

ANALISIS KESELAMATAN PESAWAT SINAR-X DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT UMUM DAERAH SLEMAN YOGYAKARTA

Toto Trikasjono, Djoko Marjanto¹, Bety Timorti²

¹Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Babarsari P.O.Box 6101 YKBB Yogyakarta 55281

email: tototrikasjono@yahoo.com

²RSUD Kabupaten Sleman, DIY

ABSTRAK.

ANALISIS KESELAMATAN PESAWAT SINAR-X DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT UMUM DAERAH SLEMAN YOGYAKARTA. Telah dilakukan analisis keselamatan pesawat sinar-X dengan tujuan untuk mengevaluasi kesesuaian paparan radiasi setelah dinding pembatas antar pesawat sinar-X di Instalasi radiologi RSUD Sleman Yogyakarta terhadap nilai batas dosis yang dipersyaratkan, sehingga aman bagi pekerja radiasi, pekerja non radiasi serta masyarakat umum. Metode penelitian yang dilakukan dengan analisis, dengan pengukuran dosis sebelum dinding penahan dan setelah dinding penahan, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan tebal dinding secara teori. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dinding pembatas antar pesawat yang ada dalam batas aman bagi pekerja radiasi, pekerja non radiasi serta masyarakat umum, hasil pengukuran dibelakang dinding penahan laju dosis yang terukur adalah 0 mR/jam.

Kata kunci: sinar-X, penahan radiasi, nilai batas dosis.

ABSTRACT.

THE SAFETY ANALYSIS OF X RAYS GENERATOR AT RADIOLOGIC INSTALATION OF SLEMAN DISTRIC GENERAL HOSPITAL IN YOGYAKARTA. The safety analysis o X-rays generator has been done to evaluate the suitable of X- rays exposure after shielding in Radiologic Department of Sleman Distic General Hospital in Yogyakarta with the term of maximum permissible dose so the radiation worker, non radiation worker, and community are safe. The method of research is analysis of dose measurement before and after shielding, then compared with theory. The result show that X-rays shielding is safe for radiation worker, non radiation worker, and community. Measurement result after shielding showed dose rate of 0 mR/hour.

Keywords: X rays, shielding, maximum permissible dose.

1. PENDAHULUAN

Instalasi radiologi yang terdapat di rumah sakit membutuhkan beberapa ruang utama yaitu: ruang pemeriksaan, ruang operator, kamar gelap, ruang sanitasi, ruang baca film dan ruang perencanaan dosis. Ruang pemeriksaan yang baik adalah yang memenuhi syarat proteksi radiasi dengan ukuran ruang pemeriksaan yang

sesuai dengan ketentuan, untuk peralatan rontgen dengan dinding ruang yang harus dapat dipertanggungjawabkan untuk menjamin keamanan pasien, karyawan, dan masyarakat pada umumnya [1].

Melihat kenyataan di Instalasi Radiologi RSUD Sleman terdapat beberapa pesawat sinar-X yang digunakan dalam satu ruangan, yang seharusnya satu pesawat sinar-X ditempatkan di

dalam satu ruangan tersendiri. Bila dalam satu ruangan terdapat lebih dari satu pesawat yang beroperasi, pasien dapat terkena radiasi hambur dari pesawat sinar-X yang lain, sehingga dapat mengakibatkan dosis yang diterima pasien melebihi nilai dosis ambang yang diizinkan. Beberapa pesawat yang digunakan antara lain, pesawat Siemens Ergophos 4 dengan kondisi penyinaran maksimum yang digunakan 80 kV, 40 mAs; pesawat GE Silhouette dengan kondisi penyinaran maksimum yang digunakan 100 kV, 120 mAs; pesawat Multimobil 2,5 dengan kondisi penyinaran maksimum yang digunakan 90 kV, 40 mAs; dan pesawat Panoramic Odontorama PC dengan kondisi penyinaran tertinggi yang digunakan 75 kV, 15 mAs. Selama pengoperasian alat tersebut, belum pernah dilakukan pengukuran paparan terhadap pasien maupun lingkungannya, yang dicatat secara khusus. Pengendalian daerah radiasi hanya berdasarkan pembacaan *surveymeter* di ruang operator, dan catatan dosis hanya berdasarkan perkiraan dosis yang diterima operator. Dalam penelitian ini akan dianalisis paparan radiasi dinding pembatas antar pesawat sinar-X terhadap nilai batas dosis yang dipersyaratkan.

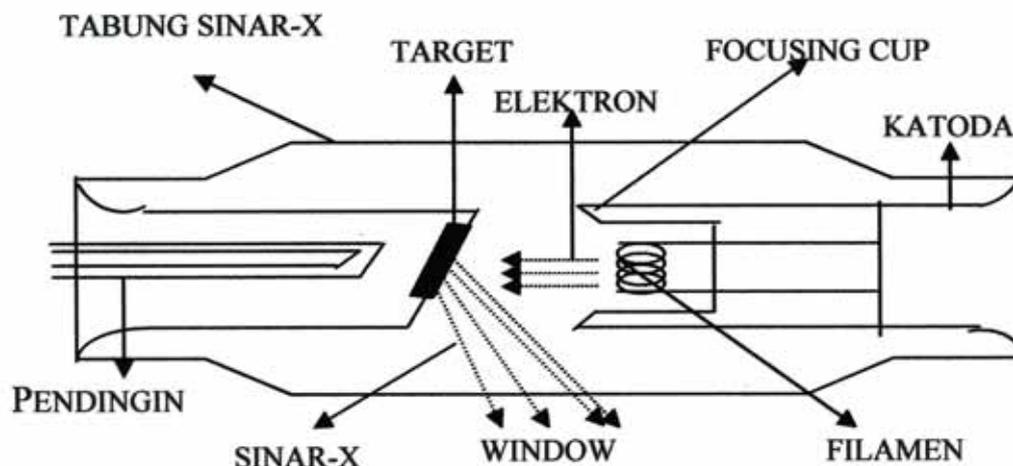
2. TEORI

Sinar-X adalah pancaran gelombang elektromagnetik yang sejenis dengan gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet, dengan panjang gelombang yang sangat pendek [1]. Sinar-X dikategorikan sebagai salah satu

radiasi pengion yang dapat berinteraksi sel biologi dan dapat menimbulkan efek buruk terhadap sel tersebut. Dengan kata lain, sinar-x dapat menimbulkan efek buruk terhadap manusia. Sinar-X dihasilkan oleh generator yang disebut tabung sinar-X. Tabung sinar-X adalah suatu alat untuk menghasilkan, mempercepat, dan akhirnya menumbukkan elektron bebas pada suatu target. Pada produksi sinar-X diperlukan tiga syarat dasar yaitu sumber elektron, catu daya tegangan tinggi dan target[4]. Tabung sinar-X diperlihatkan pada Gambar 1.

Pada peristiwa tumbukan elektron dengan target, terjadi dua interaksi yang menghasilkan dua tipe sinar-X yaitu :

- Sinar-x *bremsstrahlung*, yaitu sinar-X yang dihasilkan oleh elektron dengan kecepatan tinggi menabrak bahan (dengan tiba-tiba dihentikan). Radiasi sinar-x *bremsstrahlung* mempunyai spektrum kontinu, yang memiliki berbagai energi, karena elektron projektil diperlambat secara bertahap pada berbagai tingkat. Sinar-X jenis ini dipakai di bidang radiologi untuk pemotretan pasien.
- Sinar-X karakteristik, yaitu sinar-X yang dihasilkan oleh transisi elektron. Elektron orbit dapat berpindah ke orbit lainnya. Bila transisi berasal dari elektron pada lintasan luar ke lintasan yang lebih dalam, maka dipancarkan energi tertentu. Energi ini dikenal dengan radiasi sinar-X karakteristik. Sinar-X karakteristik digunakan untuk analisis bahan.



Gambar 1. Skema Tabung Sinar-X

Mengingat radiasi pengion mempunyai potensi merugikan terhadap kesehatan, maka dalam penggunaan radiasi tersebut diperlukan langkah proteksi radiasi. Proteksi radiasi yang dimaksudkan adalah untuk melindungi para pekerja radiasi dan masyarakat umum dari bahaya radiasi yang berasal dari sumber radiasi, dengan tujuan mencegah terjadinya efek non stokastik (deterministik) dan membatasi peluang terjadinya efek stokastik. Efek non stokastik adalah efek biologi yang timbul akibat paparan radiasi jika dosis ambang terlampaui, seperti erythema, kemandulan permanen, katarak dan sebagainya. Efek stokastik adalah efek biologi yang timbul akibat paparan radiasi tanpa adanya dosis ambang, seperti kanker dan efek pewarisan keturunan [3].

Dalam suatu instalasi untuk penggunaan sumber radiasi, konstruksi gedung yang digunakan mempunyai fungsi sebagai penahan radiasi, sehingga harus diperhatikan perencanaan arsitektur instalasi. Persyaratan penahan radiasi bagi ruangan radiologi tergantung pada jenis peralatan dan energi radiasi yang dipakai. Faktor desain ruang pemeriksaan [4] adalah:

- o Ruang dengan ukuran: 4 m x 3 m x 3 m, dilengkapi dengan toilet: 2 m x 1,5 m x 3 m.
- o Dinding penahan radiasi primer, tebal satu bata dengan plesteran (25 cm) atau beton setebal 15 cm, yang setara dengan tebal Pb 2 mm.
- o Dinding penahan radiasi hambur, adalah dinding bata berplester setebal 15 cm dan untuk pintu kayu kusennya harus dilapisi timah hitam (Pb) setebal 2 mm.
- o Ruang juga dilengkapi alat peringatan bahaya radiasi dan sistem pengaturan udara sesuai dengan kebutuhan.

Penahan radiasi untuk instalasi sinar-X dapat dibedakan menjadi 2 jenis [2,5,6] yaitu :

1. Penahan radiasi primer yang memberikan perlindungan terhadap sinar guna yaitu berkas sinar yang langsung berasal dari *focal spot*. Penahan rumah tabung radiasi harus memenuhi persyaratan laju kebocoran sesuai dengan rekomendasi NCRP yaitu Tipe Diagnostik laju kebocoran pada jarak 1 meter dari fokus tidak melebihi 0,1R/jam, dioperasikan pada arus dan tegangan maksimum.
2. Penahan radiasi sekunder memberikan perlindungan terhadap radiasi bocor dan radiasi hambur.

Penahan radiasi sekunder yang disinari secara terus menerus dianggap sebagai penahan radiasi primer.

Untuk menghitung tebal dinding penahan struktural dari ruangan (dinding dan pintu), faktor-faktor yang mempengaruhi harus diketahui terlebih dahulu. Faktor-faktor tersebut meliputi :

- a. Kemampuan tabung, yaitu tegangan dan arus pada operasi maksimum. Tebal dinding ruangan dihitung agar dapat menahan radiasi dengan energi yang paling kuat (pada tegangan operasi maksimum) dan intensitas yang paling besar (pada arus operasi maksimum).
- b. Jarak sumber radiasi terhadap titik pengamatan. Radiasi bocor yang keluar dari tabung pesawat sinar-X merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam desain penahan karena intensitas paparan sangat bergantung dari jarak. Oleh karena itu, posisi pesawat sinar-X dari dinding harus diketahui, untuk perhitungan tebal dinding penahan.
- c. Jarak sumber radiasi terhadap bidang penghambur. Radiasi yang mengenai suatu materi, akan dihamburkan, yang bergantung dari jarak sumber ke bidang penghambur
- d. Daerah terkontrol atau daerah tidak terkontrol. Daerah terkontrol adalah daerah yang penghuninya hanya personil yang pekerjaannya terkena radiasi, sedangkan daerah tidak terkontrol adalah daerah yang dihuni masyarakat. Klasifikasi daerah ini menentukan laju paparan radiasi desain mingguan (*weekly design exposure rate, R*).
 - 0,1R/minggu untuk daerah pengawasan ($R=100$ mR/minggu)
 - 0,01R/minggu untuk daerah bukan pengawasan ($R=10$ mR/minggu)
- e. Faktor guna (*use factor, U*). Faktor guna adalah faktor yang ditentukan oleh prosentase suatu dinding terkena berkas radiasi selama pemanfaatan pesawat sinar-X. Besarnya nilai U adalah:
 - $U = 1$ pesawat Sinar-X diarahkan terus menerus ke suatu dinding (tidak berubah arah berkas utamanya)
 - $U = \frac{1}{4}$ direncanakan arahnya berubah secara periodik untuk semua dinding atau tidak ada informasi mengenai arah.Bila tidak ada informasi, faktor guna untuk dinding nilainya $\frac{1}{4}$ dan untuk lantai

nilainya 1.

- f. Faktor penghunian (*occupancy factor*, T).
Faktor penghunian ditentukan oleh tingkat keseringan seseorang berada di balik dinding ruang pesawat Sinar-X. Nilai T ditentukan berdasarkan informasi atau pengamatan langsung, keberadaan orang dibalik dinding dan nilainya:

T = 1	seseorang yang terus menerus berada di balik dinding,
T = ¼	keberadaannya tidak terus menerus, tetapi relatif sering,
T = 1/16	keberadaannya hanya sesekali berada di balik dinding,

Untuk pekerja radiasi, maka nilai T dianggap 1, tidak tergantung tingkat keberadaannya.

- g. Beban kerja mingguan (*weekly workload*, W).
Beban kerja menyatakan tingkat pemakaian pesawat sinar-X dalam 1 minggu (mA menit/minggu). Nilai W ditentukan berdasarkan:
- o Waktu operasi pesawat dalam 1 minggu (menit/ minggu)
 - o Arus tabung pada saat pesawat dioperasikan (mA)

2.1. Perhitungan dinding penahan radiasi [5]

2.1.1 Penahan radiasi primer

Faktor Transmisi (K), dirumuskan,

$$K = \frac{P \times d^2}{W \times U \times T} (R / \text{mA} - \text{men}) \quad (1)$$

dengan:

K	= Faktor transmisi (R/mA-men)
P	= Penyinaran maksimum mingguan yang diperbolehkan (0,1 R/minggu untuk daerah terkontrol dan 0,01 R/minggu untuk daerah tak terkontrol).
d	= Jarak dari sumber ke <i>shielding</i> yang akan dirancang (meter).
W	= Beban kerja (<i>Workload</i>) (mA.menit/minggu).
U	= Faktor penggunaan (<i>Use factor</i>).
T	= Faktor hunian (<i>Occupancy factor</i>).

2.2.2. Penahan radiasi sekunder

A. Radiasi hambur, dirumuskan:

$$K_{ux} = \frac{P \times (d_{sca})^2 \times (d_{sec})^2 \times 400}{a \times W \times T \times F \times f} \left(\frac{R}{\text{mA} - \text{menit}} \right) \quad (2)$$

dengan:

K_{ux}	= Perbandingan nilai paparan dengan beban kerja (sekunder).
P	= Paparan radiasi yang diperbolehkan.
A	= Rasio radiasi hambur terhadap radiasi yang membahayakan
F	= Ukuran medan sebaran (cm ²).
d_{sec}	= Jarak penyebar ke titik tertentu (m).
d_{sca}	= Jarak sumber ke kulit pasien (m).
T	= Faktor hunian.
F	= Faktor Kompensasi tegangan.
W	= Beban kerja (<i>Workload</i>) (mA.menit/minggu).

B. Radiasi bocor, dirumuskan:

$$B_{Lx} = \frac{P \times (d)^2 \times 600 \times I}{W \times T} \quad (3)$$

$$B_{Lx} = \left(\frac{1}{2} \right)^n$$

dengan:

B_{Lx}	= Paparan radiasi bocor.
P	= Penyinaran maksimum mingguan yang diperbolehkan (0,1R/minggu untuk daerah terkontrol dan 0,01R/minggu untuk daerah tak terkontrol).
d	= Jarak dari sumber ke <i>shielding</i> yang akan dirancang (meter).
W	= Beban kerja (<i>Workload</i>) (mA.menit/minggu).
T	= Faktor hunian (<i>Occupancy factor</i>).
I	= Arus maksimum pesawat.

2. TATA KERJA

2.1. Alat dan Bahan

Pesawat sinar-X stasioner (Siemens Ergophos 4, GE Silhouette), pesawat sinar-X mobile unit (Multimobil 2,5), pesawat sinar-X gigi (OPG), Panoramic Odontorama PC, *surveymeter*; peralatan untuk mengukur paparan radiasi lingkungan, kurva penentu tebal perisai[6], tabel jumlah pasien selama 3 bulan.

Penelitian dilakukan di Instalasi Radiologi RSUD Sleman Yogyakarta pada bulan April 2008. Jenis penelitian adalah pengamatan lapangan dengan metode observasi,

menggunakan data sekunder (data desain gedung, data kunjungan pasien pada tahun 2007 dan 2008) dan data primer.

Alur penelitian

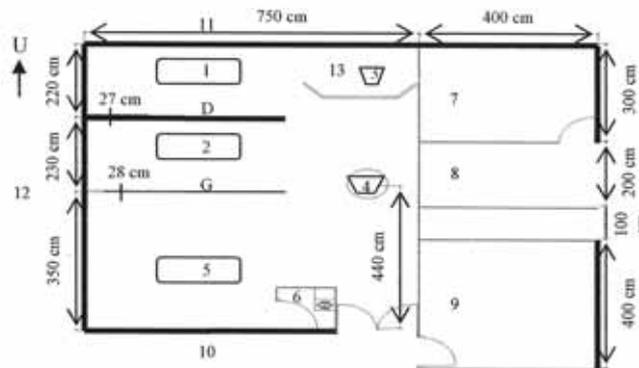


Perhitungan tebal dinding pembatas dilakukan secara teoritis, demikian pula halnya dengan pengukuran paparan radiasi. Data pengukuran laju dosis dilakukan dengan alat *surveymeter* digital jenis Mini 6100/L0000806 dengan

kondisi laik pakai yang dinyatakan dengan sertifikat kalibrasi yang berlaku sampai dengan 8 April 2008, dengan lokasi pengukuran di instalasi radiologi RSUD Sleman Yogyakarta. Pengukuran di depan dan di belakang dinding gedung pada jarak tertentu dari sumber radiasi dengan pengukuran berulang sebanyak sepuluh kali. Dalam penelitian ini sebagai variabel bebas adalah beban pesawat, sedang variabel terikat adalah tebal dinding pembatas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam melakukan penghitungan tebal dinding pembatas antara pesawat sinar-X dilakukan berdasarkan beban kerja pesawat sinar-X yang ada. Dinding pembatas antar pesawat sinar-X di Instalasi radiologi RSUD Sleman berupa dinding bata berplester setebal 28 cm membatasi pesawat GE Silhouette dengan pesawat Stephani X (yang saat penelitian belum terpasang), dinding bata berplester setebal 27 cm membatasi pesawat Silhouette dengan pesawat Siemens Ergophos 4, serta satu *mobile shielding* dari Pb setebal 2 mm, digunakan untuk *shielding* pesawat Multimobil 2,5 dan pesawat Panoramic Odontorama PC. Denah ruang radiologi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah ruang pemeriksaan di Instalasi Radiologi RSUD Sleman

Keterangan :

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Pesawat Siemens Ergophos 4 | 11. Ruang Tunggu UGD |
| 2. Pesawat GE Silhouette | 12. Koridor |
| 3. Pesawat Panoramic Odontorama PC | 13. <i>Mobile Shielding</i> |
| 4. Pesawat Multimobil 2,5 | A. Dinding A |
| 5. Pesawat Stephani X | B. Dinding B |
| 6. Kamar mandi | D. Dinding D |
| 7. Kamar Gelap | E. Dinding E |
| 8. Meja kontrol | G. Dinding G |
| 9. Ruang USG | J. Dinding J |

10. Ruang Tunggu

a. **Data ruangan pemeriksaan**

Luas ruang pemeriksaan keseluruhan : 8,5 m X 7,5 m = 63,75 m² = 637.500 cm². Tinggi ruang pemeriksaan 3 m = 300 cm. Dengan luas ruang tiap pesawat dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Luas ruang tiap pesawat

Jenis pesawat	Dimensi ruang (m) (P x L x T)	Luas (m ²) (P x L)
GE Silhoutte	2,3 x 4 x 3	9,2
Siemens Ergophos 4	2,2 x 4 x 3	8,8
Multimobil 2,5	2,3 x 1 x 3	2,3
Panoramic Odontorama PC	2,7 x 1 x 3	2,7

b. **Jarak antara pesawat dengan dinding**

Jarak antara pesawat dengan dinding diperlihatkan dalam Tabel 2.

Dalam pembuatan sebuah *Shielding* dinding primer maupun sekunder diperlukan penghitungan beban kerja (*workload*). Untuk menghitung beban kerja dilakukan pengambilan data pasien terbanyak dalam 13 minggu, yang diambil dari data pasien bulan November 2007 sampai Maret 2008. Data eksposi kemudian dikalikan dengan faktor eksposi tertinggi yang

digunakan, yaitu untuk pesawat Siemens Ergophos 4 80 kV, 40 mAs; pesawat Silhoutte 100 kV, 120 mAs; pesawat Multimobil 2,5 90 kV, 40 mAs; serta pesawat Panoramic odontorama PC 75 kV, 19 mAs. Dari hasil perhitungan di atas diperoleh data pada Tabel 3.

Tabel 2. Jarak antara pesawat dengan dinding

Jenis pesawat	Dinding	Jarak (cm)
Siemens Ergophos 4	A	170
	B	100
	C	500
	D	115
GE Silhoutte	D	145
	E	160
	F	500
Multimobil 2,5	G	90
	F	100
	H	100
	I	100
Panoramic Odontorama PC	J	440
	K	170
	L	70
	M	100
	C	100

Perhitungan tebal *shielding*

Berdasarkan rumus 1, 2, 3, diperoleh tebal *shielding* pesawat Sinar-X yang diperlihatkan seperti dalam Tabel 4.

Tabel 3. Data pasien yang digunakan untuk penghitungan beban kerja

No	Minggu	Pesawat GE Silhoutte	Pesawat Siemens Ergophos 4	Pesawat Multimobil 2,5	Pesawat Panoramic Odontorama PC
1.	I	170	120	82	18
2.	II	147	134	107	18
3.	III	142	145	106	18
4.	IV	176	210	98	20
5.	V	146	142	85	18
6.	VI	131	171	97	17
7.	VII	139	132	109	19
8.	VIII	130	129	158	19
9.	IX	190	208	139	18
10.	X	156	148	139	21
11.	XI	145	116	97	17
12.	XII	124	124	130	18
13.	XIII	128	134	218	22
	Jumlah	1924	1913	1564	243
	mAs tertinggi	120	40	40	19
	∑ mAs	230880	76520	62600	4617
	mAs/minggu	17760	5886,154	4815,385	355,15
	mA menit/minggu	296	98,10	80,256	5,9192

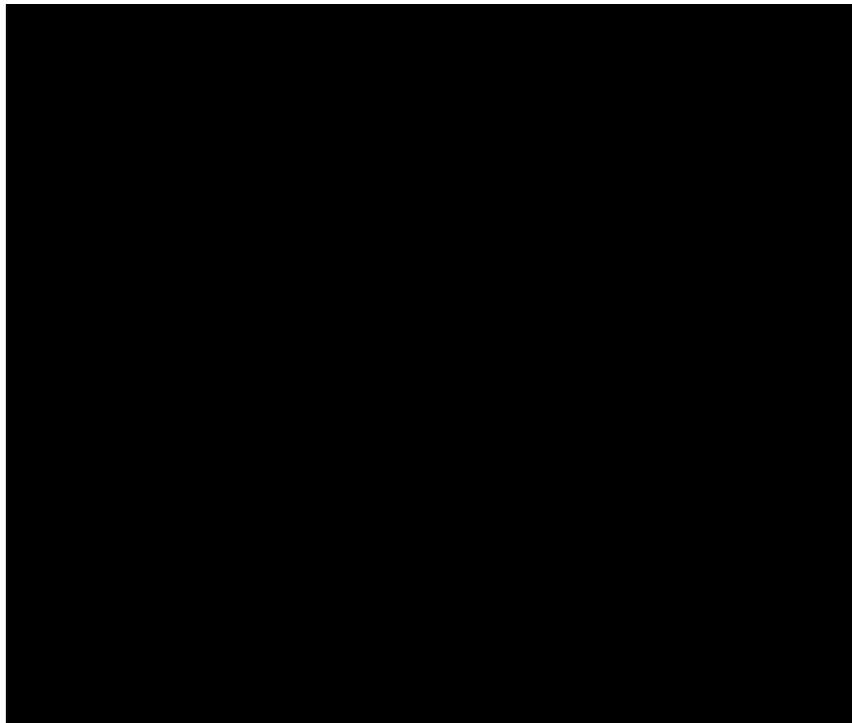
**Pengukuran paparan radiasi menggunakan
survey meter**

Penulis melakukan pengukuran paparan radiasi menggunakan survey meter Mini 6100 / L0000806 dengan nomer sertifikat : 610 / 5 /

P10302 / KMR / 2008, yang mempunyai faktor kalibrasi 1,02 dan kalibrasi berlaku hingga tanggal 8 April 2009. Data hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 5 dan kurva pengukuran diperlihatkan pada Gambar 3.

Tabel 4. Dinding penahan yang dibutuhkan

No	Dinding	Tebal Pb (mm)	Tebal beton (cm)	Dinding yang ada
1	A	1,2	10,16	2 mm Pb+ 15 cm bata plester
2	B	0,67	6,1	2 mm Pb+15 cm bata plester
3	C	0,87	6,7	2 mm Pb
4	D	1,53	13,5	27 cm bata + plester
5	E	2	19	2 mm Pb+15 cm bata plester
6	F	1,7	13,5	2 mm Pb
7	G	2	16,9	27 cm bata+plester
8	H	0,47	3,3	2 mm Pb
9	I	0,2	2,03	25 cm bata+plester
10	J	0,07	0,67	2 mm Pb
11	K	0,1	2,7	25 cm bata+plester
12	L	1,1	8,8	2 mm Pb+15 cm bata plester
13	M	0,87	6,7	2 mm Pb
14	Lantai	3	27	
15	Langit - langit	1	8,12	



Gambar 3. Grafik hasil pengukuran dengan survey meter sebelum shielding

Tabel 5. Hasil pengukuran dosis sebelum shielding dengan survey meter

Pesawat	GE Silhoutte		Siemens Ergophos 4		Multimobil 2,5	Panoramic Odontorama PC	
	Jarak	123 cm	90 cm	117 cm	107 cm	80 cm	100 cm
Pengukuran ke	Paparan (mR)	Paparan (mR)	Paparan (mR)	Paparan (mR)	Paparan (mR)	Paparan (mR)	Paparan (mR)
1	0,55	0,52	0,03	0,01	0,22	0	
2	0,53	0,5	0,03	0,02	0,24	0	
3	0,47	0,57	0,02	0,04	0,24	0	
4	0,55	0,45	0,03	0,04	0,24	0	
5	0,3	0,45	0,02	0,04	0,24	0	
6	0,31	0,4	0,02	0,03	0,22	0	
7	0,38	0,4	0,03	0,04	0,23	0	
8	0,4	0,41	0,02	0,04	0,23	0	
9	0,38	0,38	0,01	0,04	0,23	0	
10	0,42	0,5	0,01	0,04	0,23	0	
Jumlah	4,29	4,58	0,22	0,34	2,32	0	
rata-rata	0,429	0,458	0,022	0,034	0,232	0	
kV	100	100	80	80	90	75	
mA	100	100	100	100	16	10	
s	1,2	1,2	0,4	0,4	2,5	1,9	
t/jam	0,000333	0,000333	0,000111	0,000111	0,000694	0,000528	
laju Paparan (mR/jam)	1287	1374	198	306	334,08	0	

Dari hasil pengukuran pada pesawat Siemens Ergophos 4 dan pesawat Multimobil 2,5 terlihat hasil yang mendatar, tetapi pada pesawat GE Silhoutte terlihat grafik yang menurun, hal ini karena pada saat pengukuran kondisi pesawat GE Silhoutte sedang tidak normal (rusak) sehingga ada kemungkinan keluaran tegangan keluaran dan arus tidak konstan, meskipun diatur untuk kondisi penyinaran yang sama. Melihat Gambar 3 tersebut maka *surveymeter* yang digunakan masih dalam kondisi yang layak digunakan.

Hasil pengukuran dosis dengan *surveymeter* di belakang *shielding* adalah 0 mR pada semua dinding. Dinding pembatas antara pesawat GE Silhoutte dengan Stephani – X serta antara pesawat GE Silhoutte dengan pesawat Siemens Ergophos 4 terbuat dari bata plesteran, sedang perhitungan aktual menggunakan beton, sehingga tebal dinding jika menggunakan bata (C) dapat dicari dengan rumus:

$$C = \frac{\rho \text{ Beton} \times \text{tebal beton}}{\rho \text{ Bata}}$$

$$C = \frac{2,359 \text{ g/cm}^3 \times 16,9 \text{ cm}}{1,9 \text{ g/cm}^3}$$

$$C = 20,98 \text{ cm}$$

Oleh karena tebal bata yang diperlukan untuk penahan radiasi sekunder adalah 20,98 cm, sedangkan dinding pembatas yang ada menggunakan bata dengan tebal total 27 cm dan 28 cm maka dinding penahan yang digunakan dalam batas aman. Untuk dinding yang lain hasil perhitungan dan pengukuran tebal dinding, kemudian dilakukan verifikasi dengan mengukur laju dosis di depan dan di belakang dinding pembatas, diperoleh data seperti Tabel 6.

Radiasi bocor pada semua dinding, serta langit-langit diabaikan karena hasil perhitungan n bernilai negatif sehingga tidak diperlukan penahan untuk radiasi bocor, dengan kata lain tidak ada radiasi bocor pada pesawat. Dari Tabel 6, diketahui bahwa dinding pembatas antar pesawat di Instalasi Radiologi RSUD Sleman dalam batas aman. Dari hasil perhitungan, tebal dinding yang diperlukan masih lebih kecil daripada tebal dinding yang terpasang di Instalasi Radiologi RSUD Sleman dan hasil pengukuran paparan radiasi di belakang dinding adalah 0 mR/jam. Dari hasil perhitungan dan pengukuran dengan *surveymeter* maka dinding pembatas yang ada dinyatakan aman bagi pekerja radiasi, pekerja non radiasi maupun masyarakat umum.

Tabel 6. Data hasil perhitungan dan verifikasi dinding terpasang serta pengukuran laju dosis di depan dan belakang dinding

No.	Pesawat	Din	Jenis dinding	Tebal Pb (mm)	Tebal beton (cm)	Dinding yang ada	Laju Paparan		Evaluasi
							Depan	Belakang	
I	Siemens Ergophos 4	A	Primer	1,2	10,16	2 mm Pb+ 15 cm bata plester 2 mm Pb+15 cm bata plester 2 mm Pb 27 cm bata+plester	0,034	0	Aman
		B	Sekunder	0,67	6,1				
		C	Sekunder	0,87	6,7				
		D	Sekunder	1,53	13,5				
II	GE Silhoutte	E	Primer	2	19	2 mm Pb+15 cm bata plester 27 cm bata+plester 2 mm Pb 27 cm bata+plester	0,458	0	Aman
		D	Sekunder						
		F	Sekunder	1,7	13,5				
		G	Sekunder	2	16,9				
III	Multimobil 2,5	F	Primer			2 mm Pb 25 cm bata+plester 2 mm Pb	0,232	0	Aman
		H	Sekunder	0,47	3,3				
		I	Sekunder	0,2	2,03				
		J	Sekunder	0,07	0,67				
IV	Panoramia Odontorama PC	C	Primer			25 cm bata+plester 2 mm Pb+15 cm bata plester 2 mm Pb	0	0	Aman
		K	Primer	0,1	2,7				
		L	Primer	1,1	8,8				
		M	Primer	0,87	6,7				
			langit	3	27				
			Langit-2	1	8,12				

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan diketahui bahwa paparan radiasi setelah dinding pembatas antar pesawat sinar-X di Instalasi Radiologi RSUD Sleman nilainya di bawah NBD yang dipersyaratkan, karena tebal dinding yang ada, lebih tebal dari hasil perhitungan, dan sudah mampu menahan radiasi primer maupun sekunder yang dipancarkan sinar-X. Perisai radiasi sekunder hanya diperlukan untuk penahan radiasi hambur, karena untuk radiasi bocor tidak diperhitungkan atau diabaikan (n bernilai negatif). Hasil pengukuran paparan radiasi di belakang dinding adalah 0 mR/jam.

5. SARAN

1. Dalam perencanaan instalasi radiologi selain faktor keselamatan juga perlu diperhatikan pemilihan lokasi, penempatan peralatan, desain perisai, alur pasien, pekerja dan keluarga pasien, serta faktor ekonomis dan efektifitas terhadap penggunaan bahan material bangunan yang akan digunakan.
2. Dalam pengukuran paparan radiasi, yang diukur adalah dosis, karena waktu penyinaran yang singkat, sehingga laju dosis tidak dapat terbaca oleh *surveymeter*.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Rassad, S. dkk, "Radiologi Diagnostik", Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia Rumah Sakit Dr Cipto Mangunkusumo, Jakarta (2000).
2. Bushong, S. C, 1997, "Radiologic Science For Technologist", Four Edition. Mosby Company, Missouri, USA (1997).
3. BATAN, "Proteksi Radiasi, Radiografi Level I", Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta (2006).
4. DEPKES RI, "Pedoman Peningkatan Quality Assurance Fasilitas Pelayanan Radiologi", Jakarta (1999).
5. BATAN, "Desain Penahan Ruang Sinar-X", Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi, Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Badan Tanaga Nuklir Nasional, Jakarta (2005).
6. Cember, H, "Introduction to Health Physics", Second Edition. Northwestern University, USA (1992).
7. Wardhana, WA, "Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya", ANDI OFF SET, Yogyakarta (2007).
8. BAPETEN, "Materi rekualifikasi Petugas Proteksi Radiasi Bidang Kesehatan Diagnostik", Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta (2004).

LAMPIRAN. 1.

PERHITUNGAN PENAHAN STRUKTURAL

Pesawat Siemens Ergophos 4

a. Perhitungan Tebal *Shielding* Radiasi Primer

Diketahui : Jarak: 1,70 m(horisontal) 1,5 m (vertikal)

W : 98.10 mA.menit/minggu.

U (*Use Factor*) : ¼ (dinding), 1 (lantai).

T (*Occupancy Factor*) : 0,25 (koridor)

P (penyinaran maksimum yang diperbolehkan): 0,1 (daerah terkontrol), 0,01 (daerah tak terkontrol).

Dinding A = radiasi primer = Arah Sinar horisontal

$$\begin{aligned} K_{\text{dinding A}} &= \frac{P \cdot d^2}{W \cdot U \cdot T} \text{ R/mA-men} \\ &= \frac{0,01 \text{ R/minggu} \times (1,7 \text{ m})^2}{98,1 \text{ mA.mnt/mgg} \times \frac{1}{4} \times 0,25} \\ &= 0,00471 \text{ R/mA-men.} \end{aligned}$$

Dari kurva untuk 125 kVp maka ketebalan penghalang yang dibutuhkan sebesar 1,2 mm Pb, sedangkan untuk beton = 10,16 cm.

Lantai = radiasi primer = Arah Sinar Vertikal

$$\begin{aligned} K_{\text{lantai}} &= \frac{P \cdot d^2}{W \cdot U \cdot T} \text{ R/mA-men} \\ &= \frac{0,01 \text{ R/minggu} \times (1,5 \text{ m})^2}{98,1 \text{ mA.mnt/mgg} \times 1 \times 1} \\ &= 0,0002 \\ &= 2,0 \times 10^{-4} \text{ R/mA-men.} \end{aligned}$$

Dari kurva untuk 125 kVp maka ketebalan penghalang yang dibutuhkan sebesar 2,47 mm Pb, sedangkan untuk beton = 18,5 cm.

b. Perhitungan Tebal *Shielding* Radiasi Sekunder

Dinding B = radiasi hambur = Arah Sinar Horisontal

Diketahui : W = 98.10 mA – menit / minggu

$d_{\text{SCA}} = 1,5 \text{ m}$

$d_{\text{SEC}} = 1,8 \text{ m}$

P = 0,01 R (Daerah tak terkontrol)

$F = 3,14 \times 54,5 \times 54,5 \text{ cm}^2 = 9326,585 \text{ cm}^2$

T = 0.25

f = 1

a = 0,0015 (90°)

$$\begin{aligned} K_{\text{UX}} &= \frac{P \times (d_{\text{SCA}})^2 \times (d_{\text{SEC}})^2 \times 400}{a \times W \times T \times F \times f} \\ &= \frac{0,01 \times (1,5)^2 \times (1,8)^2 \times 400}{0,0015 \times 98,10 \times 0,25 \times 9326,585 \times 1} \\ &= 8 \times 10^{-2} \text{ R/} \frac{\text{mA-menit}}{\text{minggu}} \end{aligned}$$

Dari kurva untuk 125 kVp maka ketebalan penghalang yang dibutuhkan sebesar 0,4 mm Pb, sedangkan untuk beton = 2,7 cm.

- a. Dinding B = radiasi bocor = Arah sinar vertikal
Diketahui : $W = 98.10$ mAmenit/minggu
 $d = 1$ m
 $T = 0.25$
 $P = 0,01$ R (Daerah tak terkontrol)

$$\begin{aligned} B_{Lx} &= \frac{P \times (d)^2 \times 600 \times I}{W \times T} \\ &= \frac{0,01 \times (1)^2 \times 600 \times 200}{98,1 \times 0,25} \\ &= 48,9297 \end{aligned}$$

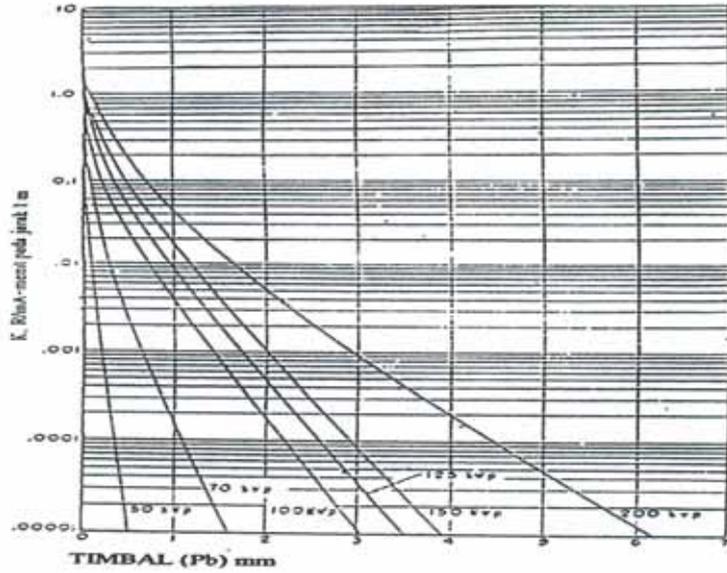
$$\begin{aligned} B_{Lx} &= \frac{1}{2}^n \\ 48,9297 &= \frac{1}{2}^n \\ n &= -5,6126 \end{aligned}$$

Karena n hasilnya negatif, maka radiasi bocor tidak diperhitungkan sehingga tidak diperlukan penahan untuk radiasi bocor.

Perhitungan tebal dinding B, C, D, E, F,G, H, I, J, K, L, M untuk radiasi primer, radiasi hambur dan radiasi bocor dilakukan perhitungan seperti diatas, kemudian hasil perhitungan di masukkan di tabulasi, dalam tabel 2.

Lampiran 2.

Kurva pelemahan sinar-X yang ditimbulkan oleh 50-200 kVp pada Timbal (Cember, 1992)



Timbal/Pb (mm)

