

PENGUJIAN KEBOCORAN RADIASI PADA KAMERA GAMMA DAN PESAWAT SINAR-X

Tulisna, Sugjono, Makmur, Rangkuti

ABSTRAK

PENGUJIAN KEBOCORAN RADIASI PADA KAMERA GAMMA DAN PESAWAT SINAR-X. Telah dilakukan pengujian kebocoran radiasi pada kamera gamma Ir-192 Amertest tipe Tech Ops model 660B dan Co-60 model 680 Projector serta pesawat sinar-X Rigaku Radioflex-200 EGS-2. Pengujian kebocoran pada kamera gamma meliputi analisis kuantitatif (penentuan aktivitas) dan kualitatif Genis nuklida dari sampel yang diambil dengan metode usap menggunakan sistem spektroskopi gamma dengan detektor NaI(Tl). Pengujian kebocoran pada Pesawat sinar-X meliputi penentuan posisi kebocoran menggunakan film radiografi serta penentuan laju dosis menggunakan dosimeter saku digital. Hasil yang diperoleh menunjukkan kebocoran pada kamera gamma Ir-192 terbesar adalah 2,419 Bq, radionuklida teridentifikasi sebagai Ir-192 dan pada kamera gamma Co-60 adalah 0,347 Bq sedangkan radionuklida tidak teridentifikasi. Pada pesawat sinar-X kebocoran radiasi terbesar ada di posisi A dengan laju dosis sebesar 0,1128 R/jam pada jarak 1 (satu) meter dari focal spot. Nilai kebocoran untuk kamera gamma dan pesawat sinar-X tersebut dibawah nilai yang diijinkan.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sumber radiasi dapat mengalami kebocoran selama pemakaian. Sumber radiasi terbungkus dapat bocor karena mengalami keausan atau kerusakan yang mengakibatkan zat radioaktif tersebut tercecer pada pembungkusnya, kamera radiografi atau guide tube. Demikian juga pesawat sinar-X terjadi kebocoran saat dioperasikan. Kebocoran radiasi tersebut harus dipantau untuk memastikan bahwa tingkat kebocoran tidak melebihi batas yang diijinkan.

Tujuan

Penelitian dilakukan untuk memantau dan memastikan tingkat kebocoran radiasi pada:

- Kamera gamma Ir-192 dan Co-60 yang meliputi analisis kuantitatif (penentuan aktivitas) dan kualitatif Genis nuklida dari sampel yang diambil dengan metode usap menggunakan sistem spektroskopi gamma dengan detektor NaI(Tl).

- Pesawat sinar-X yang meliputi penentuan posisi kebocoran menggunakan film radiografi dan laju dosis menggunakan dosimeter saku digital pada kondisi arus maksimum 5 mA dan tegangan tabung 180 kV dengan selang waktu tertentu.

TEORI DASAR

Sumber Terbungkus

Sumber radiasi terbungkus adalah zat radioaktif yang terbungkus rapat oleh bahan tidak radioaktif berupa kapsul ganda yang cukup kuat sehingga dalam penggunaan secara normal mampu mencegah terjadinya penyebaran zat radioaktif. Kontaminasi pada permukaan sumber terbungkus dinyatakan sebagai tingkat kebocoran sumber radiasi. Batas kontaminasi yang diizinkan pada permukaan sumber radiasi terbungkus adalah 0,005 IICi atau 185 Bq (SK No. 08/Ka-BAPETENN-99). Sumber radiasi pada kamera gamma radiografi industri termasuk salah satu sumber terbungkus.

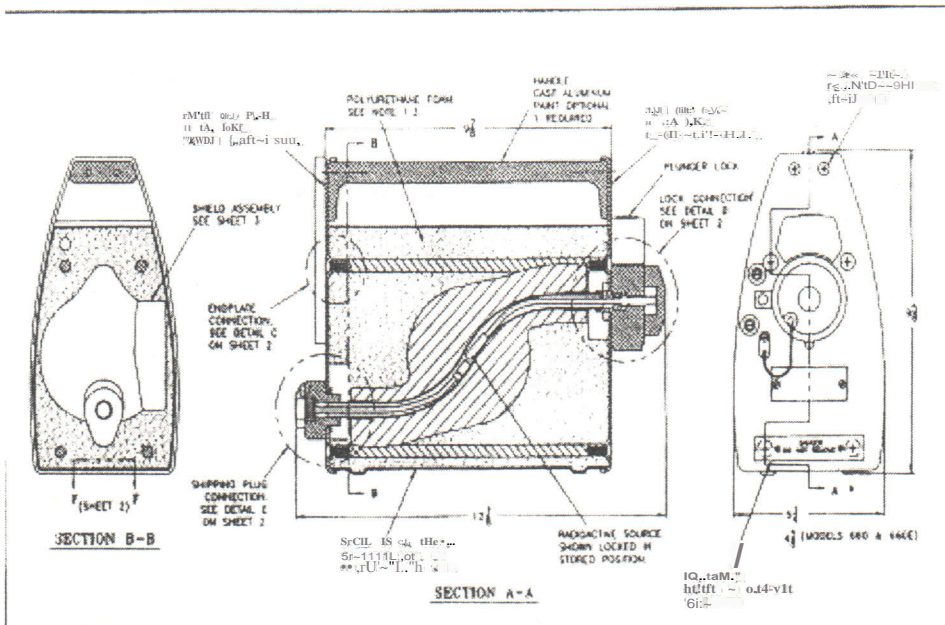
Sumber radiasi GEMM sudah diproduksi oleh pabrik pembuatnya sudah dilakukan tes atau uji kebocoran dan dikeluarkan sertifikatnya. Setelah sumber radiasi digunakan harus dilakukan uji kebocoran sumber radiasi sekurang-kurangnya satu kali dalam 6 (enam) bulan. Pada kamera gamma, saluran kamera (*Shipping plug*) dan lubang *guide tube* harus dilakukan uji kontaminasi. Pengujian dilakukan dengan cara mengusap saluran kamera dan lubang *guide tube* dengan menggunakan kertas penyerap yang diberi tangkai kemudian dikeringkan. Sample harus ditempatkan dalam cawan petri selama penanganan agar tidak menimbulkan kontaminasi, selanjutnya diperiksa dengan peralatan spektroskopi gamma. Bila aktivitas sample lebih dari 0,005 fci maka sumber radiasi harus diperlakukan sebagai limbah radioaktif.

Detektor merupakan suatu bahan yang peka atau sensitif terhadap radiasi yang bila dikenai radiasi akan menghasilkan tanggapan (*response*) tertentu yang lebih mudah diamati. Detektor radiasi bekerja

dengan cara mendorong perubahan yang terjadi di dalam medium pencarap, karena adanya perpindahan energi ke medium tersebut. Kristal NaI(Tl) merupakan salah satu bahan sintilator detektor sintilasi untuk keperluan spektroskopi gamma dan secara umum mempunyai keunggulan dibandingkan dengan detektor yang lain yaitu efisiensi dan kecepatan memproses sebuah radiasi menjadi pulsa listrik lebih tinggi, sedangkan kekurangannya adalah memerlukan sistem elektronik yang relatif lebih rumit dibandingkan dengan detektor isian gas, memerlukan daya listrik yang cukup besar dan resolusinya tidak setajam detektor semikonduktor. Sebagai bahan informasi saat ini telah banyak sistem spektroskopi nuklir yang portabel, salah satu contoh dapat dilihat pada Lampiran I.

Spektroskopi Gamma digunakan untuk analisis kuantitatif (penentuan aktivitas) dan kualitatif (jenis nuklida). Aktivitas sample dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$A = \frac{R_c - R_b}{E_r} \dots\dots\dots 1$$



Gambar I. Konstruksi Kamera Gamma Ir-192

dengan:

- A : aktivitas sample (Bq)
- Rc : laju cacah sample (cps)
- Rb : laju cacah latar belakang (cps)
- Ef : Efisiensi alat

Efisiensi alat ditentukan menggunakan sumber standar dan dihitung dengan persamaan (2)

$$E = \frac{(R_{std} - R_b)}{A \cdot t \cdot p} \quad \dots \dots \dots 2$$

dengan:

- Rstd : laju rata-rata cacah sumber standar - latar belakang (cps)
- Rb : laju latar belakang (cps)
- Astd : aktivitas sumber standar
- P : probabilitas peluruhan

Sistem spektroskopi mencacah radiasi berdasarkan energi, sehingga dihasilkan suatu spektrum distribusi radiasi terhadap energi, dengan membandingkan energi yang diperoleh ke dalam referensi maka jenis radionuklida dari sampel dapat diketahui dan spesifikasi beberapa jenis radionuklida dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pesawat Sinar-X

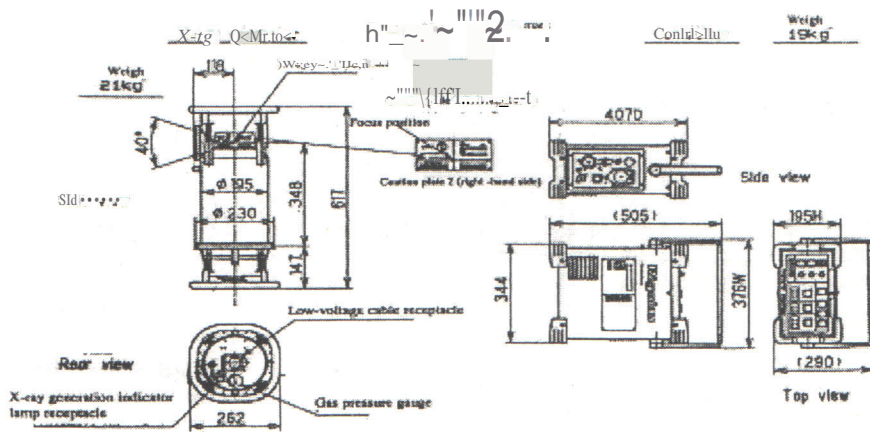
Pesawat sinar-X sebelum dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya sudah dilakukan uji kebocoran dan dikeluarkan

sertifikatnya. Setelah pesawat sinar-X digunakan maka harus dilakukan uji kebocoran. Kebocoran radiasi pesawat sinar-X adalah laju dosis radiasi pada jarak 1 meter dari focal spot pada kondisi tegangan kerja dan arus maksimal. Kriteria bocor rumah tabung berdasar National Committee Radiation Protection (NCRP) publikasi U.S. Departement of Commerce, dibagi menjadi :

- a. Kelompok medis
 - Tipe terapi, batas maksimalnya 1 R/j
 - Tipe diagnostik, batas rnaksimalnya 0,1 R/j
- b. Kelompok non medis, batas maksimalnya 1 R/j.

Pesawat sinar-X yang digunakan dalam kegiatan radiografi industri termasuk kelompok non medis. Pada waktu uji kebocoran jendela tabung ditutup dengan bahan yang jenis dan tebalnya sama dengan rumah tabung. Tutup dibuat oleh pabrik pembuat pesawat sinar-X tersebut.

Pengujian untuk mendapatkan indikasi kebocoran radiasi dilakukan dengan menggunakan film radiografi yang ditempatkan disekeliling pesawat sinar-X. Setelah film diproses dan diukur densitas (tingkat kehitaman film) menggunakan densitometer maka ditentukan posisi atau arah kebocoran. Bagian tersebut diperiksa menggunakan dosimeter saku digital yang ditempatkan pada jarak 1 meter dari focal

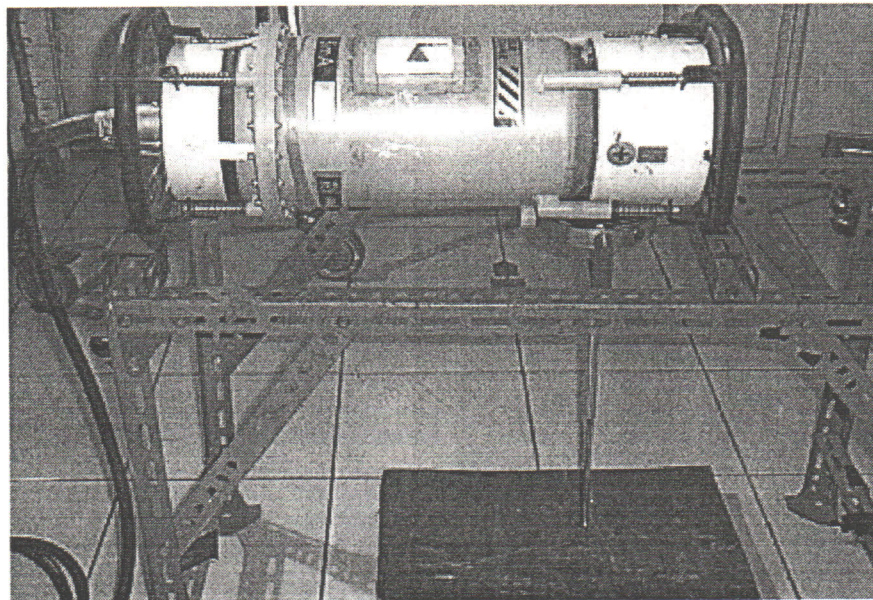


Gambar 2. Skema Pesawat Sinar-X

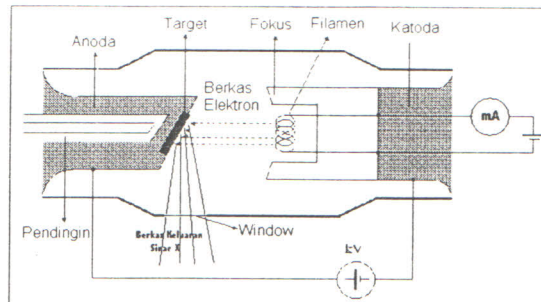
spot dengan selang waktu tertentu untuk menentukan tingkat kebocoran. Pengukuran biasanya memakan waktu yang cukup lama, sehingga pengoperasian pesawat sinar-X harus memperhatikan kemampuan sistem pendinginnya, supaya tidak mengakibatkan kerusakan pesawat sinar-X.



Gambar 3. Panel Kontrol Pesawat Sinar-X Rigaku



Gambar 4. Tabung Pesawat Sinar-X Rigaku



Gambar 5. Konstruksi Tabung Pesawat sinar-X

Prinsip Kerja Pesawat Sinar-X

Secara sederhana proses terbentuknya radiasi sinar-X pada pesawat sinar-X adalah sebagai berikut :

- 1) Arus listrik akan memanaskan filamen sehingga akan terjadi awan elektron disekitar filamen (proses emisi termionik).
- 2) Tegangan (kV) di antara katoda (negatif) dan anoda (positif) akan menyebabkan elektron-elektron bergerak ke arah anoda.
- 3) Fokus (focusing cup) berfungsi untuk mengarahkan pergerakan elektron-elektron (berkas elektron) menuju target..
- 4) Ketika berkas elektron menubruk target akan terjadi proses eksitasi pada atom-atom target, sehingga akan dipancarkan sinar-X karakteristik dan proses pembelokan (pengereman) elektron sehingga akan dipancarkan sinar-X bremsstrahlung.
- 5) Berleas sinar-X yang dihasilkan, yaitu sinar-X karakteristik dan bremsstrahlung, dipancarkan keluar tabling melalui window.
- 6) Pendingin diperlukan untuk mendinginkan target karena sebagian besar energi pada saat elektron menurnbuk target akan berubah menjadi panas.

PELAKSANAAN KERJA

Uji Kebocoran Kamera Gamma

a. Peralatan dan Bahan

1. Dosimeter perorangan (film badge/TLD dan dosimeter saku)
2. Survaimeter
3. Tali kuning dan tanda radiasi
4. Kertas penyerap
5. Kamera gamma dan guide tube
6. Penjepit / pinset
7. Sarung tangan karet
8. Cawan petri
9. Lampu pengering
10. Dekontaminan (Radiacwash)
11. Perangkat spektroskopi gamma

b. Tahapan Kerja

Persiapan

1. Siapkan dosimeter perorangan dan survaimeter
2. Baca dan catat penunjukan awal dosimeter saku dan kenakan film badge/ LD
3. Periksa survaimeter meliputi tanggal akhir kalibrasi, kondisi baterai dan faktor kalibrasinya
4. Instal peralatan spektroskopi gamma

Pelaksanaan

1. Pastikan kamera dalam kondisi aman dan terkunci
2. Ukur laju paparan di permukaan kamera
3. Beri tanda pada kertas penyerap yang menunjukkan tempat pengusapan

4. Pakai sarung tangan
5. Basahi kertas penyerap dengan larutan radiacwash
6. Lepaskan tutup transport sumber (shipping plug connection) pada kamera
7. Lakukan pengusapan pada bagian dalam saluran kamera dengan menggunakan kertas penyerap dan pinset / penjepit
8. Letakkan kertas penyerap pada cawan petri
9. Lakukan lagi pengusapan pada lubang bagian dalam guide tube dengan menggunakan kertas penyerap dan pinset / penjepit
10. Letakkan kertas penyerap pada cawan petri
11. Keringkan di bawah lampu pengering
12. Lepaskan sarung tangan

Pengukuran dan Perhitungan

1. Bawa cawan petri ke ruang spektroskopi gamma
2. Lakukan pencacahan latar belakang minimal 3 kali
3. Lakukan pencacahan sumber standar minimal 3 kali untuk menentukan efisiensi alat cacah
4. Hitung efisiensi alat cacah dengan persamaan 2.
5. Lakukan pencacahan terhadap sampel / kertas penyerap minimal 3 kali
6. Hitung aktivitas (analisis kuantitatif) hasil pengujian menggunakan persamaan 1.
7. Bila aktivitas hasil pengukuran lebih besar atau sama dengan 185 Bq, maka harus dilakukan pengusapan langsung pada sumber untuk memastikan apakah kontaminasi tersebut berasal dari sumber
8. Lakukan kalibrasi energi menggunakan sumber standar
9. Pelajari spektrum yang dihasilkan
10. Lakukan penentuan jenis radionuklida (analisis kualitatif) berdasarkan energinya
11. Baca penunjukkan akhir dosimeter saku
12. Matikan survaimeter

Uji Kebocoran Pesawat Sinar-X

a. Peralatan dan Bahan

1. Dosimeter perorangan (film badge/TLD dan dosimeter saku digital)
2. Survaimeter
3. Tali kuning dan tanda radiasi
4. Pesawat sinar-X, panel kontrol dan aksesorisnya
5. Film radiografi
6. Developer, stop batch, fixer, wetting agent dan dryer
7. lead marker
8. meteran

b. Tahapan Kerja

Persiapan

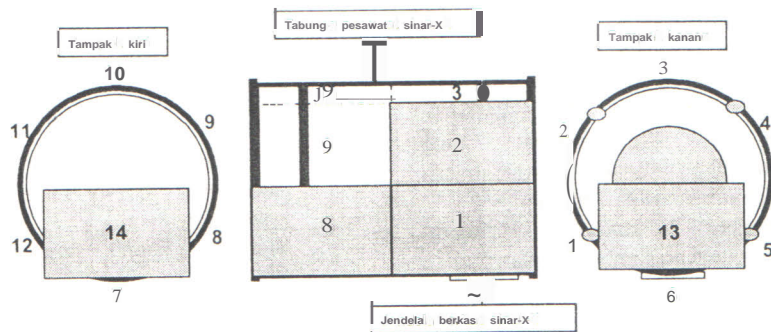
1. Siapkan dosimeter perorangan dan survaimeter
2. Baca dan catat penunjukan awal dosimeter saku dan kenakan film badge/TLD
3. Periksa survaimeter meliputi tanggal akhir kalibrasi, kondisi baterai dan faktor kalibrasinya
4. Siapkan larutan developer, stop batch, fixer, dan wetting agent
5. Pasang tali kuning dan tanda radiasi di sekitar tempat pengujian

Pelaksanaan

1. Tutup jendela pesawat sinar-X dengan penutupnya atau dengan bahan penahan radiasi yang sesuai dengan tebal bahan tabung pesawat sinar-X minimal setebal 10 HYL bahan tersebut
2. Letakkan film radiografi di sekeliling pesawat sinar-X (Gambar 6.)
3. Atur tegangan pesawat sinar-X pada posisi 180 kV serta lamanya waktu penyinaran
4. Nyalakan lampu tanda bahaya radiasi
5. Operasikan pesawat sinar-X. Selama pesawat sinar-X bekerja, lakukan survai radiasi pada laju paparan 0,75 mR/jam dan 2,5 mR/jam. Geserlah posisi tanda bahaya radiasi sesuai dengan hasil pengukuran. Setelah waktu

6. Pastikan pesawat sinar-X pada POSISI aman / terkunci.
7. Lakukan survei radiasi untuk memastikan tidak ada paparan radiasi.
8. Matikan lampu tanda bahaya radiasi.
9. Proses film radiografi yang sudah disinari secara bersamaan kemudian keringkan.
10. Ukur densitas film radiografi menggunakan densitometer.
11. Tentukan posisi atau arah pengujian kebocoran radiasi pesawat sinar-X berdasarkan densitas film radiografi yang paling besar.
12. Letakkan dosimeter saku digital pada jarak 1 (satu) meter dari focal spot.
13. Atur arus dan tegangan pesawat sinar-X pada POSISI maksimum serta waktu penyinaran.

14. Matikan lampu tanda bahaya radiasi.
15. Operasikan pesawat sinar-X. Setelah waktu penyinaran terpenuhi, penyinaran akan berhenti secara otomatis.
16. Lakukan pengambilan data sebanyak 5 (lima) kali.
Catatan : Karena perigambilan data dilakukan lebih dari 1 kali pada posisi tegangan tabung 180 kV (maksimum 200 kV) dan arus maksimum 5 mA yang memerlukan pendinginan tabung pesawat yang memadai, maka perlu diperhatikan dalam pencatatan lamanya waktu penyinaran).
17. Pasangkan pesawat sinar-X pada posisi aman / terkunci.
18. Lakukan survei radiasi untuk memastikan tidak ada paparan radiasi.
19. Maukan lampu tanda bahaya radiasi.
20. Kumpulkan tali kuning dan tanda bahaya radiasi.
21. Baca penunjukan akhir pendose.
22. Matikan survaimeter.



Keterangan: no. s.d. 14 adalah posisi film radiografi

Gambar 6. Skema Penempatan Film Radiografi pada Pesawat Sinar-X Rigaku Radiotex-200 EGS-2

HASIL PEMBAHASAN

Uji Kebocoran Kamera Gamma

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengusap bagian dalam saluran kamera gamma dan lubang *guide tube* (Tabel I) dengan menggunakan kertas penyerap yang diberi tangkai kemudian dikeringkan. Hasil pengujian menggunakan peralatan spektroskopi gamma diperoleh data sebagai berikut :

Sumber standar Co-60

Aktivitas awal (A₀) = 1 μCi pada Juli 1989

Waktu paro (T_{1/2}) = 5,3 tahun

Probabilitas peluruhan (p) = 0,9989 + 0,9998 = 1,9987

Aktivitas saat ini (A_t) pada Oktober 2005, t = 16,25 tahun adalah :

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$A_t = 4403 \text{ Hq}$$

dengan menggunakan persamaan 2, efisiensi alat adalah :

$$E_c = \frac{4403 \cdot J}{4403 \times 1,9987} = 0,049$$

maka aktivitas sampel dihitung

menggunakan persamaan I. nusal untuk sampel no 5 lubang kamera gamma Co-60 adalah :

$$A = \frac{0,017}{0,049} = 0,344 \text{ Bq}$$

* **Sumber standar Cs-137**, dipilih dengan pertimbangan energi Cs-137 mempunyai energi yang relatif sama dengan energi Ir-192.

Aktivitas awal (A₀) = 1 pCi (Juli 1989)

Waktu paro (T_{1/2}) = 30 tahun

Probabilitas peluruhan (p) = 0,85

Aktivitas saat ini (A_t) pada Oktober 2005, t = 16,25 tahun adalah :

$$A_t = 1 \mu Ci \cdot \left(\frac{0,85}{2}\right)^{16,25} = 25419 \text{ Bq}$$

Efisiensi alat :

$$E_c = \frac{1510401}{25419 \times 0,85} = 0,117$$

Aktivitas sampel nusal untuk sampel no 1, lubang kamera gamma Ir-192 :

$$A = \frac{0,237}{0,117} = 2,026 \text{ Bq}$$

Dari hasil perhitungan dan pengamatan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel I. Data Hasil pengujian kebocoran Kamera Gamma

NO	SAMPLE	Laju paparan di permukaan kamera (mR/jam)	Area (cps) t = 600 detik	Energi (ke V)
1.	Lubang kamera gamma Ir-192 B2141	3,5	0,322	Tidak teridentifikasi
2.	Lubang kamera gamma Ir-192 B 1566	4,4	0,368	Tidak teridentifikasi
3.	Lubang guide tube 1	-	0,218	316 ; 468 ; 604
4.	Lubang guide tube 2	-	0,113	Tidak teridentifikasi
Cacah latar belakang			0,085	
Sumber Standar Cs-137 *			151350,085	
6.	Lubang kamera gamma Co-60	25	0,017	Tidak teridentifikasi
Sumber Standar Co-60			259340	

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan dan Pengamatan

NOI	SAMPel	NAUSIS	
		KUANTITATI	KUALITAS
		(8g)	Nuklida
1	Lubang kamera gamma Ir-192	2,026	Tidak teridentifikasi
2	Kamera gamma Ir-192	2,110	teridentifikasi
3	81566 guide tube 1	1,137	Teridentifikasi sebagai Ir-191
4	Lubang guide tube 2	0,239	Tidak teridentifikasi
5	Lubang kamera gamma Co-60	0,347	Tidak teridentifikasi

Pada Tabel 2, diperlihatkan bahwa kebocoran radiasi pada lubang kamera gamma Ir-192 B! 566 relatif lebih tinggi (2,4 19 Bg) dibandingkan dengan sampel lainnya, tetapi jenis radionuklidanya masih belum teridentifikasi karena spektrum yang dihasilkan bertumpuk, sedangkan pada lubang guide tube 1 terdapat kontaminasi dengan aktifitas sebesar 1,137 Bg dan energi spektrum yang dihasilkan teridentifikasi sebagai nuklida Ir-192. Spektrum hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.

Uji Kebocoran Pesawat Sinar-X

Untuk mengetahui posisi atau arah kebocoran radiasi pada pesawat sinar-X maka dilakukan pemetaan densitas radiasi menggunakan film radiografi yang diletakkan di sekeliling pesawat sinar-X. Jumlah film radiografi didasarkan pada keliling tabung pesawat sinar-X dibagi dengan ukuran film. Untuk pesawat sinar-X Rigaku Radioflex-200 EGS-2 menggunakan film radiografi ukuran 4" x 10" sebanyak 14 buah, kemudian setelah dilakukan pengujian diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3. Data Hasil Pengujian untuk Menentukan Posisi atau Arah Kebocoran Pesawat Sinar-X

NOI	POSISI	DENSITAS	KETERANGAN
1	4-9		diperiksa
2	2	3,65	diperiksa
3	4	1,8	diperiksa
5	5	4,65	diperiksa
8	8	0,34	
9	9	0,45	
10	10	0,32	
11	11	0,34	
12	12	3,80	diperiksa
14	14	0,33	

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Kebocoran Pesawat Sinar-X

No	Posisi	Dosis (mR)	Jarak (m)	Waktu (menit)
3.	19	14	5	
4.	19	14	5	
5.	18	14	6	
Rata-rata	18,8	14	5,2	

KETERANGAN

t = 1 menit

* Tegangan tabung 80 KV dan arus maksimum 5 mA

Dari pengukuran densitas film radiografi menggunakan densitometer diperoleh densitas terbesar pada posisi I diikuti posisi 2, 4, 5, dan 13 serta film radiografi dapat dilihat pada Lampiran 4. Oleh karena itu pengujian kebocoran radiasi pesawat sinar-X menggunakan dosimeter saku digital pada jarak 1 (satu) meter dari focal spot dilakukan pada posisi atau arah tersebut di atas. Skema pengujian kebocoran radiasi pesawat sinar-X dapat dilihat pada gambar 7.

Dari hasil pengujian kebocoran diperoleh data sebagai berikut :

Dengan melihat data pada Tabel 4, ternyata radiasi boeor pesawat sinar-X yang paling besar berada pada posisi A dengan laju dosis sebesar 18,8 μ Sv/menit pada jarak 1 (satu) meter dari focal spot, nilai ini setara dengan :

$$\begin{aligned}
 18,8 \mu \text{Sv/menit} &= 18,8 \times 10^{-6} \text{ Sv/menit} \\
 &= 1,128 \times 10^{-4} \text{ Sv/jam} \\
 &= 0,1128 \text{ rem/jam} \\
 &= 112,8 \text{ mR/jam} \\
 &= \mathbf{0,1128 \text{ RJjam}}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian maka laju dosis kebocoran radiasi pesawat sinar-X Rigaku Radioflex-200 EGS-2 tersebut dibawah nilai yang diijinkan untuk kelompok non medis (industri) yaitu **1 RJjam**.

Catatan: - Tegangan yang digunakan dalam pengujian bukan pada kondisi maksimum dengan pertimbangan keselamatan pesawat sinar-X.

- Pada tegangan tabung dibawah 200 kV, laju dosis kebocoran radiasi pesawat sinar-X pada jarak 1 (satu) meter dari focal spot adalah 300 mR/jam (Instruction Manual, Manual No. MEI6013C03, Rigaku Corporation).

PELUTUR

Kesimpulan

- Hasil pengujian kebocoran radiasi pada :
- Kamera gamma Ir-192 Arnertest tipe Tech Ops Model 6608 dan Co-60 model 680 Projector masih dibawah nilai yang diijinkan yaitu 185 Rq serta radionuklida yang teridentifikasi hanya pada lubang guide tube I sebagai Ir-192.
 - Pesawat Sinar-X Rigaku Radioflex-200 EGS-2 adalah 0,1128 RJjam, nilai tersebut masih dibawah nilai yang diijinkan yaitu 1 RJjam dan posisi atau arah kebocoran yang paling besar berada pada posisi A.

Saran

Pengujian kebocoran radiasi pada ;

- c. Karena gamma untuk analisis kualitatif perlu dilakukan pengujian lebih lanjut menggunakan detektor semikonduktor karena resolusi detektor lebih baik dibandingkan dengan detektor Sintilasi.

Oi.ii(1) sehingga jenis radionukhda dari sampel bisa tendentifikasi dengan baik.

- d. Pcsawat sinar-X perlu dilakukan pengujian lebih lanjut menggunakan sun'ai meter dengan fungsi integral yang terkalibrasi sehingga ketelitian tingkat kebocorannya bisa lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Keputusan Kepala BAPETEN No. 08/Ka-BAPETEN/II/99
2. Glosarium Ilmu dan Teknologi Nuklir, BATAN, 1998
3. The Safe Use and Regulation of Radiation Sources, Training Course Series No. 6, IAEA, 1995
4. instruction Manual, Manual no.
5. ME 160 13(O.I., Rigaku Corporation, Japan

Lampiran 1

Hand-Held Multi-Channel Analyzer for Nuclear Spectroscopy



Lampiran 2. Spesifikasi Beberapa Jenis Radionuklida

NO.	RADIONUKLIDA	ENERGI (keV)	PROBABILITAS PELURUHAN GAMMA(%)	WAKTU PARO
1.	^{60}Co	1173,24	99,89	5,27 tahun
		1332,50	99,98	
2.	^{133}Sa	81,00	34,10	10,57 tahun
		276,40	7,17	
		302,85	18,32	
		356,01	62,00	
4.	^{137}Cs	383,85	8,93	30,07 tahun
		661,66	85,20	
5.	^{192}Ir	205,79	3,32	73,83 hari
		295,96	28,70	
		308,46	29,80	
		316,51	83,00	
		468,07	47,80	
		484,58	3,17	
		588,59	4,48	
		604,41	8,09	
6.	^{235}U	612,47	5,28	$7037 \cdot 10^8$ tahun
		25,64	14,6	
		84,21	6,71	
		143,72	10,96	
		163,33	5,08	
7.	^{238}U	185,715	57,20	$4,468 \cdot 10^9$ tahun
		205,311	5,01	
		49,55	0,07	
		63,29	3,80	
		92,35	2,72	
		92,78	2,69	
112,80	0,24			
		766,36	0,21	
		1001,03	0,59	

