ADLN - Perpustakaan Unair

SKRIPSI

ANALISIS KETIDAKSERAGAMAN DENSITAS FILM BADGE SETELAH DIPAPARI SINAR GAMMA Cs – 137

MPF 23/06

Oleh

LILIK RAHMAWATI

080012261

PROGRAM STUDI S1 FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

2006

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

Analisis Ketidakseragaman Densitas Film Badge Setelah Dipapari Sinar Gamma Cs – 137

SKRIPSI

Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Fisika

Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Oleh :

Lilik Rahmawati
Nim : 080012261

Tanggal Lulus :
9 Februari 2006

Disetujui Oleh :

Pembimbing I	Pembimbing II
Suryani Dyah A, S.Si, M.Si	**Ir. Kardianto**
NIP. 132 125 717	**NIP. 140 344 325**

Lembar Pengesahan Skripsi

Judul :Analisis Ketidakseragaman Densitas Film Badge Setelah Dipapari Sinar Gamma Cs-137

Penyusun : Lilik Rahmawati

NIM : 080012261

Tanggal Ujian : 23 Januari 2006

Pembimbing I : Suryani Dyah Astuti, S.Si, M.Si

Pembimbing II: Ir. Kardianto

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Suryani Dyah A, S.Si, M.Si
NIP. 132 125 717

Pembimbing II

Ir. Kardianto
NIP. 140 344 325

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Airlangga

Drs. Bunyanto, MS
NIP. 131 756 001

Pedoman Penggunaan Skripsi

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan seijin penulis dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga

Lembar Persembahan

Skripsi ini kuPersemsembahkan teruntuk
Ayah dan Ibundaku tercinta &
Para Pecinta dan Pejuang Ahlu al-Bait
Nabi
Semoga kita diberikan SyafaatNya.Amiin

Rindu Tak Lepas Rindu Tertahan

Jika adalah rindu yang tak lepas,
adalah rinduku naik kapal Nabi Nuh
Jika adalah rindu yang tertahan,
adalah rinduku memegang tongkat Nabi Musa

Dari seribu kerinduan,
berapakah kiranya yang dikau berikan?
Dari sepuluh kerinduan,
berilah rindu yang amat bersangatan

Jika adalah rindu yang tak lepas,
adalah rindu bersalam Nabi Khidhir
Jika adalah rindu yang bersangatan,
adalah rindu Syafaat Nabi Muhammad
(Taufik Ismail)

KATA MUTIARA

Kebaikan bukanlah kebaikan
bila setelah itu ada neraka
kesulitan bukanlah kesulitan
bila sesudah itu ada surga
Setiap kebahagiaan selain surga adalah kecil
Setiap bencana selain neraka adalah kesenangan.
(Imam Ali Ra, dalam Nahj al-Balaghah)

©©© ÷ ÷ ©©©

Barang siapa membenahi sisi batinnya,
Allah membenahi sisi lahirnya.
Barang siapa berbuat amal bagi agamanya,
Allah melaksanakan perbuatannya di dunia
Barang siapa yang urusan antara dia dan
Allah baik,
Allah membuat urusan antara dia dan orang
lain mnjadi baik. (Amirul Mukminin Ali
Ra)

Seorang sahabat bukanlah (sesungguhnya) sahabat,
kecuali apabila ia memberikan perlindungan kepada
temannya dalam tiga kesempatan:
kesukaran,,ketidakhadiran dan kematiannya
(Imam Ali Ra dalam Nahj al-Balaghah)

Lilik R, 2006, Judul Skripsi: Analisis Ketidakseragaman Densitas Film Badge Setelah Dipapari sinar Gamma Cs-137, Skripsi ini di bawah bimbingan Ibu Suryani Dyah A., S.Si, M.Si dan Bapak Ir. Kardianto, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Airlangga.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya ketidakseragaman densitas film badge dan menentukan tingkat ketidakseragaman densitas film badge. Penelitian ini menggunakan peralatan berupa Irradiator OB 06 dengan nuklida ^{137}Cs, aktivitas 740 GBq, dan energi Gamma 0,662 Mev, paket film badge KODAK tipe 2 ukuran 3,52 x 4,1 cm^2 yang berjumlah enam belas, dan sejumlah peralatan untuk pemrosesan film. Metode penelitian pada penelitian ini adalah pertama, cek stabilitas alat ukur radiasi farmer type 2575. Alat ukur stabil jika prosentasi kestabilan <1%. Kedua, pengukuran output irradiator Cs-137 yang digunakan sebagai dasar penentuan lamanya penyinaran sesuai dosis yang diinginkan. Ketiga, pemaparan film badge pada dosis 1, 4, 7, 11, 13, dan 16 mSv. Keempat, pemrosesan film badge di ruang gelap. Terakhir Pembacaan densitas pada film badge yang telah dibagi menjadi enam sel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv dan 19 mSv. Sedangkan pada dosis 1, 4, 7, 11, dan 13 mSv densitas film masih seragam. Besar ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv adalah 83.6% dan pada dosis 19 mSv adalah 89.0%. Penyebab ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv dan 19 mSv adalah pada kurva kalibrasi yang digunakan sebagai dasar penentuan dosis terukur, pada dosis tersebut kurva sudah mulai jenuh sehingga respon pembacaan densitasnya kurang optimal. Selain itu pada waktu pemrosesan film, larutan yang dipakai kurang homogen. Oleh karena itu film badge harus diproses sesuai prosedur yang ditetapkan dan larutan yang dipakai harus diaduk sampai homogen.

Kata kunci: Film badge, Densitas film, Ketidakseragaman densitas.

Lilik R, 2006, Topic of script: The analisys about anuniformity of film badge density after exposuring Gamma (Cs-137). This script is under advised by Miss Suryani Dyah A., S.Si, M.Si and Mr.Kardianto. Ir, Fisika, Faculty of matematic and science, Airlangga university.

Abstrac

Aim of this research are getting information about anuniformity of film badge density after exposuring Gamma(Cs-137) and calculating amount anuniformity of film badge density. This research are using Irradiator OB 06 with nuklida ^{137}Cs, aktivitas 740 GBq, and Gamma energy 0,662 Mev, then sixteen film badge pocket "KODAK type 2 size 3,52 x 4,1 cm^2 , then devices for processing a film badge. The methode of this research are the first, cheking stability of detektor (farmer 2670), the detector stabil if stability <1%. The Second, measuring output of irradiator Cs-137 is used to calculate duration of exposuring a film badge. The Third is exposuring a film badge. The Fourth is Processing a film badge in the dark room. The last, calculate densitaf of film badge. The result of this research are anuniformity of film badge density there are dose 16 mSv and 19 mSv. Anuniformity of dose 16 mSv is 83.6% and 19 mSv is 89 mSv. The uniformity of film badge density there are dose 1, 4, 7, 11, and 13 mSv. The Cause of anuniformity film badge density are calibrating curve is used to calculate a dose is static on dose 20 mSv. Then processing film badge not proper. and chemical liquid for processing film badge not homogen. So that before processing film badge a chemical liquid must be agitated properly.

Keyword: a film badge, a film density, anuniformity of density.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT yang telah dan masih memberikan Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul : " Analisis Ketidakseragaman Densitas Film Badge Setelah Dipapari Sinar Gamma Cs-137 ".

Shalawat dan Salam semoga tetap tercurah kepada Nabi Muhammad SAW dan keluarganya yang memberikan secercah cahaya imani sebagai petunjuk jalan yang hakiki bagi insan di dunia ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis tidak akan berhasil dengan baik tanpa bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Suryani Dyah A., S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing I yang dengan penuh kesabaran untuk terus membimbing dan memberikan sumbangan pemikiran dalam peyempurnaan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Kardianto selaku dosen pembimbing II sekaligus "Bapak" yang dengan penuh keikhlasan, kesabaran serta tak bosan-bosan memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini. Matur nuwun sanget atas 2 tahun yang penuh makna dan sarat akan pelajaran hidup yang berharga. Minta maaf telah banyak merepotkan Pak To. Semoga Allah membalas kebaikan dan melapangkan segala urusan. Amiin
3. Ibu Nuril Ukhrowiyah, S.Si, M.Si selaku penguji I dan Bapak Imam Sapuan, S.Si, M.Si selaku penguji II yang telah membantu dan mengarahkan penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.

4. Ayah dan Ibunda tercinta yang dengan penuh perjuangan dan keikhlasan telah membanting tulang, memeras keringat untuk membiayai studi penulis serta senantiasa mendo'akan penulis agar sukses di dunia dan akhirat.
5. Yuk Adung dan Gus Tekur, mbak Ida dan Pak Hery yang telah membantu moril dan materiil sejak penulis kuliah sampai terselesaikannya skripsi ini. Maaf telah merepotkan selama ini. Semoga Allah membalasnya, melapangkan rizki, dan memudahkan segala urusan Amiin.
6. *Cak Fuad & mbak Nis, Mbak Lis dan Pak Udi, serta Cak Uzi* atas motivasi dan bantuannya hingga selesainya skripsi ini.
7. Mbak Erna, Mbak Yuni, Iin, dan Nia sebagai rekan penelitian di BPFK Surabaya. Semoga duka cita, susah senang kita bersama dapat menjadi kenangan terindah dan pengalaman hidup yang berharga.
8. Mbak Kandi, mbak Ita dan keluarga besar BPFK Surabaya atas bantuan sarana dan prasarana, motivasi serta dukungannya selama ini
9. Teman-teman pecinta ahlu al-Bait Nabi, terima kasih atas bantuan dan motivasinya semoga kita semua senantiasa dalam naungan kasih Baginda Nabi dan keluarganya serta diteguhkan keimanan kita lahir dan batin.
10. Nia, thank's atas semuanya, berusaha dan berdo'a serta terus sabar atas segala sesuatu yang terjadi. Pasti kau akan memetik hikmahnya di kemudian hari. Chalim atas bantuannya selama ini, ojo nangisan maneh yoo and nang digarap skripsine !!!!. Iin dan Yanus atas bantuan dan perhatiannya selama ini. Thank's atas semuanya. Nurul hidayati, thank's atas pinjeman bukunya. Semoga kebaikan kalian dibalas oleh Allah SWT, amiin.

11. Sapta, Nur, Indah, dan Ardyan atas bantuan dan kebersamaan kita selama ini semoga menjadi kenangan yang manis.
12. Teman-teman angkatan 2000, 2001, dan 1999 yang membantu terselesaikannya skripsi ini dan turut mengasah intelektual penulis.
13. **Keponakan-keponakan** penulis yang lucu dan Nggemesin yang menjadi penghibur saat penulis berduka.
14. Serta semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung membantu penulisan skripsi ini, penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Selanjutnya, sebagai manusia biasa tentu ada kesalahan dan kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Surabaya, 6 Pebruari 2006

Penulis

Daftar Isi

	Halaman
Daftar Isi……	i
Daftar Tabel……	iv
Daftar Gambar……	v
Daftar Lampiran……	vi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang……	1
1.2 Rumusan Masalah……	3
1.3 Batasan Masalah……	3
1.4 Hipotesis Penelitian……	3
1.5 Tujuan Penelitian……	4
1.6 Manfaat Penelitian……	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Film Badge……	5
2.1.1 Pengertian Film Badge……	5
2.1.2 Karateristik Film Badge……	5
2.1.3 Struktur Film Badge……	8
2.1.4 Pembentukan Bayangan Laten……	9
2.1.5 *Basic fog*……	10
2.1.6 Pemrosesan Film……	10
2.1.6.1 Pengembangan(*development*)……	11

2.1.6.2 Penghentian Reaksi (*Stopbath*)... 12

2.1.6.3 Penetapan(*fixing*)..... 12

2.1.6.4 Pencucian(*washing*)..... 12

2.1.6.5 Pengeringan(*drying*)..... 13

2.1.7 Densitas Film..... 13

2.1.8 Ketidakseragaman Densitas Film Badge..... 15

2.1.8.1 Pengertian Ketidakseragaman Densitas Film Badge..... 15

2.1.8.2 Pengaruh Ketidakseragaman Densitas Film Badge Terhadap Penerimaan Dosis 15

2.2 Tinjauan Radiasi..... 16

2.2.1 Pengertian Radiasi..... 16

2.2.2 Sinar Gamma..... 16

2.2.3 Interaksi Sinar Gamma dengan Film Badge..... 17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian..... 18

3.1.1 Waktu Penelitian..... 18

3.1.2 Tempat Penelitian..... 18

3.2 Bahan Penelitian..... 18

3.3 Alat Penelitian..... 18

3.4 Design Penelitian..... 19

3.4.1 Variabel Penelitian..... 20

3.4.2 Skema Penelitian..... 21

3.4.3 Langkah-langkah Penelitian..... 21

3.4.4 Analisa Data..... 24

3.4.4.1 Analisa Simpangan Baku..... 24

3.4.4.2 Pengujian Ragam..... 25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian..... 27

4.2 Pembahasan..... 32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 35

5.2 Saran..... 35

DAFTAR PUSTAKA vii

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Tabel Pemaparan Film Badge.....	22
Tabel 3.2 Tabel Penolong Simpangan Baku.....	22
Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengukuran Densitas Tiap Sel.....	27
Tabel 4.2 Tabel Hasil Uji Chi-Kuadrat.....	32

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Kurva Kalibrasi (Densitas – dosis radiasi)……..	7
Gambar 2.2	Struktur Film……	8
Gambar 2.3	Struktur Kristal Perak Bromida……	10
Gambar 2.4	Penyerapan Sinar Gamma……	17
Gambar 3.1	Diagram Rancangan penelitian……	20
Gambar 3.2	Diagram Blok Langkah-langkah Penelitian……	21
Gambar 3.3	Diagram Blok Langkah-langkah Pengukuran……	21
Gambar 3.4	Gambar Pembagian Film Badge……..	23
Gambar 4.1	Grafik Densitas Tiap Sel Untuk Dosis 1 mSv……	28
Gambar 4.2	Grafik Densitas Tiap sel Untuk Dosis 4 mSv……	28
Gambar 4.3	Grafik Densitas Tiap Sel Untuk Dosis 7 mSv……	29
Gambar 4.4	Grafik Densitas Tiap sel Untuk Dosis 11 mSv……	29
Gambar 4.5	Grafik Densitas Tiap Sel Untuk Dosis 13 mSv……	30
Gambar 4.6	Grafik Densitas Tiap sel Untuk Dosis 16 mSv……	30
Gambar 4.7	Grafik Densitas Tiap Sel Untuk Dosis 19 mSv……	31

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Data Pembacaan Densitas Tiap Sel Pada Tiap-tiap Dosis...	36
Lampiran 2	Data Perhitungan Uji Chi-Kuadrat.....	39
Lampiran 3	Data Perhitungan Besar Keseragaman Densitas Pada Tiap-tiap Dosis.....	41
Lampiran 4	Data Perhitungan Besar Ketidakseragaman Densitas Film	42
Lampiran 5	Pengecekan Tingkat Kestabilan Alat ukur Radiasi.....	43
Lampiran 6	pengukuran Output Irradiator Cs-137.....	44
Lampiran 7	Tabel untuk Pengujian Uji Chi Kuadrat.....	46
Lampiran 8	Gambar-gambar Alat dan Bahan.....	47
Lampiran 9	Sertifikat Alat.....	50
Lampiran 10	Data Peralatan Irradiator OB 06.....	51

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini pemanfaatan radiasi sinar pengion di bidang medis telah berkembang pesat. Salah satunya adalah pemakaian radiasi sinar gamma untuk terapi atau diagnosa suatu penyakit. Pemanfaatan sinar gamma di bidang medis layaknya sebilah pisau tajam bermata dua. Di satu sisi dapat bermanfaat, namun di sisi lain radiasi dapat merugikan manusia. Radiasi dapat menyebabkan kelainan somatik, kelainan genetik, bahkan dapat menghantarkan kepada kematian. Hal ini dapat terjadi jika dosis yang diterima melebihi batas ambang yang diijinkan. Oleh karena itu upaya perlindungan terhadap masyarakat khususnya pekerja radiasi mutlak dilakukan. Salah satu upayanya adalah dengan melakukan pemantauan besar dosis radiasi yang diterima dengan menggunakan dosimeter radiasi (Amsyari, 1989).

Terdapat berbagai jenis dosimeter perorangan yang dapat digunakan untuk pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi. Salah satu dosimeter yang umum dipakai adalah dosimeter film. Dalam pemakaiannya, dosimeter film tersebut dimasukkan ke dalam holder, yang umum dikenal dengan lencana film (film badge). Pemakaian film badge sebagai dosimeter perorangan mempunyai banyak keunggulan yaitu proses kerjanya cukup sederhana, hasil prosesnya dapat disimpan sebagai arsip untuk jangka waktu yang cukup panjang, data yang diperoleh dapat dibaca kembali jika diperlukan, biaya untuk memproses dan mengevaluasi cukup murah serta peralatan yang dibutuhkan juga cukup sederhana (Ruslanto, 2003).

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA

Prinsip pemantauan film badge memanfaatkan prinsip film fotografi. Emulsi fotografik pada film akan menjadi hitam jika terkena radiasi. Kehitaman akan muncul sebagai akibat interaksi partikel perak pada emulsi film dengan radiasi. Tingkat kehitaman, yang kemudian disajikan dalam densitas optik, akan sebanding dengan dosis radiasi (Wiryosimin, 1995).

Sebagai alat pemantau dosis radiasi perorangan, film badge setelah diproses harus mempunyai densitas yang seragam karena keseragaman densitas film badge sangat berpengaruh terhadap kualitas respon dalam menyerap radiasi yang selanjutnya mempengaruhi besar dosis yang diterima. Jika terjadi ketidakseragaman densitas film badge, maka setelah diproses film akan menghasilkan kehitaman semu atau kehitaman yang tidak sebenarnya. Hal ini mengakibatkan pembacaan dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi tidak tepat dan akurat.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, output radiasi Cs-137 yang berada di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya (BPFK-S) telah dinyatakan seragam dengan tingkat keseragaman lebih dari 97% (Ernawati, 2006). Berdasarkan data ini maka sumber Cs-137 telah dibuktikan seragam. Akan tetapi sejauh ini belum ada penelitian apakah film setelah dilakukan pemrosesan densitasnya tetap seragam?. Berdasarkan hal tersebut peneliti tertarik untuk meneliti dan menggali lebih banyak pengetahuan tentang film badge khususnya mengenai ketidakseragaman densitas film badge sekaligus sebagai bentuk *link and match* antara dunia pendidikan dan dunia kerja.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Adakah ketidakseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137?
2. Berapa besar ketidakseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137?

1.3 Batasan Masalah

Sumber radiasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah sumber radiasi Irradiator OB 06 dengan nuklida ^{137}Cs, aktivitas 740 GBq, dan energi Gamma 0,662 Mev. Aktivitas dan energi gammanya telah ditentukan oleh pabrik pembuat pada saat pemesanan alat (Certificate, 1994). Sertifikasi alat dapat dilihat pada lampiran 9. Serta Sejumlah paket film badge, film KODAK, tipe 2 ukuran 3,52 x 4,1 cm^2.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah:

H_o : Ada keseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137

H_1 : Ada ketidakseragaman densitas fim badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui adanya ketidakseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137
2. Menentukan besar ketidakseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma Cs-137

1.6 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat:

1. Memberikan informasi kepada penyelenggara pelayanan film badge tentang ketidakseragaman densitas film badge.
2. Digunakan referensi untuk penelitian mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Film Badge

2.1.1 Pengertian Film Badge

Film badge merupakan salah satu dosimeter atau alat ukur radiasi yang digunakan dalam pemantauan dosis radiasi foton (sinar-X, sinar gamma), dan sinar beta selama periode tertentu. Dalam pemakaiannya, dosimeter tersebut dimasukkan ke dalam holder, yang umum dikenal dengan lencana film (film badge). Film ini ringan, mudah dibawa dan dapat mencatat atau mendeteksi jumlah paparan radiasi kecil maupun besar. Pada aplikasi di lapangan, film badge diletakkan di daerah pinggang. Hal ini dilakukan mengingat daerah pinggang adalah daerah yang sangat sensitif terhadap radiasi (Ruslanto, 2003).

2.1.2. Karakteristik Film Badge

Sebagai sebuah dosimeter, film badge sangat peka terhadap pengaruh luar. Pengaruh luar seperti kalor, kelembaban, dan kejutan mekanik tidak boleh mempengaruhi film ini. Temperatur dan kelembaban dapat menghasilkan bayangan kabur pada film, efek ini meningkat dengan makin lamanya pemakaian film sehingga saat pengukuran dosis, didapatkan dosis yang kurang tepat. Pabrik pembuat film badge menyatakan waktu maksimal pemakaian film adalah satu bulan sebagai alat pantau pribadi (Chesney, D,1978).

Prinsip pemantauan film badge memanfaatkan prinsip film fotografi. Emulsi fotografik pada film akan menjadi hitam ketika terkena radiasi. Kehitaman akan muncul akibat interaksi partikel perak pada emulsi film dengan radiasi. Berbeda dengan film fotografi biasa, film badge termasuk film beremulsi ganda, yang terdiri:

1. Emulsi cepat (*fast emultion*), emulsi ini 100 kali lebih sensitif daripada emulsi lambat, cepat menghitam, dan digunakan untuk memantau radiasi dosis rendah.
2. Emulsi lambat (*low emultion*), emulsi ini tanggap terhadap sinar berenergi tinggi seperti sinar gamma Cs-137 dan bereaksi pada dosis tinggi.

Bila film ini dipapari maka setelah pemrosesan terlihat suatu bayangan hitam. Kehitaman inilah yang disebut dengan densitas film (Chesney, 1978).

Dalam rangka pelayanan medis, film badge digolongkan menjadi 3 macam yaitu :

1. Film Pribadi

Film pribadi adalah film badge yang dipakai oleh pekerja radiasi di IRM (Instalasi Rawat Medis) selama jangka waktu pemakaian yang telah ditentukan yaitu satu bulan. Setelah mencapai jangka waktu yang ditentukan film badge yang telah digunakan dikembalikan ke BPFK untuk dievaluasi berapa besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi. Besarnya dosis radiasi film pribadi adalah :

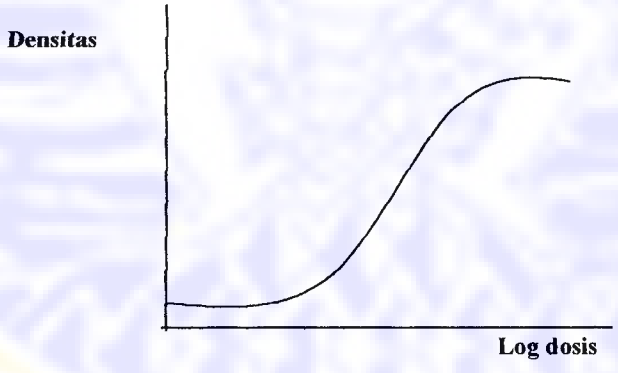
Film pribadi = Radiasi alam + Radiasi dari sumber radiasi.

2. Film Kontrol

Film kontrol adalah film badge yang digunakan untuk mengetahui besarnya radiasi alam selama pengembalian film badge ke BPFK. Dalam penelitian ini film kontrol tidak dipapari dan disimpan bersama film badge yang telah teradiasi. Film ini diperlukan untuk mengetahui besarnya radiasi alam ditempat penyimpanan. Pada evaluasi, bacaan film kontrol digunakan unutk pengurang bacaan dosimeter film pribadi, sehingga dosis yang diperoleh pada evaluasi adalah hanya dosis akibat kerja (*occupational dose*). Besarnya radiasi film kontrol adalah sama dengan radiasi alam (film kontrol = radiasi alam) (Herlina, 2003).

3. Film Kalibrasi

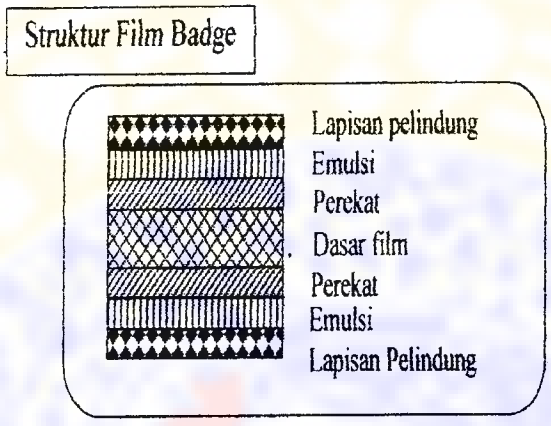
Film kalibrasi adalah film badge yang digunakan untuk membuat kurva yang menyatakan hubungan antara densitas film dengan dosis radiasi. Kurva film kalibrasi ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1. Kurva Kalibrasi hubungan densitas dengan dosis radiasi (Wiryosimin, 1995).

2.1.3. Struktur Film Badge

Lapisan – lapisan penyusun film ditunjukkan pada gambar 2.2 ~~berikut~~.



Gambar 2.2. Struktur film (Chesney, D, 1978)

Sifat – sifat fisisnya antara lain adalah :

a. Dasar Film

Dasar film dibuat dari selulosa triasetat dengan ketebalan kira-kira 200μm dan merupakan bahan yang mudah ditembus sinar, keras dengan ketebalan merata, dan tidak mudah sobek.

b. Lapisan Emulsi

Lapisan emulsi adalah lapisan yang paling sensitif terhadap radiasi. Tebalnya mencapai 12 μm. Sifatnya fleksibel, sangat tipis, dan kering. Emulsi film yang digunakan adalah emulsi AgBr. AgBr merupakan kristal kecil yang terdapat dalam gelatin.

c. Perekat

Perekat pada film terbuat dari gelatin. Gelatin merupakan bahan lapisan pelindung pada permukaan film. Gelatin merupakan senyawa yang

mengandung protein dengan komposisi karbon, oksigen, nitrogen, hydrogen, sulfur, dan zat pengotor lain seperti besi dan fosfor. Gelatin mengembang dan menjadi lunak serta mudah sobek selama proses pengembangan. Lapisan perekat berfungsi merekatkan kristal pada dasar film (Herlina, 2003).

d. Lapisan Pelindung

Lapisan pelindung merupakan lapisan terluar film yang sangat tipis. Pemberian lapisan pelindung agar film terhindar dari goresan dan tekanan akibat pengaruh mekanik dari luar (Herlina,2002)

2.1.4 Pembentukan Bayangan Laten

Lapisan emulsi film badge mengandung senyawa perak bromida (AgBr), terdiri dari ion perak positif (Ag^+) dan ion bromida negatif (Br^-). Gambar struktur kristal perak bromida ditunjukkan pada gambar 2.3. Pada saat senyawa perak bromida terpapari radiasi sinar-X atau sinar gamma menyebabkan ikatan antara perak dan bromida terputus. Beberapa ion bromida melepaskan elektron sehingga ion bromida menjadi ion netral. Proses ini dapat dituliskan sebagai berikut: (Chesney,D, 1978)

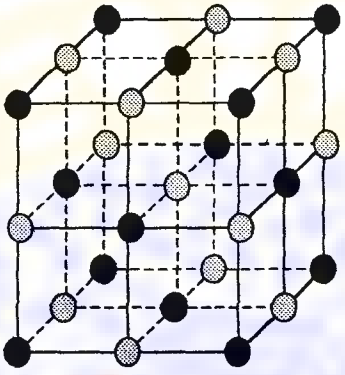
$$AgBr \rightarrow Ag^+ + Br^- \quad \text{.....(2.1)}$$

$$Br \rightarrow Br + e^- \quad \text{.....(2.2)}$$

$$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag \quad \text{.....(2.3)}$$

Elektron ini bergerak dengan mobilitas yang tinggi. Ion perak dapat menarik elektron sehingga terbentuk atom perak. Atom perak ini dinamakan bayangan

laten (bayangan yang tersembunyi). Bayangan laten ini tampak setelah pemrosesan film (pencucian film).



Gambar 2.3. Struktur kristal perak bromida (Chesney, D,1978)

2.1.5 *Basic Fog*

Film yang belum dipapari, bila diproses ternyata sudah mempunyai tingkat kehitaman sendiri. Tingkat kehitaman ini dinamakan *basic fog*. *Basic fog* meningkat bila waktu pencelupan film di dalam larutan devepoler agak lama dan konsentrasi serta suhu larutan developer naik.

2.1.6 Pemrosesan Fim

Pemrosesan film bertujuan untuk mengubah bayangan laten menjadi bayangan permanen, yang terbentuk di lapisan emulsi film. Proses yang harus dilalui adalah pengembangan (*development*), *stopbath*, penetapan (*fixing*), pencucian (*washing*), dan pengeringan (*drying*) (Herlina, 2003).

2.1.6.1. Pengembangan (*development*)

Pengembangan adalah proses yang pertama kali dilakukan dalam pemrosesan. Zat-zat kimia yang digunakan disebut *developer*. Dalam larutan *developer*, molekul-molekul yang terdapat dalam larutan *developer* dengan mudah memasuki lapisan emulsi, sehingga dapat bereaksi dengan AgBr. Larutan *developer* mengandung hydroquinone, metol, amidol, dan sodium sulfit.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan larutan *developer* agar mendapatkan hasil dengan kualitas baik, yaitu (Ruslanto,2003):

a. Suhu dan waktu

Suhu larutan *developer* (pengembang) berpengaruh terhadap hasil akhir pemrosesan film. Hubungan suhu larutan *developer* dengan waktu pencelupan film di dalam developer yang diperbolehkan adalah:

24^0C adalah 2,5 menit, 18^0 C adalah 5 menit, dan 13^0 C adalah 10 menit.

Pada penelitian ini suhu larutan *developer* yang digunakan adalah

20^0C

b. Agitasi (Pengadukan)

Larutan *developer* sebelum digunakan harus diaduk terlebih dahulu. Pengadukan (agitasi) bertujuan agar film dapat perlakuan yang sama sehingga mempercepat pemrosesan film.

c. Penurunan Kadar (*Exhaustion*)

Aktivitas larutan *developer* akan berkurang jika digunakan terus-menerus. Hal ini disebabkan karena konsentrasi larutan *developer* yang digunakan

mengalami penurunan kadar (*exhaustion*) sehingga dihasilkan bayangan yang kabur pada film.

2.1.6.2. Penghentian Reaksi (*Stopbath*)

Film diangkat dari larutan developer kemudin dimasukkan ke dalam larutan *stopbath*. Larutan ini berfungsi menghentikan reaksi larutan *developer* yang masih melekat di film. Bila proses ini diabaikan dihasilkan noda-noda berwarna pada film sehingga merusak bayangan yang telah terbentuk (Ruslanto, 2003).

2.1.6.3. Penetapan (fixing)

Proses penetapan adalah proses menetapkan bayangan yang terbentuk menjadi bayangan permanen. Selama pemrosesan film, film menyerap air sehingga film menjadi lembek dan mudah robek, untuk itu perlu dikeraskan dalam larutan *fixer*. Bahan larutan *fixer* adalah *sodium thiosulfat*, *ammonium klorida*, dan *sodium metabisulfat* (Ruslanto, 2003)

2.1.6.4. Pencucian

Proses pencucian film dilakukan di dalam bak dengan air mengalir. Proses pencucian film ini bertujuan untuk menghilangkan larutan *fixer* yang masih melekat pada film. Bila hal ini diabaikan maka pada permukaan film akan timbul:

a. Noda warna kuning kecoklatan. Noda yeng terbentuk dapat menghilangkan bayangan yang terbentuk

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA

b. *Sodium tiosulfat* yang masih melekat pada film dapat membusuk, sehingga dapat menghasilkan unsur lain sehingga merusak bayangan yang terbentuk pada film.

c. Kristal garam yang merupakan unsur pokok dalam larutan *fixer* menutupi permukaan film sehingga mengganggu pengukuran densitas film. (Herlina,2003)

2.1.6.5. Pengeringan

Pengeringan film dapat dilakukan dengan penghisapan dan atau dengan cara membiarkan film kering di udara. Setelah film kering maka akan dilanjutkan dengan pengukuran densitas film.

2.1.7. Densitas Film

Film yang dipapari radiasi, maka intensitas radiasi yang diteruskan setelah mengenai film berkurang. Berkurangnya intensitas radiasi yang diteruskan ini karena terserap oleh logam perak yang terbentuk pada lapisan emulsi film, makin banyak radiasi yang diserap, intensitas radiasi yang diteruskan semakin berkurang.

Nisbah antara intensitas radiasi sebelum mengenai film (I_o) dengan intensitas radiasi setelah menembus film (I) menunjukkan dosis film. Akan tetapi karena nilai nisbah besar, maka digunakan nilai logaritna saja. Secara matematis dinotasikan dengan persamaan (Wiryosimin, 1995):

$$D_{op} = \log I_o/I \quad (2.4)$$

Dengan D_{op} adalah densitas film

I_o adalah intensitas radiasi sebelum mengenai film

I adalah intensitas radiasi setelah menembus film

Intensitas didefinisikan sebagai fluks energi di suatu titik dan dirumuskan

$$I = \phi . E \quad (\text{MeV m}^{-2}\text{s}^{-1}) \qquad (2.5)$$

Pada persamaan (2.4) terlihat bahwa intensitas sangat mempengaruhi besarnya densitas film.

Besarnya dosis serap (D) adalah (Wiryosimin, 1995):

$$D = \phi \, x \, E \, x \, \mu_m / \rho_m \text{ x } 1{,}6.10^{-19} \text{J/Kev} \qquad (2.6)$$

Dengan D = dosis serap (Gray)

ϕ = fluks foton di suatu titik (foton/m^2.s)

E = energi foton (MeV)

μ_m = koefisien absorpsi linier (m^{-1})

ρ_m = rapat massa (kg/m^3)

ϕ x E = I (Intensitas)

Pada persamaan 2.6 tampak bahwa besarnya dosis serap dipengaruhi oleh besarnya intensitas (I). Karena densitas film dipengaruhi oleh intensitas serta dosis serap juga dipengaruhi oleh intensitas, maka secara tidak langsung densitas akan sebanding dengan dosis yang menyebabkannya. Kesebandingan antara dua besaran ini digunakan untuk membuat lengkung kalibrasi dosimeter yang selanjutnya digunakan untuk menafsirkan hasil bacaan D_{op} pada densitometer.

Jika luas rata-rata penampang satu butir perak yang terkembangkan ialah

a cm^2/butir, dan jumlah butir yang terkembangkan per cm^2 luas film sama dengan n, maka :

$$\frac{I_0}{I} \approx e^{an} \quad \text{.....(2.7)}$$

Dengan substitusi (2.7) ke persamaan (2.4) maka didapatkan densitas adalah:

$$D_{op} = log\frac{I_0}{I} = an^{10}loge = 0{,}4343an \quad \text{.....(2.8)}$$

Dari persamaan 2.8 tampak bahwa densitas film sebanding dengan jumlah butir perak yang terkembangkan. Sehingga semakin banyak butir perak yang terkembangkan maka densitas film juga besar (Wiryosimin, 1995).

2.1.8 Ketidakseragaman Densitas Film Badge

2.1.8.1 Pengertian Ketidakseragaman Densitas Film Badge

Densitas film badge dinyatakan seragam pada penelitian ini adalah apabila tingkat variasi densitas atau simpangan baku densitas per sel yang diukur lebih kecil sama dengan 0.05. Sebaliknya densitas film badge dinyatakan tidak seragam apabila tingkat variasi densitas atau simpangan baku densitas per sel yang diukur lebih besar 0.05 (BAPETEN,2002).

2.1.8.2 Pengaruh Ketidakseragaman Densitas Film Badge Terhadap Penerimaan Dosis

Tingkat keseragaman densitas film badge sangat berpengaruh terhadap kualitas respon dalam menyerap radiasi yang selanjutnya mempengaruhi dosis yang diterima. Jika terjadi ketidakseragaman densitas film badge maka setelah

diproses film akan menghasilkan kehitaman semu atau kehitaman yang tidak sebenarnya. Hal ini mengakibatkan pembacaan dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi tidak tepat dan tidak akurat sehingga penentuan besar dosis yang diterima pekerja radiasi tiap bulan menjadi salah (Ruslanto. 2003).

2.2 Tinjauan Radiasi

2.2.1 Pengertian Radiasi

Radiasi dapat didefinisikan sebagai proses dimana energi dilepaskan oleh atom-atom. Radiasi yang berkaitan dengan masalah proteksi radiasi dibatasi pada radiasi pengion yaitu radiasi Radiasi yang berkaitan dengan masalah proteksi radiasi dibatasi pada radiasi pengion. Dalam hal ini tercakup radiasi sinar-X, sinar gamma, $ß^+$, $ß^-$, α, dan neutron (Wiryosimin, 1995).

2.2.2 Sinar Gamma

Sinar gamma merupakan paket energi elektromagnetik (foton) yang memiliki energi sangat tinggi. Sinar gamma dipancarkan dari inti atom yang tereksitasi melalui proses peluruhan radioaktif. Sinar gamma mampu merusak jaringan tubuh, dan dapat menghitamkan film. Sinar gamma memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan cahaya yaitu 3×10^8 ms^{-1}.

Selain mempunyai daya tembus sangat besar, ciri sinar gamma yang lain adalah mempunyai panjang gelombang pendek, tidak bermuatan, dan daya ionisasinya kecil (Cember, 1983).

2.2.3 Interaksi Sinar Gamma dengan Film Badge

Bila sinar gamma berinteraksi dengan suatu bahan mengakibatkan foton kehilangan energi secara bertahap. Akibatnya jumlah foton yang dapat melewati bahan penyerap berkurang, seperti pada gambar 2.4. Jika jumlah foton sebelum mengenai bahan penyerap berjumlah N foton dan ketebalan bahan adalah x, maka perubahan jumlah foton yang terserap oleh bahan penyerap dapat dinyatakan dengan persamaan (Wiryosimin, 1995) :

$$dN = -\mu N dx \quad \text{.....(2.9)}$$

Dengan μ adalah koefisien absorbsi linier, nilainya tergantung pada energi foton dan sifat bahan penyerap. Jika dilakukan integrasi persamaan 2.9 akan menjadi:

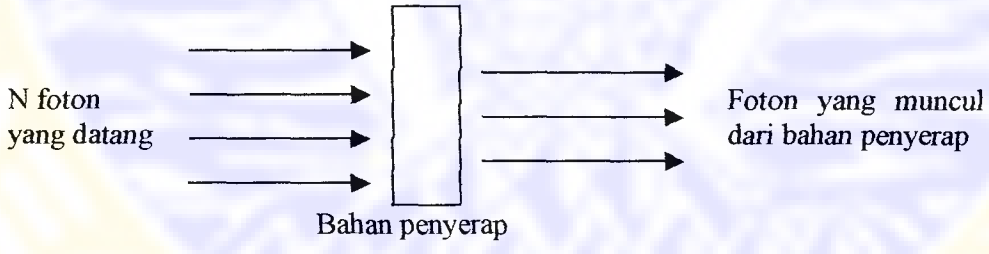
$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad \text{.....(2.10)}$$

N_0 adalah jumlah foton sebelum mengenai bahan penyerap.

N adalah jumlah foton setelah mengenai bahan penyerap.

μ adalah koefisien absorbsi linier.

x adalah tebal bahan penyerap.



Gambar 2.4. Penyerapan sinar gamma

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam bulan Juli sampai September 2005

3.1.2. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya (BPFKS) Jl. Sidoluhur 14 Surabaya.

3.2 Bahan Penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian terdiri dari 16 paket film badge (film KODAK, tipe 2 dengan ukuran 3,52 x 4,1 cm^2) dan bahan – bahan untuk pemrosesan film (larutan *developer, stopbath, fixer*).

3.3 Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Irradiator OB 06 dengan nuklida ^{137}Cs aktivitas 740 GBq dan energi gamma 0,662 MeV.
2. Peralatan dalam pemrosesan film

   Alat – alat yang digunakan dalam pemrosesan film terdiri dari :

   a. bak untuk larutan *developer*

   b. bak untuk larutan *stopbath*

   c. bak untuk larutan *fixer*

d. bak air untuk membilas film

e. pengatur suhu larutan (termometer)

f. stopwatch untuk mengetahui waktu pencelupan film

3. Hanger

Hanger adalah rak untuk menempatkan film saat diproses, film diletakkan untuk menghindari film melekat dengan film yang lainnya. Ukuran hanger adalah 50 x 33 cm^2.

4. Densitometer

Densitometer digunakan untuk mengukur densitas film badge yang telah diproses. Densitometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Digital Densitometer II, model 07-424 Victoren.

5. Tempat penyimpanan film

Film yang belum atau sudah dipapari dengan sinar gamma disimpan ditempat khusus, film disimpan dalam kulkas.

3.4 Design Penelitian

Penelitian yang dilakukan termasuk penelitian eksperimental sederhana jenis *Randomized post test only control group design* yaitu penelitian yang memerlukan dua kelompok obyek yang diambil secara acak dari populasi tertentu. Satu kelompok sebagai kelompok eksperimental dan kelompok yang lain sebagai kelompok kontrol. Kedua kelompok tersebut sama-sama dilakukan *post test.* Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1

$(X_1) \longrightarrow O_1$

R :

$(X_0) \longrightarrow O_0$

Gambar 3.1 Diagram rancangan penelitian

Keterangan:

R : Randomisasi (film badge)

X_1: Film dipapari radiasi dengan variasi dosis

X_0: Film tidak dipapari radiasi

O_1: Pengamatan setelah film diproses di ruang gelap

O_0: Pengamatan setelah film diproses di ruang gelap

Pada gambar 3.1 kelompok (X_1) merupakan kelompok perlakuan, pada kelompok ini masing-masing film badge dipapari dengan dosis yang berbeda yaitu 1,4,7,11,13,16, dan 19 mSv kemudian dilakukan observasi (O_0). Sedangkan kelompok (X_0) merupakan kelompok kontrol, pada kelompok ini dua film kontrol tidak dipapari akan tetapi diikutkan pada proses pencucian. Selanjutnya film kontrol dilakukan observasi (O_0).

3.4.1 Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian ini adalah :

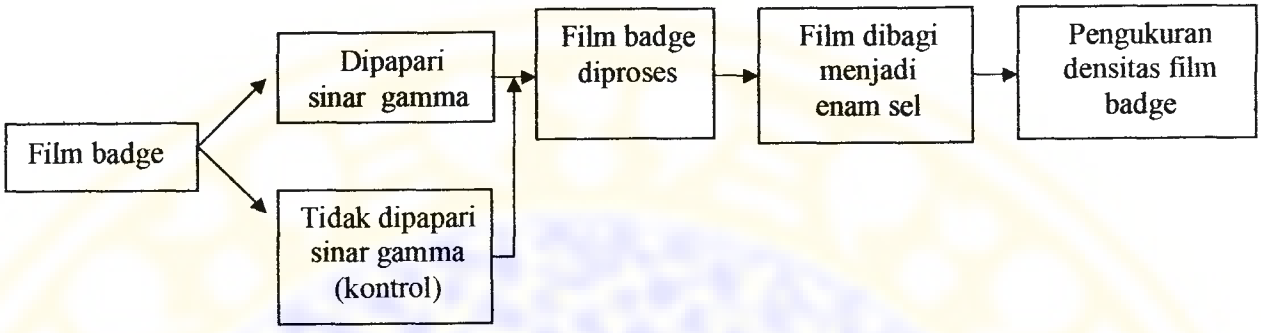
a. Variabel bebas : dosis pemaparan pada film badge

b. Variabel terikat : densitas film badge

c. Variabel terkendali : suhu dan kelembaban

3.4.2 Skema Penelitian

Skema penelitian secara umum dapat dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram blok langkah-langkah penelitian

Adapun skema pengukuran dari penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.3.

Gambar 3.3 Diagram blok langkah-langkah pengukuran

3.4.3 Langkah – langkah Penelitian

1. Pengecekan tingkat kestabilan alat ukur radiasi (farmer 2670)

   Pengecekan kestabilan alat dilakukan untuk meyakinkan bahwa alat telah siap dipergunakan untuk mendeteksi radiasi. Artinya cacahan radiasi yang terbaca saat pengukuran (Bc) dibandingkan dengan bacaan cacahan radiasi saat pengecekan (Bs) dipersyaratkan harus lebih kecil dari 1%. Jadi farmer bisa

digunakan sebagai alat ukur radiasi jika stabilitasnya lebih kecil dari 1%. Cek stabilitas ini dilakukan pada suhu 20±2°C, kelembaban 60%, waktu 300s, tekanan 1005 mbar, sensitivitas 52, 529 mGy/μC dengan sumber Sr^{90}. Pada saat cek stabilitas alat ukur radiasi (farmer 2670) didapatkan hasil persentase stabilitas sebesar 0,787%. Nilai ini lebih kecil dari 1%. Artinya alat ukur radiasi siap untuk digunakan. Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 5.

2. Pengukuran output Irradiator Cs-137

   Pengukuran output irradiator Cs-137 dilakukan untuk menentukan lamanya penyinaran dari masing-masing dosis. Pengukuran ini menggunakan absorber 1/10 dan tanpa absorber 1/10. Penggunaan absorber 1/10 (penyerap radiasi) digunakan untuk dosis rendah (lebih kecil 1 mSv) dengan tujuan agar waktu penyinaran tidak terlampau singkat. Pengukuran tanpa absorber 1/10 digunakan untuk dosis lebih besar 1 mSv. Lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 6.

3. Pemaparan film badge

   Film badge sebelum dipapari dengan sinar Gamma (γ) terlebih dahulu ditandai sesuai dengan dosis yang diberikan. Seperti terlihat dalam tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1. Tabel pemaparan film badge.

Film	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**	**g**
Dosis (mSv)	1	4	7	11	13	16	19

Pada tabel 3.1, setiap kolom terdiri dari dua film operasional. Total jumlah film yang digunakan adalah 16 film yang terdiri dari 14 film operasional dan

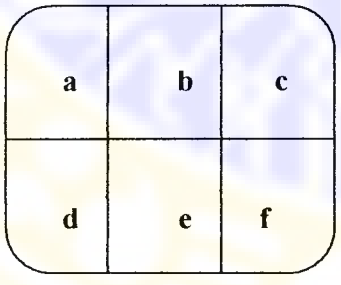
2 film kontrol. Film operasional adalah film yang akan dipapari dengan sinar gamma (γ) dan film kontrol adalah film yang tidak diradiasi, digunakan untuk mendeteksi radiasi *background* pada waktu melakukan penyinaran dan penyimpanan.

2. Pemrosesan film badge

   Setelah selesai dipapari dengan sinar gamma (γ) film badge segera di proses di ruang gelap bersama film kontrolnya. Langkah pertama dalam pemrosesan film tersebut, film dibuka dari bungkusnya kemudian dimasukkan ke dalam hanger. Pada saat membuka film, diupayakan agar film tidak sampai terjatuh, tergores atau tertukar dengan film yang lainnya. Kelompok film (a) setelah dibuka dari bungkusnya dimasukkan dalam satu kolom didalam hanger. Selanjutnya film dicelupkan dalam larutan *developer* selama 5 menit kemudian di larutan *stopbath* kira – kira 0,5 menit dan di larutan *fixer* selama 15 menit. Tahap berikutnya, film dibilas dalam air mengalir selama 30 menit dan tahap terakhir film dikeringkan dengan membiarkan ditempat teduh. Hal yang sama juga dilakukan terhadap kelompok (b) sampai kelompok (g).

3. Membagi film menjadi beberapa sel

   Film dibagi menjadi enam sel dengan ukuran yang sama yaitu panjang =. 1.36 cm dan lebar 1.76 cm. Selanjutnya densitas tiap-tiap sel diukur.



Keterangan:

a,b,c,d,e,dan f adalah sel yang dipapari.

Tiap sel mempunyai ukuran:

Panjang = 1.36 cm dan lebar = 1.76 cm

Gambar 3.4. Gambar pembagian film

4. Mengukur densitas film badge

Setelah film selesai diproses dilanjutkan dengan pengukuran densitas film badge. Densitas film badge diukur dengan densitometer. Hasil pengukuran ini dikurangi dengan hasil pengukuran densitas film kontrol dan ditabelkan menurut dosis yang diberikan pada film badge tersebut. Sebelum densitometer digunakan untuk mengukur densitas, perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

a. Sebelum film diletakkan pada meja periksa (*aperture assembly*) terlebih dahulu diperiksa apakah hasil keluaran densitometer telah menunjukkan angka nol (*zero set*).
b. Setelah melakukan langkah diatas, pengecekan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan film standar yang telah ada densitasnya. Apabila nilai yang ditunjukkan densitometer sesuai dengan nilai yang tertera dalam film standar maka densitometer siap digunakan.

3.4.4 Analisis Data

3.4.4.1 Analisa Simpangan Baku (Deviasi Standar)

Simpangan baku adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat variasi atau keragaman suatu kelompok data. Jika simpangan baku tersebut dikuadratkan, makadisebut varians. Simpangan baku untuk data sampel disebut s dan variansnya ialah s^2. Perumusannya sebagai berikut (Walpole, 1997):

$$s^2 = \frac{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

$$s = \frac{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)}$$

Langkah-langkah menghitung simpangan baku sebagai berikut (Supranto,1987):

1. Membuat tabel penolong dengan sebagaimana tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabel penolong simpangan baku

x_i	x^2_i
$\sum$	

2. Memasukkan nilai-nilai yang didapat dari tabel tersebut ke dalam rumus.
3. Menghitung $s = \sqrt{s^2}$

3.4.4.2 Pengujian Ragam (Uji Chi-Kuadrat)

Pengujian ragam digunakan untuk menguji keragaman atau variasi suatu sampel. Statistik uji yang digunakan sebagai landasan keputusan adalah peubah acak Chi-kuadrat dengan rumus sebagai berikut (Walpole, 1997):

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$$

dalam hal ini n adalah ukuran sampel, s^2 adalah ragam sampel, dan σ_0^2 adalah nilai σ^2 menurut hipotesis nol.

Untuk menguji hipotesis mengenai ragam sampel, mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan kriteria hipotesis nol, bahwa H_o adalah σ^2 sama dengan nilai tertentu.
2. Menentukan hipotesis alternatif H_1 yang sesuai di antara $\sigma^2 < \sigma_0^2, \sigma^2 > \sigma_0^2$, atau $\sigma^2 \neq \sigma_0^2$.
3. Menentukan taraf nyata α
4. Menentukan wilayah kritik
5. Menghitung nilai statistik uji berdasarkan data yang ada.
6. Menentukan keputusan: Tolak H_o bila nilai statistik uji tersebut jatuh dalam wilayah kritiknya, sedangkan terima H_o bila nilai itu jatuh di luar wilayah kritiknya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

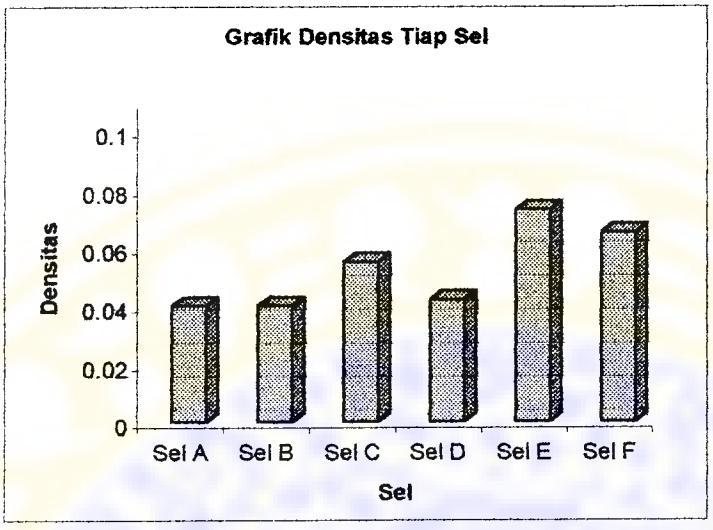
4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran densitas film badge dengan densitometer, dapat diperoleh data hasil pengukuran densitas rata-rata film badge yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran densitas rata-rata tiap sel film badge untuk dosis 1, 4, 7, 11, 13, 16, dan 19 mSv

Dosis	Densitas Rata-rata Pada Sel						
(mSv)	A	B	C	D	E	F	Rata-rata
1	0.040	0.040	0.055	0.043	0.073	0.065	0.053
4	0.365	0.355	0.465	0.412	0.475	0.420	0.415
7	0.665	0.670	0.690	0.700	0.725	0.710	0.693
11	0.997	0.955	0.923	0.860	0.903	0.910	0.925
13	1.112	1.095	1.050	1.145	1.080	1.030	1.085
16	1.350	1.295	1.150	1.295	1.365	1.165	1.270
19	1.490	1.578	1.405	1.370	1.378	1.318	1.423

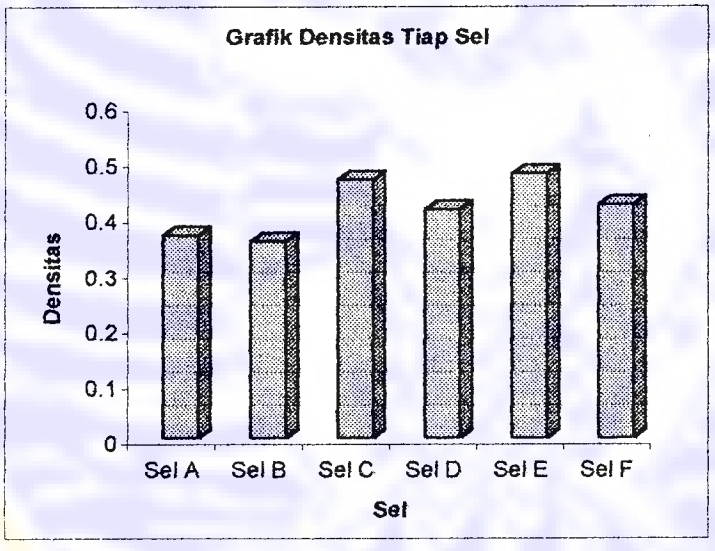
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 1 mSv disajikan pada Gambar 4.1 berikut:



Tingkat keseragaman densitas = 73.02%

Gambar 4.1. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 1 mSv.

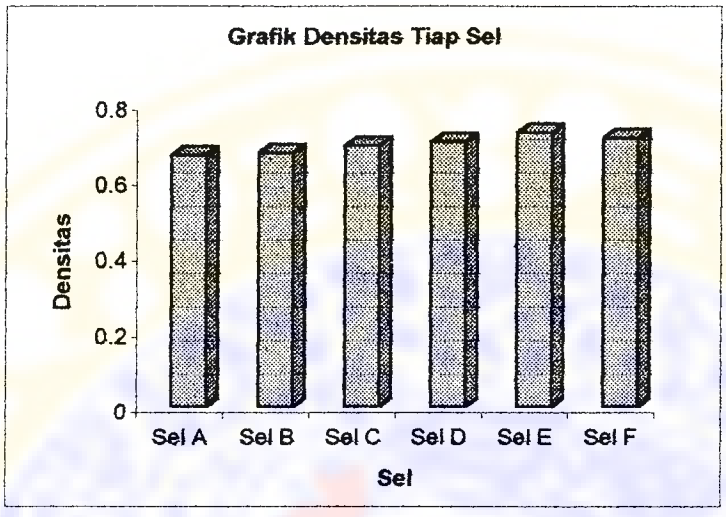
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 4 mSv disajikan pada gambar 4.2 berikut:



Tingkat keseragaman densitas = 88.07 %

Gambar 4.2. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 4 mSv

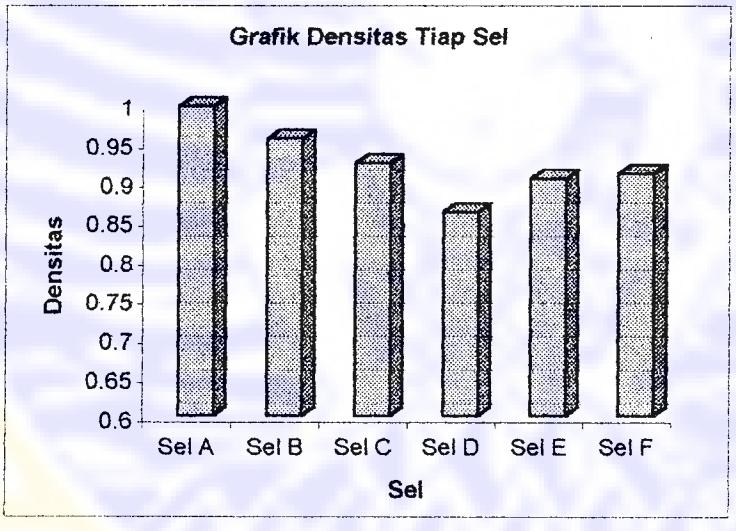
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 7 mSv disajikan pada gambar 4.3 berikut:



Tingkat keseragaman densitas =96.6 5%

Gambar 4.3. Grafik densitas tiap sel untuk dosis 7 mSv.

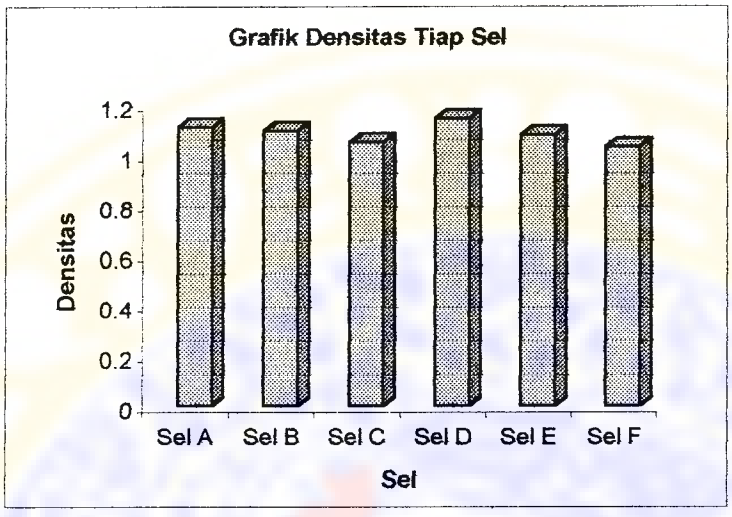
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 11 mSv disajikan pada gambar 4.4 berikut:



Tingkat keseragaman densitas = 94.94%

Gambar 4.4. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 11 mSv

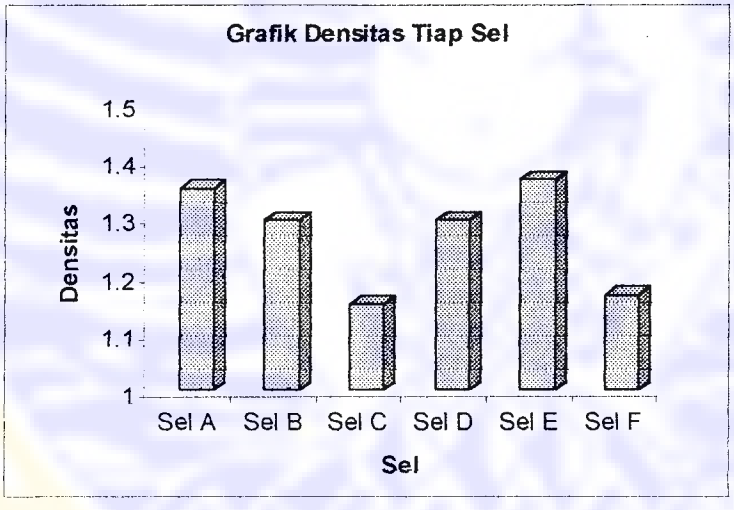
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 13 mSv disajikan pada gambar 4.5 berikut:



Tingkat keseragaman densitas = 96.15 %

Gambar 4.5. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 13 mSv

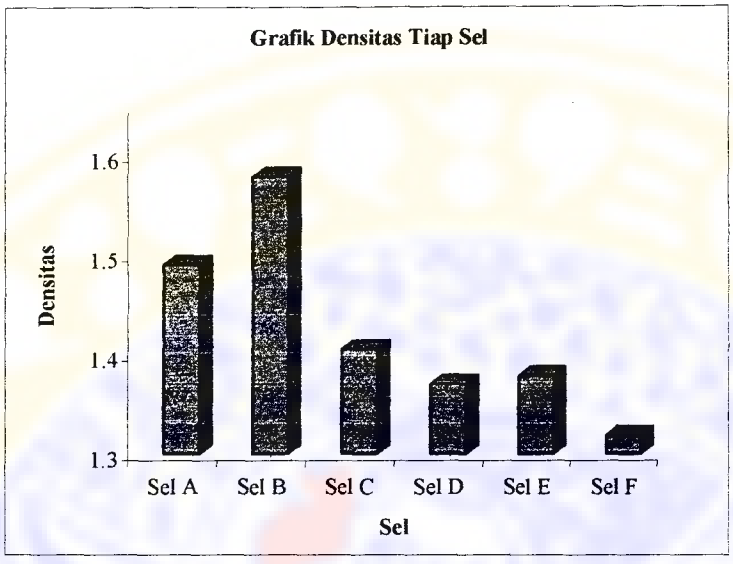
Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 16 mSv disajikan pada gambar 4.6 berikut:



Tingkat ketidakseragaman densitas = 83.6%

Gambar 4.6. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 16 mSv.

Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 19 mSv disajikan pada gambar 4.7 berikut:



Tingkat ketidakseragaman densitas = 89.0 %

Gambar 4.7. Grafik densitas rata-rata tiap sel untuk dosis 19 mSv

Dari tampilan Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5 terlihat bahwa grafik balok pada tiap-tiap sel tidak berbeda jauh atau hampir sama. Artinya densitas tiap selnya masih kelihatan seragam. Akan tetapi untuk Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 terlihat bahwa grafik balok pada tiap-tiap sel sangat fluktuatif atau jauh berbeda satu sama lain, artinya densitas untuk masing-masing sel pada dosis 16 mSv dan 19 mSv tidak seragam.

4.2 Pembahasan

Setelah didapatkan data densitas rata-rata untuk dosis 1, 4, 7, 11, 13,16, dan 19 mSv, langkah selanjutnya adalah mengetahui apakah terdapat ketidakseragaman densitas film badge setelah dipapari sinar gamma pada masing-masing dosis pemaparan. Sebagai uji statistiknya dilakukan uji ragam dengan memakai statistik uji Chi-kuadrat. Hasil statistik uji Chi-kuadrat ditunjukkan dalam tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Uji Chi-kuadrat

Dosis(mSv)	**1**	**4**	**7**	**11**	**13**	**16**	**19**	χ^2_{tabel} **5%**
χ^2_{hitung}	0.409	4.901	1.076	4.380	3.478	16.854	17.861	11.07

Kriteria pengujian hipotesis χ^2 pada penelitian ini adalah apabila χ^2_{hitung} lebih besar dari pada χ^2 **5%** maka H_o diterima dan H_1 ditolak artinya terdapat ketidakseragaman densitas film badge dan sebaliknya apabila χ^2_{hitung} lebih kecil dari pada χ^2 **5%** maka H_o ditolak dan H_1 diterima artinya ada keseragaman densitas film badge. Dari tabel hasil uji Chi-kuadrat di atas terlihat bahwa pada dosis 1 mSv, 4 mSv, 7 mSv, 11, dan 13 mSv didapatkan hasil χ^2_{hitung} yang lebih kecil dari pada χ^2 **5%** Artinya pada dosis tersebut deviasi standar densitasnya masih dalam batas yang diperbolehkan dengan tingkat keseragaman dosis 1 mSv adalah 73.02%, dosis 4 mSv adalah 88.07%, dosis 7 mSv adalah 96.65%, dosis 11 mSv adalah 94.94%, dan dosis 13 mSv adalah 96.15%. Prosentase ketakpastian instrumen kalibrasi alat ukur di BPFK yang masih diperbolehkan adalah 30%. Prosentase ketakpastian untuk daerah diagnostik sebesar 10%, sedangkan

prosentase ketakpastian untuk daerah tindakan medis di rumah sakit sebesar 5% (Technical reports, 1987). Data keseragaman densitas film badge di BPFK untuk dosis 1, 4, 7, 11, dan 13 mSv lebih dari 70%. Artinya pada dosis tersebut penyimpangannya kurang dari 30%. Dengan demikian penyimpangan yang ada pada dosis tersebut sesuai dengan kriteria batas minimum ketakpastian yang masih diperbolehkan.

Adapun dosis 16 mSv dan 19 mSv didapatkan hasil χ^2_{hitung} lebih besar dari pada χ^2 **5%,** artinya pada dosis tersebut deviasi standar densitasnya melebihi batas yang diperbolehkan yaitu lebih besar dari 0.05. Dengan demikian pada dosis tersebut terdapat ketidakseragaman densitas film badge. Besar ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv sebesar 83.6% dan dosis 19 mSv sebesar 89.0%.

Penyebab utama ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv dan 19 mSv adalah pertama, kurva kalibrasi yang digunakan untuk menentukan dosis terukur mencapai titik jenuh mulai dosis 20 mSv (Kalibrasi BPFK, 2004). Artinya pada dosis di sekitar 20 mSv responnya kurang optimal. Dosis 16 mSv dan 19 mSv mendekati titik jenuh sehingga pembacaan densitasnya kurang optimal, akibatnya terjadi kesalahan dalam penentuan densitas.

Kedua, pemrosesan film kurang tepat. Pada saat film dimasukkan dalam larutan *developer, stopbath, dan fixer*, larutan belum tercampur secara merata atau tidak homogen akibat proses *agitasi* atau pengadukan larutan yang kurang tepat. Selain itu, ketika dimasukkan dalam larutan *developer, stopbath,dan fixer,* hanger seharusnya digerak-gerakkan secara kontinu agar larutan dapat mengenai film secara merata. Akibat pemrosesan yang kurang tepat tersebut, setelah dicuci

terdapat noda keruh pada film sehingga dapat merusak bayangan. Noda keruh ini ditimbulkan oleh bahan larutan yang masih melekat di film. Noda keruh ini tampak pada kondisi fisis film ketika didekatkan di cahaya. Dengan adanya noda keruh ini pembacaan densitas film terganggu dan akhirnya densitas film tidak terbaca dengan semestinya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Terdapat ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv dan 19 mSv. Besar ketidakseragaman densitas film badge pada dosis 16 mSv adalah 83.6 % dan pada dosis 19 mSv adalah 89.0%.
2. Sedangkan pada dosis 1, 4, 7, 11, dan 13 mSv densitas film masih seragam. Besar keseragaman densitas untuk dosis 1 mSv adalah 73.02%, dosis 4 mSv adalah 88.07%, dosis 7 mSv adalah 96.65%, dosis 11 mSv adalah 94.94%, dan dosis 13 mSv adalah 96.15 %.
3. Belum dibuktikan bahwa energi gamma yang digunakan adalah energi gamma 0.662 Mev karena spektrum energi gamma pada penelitian ini belum ditentukan.

5.2 SARAN

Ketidakseragaman densitas film badge sangat berpengaruh terhadap dosis yang diterima oleh karena itu maka hal-hal yang sangat penting untuk diperhatikan adalah:

1. Pemrosesan film badge harus dilakukan sesuai dengan prosedur yanng telah ditetapkan.
2. Larutan yang dipakai dalam pencucian harus diyakini sudah homogen oleh karena itu *agitasi* atau pengadukan larutan harus merata.
3. Perlu dibuat kurva kalibrasi dengan variasi dosis yang lebih banyak (di atas dosis 20 mSv).

Lampiran 1

Data Pembacaan Densitas Tiap Sel Pada Tiap-tiap Dosis

Dosis 1 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	0.5	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.49	0.45	0.04
B	0.5	0.5	0.5	0.48	0.48	0.48	0.49	0.45	0.04
C	0.5	0.5	0.5	0.51	0.51	0.51	0.505	0.45	0.055
D	0.47	0.47	0.47	0.52	0.51	0.51	0.491667	0.45	0.041666667
E	0.51	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.523333	0.45	0.07333333
F	0.46	0.46	0.46	0.57	0.57	0.57	0.515	0.45	0.065

DS = 0.014327518

Dosis 4 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.815	0.45	0.365
B	0.81	0.81	0.81	0.8	0.8	0.8	0.805	0.45	0.355
C	0.87	0.87	0.87	0.96	0.96	0.96	0.915	0.45	0.465
D	0.8	0.81	0.8	0.92	0.92	0.92	0.861667	0.45	0.411666667
E	0.91	0.91	0.91	0.94	0.94	0.94	0.925	0.45	0.475
F	0.78	0.78	0.78	0.96	0.96	0.96	0.87	0.45	0.42

DS = 0.049468471

Dosis 7 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	1.14	1.14	1.14	1.09	1.09	1.09	1.115	0.45	0.665
B	1.13	1.13	1.13	1.11	1.11	1.11	1.12	0.45	0.67
C	1.24	1.24	1.24	1.04	1.04	1.04	1.14	0.45	0.69
D	1.04	1.04	1.04	1.26	1.26	1.26	1.15	0.45	0.7
E	1.03	1.03	1.03	1.32	1.32	1.32	1.175	0.45	0.725
F	1.02	1.02	1.02	1.3	1.3	1.3	1.16	0.45	0.71

DS = 0.023166067

Dosis 11 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	1.42	1.43	1.43	1.46	1.46	1.48	1.446667	0.45	0.996666667
B	1.41	1.41	1.41	1.4	1.4	1.4	1.405	0.45	0.955
C	1.32	1.32	1.32	1.43	1.43	1.42	1.373333	0.45	0.923333333
D	1.32	1.32	1.32	1.3	1.3	1.3	1.31	0.45	0.86
E	1.36	1.36	1.35	1.35	1.35	1.35	1.353333	0.45	0.903333333
F	1.34	1.34	1.34	1.38	1.38	1.38	1.36	0.45	0.91

DS = 0.046814251

Dosis 13 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	1.57	1.57	1.58	1.55	1.55	1.55	1.561667	0.45	1.111666667
B	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55	1.545	0.45	1.095
C	1.47	1.47	1.47	1.53	1.53	1.53	1.5	0.45	1.05
D	1.75	1.75	1.75	1.44	1.44	1.44	1.595	0.45	1.145
E	1.58	1.58	1.58	1.48	1.48	1.48	1.53	0.45	1.08
F	1.55	1.55	1.55	1.41	1.41	1.41	1.48	0.45	1.03

DS = 0.041678887

Dosis 16 mSv

Sel	Film 1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	1.77	1.77	1.77	1.83	1.83	1.83	1.8	0.45	1.35
B	1.73	1.73	1.73	1.76	1.76	1.76	1.745	0.45	1.295
C	1.61	1.61	1.61	1.59	1.59	1.59	1.6	0.45	1.15
D	1.56	1.56	1.56	1.93	1.93	1.93	1.745	0.45	1.295
E	1.88	1.88	1.88	1.75	1.75	1.75	1.815	0.45	1.365
F	1.72	1.72	1.72	1.51	1.51	1.51	1.615	0.45	1.165

DS = 0.091760558

Dosis 19 mSv

Sel	Film1a			Film 1b					
	1	2	3	1	2	3	X	Y	Z
A	1.93	1.93	1.93	1.95	1.95	1.95	1.94	0.45	1.49
B	1.89	1.89	1.89	2.16	2.17	2.17	2.028333	0.45	1.578333333
C	1.72	1.72	1.72	1.99	1.99	1.99	1.855	0.45	1.405
D	1.69	1.69	1.69	1.95	1.95	1.95	1.82	0.45	1.37
E	1.76	1.77	1.77	1.89	1.89	1.89	1.828333	0.45	1.378333333
F	1.72	1.73	1.73	1.81	1.81	1.81	1.768333	0.45	1.318333333

DS = 0.094551573

Film Kontrol

Sel	Film 1a			Film 1b			
	1	2	3	1	2	3	X
A	0.38	0.38	0.38	0.49	0.49	0.49	0.435
B	0.54	0.54	0.54	0.45	0.45	0.45	0.495
C	0.36	0.36	0.36	0.43	0.43	0.43	0.395
D	0.52	0.5	0.5	0.46	0.46	0.46	0.483333
E	0.37	0.37	0.37	0.46	0.46	0.46	0.415
F	0.39	0.39	0.39	0.53	0.53	0.53	0.46

Rata-rata=0.47722

Keterangan:

A,B,C,D,E,F : Penamaan sel pada film

Film 1a dan 1b: Replikasi artinya dalam satu dosis pemaparan film yang disinari berjumlah dua.

1,2,3 : Pengulangan pembacaan pada densitometer. Artinya densitas pada tiap sel diulang sampai tiga kali

X : Rata-rata pembacaan densitas

Y : Rata-rata densitas film kontrol

Z : Rata-rata pembacaan densitas - Rata-rata densitas film kontrol **(Z = X-Y)**

DS : Deviasi standar atau simpangan baku

Lampiran 2

Data Perhitungan Uji Chi-Kuadrat

Diketahui: simpangan baku yang diperbolehkan (σ) adalah ≤ 0.05 sehingga ragam (σ^2) ≤ 0.0025

Dosis 1 mSv

H_o	H_1	α	Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ (χ^2_{hitung})	Keputusan
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0143)^2}{0.0025}$ $=0.409$ $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$	Terima Ho Pada dosis 1 mSv terdapat keseragaman densitas film

Dosis 4 mSv

H_o	H_1	α	Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ (χ^2_{hitung})	Keputusan
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0495)^2}{0.0025}$ $=4.901$ $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$	Terima Ho Pada dosis 4 mSv terdapat keseragaman densitas film

Dosis 7 mSv

H_o	H_1	α	Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ (χ^2_{hitung})	Keputusan
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0232)^2}{0.0025}$ $=1.076$ $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$	Terima Ho Pada dosis 7 mSv terdapat keseragaman densitas film

Dosis 11 mSv

H_o	H_1	α	Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ (χ^2_{hitung})	Keputusan
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0468)^2}{0.0025}$ $=4.380$ $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$	Terima Ho Pada dosis 11 mSv terdapat keseragaman densitas film

Dosis 13 mSv

H_o	**H_1**	α	**Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})**	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ **(χ^2_{hitung})**	**Keputusan**
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0417)^2}{0.0025}$ $=3.478$ $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$	Terima Ho Pada dosis 13 mSv terdapat keseragaman densitas film

Dosis 16 mSv

H_o	H_1	α	Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ (χ^2_{hitung})	Keputusan
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0918)^2}{0.0025}$ $=16.854$ $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$	Tolak Ho Pada dosis 16 mSv terdapat ketidakseragaman densitas film

Dosis 19 mSv

H_o	**H_1**	α	**Wilayah Kritik (χ^2_{tabel})**	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ **(χ^2_{hitung})**	**Keputusan**
$\sigma^2 \leq 0.0025$	$\sigma^2 > 0.0025$	0.05	$\chi^2 > 11.07$	$\chi^2 = \frac{(6-1)(0.0945)^2}{0.0025}$ $=17.861$ $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{tabel}$	Tolak Ho Pada dosis 19 mSv terdapat ketidakseragaman densitas film

Lampiran 3

Data Perhitungan Besar Keseragaman Densitas Pada Tiap-tiap Dosis

Uji Chi-Square pada lampiran 2 menunujukkan bahwa terdapat keseragaman densitas film badge pada dosis 1, 4, 7, 11, dan 13 mSv. Untuk mengetahui besar keseragaman pada tiap-tiap dosis melalui perhitungan sebagai berikut.

% Keseragaman = 100%-KV dengan $KV = \frac{DS}{\bar{x}} x\ 100\%$

Keterangan :

KV : Koefisien variasi

DS : Deviasi standar/simpangan baku

$\bar{x}$: Rata-rata densitas.

Dosis(mSv)	DS	$\bar{x}$	KV	100%-KV
1	0.0143	0.053	26.98	73.02%
4	0.0495	0.415	11.93	88.07%
7	0.0232	0.693	3.348	96.65%
11	0.0468	0.925	5.059	94.94%
13	0.0417	1.085	3.843	96.15%

Lampiran 4

Data Perhitungan Besar Ketidakseragaman Densitas Film Badge

Untuk menghitung besar ketidakseragaman menggunakan rumus:

$$\%Ketidakseragaman: \frac{Sd - Ss}{Ss} x100\%$$

Keterangan:

Sd adalah simpangan baku data.

Ss adalah simpanagan baku standar sebesar 0.05.

- Dosis 16 mSv dengan simpangan baku data sebesar 0.0918 maka

$$\%Ketidakseragaman = \frac{0.0918 - 0.0500}{0.0500} x100\%$$

$$= 83.6\%$$

- Dosis 19 mSv dengan simpangan baku data sebesar 0.0945 maka

$$\%Ketidakseragaman = \frac{0.0945 - 0.0500}{0.0500} x100\%$$

$$= 89.0\%$$

Lampiran 5

Pengecekan Tingkat Kestabilan Alat Ukur Radiasi (FARMER 2670)

Cek stabilitas alat ukur radiasi farmer type 2670 dilakukan pada suhu $(20 \pm 2)^{O}C$ kelembaban 60%, waktu 300 s, tekanan 1005 mbar, sensitivitas 52,529 mGy/μc dengan sumber Sr^{90}

$$\% \text{ stabilitas} = \frac{Bs - Bc}{Bs} \times 100\%$$

Bs = Bacaan standar pada saat pengecekan

$= M \times e^{-0,693 \times n/t1/2}$; M = 228,15 μGy/300 s per 27 pebruari

Bc = Bacaan saat pengukuran

Data bacaan saat pengukuran (μGy):

1. 217.33
2. 217.41
3. 217.52
4. 217.62
5. 217.93

Rata-rata = 217,362

$Bs = M \times e^{-0,693 \times n / t1/2}$

$= 228,15 \times e^{-0,693 \times 29 / 28,7 \times 12}$

$= 215,6511$

$$\% \text{ Stabilitas} = \left| \frac{215,651 - 217,362}{215,651} \right| \times 100\%$$

$= 0,787\% < 1\%$

% Stabilitas < 1%, maka alat stabil dan siap digunakan sebagai alat ukur radiasi

Lampiran 6

PENGUKURAN OUT PUT IRRADIATOR Cs-137

Pengukuran out put irradiator Cs-137 dilakukan untuk menentukan lamanya penyinaran dari masing-masing dosis. Pengukuran ini menggunakan lamanya penyinaran dari masing-masing dosis. Pengukuran ini menggunakan absorber 1/10 dan tanpa absorber 1/10. Lamanya penyinaran dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{D}{\frac{R}{t} \times 3600 s/jam} \quad \text{atau} \quad T = \frac{D}{HP10}$$

T = Lama penyinaran untuk dosis tertentu (jam)

D = dosis yang ditentukan (mSv)

$\bar{R}$ = Rata-rata dosis pengukuran

t = waktu penyinaran pada farmer (250 s)

Data Output Irradiator dengan Absorber 1/10	Data Output Irradiator Tanpa Absorber 1/10
57,167 μGy 56,685 μGy 56,826 μGy 57,328 μGy 57,129 μGy rata-rata = 57,027 μGy	742,44 μGy 740,50 μGy 739,10 μGy 738,54 μGy 737,69 μGy rata-rata =739,654 μGy
$\frac{R}{t}$ x 3600/jam $= \frac{57,027 \times 3600}{250}$ =821,1888 μGy/jam =0,82118 mGy/jam	$\frac{R}{t}$ x 3600/jam $= \frac{739,654 \times 3600}{250}$ =10651,0176 μGy/jam =10,6510176 mGy/jam
HP 10 =1,21 x 0,82118 = 0,9936 mSv	HP 10 = 1,21 x 10,6510 = 12,8878 mSv

Data Waktu Penyinaran

Dosis (mSv)	HP10 (tanpa absorber)	$T = \frac{D}{HP10}$	Lama Penyinaran (menit)
1	12.8877	0.0776	4.66
4	12.8877	0.3074	18.45
7	12.8877	0.5432	32.59
11	12.8877	0.8535	51.21
13	12.8877	1.0087	60.52
16	12.8877	1.2414	74.48
19	12.8877	1.4743	88.46

Lampiran 7

Tabel Untuk Pengujian Uji Chi-Kuadrat

Distribusi χ^2

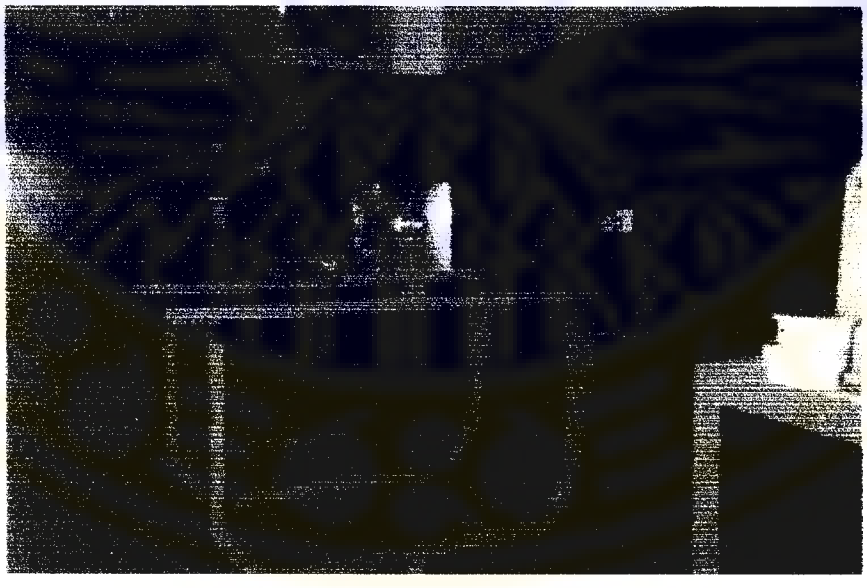
Kolom pertama memuat angka derajat kebebasan (v). Angka pada bagian atas kolom berikutnya menunjukkan probabilitas α untuk menghasilkan angka χ^2. Untuk $v > 100$, gunakan $\sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2v - 1}$ sebagai variabel normal standar.

	α					
v	0,995	0,975	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000	0,0010	3,8415	5,0239	6,6349	7,8794
2	0,0100	0,0506	5,9915	7,3778	9,2104	10,5965
3	0,0717	0,2158	7,8147	9,3484	11,3449	12,8381
4	0,2070	0,4844	9,4877	11,1433	13,2767	14,8602
5	0,4118	0,8312	11,0705	12,8325	15,0863	16,7496
6	0,6757	1,2373	12,5916	14,4494	16,8119	18,5475
7	0,9893	1,6899	14,0671	16,0128	18,4753	20,2777
8	1,3444	2,1797	15,5073	17,5345	20,0902	21,9549
9	1,7349	2,7004	16,9190	19,0228	21,6660	23,5893
10	2,1558	3,2470	18,3070	20,4832	23,2093	25,1881
11	2,6032	3,8157	19,6752	21,9200	24,7250	26,7569
12	3,0738	4,4038	21,0261	23,3367	26,2170	28,2997
13	3,5650	5,0087	22,3620	24,7356	27,6882	29,8193
14	4,0747	5,6287	23,6848	26,1189	29,1412	31,3194
15	4,6009	6,2621	24,9958	27,4884	30,5780	32,8015
16	5,1422	6,9077	26,2962	28,8453	31,9999	34,2671
17	5,6973	7,5642	27,5871	30,1910	33,4087	35,7184
18	6,2648	8,2307	28,8693	31,5264	34,8052	37,1564
19	6,8439	8,9065	30,1435	32,8523	36,1908	38,5821
20	7,4338	9,5908	31,4104	34,1696	37,5663	39,9969
21	8,0336	10,2829	32,6706	35,4789	38,9322	41,4009
22	8,6427	10,9823	33,9245	36,7807	40,2894	42,7957
23	9,2604	11,6885	35,1725	38,0756	41,6383	44,1814
24	9,8862	12,4011	36,4150	39,3641	42,9798	45,5584
25	10,5196	13,1197	37,6525	40,6465	44,3140	46,9280
26	11,1602	13,8439	38,8851	41,9231	45,6416	48,2898
27	11,8077	14,5734	40,1133	43,1945	46,9628	49,6450
28	12,4613	15,3079	41,3372	44,4608	48,2782	50,9936
29	13,1211	16,0471	42,5569	45,7223	49,5878	52,3355
30	13,7867	16,7908	43,7730	46,9792	50,8922	53,6719
40	20,7066	24,4331	55,7585	59,3417	63,6908	66,7660
50	27,9908	32,3574	67,5048	71,4202	76,1538	79,4898
60	35,5344	40,4817	79,0820	83,2977	88,3794	91,9518
70	43,2753	48,7575	90,5313	95,0231	100,4251	104,2148
80	51,1719	57,1532	101,8795	106,6285	112,3288	116,3209
90	59,1963	65,6466	113,1452	118,1359	124,1162	128,2987
100	67,3275	74,2219	124,3421	129,5613	135,8069	140,1697

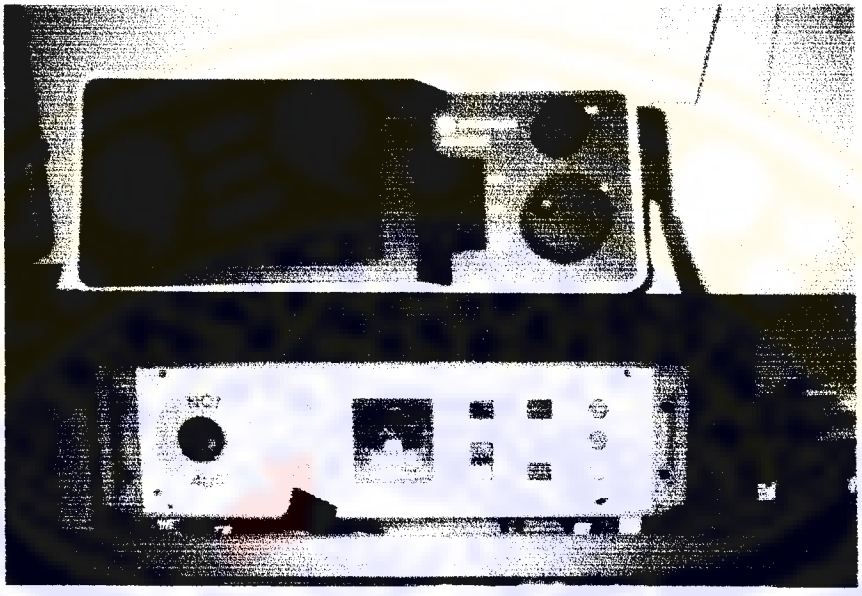
Sumber: Tabel ini dikutip dari Tabel 8 buku *Biometrika Tables for Statisticians*, Vol. 1, 3rd edition, 1966.

Lampiran 8

Gambar L.1
Irradiator OB 06 dengan Nuklida ^{137}Cs



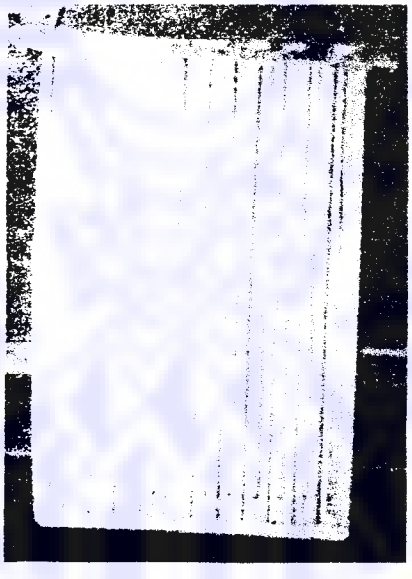
Gambar L.2
Pemaparan dengan radiasi Gamma ^{137}Cs terhadap film badge



Gambar L.3
Perangkat Dosimeter Elektronika

Gambar L.4
Densitometer

Gambar L.5
Tempat Pemrosesan Film Badge



Gambar L.6
Hanger

Lampiran 9

Annex A Source Certificate

6 October 1994 Men/vo
Page 1 of 2 pages, Issue 8/93

Amersham Buchler
GmbH & Co KG
Gieselweg 1
D-38110 Braunschweig
Postfach 11 49
D-38001 Braunschweig
Tel. (05307) 930-0
Fax (05307) 930-293
Fax-Zentrale 930-237

Amersham
The Health Science Group

CERTIFICATE

No. 992620

for a Sealed Radioactive Source

Source Type: Gamma Source(s)

Product Code	CDC7607
Drawing	VZ-476/3
Quantity	1 off
Source No(s).	EA 253
Nuclide	Caesium-137

Measurement Data

Nominal Activity	740 GBq
Reference Date	27 September 1994
Traceability*	Defined on page 2

Leakage and Contamination Test(s)

Test Method(s)*	III and II
Test(s) passed on	4 October 1994

Additional Information

ISO Classification*	C.63535
Recommended Working Life*	---
Remark	Special form approval* D/0044/S

* see page 2 for explanation

Amersham Buchler

(Production Manager)

Amersham Buchler GmbH & Co KG Sitz Braunschweig Registergericht Braunschweig HRA 8021
Persönlich haftende Gesellschafterin: Amersham Buchler GmbH, Sitz Braunschweig Registergericht Braunschweig HRB 638
Geschäftsführer: Dr. Anthony J. D'Eustachio Vorsitzender des Aufsichtsrates: Wolfgang Büsselberg
Deutsche Bank AG Braunschweig BLZ 270 700 30, Konto 0168815 Postgiroamt Hannover BLZ 250 100 30, Konto 3133 30-309

Lampiran 10

4 Device Data for **OB2**

Standard source:	Nuclide : Co60 Activity : 3.7GBq
Source loaded:	see attached certificate in annex A.
Half-life time:	5.272 years
Photon equivalent dose rate constant:	H_x = 0.351mSv * m² / (h * GBq)
Gamma energy:	1.33Mev
Dose rate 10cm from the surface of the container :	< 100µSv/h loaded with standard source.

5 Device Data for **OB6**

Standard source:	Nuclide : Cs137 Activity : 75GBq
Source loaded:	see attached certificate in annex A.
Half-life time:	30 years
Photon equivalent dose rate constant:	H_x = 0.0884mSv * m² / (h * GBq)
Gamma energy:	0.66Mev
Dose rate 10cm from the surface of the container :	< 5µSv/h loaded with standard source. < 20µSv/h loaded with 740GBq Cs137

DAFTAR PUSTAKA

Ackerman, E. William, L.E., 1988, *Ilmu Biofisika*, penerjemah Redjani dan Abdul Basir, Penerbit Airlangga University Press, Surabaya.

Amsyari, F., 1989, *Radiasi Dosis Rendah dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan*, Airlangga University Press, Surabaya.

Cember, H., 1983, *Pengantar Fisika Modern*, edisi ketiga, penerjemah Achmad Toekiman, Penerbit IKIP Semarang Press, Semarang.

Chesney, D.N., 1978, *Radiographyc Photography*, third edition, Blackwell Scientific publication, Oxford, Melbourn, London.

Gabriel, J.F., 1988, *Fisika Kedokteran*, penerbit buku kedokteran ECG, Jakarta.

Herlina, N., 2003, *Pencucian Dosimeter Film*, Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir, BAPETEN, Jakarta.

International atomic energy agency, 1987, *Technical reports series no 277 Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams an International Code of Practice*, Vienna.

Ruslanto, Otto P, dan Nur Rohmah, 2003, *Pelayanan Pemantauan Dosis Perorangan Eksternal Menggunakan Dosimeter Film dan Termoluminisensi*, Seminar Pendayagunaan Hasil Litbangyasa Iptek Nuklir IV, Jakarta.

Supranto, J., 1987, *Statistik Teori dan Aplikasi*, edisi kelima, penerbit Erlangga, Jakarta.

STS Steverungs technik & Strahlenschutz, 1991, *STS Irradiator OB2 OB6 Operation Manual*, Harxbutter, Braunschwig.

Tim BAPETEN- P3KRBIN-BATAN-BPFK-DEPKES, 2002, *Laporan kegiatan Pengkajian Unjuk Kerja Laboratorium Pemroses Dosimeter Perorangan*, BAPETEN, Jakarta

Usman H., Purnomo R., 1995, *Pengantar Statistika*, penerbit Bumi Aksara, Jakarta.

Walpole R., 1997, *Pengantar Statistika*, edisi ketiga, alih bahasa Bambang Sumantri, penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Wiryosimin, S., 1995, *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, penerbit ITB, Bandung.

Yitnosumarto, S.,1993, *Percobaan, Perancangan, Analisis dan Interpretasinya*, penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.