dan waktu ekpose sekitar 0,06 detik.



Gambar 2. Tataletak pengujian panel perisai [5]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian laju dosis atau intensitas radiasi setelah melewati panel perisai seperti tertera pada Tabel 3a -5b. Dari tabel tersebut tidak terlihat adanya perubahan yang signifikan untuk setiap panel, pada tegangan operasi yang sama, dan pada jarak yang sama.

Jarak a 1 mtr, waktu ekspose 0,06 dtk. Tabel 3a. Hasil pengukuran laju dosis radiasi utk berbagai tegangan operasi

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	50	55	60
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	6,25	10,80	14,63
P I	0,15	0,25	0,4
P II	0,15	0,25	0,35
P III	0,15	0,25	0,35
P IV	0,15	0,25	0,35

Tabel 3b.

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	65	70	75
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	17,78	21,83	28,58
P I	0,5	0,7	0,85
P II	0,5	0,65	0,85
P III	0,55	0,7	0,95
P IV	0,5	0,7	0,85

Jarak a 1,5 mtr, waktu ekspos 0,06 detik Tabel 4a. Hasil pengukuran laju dosis radiasi utk berbagai tegangan operasi

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	50	55	60
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	2,0	4,8	6,5
P I	0,15	0,15	0,25
P II	0,1	0,15	0,25
P III	0,1	0,15	0,25
P IV	0,1	0,15	0,25

Tabel 4b.

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	65	70	75
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	7,9	9,7	12,7
P I	0,35	0,45	0,6
P II	0,35	0,50	0,6
P III	0,35	0,50	0,6
P IV	0,35	0,50	0,65

Jarak a 2 mtr, waktu ekspose 0,06 detik Tabel 5a. Hasil pengukuran laju dosis radiasi utk berbagai tegangan operasi

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	50	55	60
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	1,56	2,7	3,66
P I	0,05	0,2	0,15
P II	0,05	0,1	0,15
P III	0,05	0,1	0,15
P IV	0,05	0,1	0,15

Tabel 5b.

Jenis perisai	Tegangan operasi		
	65	70	75
	Bacaan surveimeter, μSv		
TS	4,44	6,46	7,14
P I	0,25	0,3	0,4
P II	0,25	0,35	0,4
P III	0,25	0,3	0,4
P IV	0,25	0,3	0,4

P I, II, III, IV, adalah panel 1, 2, 3, 4.

Sebagai contoh untuk tegangan operasi 50 kV, laju dosis yang melewati panel I,II,III,IV sama. Laju dosis kelihatan berbeda pada jarak yang berbeda.

Demikian juga untuk kondisi operasi yang lain menghasilkan laju dosis yang sama. Oleh karena itu perlu dilihat daya serap panel terhadap radiasi sinar-X yang digunakan. Hasil perhitungan daya serap panel seperti tertera pada Tabel 6a-b. Dari tabel tersebut terlihat bahwa nilai daya serap relatif sama dengan kisaran nilai antara 95% - 97%. Hal ini menunjukkan bahwa tebal timbal yang digunakan sebagai panel, sudah pada daerah jenuh atau datar. Artinya jika dibuat grafik pengamatan antara daya serap versus ketebalan lembaran perisai, atau daya serap versus ketebalan, maka penambahan ketebalan atau perubahan jarak antara sumber dengan panel sudah tidak berpengaruh terhadap daya serap panel sebagai perisai radiasi. Selain itu, mungkin faktor diafragma dari pesawat sinar-X terlalu lebar, sehingga menyebabkan hamburan sinar-X cukup besar. Hal ini berpengaruh pada hasil pengukuran laju dosis radiasi yang masuk ke dalam detektor. Oleh karena itu perlu laju dosis perlu diverifikasi dengan standar lain, sehingga hasil pengukuran dapat

dianggap valid, apabila parameter yang mempengaruhi dapat dihilangkan.

Tabel 6a. Daya serap panel untuk berbagai tegangan operasi

Jarak (a), m	Daya serap, %		
	50 kV	55 kV	60 kV
1	97,60	97,69	97,27
1,5	95,00	96,88	96,15
2	96,78	96,30	95,90

Tabel 6b. Daya serap panel untuk berbagai tegangan operasi

Jarak (a), m	Daya serap, %		
	65 kV	70 kV	75 kV
1	97,12	96,79	97,03
1,5	95,57	94,85	95,28
2	94,37	95,36	94,40

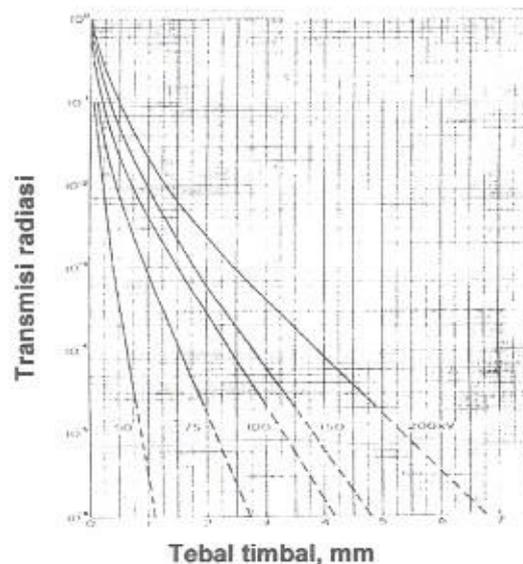
Dengan menggunakan *British Standard* dapat dihitung secara teoritis daya serap yang sebenarnya. Dari grafik *transmission of 50-200kV constant potential, X-rays through lead*, seperti terlihat pada Gambar 3, diperoleh nilai transmisi sinar-X pada tegangan operasi 50 kV dan 75 kV masing-masing sebesar 10^{-6} kali dan 10^{-5} kali untuk tebal timbal 1,5 mm. Jika penyerapan lembaran baja tidak dimasukkan ke dalam perhitungan, maka dapat diperoleh laju dosis sebagai berikut:

Tabel 7. Laju dosis radiasi sinar-X untuk berbagai tegangan operasi dan jarak

Jarak (a), m	Laju dosis, $\mu\text{Sv}/\text{jam}$	
	50 kV	75 kV
1	0,375	17,15
1,5	0,12	7,6
2	0,094	4,2

Dari tabel tersebut terlihat bahwa untuk pesawat sinar-X dengan tegangan operasi 50 kV, nilai laju dosis memenuhi kriteria yang ditetapkan, yaitu lebih kecil dari $2,5 \mu\text{Sv}$. Sedangkan untuk tegangan operasi 75 kV nilai laju dosis sedikit lebih besar dari $2,5 \mu\text{Sv}$. Untuk panel kedua, ketiga dan keempat, tidak perlu dihitung, karena dari grafik tersebut tidak tertera, atau tidak perlu diperhitungkan. Dengan kata lain, panel dengan tebal timbal lebih besar 1,5 mm tidak direkomendasikan untuk diguna-

kan pada pembuatan daun pintu. Daun pintu untuk keperluan ruang pemeriksaan menggunakan radiasi sinar-X diagnostik, cukup dengan lembaran timbal tebal 1,5 mm. Penempatan pintu sebaiknya dengan jarak lebih besar dari tiga meter dari pesawat sinar-X dan daun pintu tidak langsung terkena ekspose dari berkas sinar-X langsung.



Gambar 3. grafik transmisi vs ketebalan timbal

KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil karakterisasi diatas dapat disimpulkan bahwa panel kesatu sudah cukup dapat digunakan untuk daun pintu ruangan kedokteran nuklir yang menggunakan radiasi sinar-X untuk diagnostik.

Saran

Karakterisasi dapat diulang dengan menambahkan kolimator pada arah keluarnya berkas sinar-X, sehingga hamburan dapat dikurangi. Diharapkan dengan cara ini laju dosis yang diperoleh akan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. SK BAPETEN NOMOR: 08/Ka-BAPETEN/V-99, Tentang Ketentuan Keselamatan Radiografi Industri

2. WISNU ARYA WARDHANA, *Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*, Penerbi Andi, Yogyakarta, 2007
3. R. G. JAEGER dkk., *Engineering Compendium on Radiation Shielding, Volume I, Shielding Fundamentals and Methods*, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1979
4. SRI MULYONO ATMOJO, *Rekayasa Celemek Perisai Radiasi Nuklir Berbasis Komposit Karet Alam Timbal Oksida*, Presentasi Ilmiah Peneliti Utama, PRPN-BATAN, Jakarta, 2008
5. STANDAR NASIONAL INDONESIA SNI 18-6480-2000, *Metode Pengujian Ekuivalen Timbal untuk Peralatan Sinar-X*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2000
6. BRITISH STANDARD BS 4094: Part 2: 1971, *Recomendation for Data on Shielding from Ionizing Radiation, Part 2, Shielding from X-radiation*, British Standards Institution, Incorporated by Royal Charter, London
7. ELECTRONIC SPACE PRODUCTS INTERNATIONAL ESPI, *Product Catalog, High Purity Metals, Chemicals, and Compounds, Alloys, Single Crystals, Sputtering Targets, Phosphors, Vacuum Deposition and Evaporation Materials*, ESPI, Agoura, California, 1994