

DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	3
A. Tujuan.....	3
B. Pendahuluan.....	3
C. Istilah yang Umum Digunakan Pada Dosimetri Proses Radiasi.....	5
BAB II PENGERTIAN DASAR	7
A. Umum	7
B. Dosis Terserap	8
C. Laju Dosis Terserap	8
D. Pengukuran Dosis Terserap	9
BAB III PENGUKURAN DOSIS RADIASI	13
A. Pengukuran Dosis Radiasi.....	13
BAB IV PROSEDUR DOSIMETRI	24
A. Karakterisasi Fasilitas Iradiasi	24
RANGKUMAN.....	32
DAFTAR PUSTAKA	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Tujuan

Tujuan Intruksional umum :

Peserta mampu menjelaskan jenis dosimeter yang tepat untuk kegiatan kalibrasi maupun pengukuran dosis serap bahan,

Tujuan Intruksional Khusus :

Peserta dapat melakukan pemilihan dosimeter untuk mengukur laju dosis pada fasilitas iradiasi Gamma, dapat mengetahui distribusi dosis pada produk yang di iradiasi dan mampu menentukan dosis maksimum ; minimum serta faktor keseragam dosis.

B. Pendahuluan

Penelitian yang memanfaatkan energi radiasi pengion khususnya gamma, sinar X dan berkas elektron telah dikenal luas bahkan masih terus berkembang dalam berbagai bidang penelitian untuk memperoleh efek tertentu. Pada kegiatan penelitian untuk tujuan sterilisasi/pasteurisasi, degradasi, mutasi, penundaan pertunasan, polimerisasi dan vulkanisasi/grafting. Penerapan hasil penelitian aplikasi radiasi pengion dalam industri barang jadi juga telah dikenal secara luas sebagai bagian dari suatu proses, seperti industri alat kesehatan / sediaan farmasi, industri kemasan, industri ban, industri kabel, industri logam, industri pertanian, industri makanan, industri pulp dan rayon.

Efek radiasi atas produk/bahan yang menerima energi radiasi tergantung pada kuantitas energi radiasi yang diserap oleh bahan. Sedangkan kuantitas energi radiasi pengion yang terserap oleh bahan/produk atau sering juga disebut dosis radiasi. Besarnya dosis radiasi ini berbanding langsung dengan perubahan kimia, fisika dan biologi bahan yang diproses. Oleh karena itu, dosis terserap merupakan parameter penting dalam proses radiasi atau dengan kata lain dengan

mengendalikan dosis terserap dalam suatu proses radiasi maka kualitas bahan/produk yang dihasilkan juga terkendali.

Umumnya energi radiasi gamma digunakan untuk proses yang membutuhkan laju dosis rendah atau dosis rendah sampai tinggi serta penetrasi radiasi yang cukup tebal, sedangkan berkas elektron umumnya digunakan untuk proses yang membutuhkan laju dosis tinggi, penetrasi yang rendah dan laju dosis yang tinggi, dengan proses yang memperhatikan kebersihan lingkungan.

Upaya pemberian dosis terserap yang tepat pada alat/bahan yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi harus mengikuti prosedur/ instruksi kerja. Prosedur/ instruksi kerja merupakan bagian yang penting dalam proses radiasi agar tujuan radiasi sesuai dengan yang diharapkan yaitu untuk memperoleh bahan/produk yang bermutu tinggi.

Bahkan dalam proses sterilisasi alat kesehatan dan kedokteran/sediaan farmasi serta pengawetan makanan, besarnya dosis terserap harus memenuhi peraturan yang dikeluarkan oleh pihak yang berwenang dalam suatu Negara sehingga dosis terserap atau sering juga disebut dosis radiasi selain sebagai kendali proses/kualitas juga merupakan bukti bahwa bahan/produk yang diproses telah memenuhi peraturan yang berlaku.

Disamping sebagai kendali proses/mutu dan bukti suatu proses radiasi memenuhi peraturan yang berlaku, ketepatan pengukuran dosis juga bermanfaat untuk penyampaian informasi antar laboratorium/peneliti atau fasilitas komersial serta untuk memantau kedapat ulangan (reproducibility) suatu proses baik dalam penelitian maupun industri.

Pada tulisan ini disajikan pengertian dasar yang berhubungan dengan dosis radiasi, teknik pengukuran dosis radiasi gamma dan elektron, bahan/alat yang digunakan serta prosedur dosimetri untuk proses radiasi yaitu karakterisasi fasilitas, validasi proses dan pengendalian proses rutin pada fasilitas iradiasi gamma dan berkas elektron (lihat lampiran 2).

C. Istilah yang Umum Digunakan pada Dosimetri Proses Radiasi

1. *Absorbed dose* atau dosis terserap (dosis radiasi) ialah kuantitas energi radiasi terserap pada volume persatuan massa (Gy).
2. Dosimeter adalah bahan atau larutan yang digunakan untuk mengukur dosis terserap.
3. *Dosimeter system* atau Sistem dosimeter adalah suatu system yang terdiri dari dosimeter, alat ukur dosimeter, prosedur pengukuran serta standar acuan yang digunakan untuk menentukan dosis terserap.
4. *Dose uniformity* atau Keseragaman dosis adalah perbandingan antara dosis maksimum dan dosis minimum.
5. *Dose mapping* (pemetaan dosis) adalah pemetaan dosis dalam bahan untuk satu unit iradiasi.
6. *Specific thickness* atau Tebal spesifik adalah perubahan rapat optik dosimeter per tebal dosimeter (cm^{-1}).
7. *Surface density* atau tebal permukaan adalah penetrasi radiasi ke dalam bahan yang sama dengan perkalian antara tebal bahan dengan density (g/cm^2).
8. *Scanning length* (Panjang pemayaran) ialah dimensi daerah iradiasi yang tegak lurus terhadap scanning width dan arah berkas elektron pada jarak tertentu dari window foil (lihat lampiran 3 dan 4).
9. *Scanning Width* atau lebar pemayaran ialah dimensi daerah pemayaran berkas elektron yang tegak lurus terhadap scanning width pada jarak tertentu dari window foil. Untuk fasilitas yang menggunakan konveyor scanning width tegak lurus terhadap konveyor (lihat lampiran 3 dan 4).
10. *Lateral dose distribution* adalah distribusi dosis sepanjang scanning width atau scanning length.
11. *Depth dose distribution* (distribusi dosis dalam bahan) : kurva yang menunjukkan variasi dosis terserap dari permukaan bahan sampai kedalam bahan.

12. *Half-entrance depth* (R_{50c}) : range atau kedalaman penetrasi radiasi penetrasi radiasi pengion dalam bahan dimana dosis terserap berkurang 50 % dari dosis pada permukaan bahan.
13. *Half-entrance depth* (R_{50}) adalah range atau kedalaman penetrasi radiasi pengion dalam bahan dimana dosis terserap telah berkurang menjadi 50% dari dosis terserap maksimum dalam bahan.
14. *Surface dose* (Dosis permukaan) adalah dosis terserap pada permukaan bahan yang menerima energi berkas elektron yang datang.
15. *Surface density* (massa bahan persatuan luas) adalah hasil perkalian antara rapat massa atau densitas bahan dengan tebal bahan yang menerima radiasi.
16. *Lateral dose distribution* (distribusi dosis sepanjang scanning width) ialah variasi dosis permukaan pada bidang yang sejajar dengan scanning width dan tegak lurus arah scanning length).

BAB II

PENGERTIAN DASAR

A. Umum

Dosimetri untuk proses radiasi merupakan unsur utama dari langkah-langkah menuju pemanfaatan radiasi secara baik/tepat dan cara memproduksi barang dengan baik pada suatu proses radiasi. Kegiatan dosimetri merupakan upaya untuk mengendalikan dosis radiasi yang diserap oleh bahan agar menghasilkan bahan/produk yang bermutu baik, maka perlu diperhatikan pengaruh parameter-parameter yang terlibat dalam suatu proses yang memanfaatkan radiasi, misalnya : Sumber radiasi (contoh walaupun suatu bahan menerima dosis radiasi terserap yang sama besarnya akan tetapi kualitas bahan yang diproses untuk tujuan tertentu dapat berbeda akibat perbedaan laju dosis pada suatu proses) (lihat lampiran 2, 3)

1. Desain irradiator (konfigurasi sumber radiasi, kekuatan sumber radiasi atau energi radiasi, posisi sumber terhadap produk serta laju dosis)
2. Distribusi dosis terserap untuk posisi dosis maksimum dan minimum
3. Dimensi produk
4. Keadaan lingkungan
5. Cara pengukuran dosis

Seluruh parameter di atas menjadi perhatian dalam dosimetri, dengan demikian dapat dimengerti bahwa kegiatan dosimetri dimulai sejak perancangan fasilitas iradiasi sampai pada pengendalian proses dan pengendalian mutu produk yang diiradiasi.

B. Dosis Terserap

Dosis terserap didefinisikan sebagai kuantitas energi radiasi pengion yang terserap dalam suatu volume bahan persatuan massa bahan, secara matematis ditulis sebagai:

$$\dot{D} = dE/dm$$

Menurut *International Commission on Radiation Unit and Measurement* (ICRU), satuan yang digunakan untuk dosis terserap adalah gray (Gy).

C. Laju Dosis Terserap

Laju dosis terserap (D) adalah laju penyerapan energi persatuan massa persatuan waktu atau :

$$\dot{D} = dD/dt, \text{ atau}$$

Total dosis terserap adalah

$$\dot{D} = D \times t$$

Satuan yang digunakan untuk laju dosis terserap adalah Gy/detik atau Gy/menit atau Gy/jam

D = Dosis radiasi terserap

\dot{D} = Laju dosis

t = Waktu iradiasi

Sebelumnya satuan dosis radiasi dinyatakan dalam rad yang besarnya sama dengan 100 erg/g.

Oleh karena itu diperoleh hubungan antara satuan energi dengan dosis sebagai berikut :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ joule/kg} = 1 \text{ J/kg} = 6.2318 \times 10^{18} \text{ ev/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 0.01 \text{ Gy} = 6.2418 \times 10^{13} \text{ ev/g}$$

$$1 \text{ kalori} = 4.185 \times 10^7 \text{ erg}$$

Selanjutnya biasanya hubungan antara satuan dosis yang lama dengan yang digunakan ICRU adalah :

$$100 \text{ rad} = 1 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ krad} = 10 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Mrad} = 10 \text{ kGy}$$

D. Pengukuran dosis terserap

Dosimetri adalah cara pengukuran energi radiasi yang diserap, sedangkan sistem yang digunakan untuk mengukur energi radiasi terserap disebut dosimeter. Pada prinsipnya pengukuran energi dengan menggunakan dosimeter adalah pengukuran perubahan kimia, fisik, atau biologi, dosimeter tersebut akibat penyerapan energi radiasi yang biasanya cukup stabil atau dapat dihasilkan kembali dan terukur. Perubahan tersebut sebanding kuantitas energi radiasi yang diserap.

D.1. Faktor yang mempengaruhi dosimeter

1. Sumber radiasi (contoh walaupun suatu bahan menerima dosis radiasi terserap yang sama besarnya akan tetapi kualitas bahan yang diproses untuk tujuan tertentu dapat berbeda akibat perbedaan laju dosis pada suatu proses.
2. Desain iradiator (konfigurasi sumber, kekuatan sumber radiasi atau energy radiasi, posisi sumber radiasi terhadap produk serta laju dosis)
3. Distribusi dosis terserap : Distribusi dosis dalam bahan dapat ditentukan berdasarkan hasil pemetaan laju dosis atau dosis yang dihasilkan dari kalibrasi dengan menempatkan beberapa dosimeter pada beberapa posisi di dalam bahan yang akan di iradiasi. Posisi dosis maksimum dan minimum dapat dirancang untuk setiap pola atau cara radiasi.

Contoh :

1. Proses radiasi dengan mengguna sinar Gamma

Penetrasi foton energi rendah (< 0,03 MeV) ditentukan oleh proses foto elektrik yang mengikuti persamaan :

$$I = (I_0 e^{-\mu t})/R^2$$

Dimana :

I_0 = Intensitas radiasi awal

I = Intensitas radiasi setelah melalui bahan

μ = koefisien attenuasi total

t = tebal bahan yang di lalui

R = Jarak dari sumber

Penetrasi dan attenuasi foton energy tinggi ($> 0,03$ MeV) terutama disebabkan oleh efek Compton yang biasanya ditulis sebagai :

$$I = (I_0 \beta e^{-\mu t})/R^2$$

β adalah build faktor yang nilainya selalu lebih besar dari 1. Nilai β akan meningkat dengan jangkauan penetrasi dalam bahan. Bila yang digunakan adalah sumber Co-60, maka β bernilai berdasarkan fakta tersebut dapatlah dipahami bahwa fasilitas iradiasi Gamma untuk proses radiasi yang memiliki ukuran boks relatif besar untuk aktivitas yang tinggi, ternyata sebagian dosis radiasi terserap berasal dari factor hamburan.

Gb. 2a. menunjukkan posisi dosis maksimum dan minimum untuk suatu proses radiasi menggunakan sinar gamma, dimana kotak berisi bahan di iradiasi dari dua sisi menggunakan sistem konveyor. Dari Gb.2b. dapat dilihat kurva distribusi dosis dalam bahan pada proses iradiasi satu arah yaitu bidang (kurva a) dan kurva diostribusi dosis dari satu arah lainnya yaitu bidang b (kurva b). Serta distribusi dosis dalam bahan iradiasi dari dua sisi (kurva c).

2. Proses radiasi menggunakan berkas elektron :

Posisi dosis maksimum dan minimum untuk iradiasi dari satu arah dan dua arah ditunjukkan pada Gb.3. Distribusikan dosis dalam bahan jika diiradiasi dari satu arah ditunjukkan pada Gb.4., sedangkan distribusi dosis dari dua arah ditunjukkan pada Gb.5.

Besarnya dosis maksimum perlu dibatasi agar bahan yang di radiasi tidak rusak sedangkan dosis minimum harus tercapai. Agar efek radiasi yang diinginkan dapat terpenuhi, bahkan sterilisasi/pastuerisasi alat-alat kesehatan, sediaan farmasi dan pengawetan makanan besarnya dosis maksimum di batasi oleh peraturan yang berlaku dalam suatu negara.

Keseragaman dosis dalam bahan juga menjadi perhatian dalam dosimetri yaitu perbandingan antara dosis maksimum dan dosis minimum, dalam prakteknya terutama dalam skala industri, perbandingan antara dosis maksimum dan dosis minimum berkisar 1,2 sampai 1,5.

D.2. Faktor yang mempengaruhi distribusi dosis dalam bahan ialah :

1. Intensitas sumber radiasi (intensitas radiasi akan berkurang dengan bertambahnya jarak antar sumber dan bahan)
2. Absorpsi dan hamburan pada medan radiasi
3. Variasi atomik dalam bahan
4. Geometri sumber terhadap bahan
5. Karakteristik produk/bahan yang diiradiasi (density, komposisi)
6. Karakteristik pengemas

BAB III

PENGUKURAN DOSIS RADIASI

A. PENGUKURAN DOSIS RADIASI

Pengukuran dosis dilakukan dengan menggunakan dosimeter, alat ukur respon dosimeter tersebut, dan prosedur yang berhubungan pelaksanaan pengukuran responnya atau cara kalibrasinya disebut system dosimeter. Pada prinsipnya semua bahan mengalami perubahan (kimia, fisika, biologi) akibat radiasi dapat dijadikan dosimeter apabila perubahan tersebut dapat diukur, stabil dan kedapat ulangan yang baik, juga mudah dibuat serta mudah penangannya menjadi pertimbangan dalam pemilihan dosimeter.

A.1. DOSIMETER

Berdasarkan kualitas dan penggunaan dosimeter dibagi dalam 4 katagori :

1. Dosimeter standar Primer
2. Dosimeter standar acuan
3. Dosimeter transfer
4. Dosimeter rutin

A.1.1. Dosimeter standar Primer

Dosimeter ini mempunyai kualitas pengukuran yang tertinggi dalam bidang dosimetri radiasi dan digunakan pada laboratorium standar primer.

Pengukuran energi berdasarkan kuantitas fisika (seperti temperature, dan arus ionisasi). Dalam hal ini seluruh energi radiasi yang diserap oleh dosimeter langsung memberikan efek radiasi tanpa perlu dikalibrasin terhadap dosimeter lainnya.

Contoh : Kalorimetri (range dosis $10^3 - 10^5$ Gy, alat ukurnya termometer). Prinsip pengukuran dosis terserap yang digunakan adalah

pengukuran perubahan temperatur absorber penerima energi radiasi akibat penyerapan seluruh energi radiasi yang diterima dari sumber radiasi :

$$D = E/m = c \Delta T$$

Dimana: D = Dosis terserap (Gy)

E = energi radiasi pengion yang diserap absor bermassa m (J).

c = Panas jenis bahan absorber (J/kg.°C)

ΔT = perubahan temperature absorber setelah iradiasi (°C)

m = massa absorber (kg).

sebagai dosimeter standar primer, kalorimeter ini adalah dosimeter standar acuan

A.1.2. Dosimeter standar acuan

Dosimeter ini memiliki kualitas pengukuran tertinggi yang dapat diperoleh pada suatu lokasi/tempat, misalnya National Physical Laboratory (NPL) di Inggris menggunakan dichromat dan alanine, PAIR – BATAN menggunakan dosimeter larutan Fricke.

Contoh : 1) Dosimeter larutan Fricke

Dosimeter larutan Fricke telah dikembangkan sejak tahun 1927 Oleh Fricke dan Morse (Pustaka 1) yang berdasar pada oksidasi larutan ferro sulfat (FeSO_4). Dosis ditentukan dari konsentrasi ion ferri (Fe^{+++}) yang terbentuk setelah iradiasi. Nilai keakuratan dosimeter ini distandarisasi terhadap kalorimetri atau metode fisika lainnya dengan keakuratan 1%. Larutan dosimeter ini telah diterima secara luas sebagai standar dalam kimia radiasi, keakuratan serta reabilitasnya, larutan ini sering digunakan untuk kalibrasi dosimeter.1).

Larutan dosimeter Fricke terdiri dari beberapa campuran zat kimia seperti $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; NaCl dan H_2SO_4

Kestabilan larutan ini sebenarnya tidak begitu sempurna, akan tetapi jika disimpan dalam botol berwarna gelap atau terhindar dari sinar

matahari, bersih dan tertutup maka kestabilannya dapat dipertahankan sampai 8 minggu. Dalam aplikasinya larutan ini dimasukkan dalam ampul gelas 5 cc atau 2 cc. Respon dosimeter terhadap radiasi yaitu konsentrasi ion ferri yang terbentuk akibat teroksidanya ion ferro setara dengan dosis iadiasi terserap. Jika perubahan absorpsi larutan Fricke diukur dengan spectrophotometer (pada 305 nm) maka perubahan absorpsi itu akan mewakili konsentrasi ion ferri yang terbentuk yang berarti mewakili dosis terserap. (lihat lampiran 11)

Dosimeter ini dapat digunakan dalam range dosis 40 Gy sampai dengan 400 Gy. Perhitungan dosis radiasi dengan cara mengukur perubahan rapat optik larutan Fricke yang telah diradiasi.

Mengukur perubahan rapat optik larutan fricke dengan menggunakan UV-VIS spektrofotometer pada panjang gelombang ($\lambda = 305$ nm dan temperatur pengukuran 22° C. Dasar dari pembacaan UV-VIS spektrofotometer didasar dari Hukum Lambert-Beer .

Menurut Hukum Lambert-Beer menyatakan bahwa intensitas yang diteruskan oleh larutan zat penyerap berbanding lurus dengan tebal dan konsentrasi larutan. Jika absorbansi suatu seri konsentrasi larutan diukur pada panjang gelombang, suhu, kondisi pelarut yang sama; dan absorbansi masing-masing larutan diplotkan terhadap konsentrasinya maka suatu garis lurus akan teramati sesuai dengan persamaan **$A = abc$** . Dari hasil analisa ini disebut dengan plot hukum Lambert-Beer dan jika garis yang dihasilkan merupakan suatu garis lurus maka dapat dikatakan bahwa hukum Lambert-Beer dipenuhi pada kisaran konsentrasi yang diamati.

Hukum Lambert-Beer adalah:

$$A = a.b.c$$

Dimana:

A = Absorban

a = Absorbtivitas

b = Tebal kuvet (cm)

c = Konsentrasi (molar)

Absorbtivitas (a) merupakan suatu konstanta yang tidak tergantung pada konsentrasi, tebal kuvet, dan intensitas radiasi yang mengenai larutan sampel. Absorptivitas tergantung pada suhu, pelarut, struktur molekul, dan panjang gelombang radiasi.

Berdasarkan data perubahan rapat optik dapat ditentukan dosis iradiasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{2,75 \times 10^2 \cdot \Delta A}{1 + 0,007(T - 25^0 C)}$$

Keterangan :

D = Dosis terserap dalam Gy

$\Delta A = \Delta_t - \Delta_0$ = Absorpsi setelah radiasi – Absorpsi sebelum radiasi

T = Temperatur Pengukuran

Perhitungan laju dosis dengan menggunakan persamaan:

$$D = \frac{LD \times 60}{T}$$

Keterangan :

D = Laju dosis dalam kGy/Jam

Contoh: 2) Kalorimeter graphit

Kalorimeter graphit ini terdiri dari lempengan graphit sebagai absorber energi radiasi yang ditempatkan dalam bahan isolator panas seperti polistiren foam. Termocouple atau termistor sebagai sensor temperature dihubungkan atau dilekatkan ke absorber. Biasanya tebal absorber tidak lebih dari 1/3 range elektron untuk mengatasi variasi perbedaan dosis dalam absorber tersebut.

Kontak thermal antara absorber dan sensor temperature perlu diperhatikan, hal ini dapat diatasi dengan penambahan compound graphit

ketika memasang sensor temperature. Untuk pembacaan thermistor digunakan ohm meter dengan ketelitian yang tinggi (harus mempunyai kedapat ulangan $\pm 0.1 \mu\text{V}$ dan keakuratan $\pm 0.2\%$).

Prosedur kalibrasi dosimeter ini dapat dilakukan dengan cara membandingkannya dengan dosimeter standar transfer dari suatu laboratorium standar. Untuk tujuan tersebut, kedua calorimeter diiradiasi bersamaan pada akselerator yang sama.

Cara pengukuran dosis adalah sebagai berikut :

Calorimeter dibawa oleh konveyor melalui arus berkas elektron. Parameter operasi waktu iradiasi (energi dan arus berkas elektron, scan beam width, kecepatan konveyor dan jarak antara window foil ke permukaan calorimeter) dan waktu berakhirnya iradiasi, dan temperature awal dicatat. Segera setelah iradiasi berakhir ukur temperature absorber sebagai fungsi waktu selama kira-kira 10 – 20 menit setelah iradiasi. Kemudian buat kurva hubungan temperature absorber dengan waktu sebelum dan setelah iradiasi.

Extrapolasi kurva sebelum dan setelah iradiasi seperti ditunjukkan pada (lampiran 5, 6 dan 7) kedua titik yang diperoleh dari extrapolasi tersebut digunakan sebagai temperature awal dan temperature akhir absorber. Pengukuran temperature juga dapat dilakukan online (sebelum iradiasi sampai setelah iradiasi berakhir secara kontinyu) seperti ditunjukkan pada (lampiran 5, 6 dan 7) contoh calorimeter. Dari Tabel 1. Jenis Dosimeter Standar Acuan dapat dilihat jenis dosimeter yang dapat digunakan.

Tabel 1. Jenis Dosimeter Standar Acuan

NO	DOSIMETER	PERALATAN	RANGE DOSIS (Gy)
1.	Kalorimeter	Ohmmeter/voltmeter Thermometer	$10 - 10^5$
2.	Alanine	Elektron Spektrometer Resonance	$1 - 10^5$

3.	Ceric-cerous sulphate	Potensiometer/ Spectrophotometer	$10^3 - 10^5$
4.	Ferrous Sulphate	Spectrophotometer	10 - 400
5.	Ethanol Chlorobenzene	Oscilometer	$10^2 - 10^5$
6.	Dichromate	Spectrophotometer	$10^3 - 10^4$

A.1.3. Dosimeter transfer

Dosimeter ini mempunyai respon yang cukup stabil dalam waktu yang panjang sehingga dapat digunakan untuk perbandingan pengukuran dosis antar fasilitas/laboratorium dalam interkomparison yang dikirim melalui pos udara. Dosimeter ini biasanya dipilih dari dosimeter standar acuan atau dosimeter rutin yang cukup stabil sehingga memungkinkan untuk dipertukarkan antara laboratorium/fasilitas radiasi. Hal ini penting agar hasil pengukuran dosis terserap dalam suatu proses radiasi dapat dibandingkan dengan laboratorium standar, sehingga ketepatan pengukuran dosis pada suatu fasilitas dapat terjamin.

Dosimeter ini juga dapat digunakan untuk bukti ketertelusuran hasil pengukuran pada suatu fasilitas terhadap standar, dalam hal ini dosimeter transfer dari suatu laboratorium standar diiradiasi dengan dosis tertentu setelah medan radiasi pada suatu fasilitas ditentukan laju dosisnya menggunakan dosimeter standar acuan yang dapat diperoleh pada fasilitas tersebut. (contohnya alanine digunakan pada laboratorium standar IDAS, IAEA, dan dosimeter potassium/argentums dicromat digunakan di laboratorium standar NPL (National Physical Laboratory) Inggris, dosimeter film radiochromic dye FWT-60).

Syarat yang diperlukan untuk dosimeter transfer adalah sebagai berikut :

1. Efek radiasi yang terjadi sangat stabil dalam waktu yang cukup untuk keperluan pengiriman antar laboratorium/fasilitas
2. Mudah dikalibrasi, reproducibility responnya cukup baik

3. Mudah pengemasannya untuk dikirim lewat pos udara
4. Mempunyai range pengukuran dosis yang cukup luas
5. Sifat absorpsi sama dengan produk
6. Tidak dipengaruhi lingkungan atau dapat dikoreksi
7. Dimensinya kecil dan dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama

A.1.4. Dosimeter rutin

Dosimeter rutin digunakan untuk control rutin pada fasilitas iradiasi yang memberikan layanan iradiasi. Dosimeter ini umumnya berbentuk plastic tipis atau lempengan padat (contoh : dosimeter red Perspex, dosimeter film radiochromic dye dan dosimeter film cellulosa triasetat). Dosimeter penanda juga digolongkan pada dosimeter rutin yang berfungsi untuk membedakan boks sample yang sudah dan belum diiradiasi.

Contoh beberapa dosimeter rutin dan range dosis serta alat ukurnya dapat dilihat pada Tabel 1. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih dosimeter rutin antara lain adalah :

1. Sesuai dengan bahan atau produk yang akan diradiasi atau sumber radiasi yang akan digunakan.
2. Mempunyai range pengukuran yang sesuai
3. Stabil
4. Dapat dikalibrasi dengan mudah
5. Tidak dipengaruhi lingkungan atau dapat dikoreksi
6. Mudah penanganannya/pengukurannya
7. Sudah diperdagangkan
8. Harga relatif terjangkau
9. Tidak dipengaruhi laju dosis pada medan radiasi fasilitas yang digunakan
10. Tidak terlalu dipengaruhi oleh variasi energi
11. Bentuk/tebal dosimeter (misalnya : untuk pengukuran dosis berkas elektron diperlukan dosimeter yang relative tipis)

Contoh beberapa dosimeter rutin :

1. Dosimeter film radiochromic dye, tipe FWT-60 buatan Far West technology, Amerika Serikat. Dosimeter ini diproduksi dalam bentuk bujur sangkar (1cm x 1cm) dan (10cm x 10cm) dengan tebal 0.045 – 0.50 mm. Kurva kalibrasi dosimeter merupakan hubungan antara perubahan rapat optic per tebal dosimeter (tebal spesifik) dan dosis terserap atau dosis radiasi. Pembacaan rapat optic dosimeter menggunakan spectrophotometer visible atau alat khusus (radiochromic film reader) pada panjang gelombang 600 nm (untuk range dosis 0.1 – 20 kGy) dan 510 nm (untuk range dosis 1 – 100 kGy). Respon dosimeter ini tidak dipengaruhi oleh laju dosis atau memberikan respon yang sama baik pada laju dosis umumnya pada mesin berkas elektron (1 kGy/detik) maupun pada irradiator gamma (dibawah 1 Gy/detik).
2. Dosimeter Red Perspex, tipe 4034 buatan Harwell laboratory, UK, dalam bentuk lempengan (1cm x 3cm) dengan tebal sekitar 2.5 – 3 mm. Kurva kalibrasi dosimeter merupakan hubungan antara perubahan rapat optic per tebal dosimeter (tebal spesifik) dan dosis terserap atau dosis radiasi. Pembacaan rapat optic dosimeter menggunakan spectrophotometer visible pada panjang gelombang 640 nm. Range pengukuran adalah 5 – 50 kGy.
3. Dosimeter film Cellulosa triasetat (CTA), tipe FTR-125 buatan Fuji. Co Ltd, Jepang. Dosimeter ini diproduksi dalam bentuk pita panjang yang lebarnya 8 mm dan tebal sekitar 0.125. Kurva kalibrasi dosimeter juga merupakan hubungan antara perubahan rapat optic per tebal dosimeter (tebal spesifik) dan dosis terserap atau dosis radiasi. Pembacaan rapat optic dosimeter menggunakan spectrophotometer atau alat khusus (CTA film reader) pada panjang gelombang 280 nm. Respon dosimeter dipengaruhi laju dosis, pada mesin berkas elektron yang laju dosis mencapai diatas 1 kGy/detik memberikan respon yang

lebih rendah 20 sampai 40% dibandingkan dengan responnya pada medan radiasi gamma³). Pada Tabel 2 Dosimeter Yang Digunakan Untuk Dosimetri Rutin Pada Fasilitas Iradiasi, Tabel 3. Dosimeter Untuk Berkas Elektron.

Tabel 2. Dosimeter yang Digunakan untuk Dosimetri Rutin pada Fasilitas Iradiasi

No.	DOSIMETER	PERALATAN	RANGE DOSIS (kGy)
1.	Clear perspex	Spectrophotometer	1 – 100
2.	Dyed perspex	Spectrophotometer	1 – 50
3.	Ceric cerous sulphate	Potentiometry or Spectrophotometer	1 - 100
4.	Ferrous-cupric dosimeter	Spectrophotometer	1 – 30
5.	Cellulose triasetate	Spectrophotometer	10 – 400
6.	Radiochromic dye films, solution, optical wave guide	Spectrophotometer	0.001 - 100

Tabel 3. Dosimeter Untuk Berkas Elektron

No	DOSIMETER	PERALATAN	RANGE DOSIS (kGy)
1.	Alanine pellets or film	ESR spectrometry	0.001 – 100
2.	Radiochromic film	Spectrophotometry or Densitometry	0.1 – 100
3.		Spectrophotometry	5 – 1000

	Cellulose triacetate films	try	
4.	Gammachrome YR	Spectrophotome try	1 – 100
5.	Sunna films	OSL	1 - 100

Range dosis yang digunakan dalam beberapa aplikasi energi radiasi dalam proses radiasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Beberapa range dosis yang umumnya digunakan pada aplikasi energi radiasi dalam proses radiasi.

No.	Tujuan	Range Dosis
1.	Sterilisasi	20 kGy – 30 kGy
2.	Pengawetan makanan	1 kGy – 10 kGy
3.	Surface coating	20 kGy – 50 kGy
4.	Grafting	10 kGy – 20 kGy
5.	Polimerisasi	50 kGy – 100 kGy
6.	Vulkanisasi latex	10 kGy – 30 kGy

A.2. KALIBRASI DOSIMETER RUTIN

Dosimeter ini umumnya diperjual belikan dengan dilengkapi kurva kalibrasi, akan tetapi sebelum dosimeter ini digunakan perlu dilakukan kalibrasi dengan dosimeter standar acuan atau pada posisi medan radiasi yang telah ditentukan laju dosisnya dengan menggunakan dosimeter acuan dan dapat ditelusur ke laboratorium standar nasional atau internasional.

Ketepatan pengukuran dosis radiasi memegang peran penting dalam aplikasi proses radiasi, oleh karena itu keakuratan pelaksanaan kalibrasi dosimeter rutin menjadi penting dan juga dapat ditelusur ke laboratorium standar. Kalibrasi dosimeter rutin dapat dilakukan sendiri yang disebut in house calibration. Dalam hal ini medan radiasi yang digunakan telah dikalibrasi dengan dosimeter standar acuan yang hasilnya dapat ditelusur ke laboratorium standar.

Pada irradiator gamma, dalam pelaksanaan kalibrasi dosimeter perlu ditentukan dosis ambang atau disebut juga trans dose yaitu dosis yang diterima dosimeter sepanjang waktu dosimeter menuju posisi pemaparan dan waktu dosimeter meninggalkan posisi pemaparan (apabila sample yang bergerak sedangkan posisi sumber tetap) atau dosis yang diterima dosimeter pada saat sumber radiasi menuju posisi pemaparan dan pada saat sumber menuju posisi penyimpanan..

Untuk memperoleh kurva kalibrasi dosimeter rutin diiradiasi pada medan radiasi yang telah diketahui laju dosisnya dengan variasi waktu atau lamanya iradiasi. Umumnya respon dosimeter rutin terhadap radiasi adalah perubahan rapat optik dosimeter per tebal dosimeter yang disebut dengan rapat optik spesifik (dalam satuan cm^{-1}) terhadap dosis yang diterima dosimeter. Kalibrasi dosimeter acuan dilakukan pada medan radiasi yang telah diketahui laju dosis.

BAB IV

PROSEDUR DOSIMETRI

Prosedur dosimetri dalam proses radiasi terdiri dari :

1. Karakterisasi medan/fasilitas radiasi
2. Validasi proses
3. Kontrol proses rutin

A.1. Karakterisasi fasilitas Iradiasi

Bertujuan untuk menentukan karakteristik utama dari suatu fasilitas yang berhubungan dengan parameter dosis terserap untuk densitas bahan tertentu. Pengukuran yang berhubungan dengan karakterisasi dilakukan setelah fasilitas terpasang, dan jika dilakukan perubahan pada komponen yang mempengaruhi parameter operasi, bahkan pada interval waktu tertentu.

1.a. Pada proses karakterisasi dilakukan antara lain pengamatan distribusi dosis dalam bahan

1. Distribusi dosis pada medan radiasi:: Pengukuran dosis pada medan radiasi atau ruang radiasi. Pengukuran dapat digunakan dosimeter larutan Fricke
2. Distribusi dosis dalam satu kemasan yang berisi bahan referensi setelah iradiasi satu putaran

Tujuannya untuk menentukan posisi dosis maksimum dan minimum yang akan digunakan sebagai pemasangan dosimeter control rutin.

3. Hubungan dosis nominal dengan waktu iradiasi (untuk tipe Batch).
4. Hubungan dosis nominal dengan konveyor (untuk tipe kontinyu).

1.b. Pada fasilitas berkas elektron karakterisasi ini terdiri dari pengukuran :

1. Dosis nominal
2. Energi elektron

3. Beam spot
4. Scanning width
5. Scanning Width
6. Distribusi dosis dalam bahan

1. Dosis nominal

Tujuannya untuk memperoleh hubungan antara dosis terserap dengan parameter operasi : energi elektron, Scanning width, arus berkas elektron dan kecepatan konveyorserta waktu iradiasi. Jika energi berkas elektron scanwidth tetap/konstan maka diperoleh hubungan antara dosis terserap dan kecepatan konveyor (V) yang merupakan kurva eksponensial atau dosis terserap atau $1/v$.

Jika energi berkas elektron, scanwidth dan kecepatan konveyor yang tetap, maka akan diperoleh hubungan antara dosis dan arus berkas yang juga merupakan kurva eksponensial. Pengukuran dosis nominal dapat dilakukan antara lain dengan menggunakan dosimeter calorimeter, atau dosimeter film

2. Energi elektron

Energi elektron akan mempengaruhi distribusi dosis dalam bahan serta dosis serap dalam bahan. Pengukuran energi elektron dapat dilakukan dengan pengukuran range penetrasi elektron yaitu R_p , R_{opt} , R_{50} dan dosis pada permukaan (lihat lampiran 8, 9, 10 dan 11). Untuk energi rendah bahan referensi sebaiknya menggunakan bahan dosimeter itu sendiri. Hubungan antara energi yang paling mungkin dan energi rata-rata dengan parameter range tersebut diatas dapat ditentukan secara empiris (menurut ICRU report 35 dan 37) sebagai berikut :

Untuk $1 \text{ Mev} < E_p < 50 \text{ Mev}$

$$E_p (\text{Mev}) = 0.22 + 1.98 R_p + 0.0025 R_p^2$$

Dimana R_p dan R_{50} masing-masing adalah practical range dan half – value depth, dalam air yang dinyatakan dalam cm. Jika depth dose diukur

dalam bahan yang ekivalen dengan air (no atom dan berat atom hampir sama), maka R_p dan R_{50} dapat diatur dengan menggunakan persamaan :

$$R_w = R_m \{ (r_{o,w} \times \rho_m) / (r_{o,m} \times \rho_w) \}$$

Dimana : ρ_m dan ρ_w masing-masing adalah densitas bahan dan air

$r_{o,w}$ dan $r_{o,m}$ adalah range CSDA (Continuous slowing down approximation) dalam g/cm^2 seperti ditunjukkan pada Tabel dibawah ini :

Tabel 5. Range CSDA beberapa bahan (diambil dari ICRU report 37)

Bahan	Densitas (g/cm^3)	Ro untuk 5 Mev g/cm^2	Ro untuk 10 Mev g/cm^2
Aluminium	2.699	3.092	5.859
Graphit	1.700	2.906	5.657
PMMA	1.190	2.641	5.158
Polyetilen	0.940	2.461	4.833
Polystiren	1.060	2.635	5.155
Air	1.000	2.547	4.963

Hubungan antara energi nominal dengan energi yang paling mungkin dinyatakan dengan persamaan :

$$E \text{ (Mev)} = (E_p/I) \times f$$

Jika $E_p = 1.75 \text{ J/pulsa}$ dengan $I = 28.5 \mu\text{A}$ dan frekuensi 50 Hz

Maka $E = 3.07 \text{ Mev}$.

Contoh lain pengukuran energi nominal berdasarkan kurva distribusi dosis dalam energi yang paling mungkin mengikuti persamaan :

$$E = 1.95 \text{ Mev} + 0.48 \text{ Mev cm}^{-1}$$

Untuk energi 0.1 sampai dengan 10 MeV, hubungan antara energi E dengan R_p R_{50} secara teoritis berdasarkan distribusi dosis dalam bahan telah ditemukan oleh Andreo, dkk yang dapat dilihat pada standar praktis ASTM E 1649-94, sebagai berikut :

- a. Untuk energi 0.1 sampai dengan 1.0 Mev

$$E \text{ (Mev)} = 0.069 + 7.44 R_p - 8.56 R_p^2$$

$$E \text{ (Mev)} = 0,068 + 10.72 R_{50} - 21.05 R_{50}^2$$

- b. Untuk energi 1.0 sampai dengan 10 Mev

$$E \text{ (Mev)} = 0.069 + 7.44 R_p - 8.56 R_p^2$$

$$E \text{ (Mev)} = 0,068 + 10.72 R_{50} - 21.05 R_{50}^2$$

3. Beam Spot

Beam Spot adalah bentuk berkas elektron berenergi/ tampang lintang berkas elektron tanpa dilakukan pemayaran . Tujuan untuk mengetahui keberhasilan pemokusan dan arah posisi berkas elektron pada *window foil*.

4. Scanning width (Lebar Pemayar)

Tujuan pengukuran scanning width adalah untuk menentukan daerah pemayaran berkas elektron yang bermanfaat dalam penentuan ukuran box bahan. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan menggunakan dosimeter film.

Cara pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Dosimeter berbentuk pita panjang (CTA, FTR-125) dipotong lebih panjang dari lebar pemayaran atau scanning width, diletakkan diatas bahan homogen dibawah window foil. Posisi dosimeter diatur tepat berada digaris tengah window foil (untuk iradiasi statis)
2. Iradiasi dosimeter tersebut pada parameter operasi tertentu (catat)
3. Setelah 2 jam pasca iradiasi rapat optic dosimeter diukur untuk menentukan dosis terserap
4. Dari hasil percobaan ini dapat ditentukan keseragaman dosis sepanjang scanning width.

Keseragaman dosis sepanjang pemayaran berkas elektron dipengaruhi oleh : scanning width, frekuensi scanning, lebar pulsa, laju pengulangan pulsa, laju konveyor, dan jarak dosimeter ke window foil.

Contoh hasil pengukuran dapat dilihat pada (lihat lampiran 13) yang diambil dari progress report ASTM untuk dosimetri proses radiasi.

Disamping untuk mengetahui keseragaman dosis sepanjang pemayaran elektron, data pengukuran scan width dan scan length juga dapat ditentukan dosis rata dari suatu proses radiasi berkas elektron seperti berikut ini :

Laju dosis ditentukan dalam selang waktu tertentu yaitu laju dosis rata-rata. Pada fasilitas radiasi berkas elektron, jika voltase pemercepat dan jarak antara window foil dan abhan yang diiradiasi tetap, maka laju dosis hanya dipengaruhi oleh kerapatan atau densitas berkas elektron yaitu arus berkas persatuan luas (lihat Gb 1a).

Oleh karena itu laju dosis rata-rata (\dot{D}_a) adalah :

$$\dot{D}_a = K I / (B \times S)$$

Dimana I = arus berkas (mA)

B = Lebar berkas atau Beam width (m)

S = panjang berkas atau scan length (m)

$K = dE/dx =$ stopping power (Mev/g/m²)

Besarnya K tergantung pada energi elektron (E) dan densitas elektron dalam bahan. Oleh karena itu jika akan berubah dengan berubahnya energi ketika melalui bahan. Maka K tergantung atas energi yang datang dan jarak ke permukaan bahan juga penetrasi kedalam bahan. K lebih praktis ditentukan berdasarkan percobaan dibandingkan secara teori dimana K dinyatakan dalam (kGy m²/menit mA). Energi yang hilang K pada permukaan bahan ditentukan melalui pengukuran dosis permukaan bahan. B dan S dapat diukur, maka laju dosis rata-rata dapat ditentukan dengan persamaan diatas.

5. Distribusi dosis dalam bahan

Distribusi dosis dalam suatu kemasan yang berisi bahan referensi setelah iradiasi satu putaran. Tujuannya untuk menentukan :

- a. Posisi dosis maksimum dan minimum yang akan digunakan sebagai posisi pemasangan dosimeter sebagai control rutin
- b. Hubungan dosis radiasi dengan waktu radiasi (untuk tipe batch)

- c. Hubungan dosis radiasi dengan konveyor (untuk tipe kontinyu)

Cara pengamatan :

beberapa bidang boks yang berisi bahan dengan density tertentu ditempatkan dosimeter pada posisi yang mungkin merupakan posisi dosis maksimum dan minimum (sesuai dengan cara radiasi atau loading pattern) seperti ditunjukkan pada (lampiran 4, 8, dan 13) satu unit iradiasi.

6. Faktor yang mempengaruhi distribusi dosis dalam bahan ialah :

- a. Intensitas sumber radiasi (intensitas radiasi akan berkurang dengan bertambahnya jarak antara sumber dan bahan)
- b. Absorpsi dan hamburan pada medan radiasi
- c. Variasi atomic dalam bahan
- d. Geometri sumber terhadap bahan

A.2. Validasi proses

Tujuan pelaksanaan validasi proses adalah untuk menetapkan kondisi iradiasi yang di perlukan untuk setiap jenis dan pemuatan loading produk yang akan diiradiasi.

1. Langkah langkah yang diperlukan :

- a. Pengkajian komabilitas bahan dan kemasannya
- b. Penentuan waktu iradiasi untuk memperoleh dosis radiasi minimum agar efek yang diinginkan tercapai dan dosis yang diberikan tidak melebihi dosis maksimum agar tidak terjadi kerusakan produk (dalam hal ini dosis maksimum dan minimum ditentukan oleh pemilik produk).

2. Validasi proses

Proses harus diulang apabila terjadi perubahan pada parameter operasi, produk dan pengemasnya berubah. Validasi proses dapat dilakukan sebagai berikut :

2.1. Verifikasi proses

- a. Mengiradiasi beberapa kotak karton dengan memasang beberapa dosimeter yang ditempatkan pada maksimum dan minimum
- b. Menganalisa hasil iradiasi lalu menentukan variasi dosis maksimum dan minimum.
- c. Menetapkan parameter proses berdasarkan hasil analisa tersebut dan pilih posisi acuan untuk keperluan dosimeter rutin.

2.2. Kualifikasi proses

Pada pelaksanaan kualifikasi proses, seluruh parameter untuk bahan tertentu ditetapkan untuk menjamin bahan menerima dosis yang dibutuhkan.

Langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- a. Mengidentifikasi bahan/produk (densitas, ukuran box, berat box berisi bahan)
- b. Memilih dosimeter, kondisi iradiasi dan geometri kemasan
- c. Iradiasi bahan pada posisi dosis nominal tertentu
- d. Menentukan besarnya dosis maksimum dan minimum dan keseragaman dosis
- e. Mengatur parameter operasi untuk memperoleh dosis minimum dan keseragaman dosis yang dibutuhkan.

A.3. Kontrol atau pengendalian proses rutin

Pengendalian proses rutin bertujuan untuk menunjukkan bahwa proses radiasi berlangsung terkendali sesuai yang direncanakan. Pelaksanaannya dilakukan dengan menggunakan dosimeter rutin dan dosimeter penanda, sebagai berikut :

- a. Sebelum iradiasi setiap boks sample diberi dosimeter penanda di sisi bagian luar box
- b. Mengukur dosis minimum dan maksimum (jika diperlukan) pada interval unit iradiasi tertentu

c. Menempelkan dosimeter penanda gono/ go dan logo RADURA untuk mengetahui produk sebelum dan sesudah iradiasi

d. Memonitor, mengontrol dan mencatat parameter operasi yaitu :

1. Pada Irradiator Gamma

Kecepatan konveyor atau waktu iradiasi setiap penggantian posisi produk (dwell time)

2. Pada Akselerator

- a. Kecepatan konveyor atau waktu iradiasi
- b. Arus berkas elektron
- c. Energi berkas elektron
- d. Scanning width

RANGKUMAN

1. Dari uraian tersebut diatas bahwa pengukuran dosis serap memegang peranan penting dalam suksesnya aplikasi teknologi radiasi pengion baik untuk skala penelitian maupun industri. Keberhasilan pengelolaan fasilitas iradiasi gamma maupun akselerator tergantung pada kehandalan pengelolaannya dalam menangani dosimetri.
2. Pemilihan dosimeter sangat diperlukan dalam kegiatan ini dan disesuaikan dengan dosis yang diinginkan.
3. Intensitas sumber radiasi dan geometri sumber pada produk berpengaruh terhadap dosis yang akan diterima oleh produk radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. N.W. Holm dan Z.P. Zakorski, *Aqueous chemical dosimetry*, 1970
2. WL. MCLAughlin, AW Boyd, KH Chadwick, JC Mcdonald dan A. Miller, *Dosimetry for radiation processing*, 1989
3. ASTM subcommittee E10.01, *Dosimetry for radiation processing*, progress report 53, Agustus 19, 2002
4. *The handbook of elektron beam processing*, Nissin-High Voltage Co. Ltd, Jepang, 1986
5. ASTM E1631-94, *Standar practice for use of calorimetric dosimetry system for elektron beam dose measurements and dosimeters calibration*, annual book of ASTM standars, vol 12.02. 1994
6. ASTM E1649-94, *standar practice for dosimetry in an elektron beam facility for radiation processing at energies of between 300 keV and 25 MeV*, annual book of ASTM standars, vol 12.02, 1995
7. Andreas Kovack, *diskusi selama berada di P3TIR*, Batan
8. Rosmina DL Tobing, Bonang Sigit T, Bilter Sinaga, Jumsah, dan Darmono, *Karakteristik medan radiasi mesin berkas elektron tipe GJ-2*, prosiding pertemuan ilmiah Pranata nuklir dan Pengawas radiasi, PAIR 1993.
9. Iwona Kaluska, *Establishing of Sterilization dose*, IAEA Expert – IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009
10. Iwona Kaluska, *ISO and Others Standars and Quality System in Radiation Processing*, IAEA Expert – IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009
11. PG Benny, *Calibration. Traceability Uncertatainties of Dosimetry Systems*, IAEA Expert – IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009

12. PG Benny, ISO 11137 *The Role of Dosimetry in IQ, OQ, PQ Gamma Elektron Beam* IAEA Expert – IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009
13. K,S.S SARMA, *Gamma and Electron Beam Irradiation Facilities*, IAEA Expert – IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009
14. Darwis Darmawan, Tjahyono, *Country Report Indonesia* on IAEA/RCA RTC QC and QA of Radiation Facility Operation and Dosimetry , Vadodara India , December 2009

LAMPIRAN

Lampiran. 1

PEDOMAN STANDAR DOSIMETRI

- ✚ ISO/ASTM 51702
 - Standar Practice for Dosimetry in Gamma Irradiation Facilities for Radiation Processing
- ✚ ISO/ASTM 51649
 - Practice for Dosimetry in an Elektron Beam Facility for Radiation Processing at Energies Between 300 and 25 MeV
- ✚ EN ISO 11137 : 2006 –
 - Part 3 -Guidance on dosimetric aspects.
- ✚ ASTM E 2303 -03
 - Guide for Absorbed-Dose Mapping in radiation Processing Facilities
- ✚ Guidelines for the calibration of dosimeters for use in Radiation Processing. Sharpe P. and Miller A. CIRM 29, NPL (1999).
- ✚ Standar, ISO 13849-1:2006(E) Safety of machinery - Safety-related parts of control systems

ASPEK DOSIMETRI

- Pengukuran Dosis
- Pemilihan dan Kalibrasi dosimetry sistem
- Kualifikasi Instalasi (IQ)
- Kualifikasi Operasional (OQ)
- Kualifikasi Unjuk Kerja (PQ)

Lampiran. 2

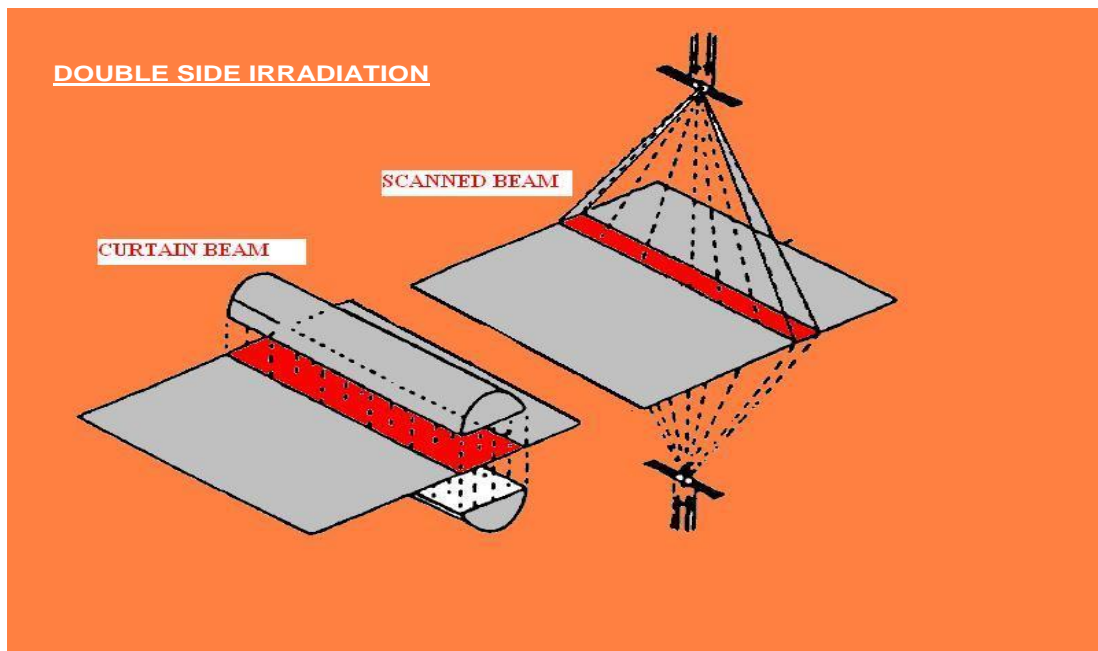
Medium energi accelerators

- Low Energi200 keV- 400 keV (~ 1000mA)
max. penetration : ~70 mg/cm²
500 keV-700 keV (~ 250 mA)
Applications: surface curing, wood coatings
etc. Self –shielded, conveyors part of the
system
- Medium energi ... 1 MeV–5 MeV (~200kW)
Applications: wire & cables, heatshrinkables,
Diamonds Max. proc. thickness : ~ 4 cm (D.S.
/Unit density)
- High Energi ... 5 MeV–10 MeV (~350kW)
Applications : sterilization, food irradiation
Max. proc. thickness : ~ 50 cm (D.S. /
Density : 0.16g/cc)

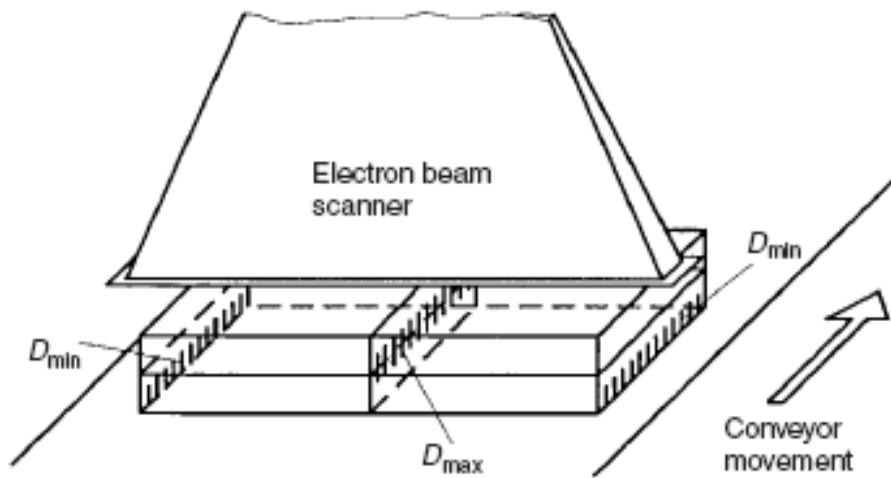
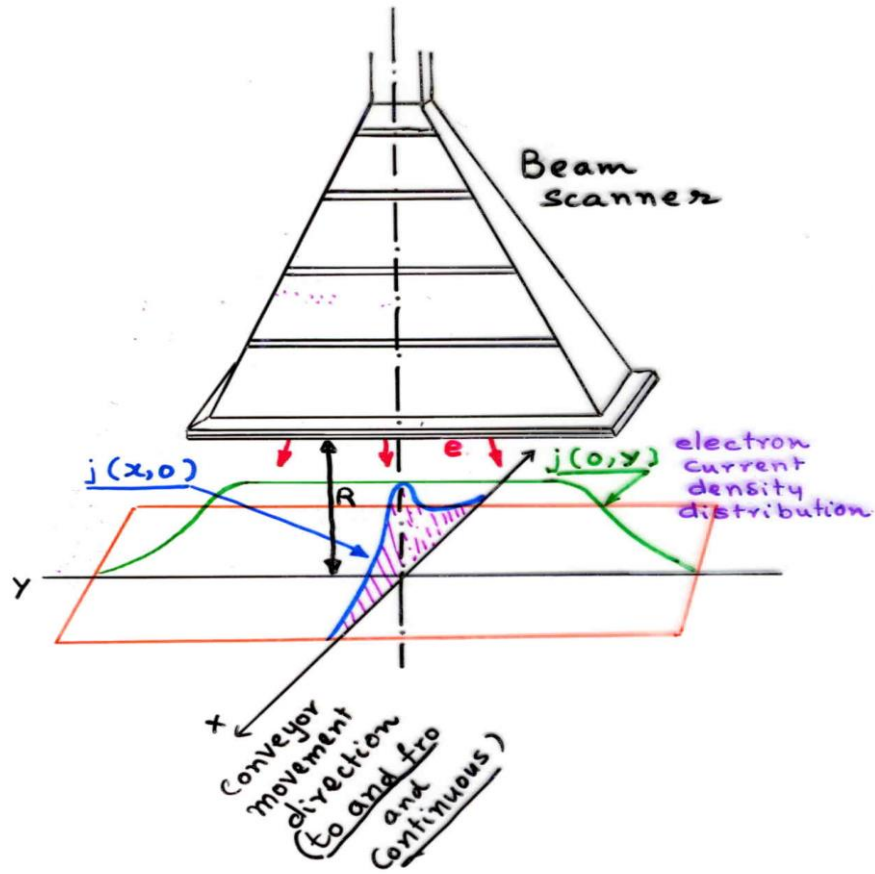
Lampiran. 3

Industrial Applications of EB Processing

- Polymerisation & Curing
- Polymer Crosslinking
- Polymer Degradation
- Sterilization
- Disinfestation
- Permanent color changes
- Crystalline Alterations

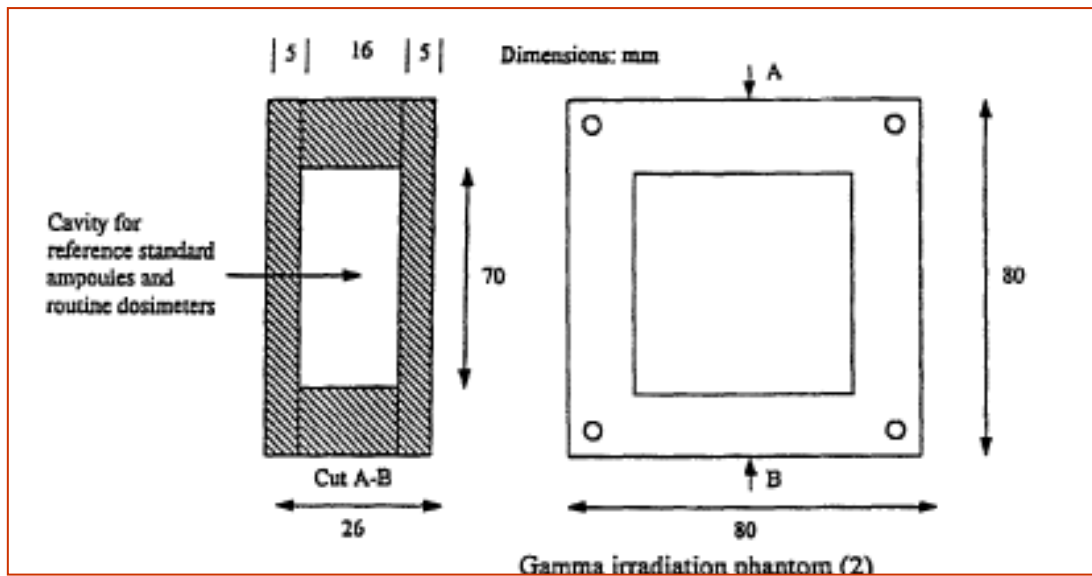
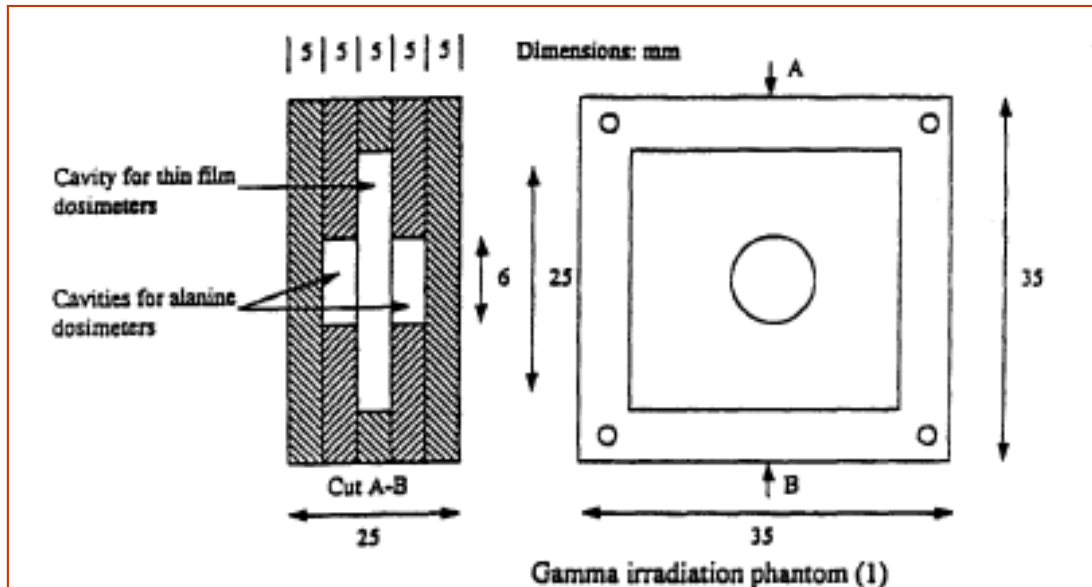


Lampiran. 4



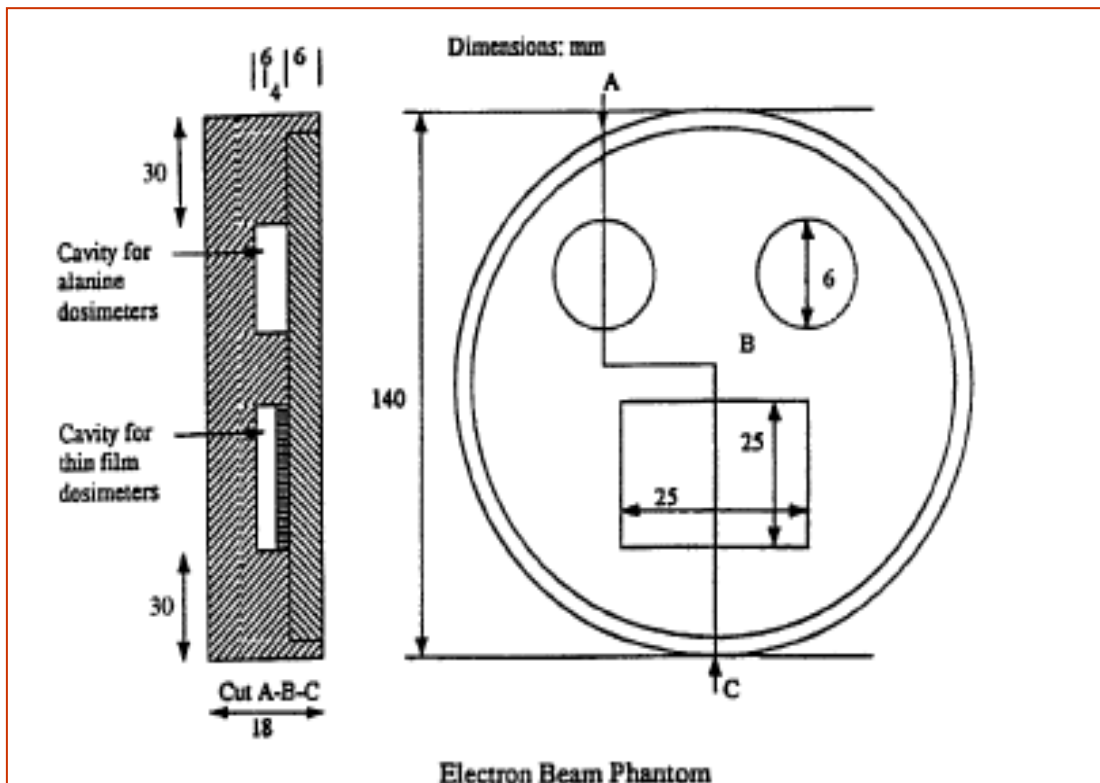
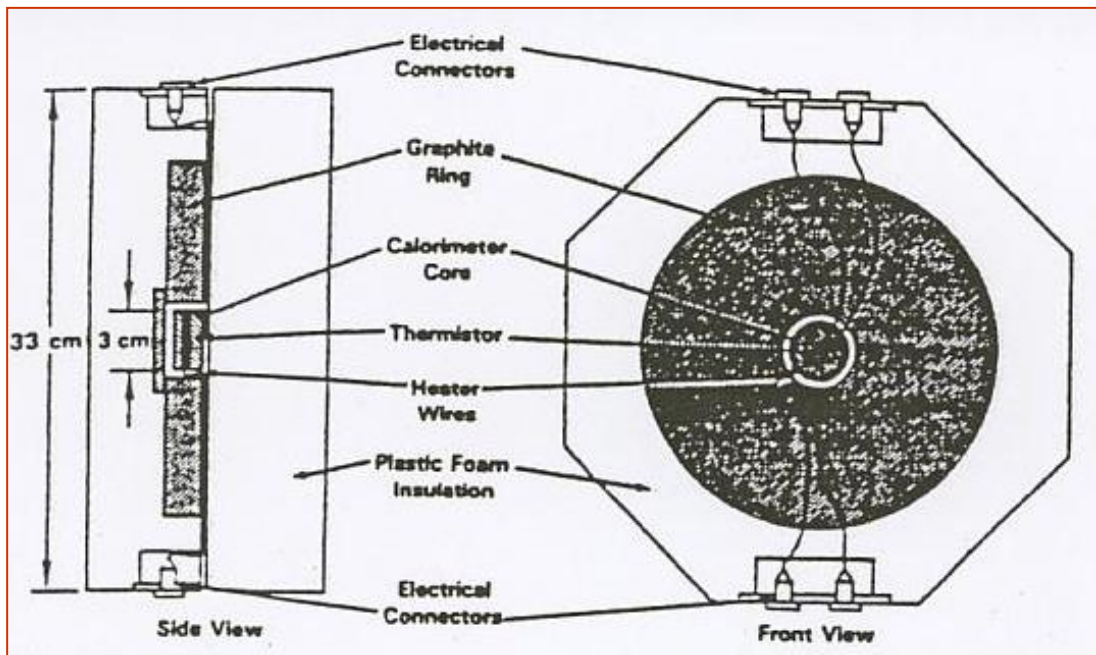
Lampiran. 5

Kalibrasi untuk Gamma

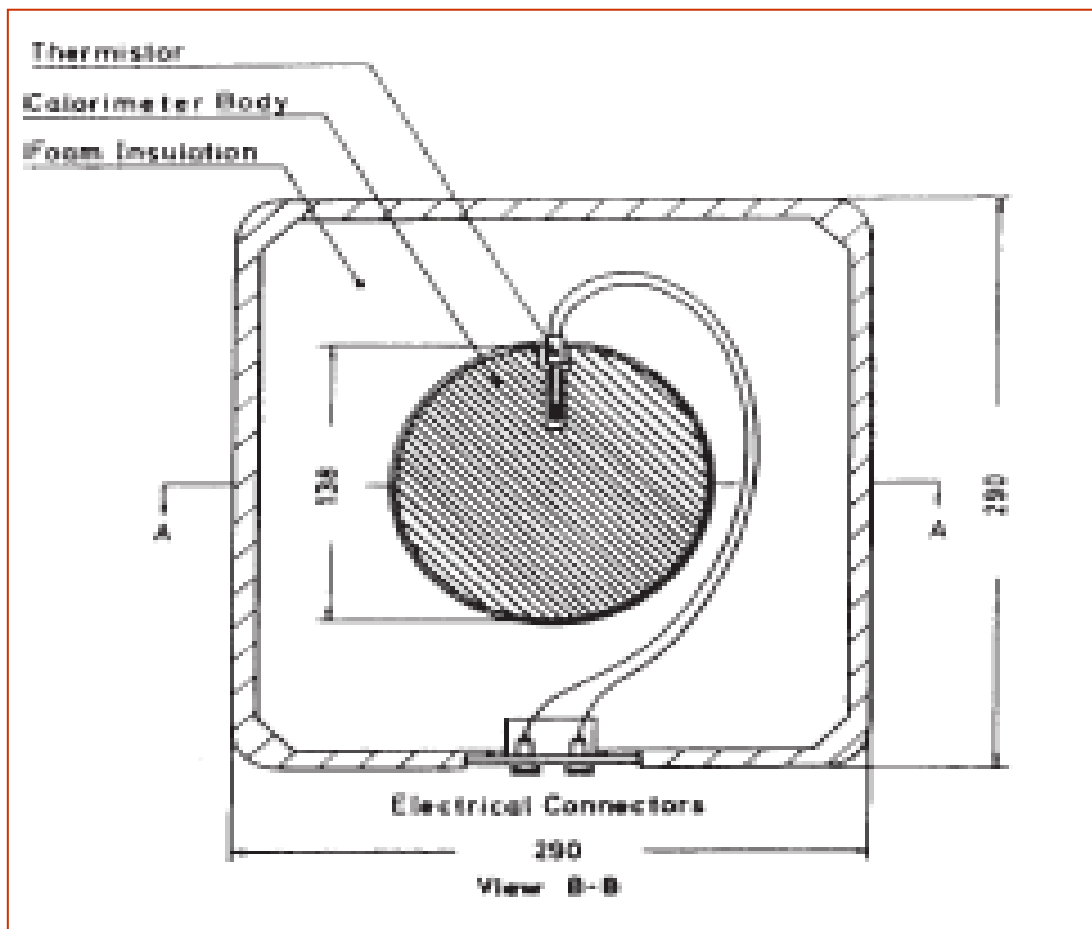


Lampiran. 6

Kalibrasi untuk Mesin Berkas Elektron



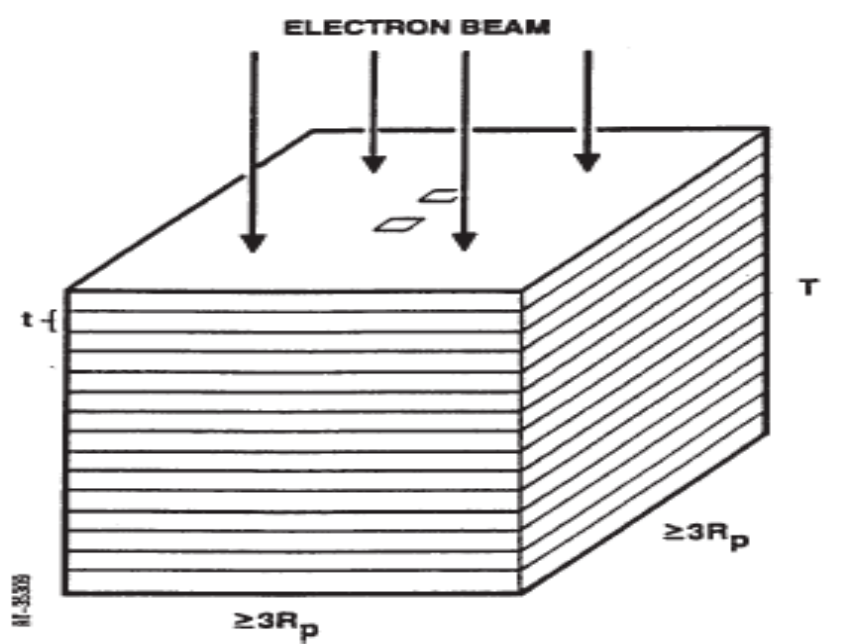
Lampiran. 7



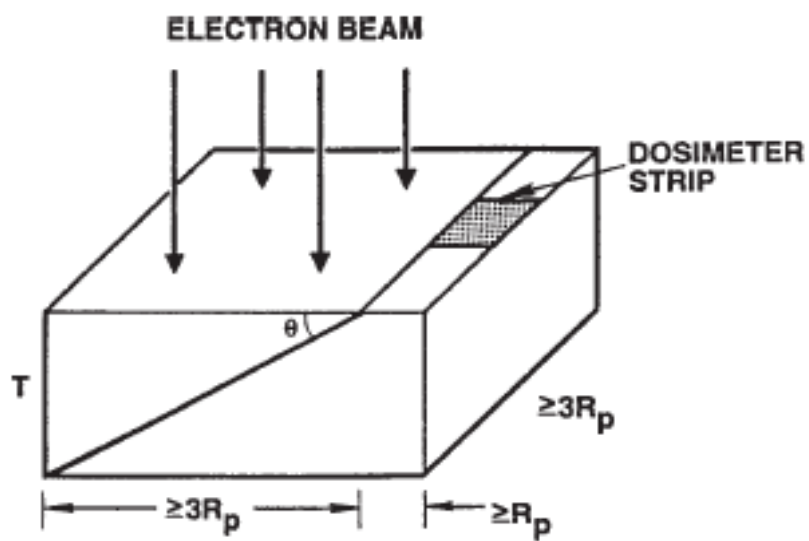
Lampiran. 8

Devices for Energi measurements

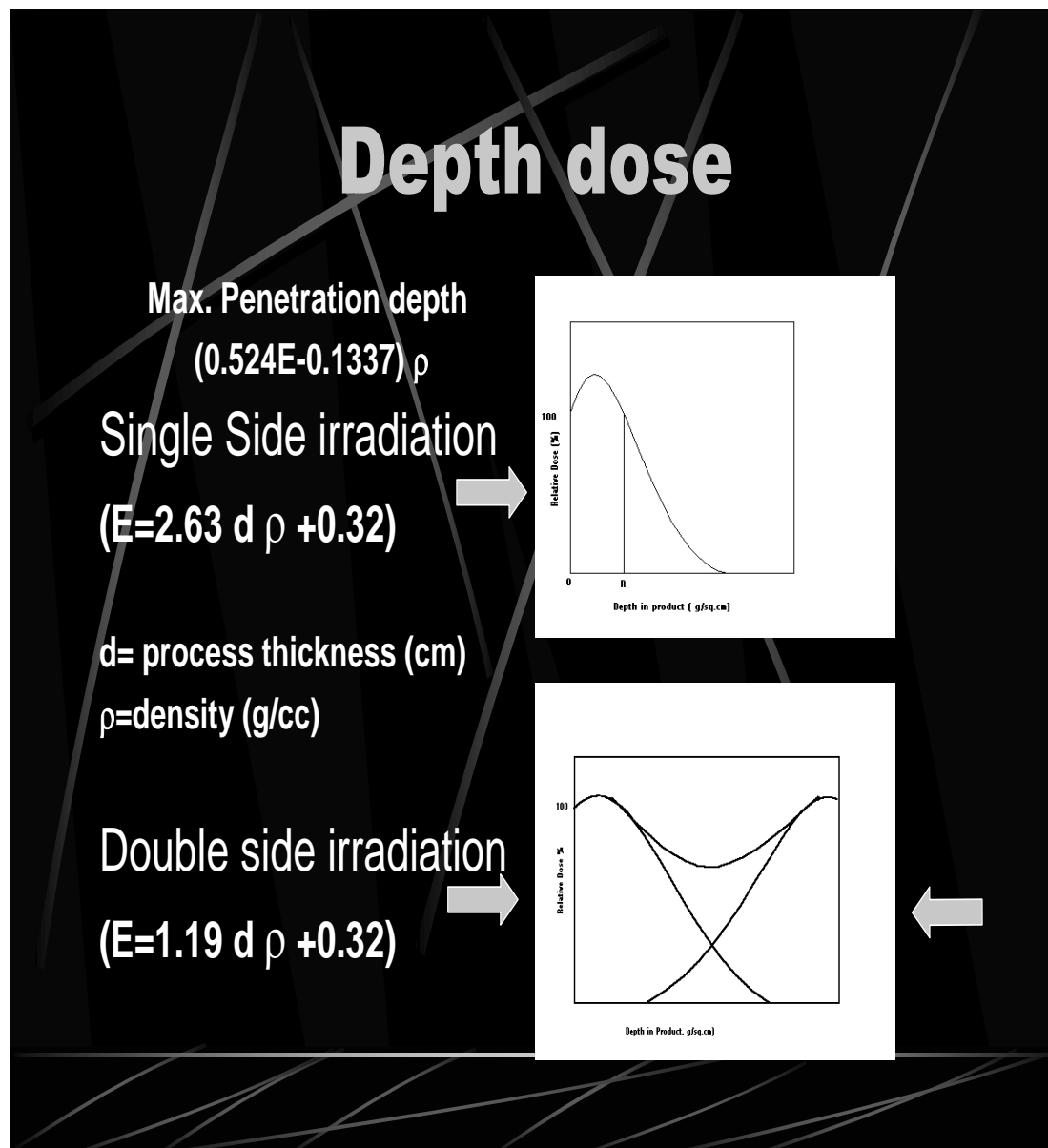
- Stack



- Wedge



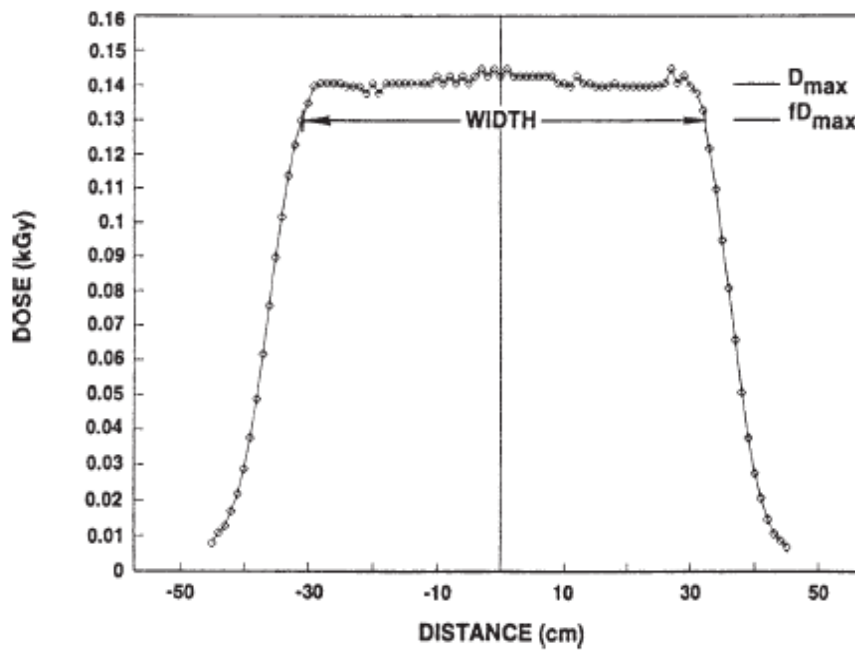
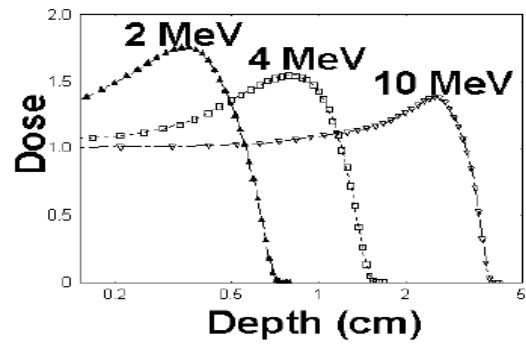
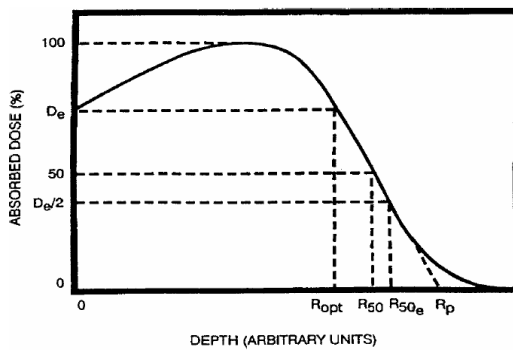
Lampiran. 9



Lampiran. 10

Penetrasi Distribusi Dosis Berkas Elektron

Electron Range Definitions



Lampiran. 11

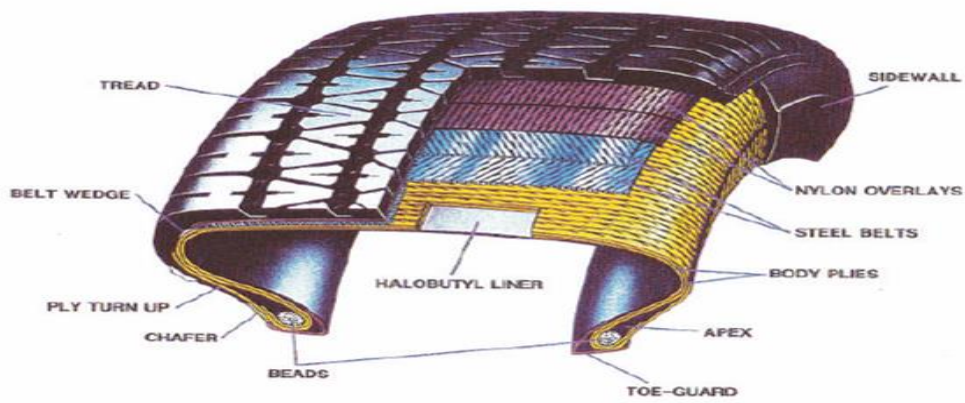


Lampiran. 12

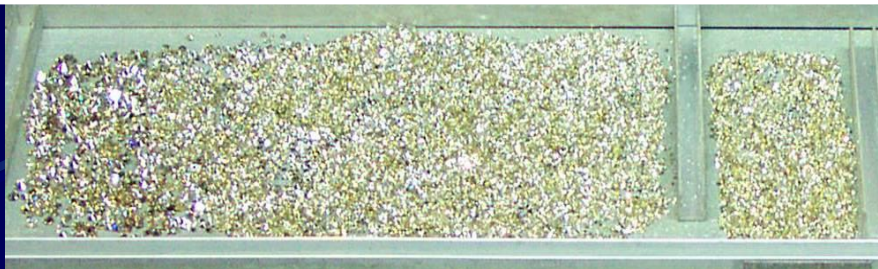
EB processing of Automobile Tyres

Objective:

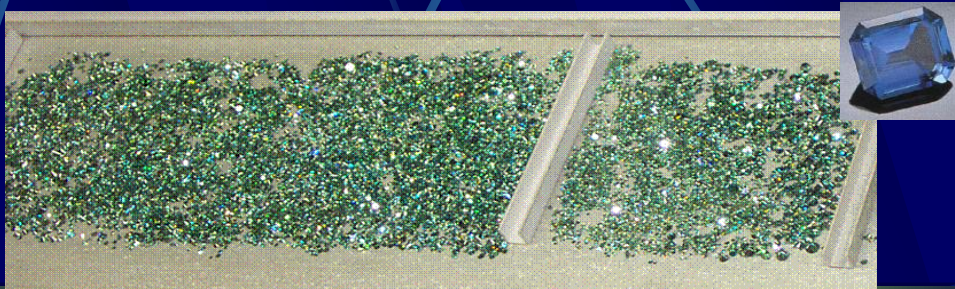
- Pre-curing of tyre components using EB – to retain shape, dimensions during tyre building (construction and vulcanization)



Color Enhancement in diamonds

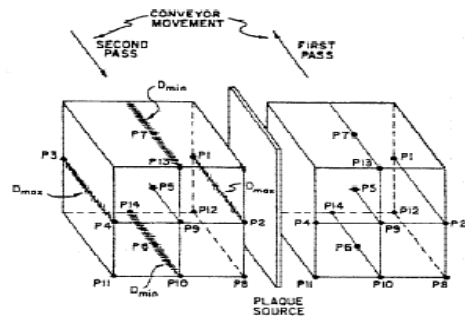


Unprocessed



Processed

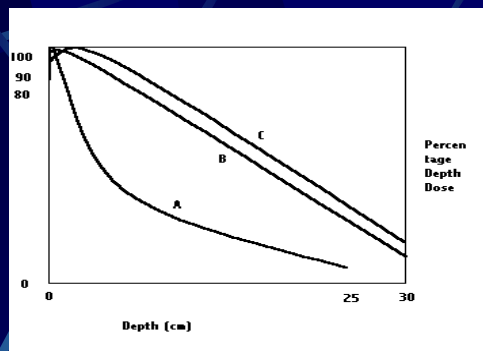
Lampiran 13



Absorption of gamma radiation

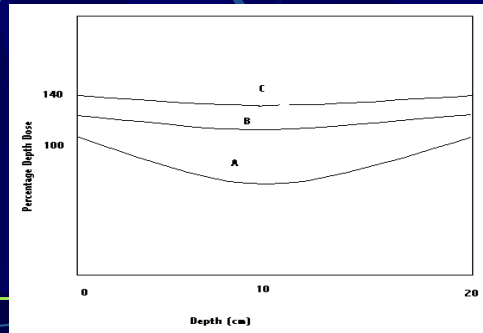
Single side Irradiation

(Product is exposed from one side of the source) →

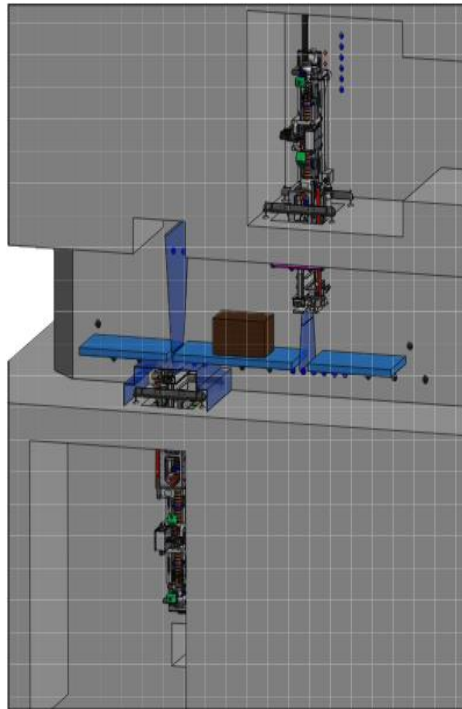


Double side Irradiation

(Product is exposed from both the sides of the source) →



Lampiran 14



Nipro Indonesia Jaya E-beam Sterilization

Energy : 10 MeV
Power : 2 x 30 kW
Manufacturer : Mevex Corporation - Canada

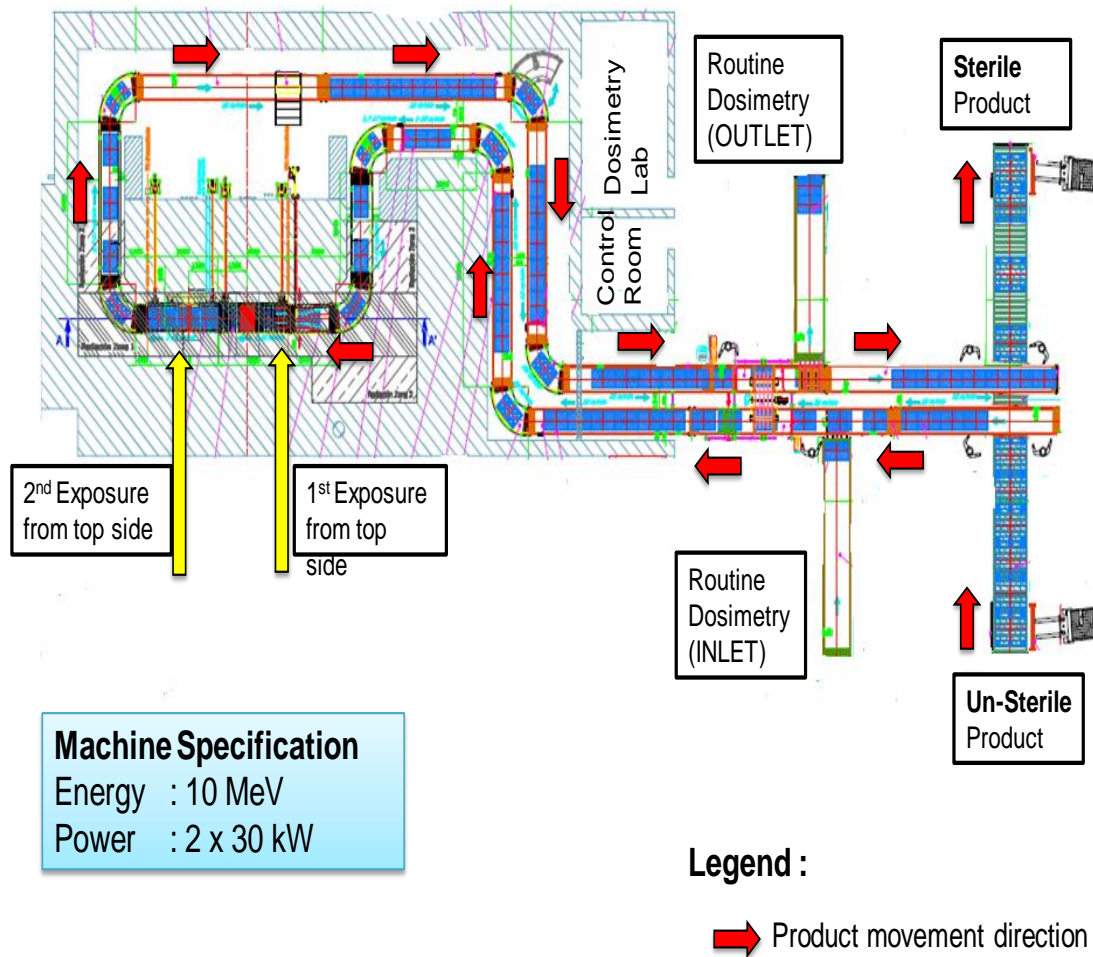
Main Advantage :

1. High-Energy Beams for Reliable Penetration and uniform dose distribution
2. Excellent Controls for Consistent Dose Delivery
3. Shorter Exposure Time for Favorable Material Compatibility
4. Dosimetric Release = Immediate Product Release

Nipro Indonesia Jaya

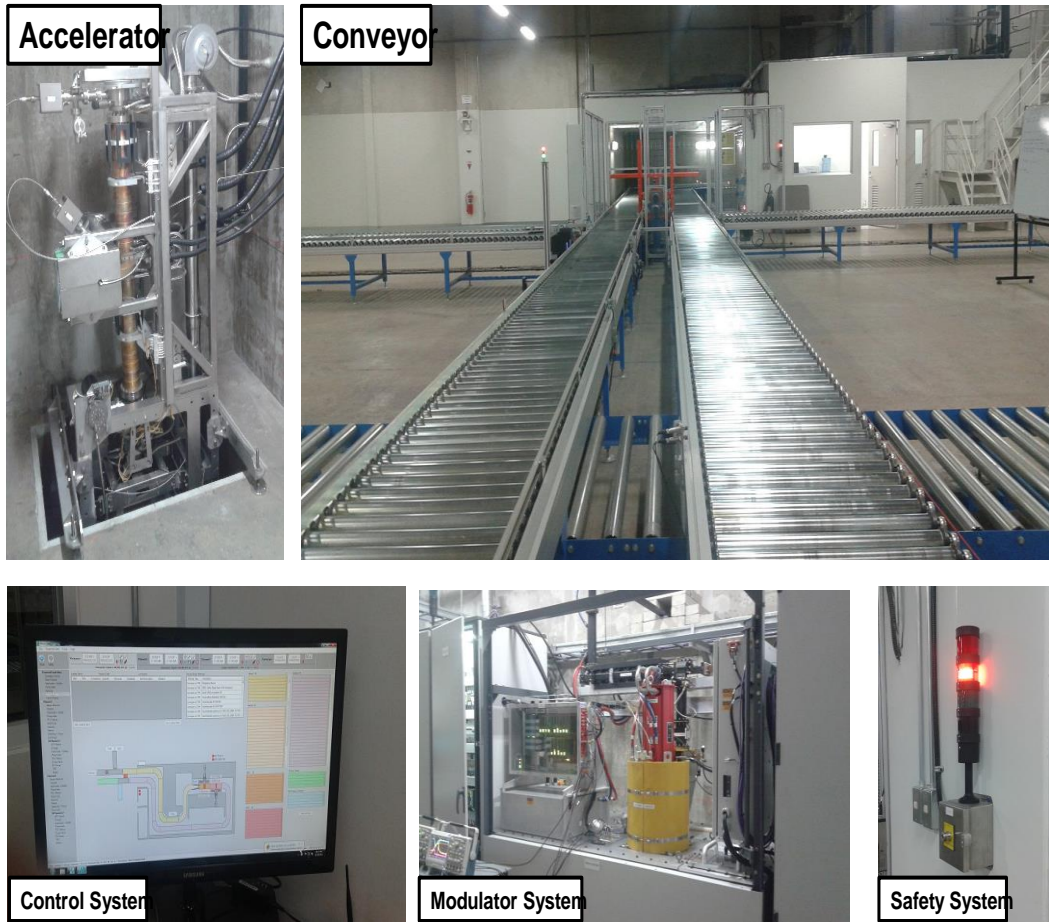
Lampiran 15

NIPRO INDONESIA JAYA E-BEAM FACILITY LAYOUT



Lampiran 16

NIPRO INDONESIA JAYA E-BEAM FACILITY LAYOUT

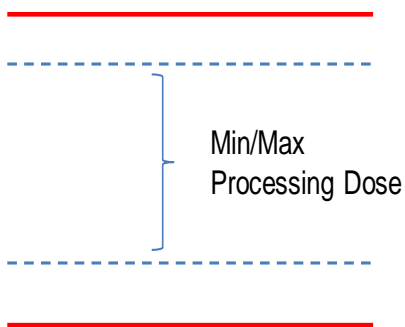


Lampiran 17



Can we sterilize our product ?

Max Dose



Min dose

Validation :

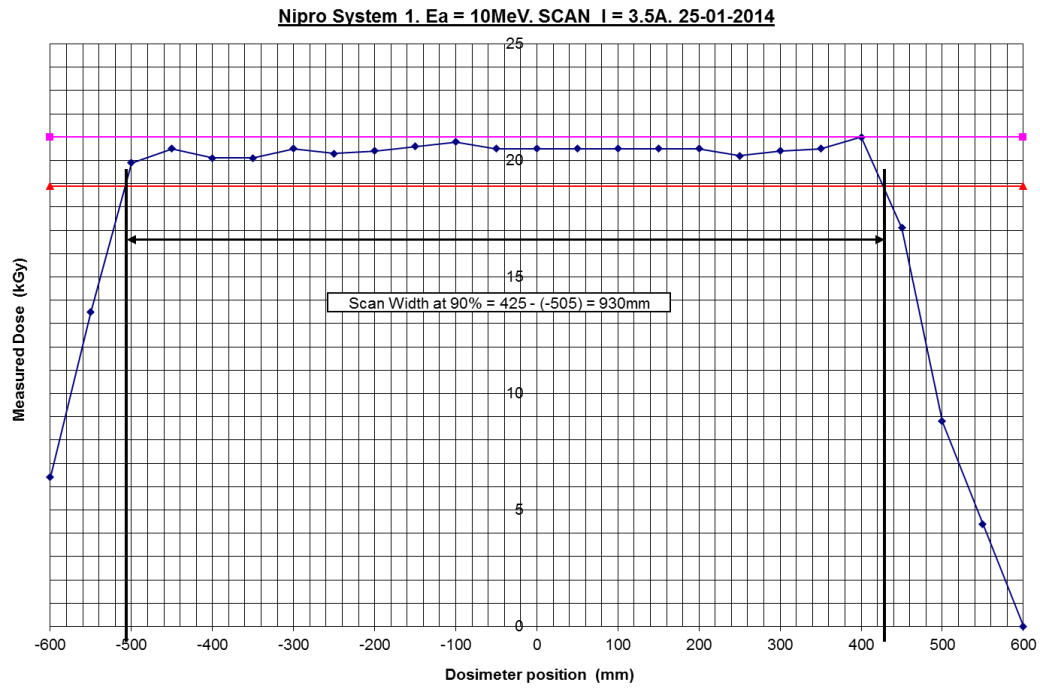
1. **Minimum dose establishment**
 - Depend on bioburden and SAL
2. **Maximum dose establishment**
 - Depend on product radiation resistance
3. **Dose mapping**
 - Depend on product density and loading pattern

Nipro Indonesia Jaya

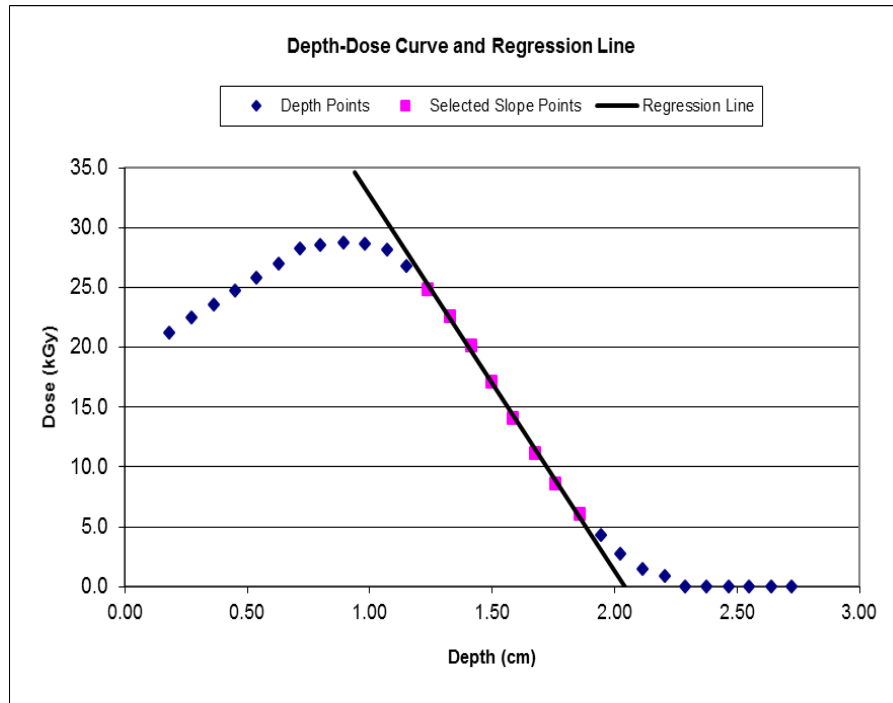
Lampiran 18



Lampiran 18



Lampiran 19



Extrapolated Range (cm)			<p>NOTE: The fitted series (Slope & Y intercept, and the Trend line on the chart) defaults to the 15th through 21st dosimeters only. The data ranges should be adjusted by the user to incorporate more or fewer data points appropriate to the energy being tested. See the <i>WINdose for Excel 2002</i> Installation and Operations manual for detailed instructions.</p> <p><i>Ea and Ep calculated using ISO/ASTM formulae A3.19 and A3.18 respectively per ICRU Report 35</i></p>	
Slope	-31.42	Y-Intercept		64.12
R50	1.58	Rp		2.04
Ea	9.71	Ep		10.485