

**PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60  
TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA  
PENDERITA KANKER SERVIKS**

**SKRIPSI**

Oleh :

**SRI MARTONO  
0710932001**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2009**

**PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60  
TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA  
PENDERITA KANKER SERVIKS**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh :

**SRI MARTONO  
0710932001**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2009**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60  
TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA  
PENDERITA KANKER SERVIKS**

Oleh :

**SRI MARTONO**

**0710932001**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

**Drs.Unggul P. Juswono,M Sc.**

**NIP. 131 879 050**

**Chomsin S. Widodo,S.Si.MSi.**

**NIP. 132 135 218**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

**Drs. Adi Susilo, MSi.,PhD.**

**NIP. 131 960 447**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sri Martono  
NIM : 0710932001  
Jurusan : Fisika  
Penulis tugas Akhir berjudul :

### **PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60 TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA PENDERITA KANKER SERVIKS**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya sendiri, dan bukan hasil menjiplak dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka Skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan / referensi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata isi dari Skripsi ini terbukti hasil jiplakan, maka penulis bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang , 14 Agustus 2009

Yang menyatakan,

( **Sri Martono** )  
NIM. **0710932001**

# PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60 TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA PENDERITA KANKER SERVIKS

## ABSTRAK

Pasien dengan kanker serviks yang menjalani pengobatan dengan radioterapi sering diperparah dengan mual, diare, perdarahan, dan nyeri panggul. Bahkan dalam beberapa kasus tidak dapat disembuhkan. Pengaruh **irradiasi** yang cukup signifikan ini perlu dilakukan kajian lebih jauh dan pengukuran dosis terhadap pasien saat menjalani radiasi abdomen untuk memperkecil **efek biologis** yang terjadi.

Dalam penelitian ini diperoleh hasil berupa **dosis radiasi** yang menembus masing-masing organ kritis terdampak. Potensi efek biologis terparah disebabkan oleh colon yang mendapat dosis cukup besar 800 Rem ( 30%) dan organ lain yang melebihi nilai batas ambang. Sedangkan penurunan Hb darah disebabkan terjangan dosis yang cukup besar 700 Rem menembus sumsum tulang.

Ketepatan planning dalam penentuan target irradiasi dan perlindungan terhadap organ kritis sangat menentukan tingkat keberhasilan dalam radioterapi dan memperkecil keparahan efek radiasi akut.

Kata kunci : *Irradiasi, Dosis radiasi, Efek biologis*

# THE INFLUENCE OF GAMMA COBALT-60 RAY'S IRRADIATION AT CRITICAL ORGANS IMPACTED BENEATH CERVIX CANCER SUFFERER

## ABSTRACT

Patient with cervix cancer being treated by radiotherapy often mortally sickly, and also suffering from diarrhea, bleeding and pelvis ache. Even in some cases they are not curable. This significant influence of **irradiation** needs to reduce **biological effects** must be re-measured.

From this research, some **doses of radiation** interfering each impacted critical organ have been obtained. Potential of the worst effect is caused by colons gaining enough doses of 800 Rem (30%) and other organs crossing the line. On the other hand, the decrease of hemoglobin is caused by a dose which is high enough (700 Rem) interfering the bone's marrow.

The precision of planning the decision of radiation target and protection of critical organs are much determining the success of radiotherapy as well as reducing the effect of acute radiation.

Keyword : *Irradiation, Radiation dosage, Biological effect*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “PENGARUH IRRADIASI SINAR GAMMA COBALT-60 TERHADAP ORGAN KRITIS TERDAMPAK PADA PENDERITA KANKER SERVIKS”.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam program S-1 Fisika pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang, serta sebagai sumbangan pikiran dalam rangka pengabdian kepada almamater dan masyarakat pada umumnya.

Dalam melaksanakan penelitian dan sampai terselesaikannya skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari semua pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Adi Susilo, Msi, PhD. selaku ketua jurusan Fisika fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
2. Bapak Drs. Unggul P. Juswono, Msc. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan masukan dan pertimbangan yang sangat berarti.
3. Bapak Chomsin S. Widodo, S.Si, selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan masukan dan pertimbangan yang sangat berarti.
4. Seluruh dosen pengajar di jurusan Fisika fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
5. Seluruh staf jurusan Fisika atas bantuan administrasinya.
6. Seluruh teman-teman SAP - Fisika, atas diskusi panjang yang sangat membantu penyelesaian skripsi ini.
7. Pimpinan dan staf struktural RSUD Dr. Saiful Anwar Malang yang telah banyak memberikan bantuan dan kesempatan dalam studi ini.
8. Ka. Instalasi Radiologi dan staf medik atas bantuan dan kesempatan yang telah diberikan.
9. Teman-teman sejawat Radioterapi dan semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut andil besar demi terselesaikannya skripsi ini.

10. Ibunda, dan istri tercinta, kakak serta adik yang sudah memberikan dukungan do'a dan semangat sehingga penulis bisa menyelesaikan studi ini.
11. Pimpinan PT Bumi Paradise selaku supplier peralatan radioterapi Cobalt-60 – NPIC atas dukungan dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini banyak kekurangannya. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk perbaikan yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.Amin.

Malang , Agustus 2009

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	v
ABSTRAK / ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II Tinjauan Pustaka</b>	
2.1 Radioaktifitas .....	5
2.2 Radiasi Gamma .....	7
2.2.1 Efek foto Listrik .....	7
2.2.2 Hamburan Compton .....	8
2.2.3 Produksi Pasangan .....	9
2.3 Interaksi Radiasi Pengion dengan Materi Biologi	10
2.3.1 Proses Fisika .....	10
2.3.2 Proses Kimia .....	11
2.3.3 Proses Bio Kimia .....	11
2.3.4 Proses Biologi .....	12
2.4 Dosimetri Radiasi .....	13
2.4.1 Dosis Serap .....	13
2.4.2 Dosis Ekuivalen .....	14
2.4.3 Dosis Efektif .....	15
2.5 Kurva Isodosis .....	16
2.6 Prosen Depth Dose .....	17
2.5.1 Luas Lapangan Penyinaran .....	17
2.5.2 Kedalaman .....	18
2.5.3 Energi Radiasi .....	18

2.5.4 Jarak antara Sumber dengan Permukaan yang diradiasi.....	19
2.7 Proteksi Radiasi.....	21
2.8 Nilai Batas Ambang.....	22
2.9 Efek Radiasi.....	23
2.10 Anatomi Kanker Serviks.....	24
2.11 Terapi Penyinaran.....	26
2.11.1 Radiasi eksternal pada kanker serviks.....	28
2.11.2 Teknik penyinaran dan distribusi Dosis ...	29
2.11.3 Prosedur penghitungan waktu irradiasi dengan tabel.....	29
2.11.4 Prosedur penghitungan waktu treatment dengan tabel PDD.....	31
<b>BAB III Metodologi Penelitian</b>	
3.1 Waktu dan Tempat.....	33
3.2 Persiapan Sampel dan Persiapan Alat.....	33
3.2.1 Persiapan Alat dan Teknik Penyinaran.....	34
3.2.2 Pengamatan terhadap Pasien Sebelum diradiasi.....	35
3.2.3 Perekaman Respon Radiasi.....	35
3.2.4 Penghitungan Dosis pada Organ Kritis.....	36
3.3 Analisa Data	
3.3.1 Analisis Perhitungan Dosis pada Organ Kritis.....	36
3.3.2 Analisa Efek Radiasi Akut.....	36
3.3.3 Tahapan Pelaksanaan Kerja.....	37
<b>BAB IV Hasil dan Pembahasan</b>	
4.1 Hasil Identifikasi Sampel dan Sumber Irradiasi....	39
4.2 Hasil Analisa Kasus penderita sebelum irradiasi ..	39
4.3 Hasil Analisa Efek akut terhadap organ kritis.....	40
4.4 Analisa Perhitungan Dosis Radiasi dan tingkat resiko.....	41
4.4.1 Analisa Respon radiasi pada Pasien P-1 .....	42
4.4.2 Analisa Respon radiasi pada Pasien P-2 .....	44
4.4.3 Analisa Respon radiasi pada Pasien P-3 .....	45
4.4.4 Analisa Respon radiasi pada Pasien P-4.....	46
4.5 Pengaruh Irradiasi sinar Gamma terhadap organ kritis.....	48

4.6	Tingkatn Resiko terhadap Organ Kritis .....	50
4.7	Distribusi Dosis Radiasi dan Efek Biologis yang Teramati.....	50

**BAB V Penutup**

5.1	Kesimpulan .....	53
5.2	Saran .....	53

DAFTAR PUSTAKA .....	54
----------------------	----

LAMPIRAN.....	55
---------------	----

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor Bobot Radiasi( $W_R$ ) Untuk Beberapa Jenis dan Energi Radiasi .....	14
Tabel 2.2	Faktor Bobot Jaringan untuk berbagai Bagian Organ Tubuh .....	15
Tabel 2.4	Dosis maksimum yang diperkenankan bagi Pekerja radiasi dan batas dosis bagi masyarakat umum .....	22
Tabel 2.5	Dosis radiasi dan efek biologisnya .....	23
Tabel 4.1	Dosis Efektif Organ Kritis Pasien P-1 pada Penyinaran whole pelvis .....	41
Tabel 4.2	Dosis Efektif Organ Kritis Pasien P-2 pada.. Penyinaran whole pelvis .....	41
Tabel 4.3	Dosis Efektif Organ Kritis Pasien P-3 pada.. Penyinaran whole pelvis .....	42
Tabel 4.4	Dosis Efektif Organ Kritis Pasien P-4 pada.. Penyinaran whole pelvis .....	42
Tabel 4.5	Efek radiasi akut yang timbul akibat radiasi. Gamma .....	48
Tabel 4.6	Pengaruh Irradiasi organ kritis dan efek Biologis .....	49
Tabel 4.7	Analisa Tingkat Resiko Organ Kritis terhadap Akumulasi Dosis Radiasi .....	50
Tabel L-1	Tabulasi akumulasi dosis efektif organ kritis dan efek akut Pasien P-1.....	83
Tabel L-2	Tabulasi akumulasi dosis efektif organ kritis dan efek akut Pasien P-2.....	84
Tabel L-3	Tabulasi akumulasi dosis efektif organ kritis dan efek akut Pasien P-3.....	85
Tabel L-4	Tabulasi akumulasi dosis efektif organ kritis dan efek akut Pasien P-4 .....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses ionisasi dan Eksitasi .....	6
Gambar 2.2	Terjadinya Efek Fotolistrik .....	7
Gambar 2.3	Terjadinya Hamburan Compton.....	9
Gambar 2.4	Produksi Pasangan .....	10
Gambar 2.5	Diagram Ilustrasi Perhitungan dosis serap pada Phantom.....	17
Gambar 2.6	Variasi PDD dengan kedalaman bervariasi.....	18
Gambar 2.7	Variasi PDD dengan kedalaman untuk energy yang bervariasi.....	19
Gambar 2.8	Diagram ilustrasi ketergantungan PDD terhadap SSD .....	19
Gambar 2.9	Anatomi pelvis .....	24
Gambar 2.10	Anatomi Abdomen.....	26
Gambar 2.11	Whole pelvis .....	28
Gambar 2.12	Foto Simulator.....	30
Gambar 3.1	Foto planning simulator .....	34
Gambar 3.2	Foto MRI.....	34
Gambar 3.3	Planning Isodosis .....	36
Gambar 3.4	Tabel PDD.....	36
Gambar 3.5	Proses Metodologi penelitian.....	38
Gambar G-1	Proses perencanaan sinar .....	87
Gambar G-2	Proses penyinaran kanker serviks .....	87

## DAFTAR LAMPIRAN

Lamp.1	Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-1.....	55
Lamp.2	Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-2.....	63
Lamp.3	Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-3.....	70
Lamp.4	Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-4.....	76
Lampiran Gambar.....		87

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Saat ini perkembangan dunia teknologi sangat pesat terutama dalam dunia kesehatan berbagai peralatan kedokteran modern telah memanfaatkan teknologi dalam usahanya untuk meningkatkan efisiensi serta efektivitas dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu teknologi di dunia kedokteran misalnya peralatan radioterapi Cobalt-60. Pesawat telegamma terapi Cobalt-60 merupakan alat kedokteran yang digunakan untuk meradiasi penyakit tumor dan keganasan lainnya. Pesawat terapi Cobalt-60 ini menggunakan sumber radiasi Cobalt-60 yang memancarkan sinar Gamma untuk penyembuhan tumor-tumor yang jauh di dalam jaringan tubuh maupun yang ada di permukaan kulit.

Berbagai jenis penyakit kanker yang memanfaatkan radioterapi untuk penyembuhan, salah satunya kanker serviks mempunyai insidens yang tinggi di negara-negara yang sedang berkembang termasuk di Indonesia. Usaha pencegahan dan deteksi dini kanker ginekologi yang sudah mantap adalah kanker serviks, karena jenis penyakit ini memenuhi syarat-syarat deteksi dini yaitu antara lain insiden / prevalensi cukup tinggi di masyarakat, perkembangan penyakit cukup lama, ada teknik pemeriksaan yang sensitive dan spesifik serta ada cara pengobatan yang efektif yaitu dengan radiasi.

Radioterapi atau terapi radiasi adalah pengobatan dengan menggunakan sinar pengion, yang saat ini merupakan salah satu jenis terapi penting untuk penyakit kanker serviks disamping pembedahan dan kemoterapi.

Tujuan radioterapi adalah meradiasi tumor in vivo dengan memberikan sejumlah dosis radiasi yang diperlukan secara tepat pada daerah target radiasi, tanpa merusak jaringan sehat disekitarnya, dengan harapan dapat memperbaiki kualitas hidup dan memperpanjang angka kelangsungan hidup penderita. Tumor merupakan pembengkakan yang disebabkan oleh adanya inflamasi atau peradangan dan pertumbuhan jaringan yang abnormal di dalam tubuh ( Soemartono, 1984). Terapi tumor menggunakan pesawat terapi Cobalt-60 harus tepat. Ketepatan dosis yang diberikan pada pasien kanker ditentukan oleh perhitungan-perhitungan dalam perencanaan penyinaran pada alat terapi Cobalt-60. Perhitungan-

perhitungan dalam perencanaan penyinaran meliputi energi radiasi, luas lapangan penyinaran, lamanya penyinaran, dan jarak antara sumber radiasi dengan permukaan yang diradiasi(SSD).

Hasil terapi radiasi optimal yang sangat diharapkan adalah mematikan sel tumor sebanyak mungkin dengan efek pada jaringan normal sekecil-kecilnya. Pengaruh radiasi pada jaringan normal ini merupakan efek samping, yang tergantung pada batas toleransinya. Batasan dosis radiasi yang dapat diberikan ini yang dikenal dengan dosis ambang. Tiap organ tubuh memiliki dosis ambang masing – masing yang apabila dosis tersebut di lalui maka akan timbul efek nyata yang mengakibatkan gangguan fungsi organ tersebut yang lebih fatal lagi terjadi kematian sel. Tingkat keparahan efek samping tersebut seiring dengan penambahan dosis yang diterima pada jaringan tersebut.

Salah satu dari komplikasi serius dari abdominal pada radiasi pelvis terhadap penderita kanker serviks adalah kerusakan usus yang mengarah pada mual, muntah, diare, kram abdominal yang terjadi selama atau beberapa saat setelah radioterapi. Disamping kerusakan usus ada organ tubuh lainnya yaitu kandung kencing, rectum, persendian caput femur, jaringan soft tissue/kulit yang merupakan organ kritis terdampak yang memiliki potensi gangguan paling tinggi akibat penyinaran abdomen ini.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari latar belakang tersebut adalah bagaimana menentukan bahwa efek samping yang terjadi pada penderita kanker serviks yang menjalani terapi radiasi itu merupakan pengaruh irradiasi sinar gamma dan berapa dosis radiasi yang menembus organ kritis terdampak.

## **1.3. Batasan Masalah**

Perumusan masalah yang dilakukan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut: pengerjaan skripsi ini merupakan studi kasus terhadap penderita kanker serviks, tidak membahas secara detil diagnosa klinis dan penyebaran penyakit, data yang diolah merupakan data kejadian munculnya efek akut pada penderita selama menjalani fraksinasi radioterapi.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah studi tentang pengaruh irradiasi sinar gamma cobalt-60 terhadap organ kritis terdampak pada penderita kanker serviks, dan menghitung dosis radiasi pada titik-titik ordinat organ kritis yang ditentukan dalam area penyinaran.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai langkah-langkah kebijakan yang aman dalam terapi radiasi terhadap penderita kanker serviks setelah diketahui pengaruh irradiasi sinar gamma dan dosis yang diterima pada organ kritis.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah pemancaran sinar radioaktif secara spontan oleh inti-inti yang tidak stabil sehingga terbentuk inti-inti baru yang lebih stabil. Inti tak stabil yang memancarkan radiasi ini disebut inti asal atau inti induk, sedangkan inti-inti baru yang dihasilkan disebut inti anak.

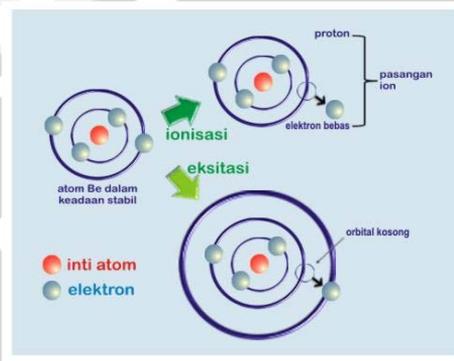
Kejadian dimana atom yang tidak stabil melepaskan kelebihan energinya disebut proses peluruhan radioaktif. Inti yang ringan dengan sedikit nukleon menjadi stabil setelah mengalami satu kali peluruhan. Tetapi inti berat yang mengandung ratusan nukleon mengalami satu peluruhan ada kemungkinan inti tersebut tetap tidak stabil. Oleh karena itu kondisi stabil dapat dicapai setelah beberapa kali peluruhan. Jenis pelepasan partikel dan energi yang diakibatkan oleh peluruhan inti yang tidak stabil sering disebut radiasi. (Walstrom,1996)

Tidak semua radiasi dapat menimbulkan ionisasi. Berdasarkan ada tidaknya ionisasi maka radiasi dibagi dalam dua kategori yaitu radiasi yang tidak menimbulkan ionisasi yang terdiri dari sinar ultraungu, sinar inframerah dan cahaya tampak. Sedangkan radiasi yang dapat menimbulkan ionisasi terdiri dari sinar alfa, sinar beta, sinar gamma, sinar-x dan proton (Gabriel,1996).

Menurut sifat kejadiannya, ionisasi dikelompokkan ke dalam ionisasi-langsung dan ionisasi-tak-langsung. Ionisasi-langsung terjadi jika radiasi menyebabkan ionisasi pada saat itu juga ketika berinteraksi dengan atom materi, dan proses ini bisa disebabkan oleh partikel bermuatan listrik seperti alpha dan beta. Berbeda dengan yang terjadi pada interaksi partikel bermuatan, interaksi radiasi yang berupa gelombang elektromagnetik (sinar gamma atau sinar-X) ataupun partikel yang tidak bermuatan listrik (neutron) tidak secara langsung menimbulkan ionisasi. Partikel yang dihasilkan dalam interaksi yang pertama ini kemudian menyebabkan terjadinya ionisasi. Proses seperti ini dikenal sebagai ionisasi-tak-langsung.

Proses eksitasi terjadi apabila radiasi yang berinteraksi dengan atom tidak cukup energinya untuk menghasilkan ionisasi langsung, maka dapat mengakibatkan suatu elektron orbit tertentu berpindah

ke tingkat energi yang lebih tinggi, atau ke keadaan tereksitasi. Energi eksitasi tersebut akan dilepaskan kembali dalam bentuk radiasi elektromagnetis, pada saat elektron tersebut kembali ke orbit dengan tingkat energi yang lebih rendah. ([www.batan.go.id](http://www.batan.go.id)) (Gambar 2.1)



**Gambar 2.1** Proses ionisasi dan eksitasi

Apabila interaksi ini terjadi dalam sistem biologi, ion-ion itu akan mudah bereaksi sehingga mengakibatkan kerusakan dari sistem tubuh tersebut. Radiasi pengion yang banyak dimanfaatkan dalam dunia medis terutama untuk pengobatan kanker salah satunya adalah radiasi gamma yang berasal dari peluruhan unsur Cobalt-60.

## 2.2. Radiasi Sinar Gamma

Radiasi sinar Gamma tidak dipengaruhi oleh medan magnet, berarti radiasi sinar Gamma tidak bermuatan. Selain dari pada itu, radiasi Gamma juga tak bermassa, sehingga dapat dikatakan jangkauan atau daya tembusnya besar bila dibandingkan dengan radiasi alpha maupun radiasi Beta.

Radiasi sinar Gamma berasal dari inti atom yang radioaktif. Inti atom yang radioaktif ini pada umumnya atau sebagian adalah pemancar radiasi Beta. Akan tetapi banyak juga yang merupakan pemancar radiasi Alpha. Kalau dilihat dari struktur atomnya, inti yang memancarkan radiasi Beta dan atau radiasi Alpha, energinya akan berkurang. Walaupun energinya berkurang, akan tetapi kalau inti atomnya masih kelebihan energi yaitu lebih besar dari energi

terendah untuk memancarkan radiasi Beta maupun radiasi Alpha, maka kelebihan energi pada inti atom ini yang dipakai untuk memancarkan radiasi Gamma.

Radiasi sinar Gamma dapat juga berasal dari atom yang dalam keadaan tereksitasi. Keadaan inti atom yang tereksitasi ini adalah keadaan inti atom yang terangsang atau terganggu oleh rangsangan dari luar. Keadaan inti atom seperti ini dapat diperoleh dengan cara menembak inti atom dengan neutron. Penembakan dengan neutron inilah yang menyebabkan inti atom terangsang atau terganggu. Inti atom yang tereksitasi ini akan kembali ke keadaan semula sebelum tereksitasi dengan jalan mengeluarkan radiasi sinar Gamma.

Radiasi sinar Gamma dan sinar-X karena tak bermuatan, maka secara langsung keduanya tidak mungkin menimbulkan ionisasi. Akan tetapi kenyataannya radiasi sinar Gamma dan radiasi sinar-X dapat juga menimbulkan ionisasi, sehingga keduanya sering disebut sebagai radiasi pengion. Peristiwa ionisasi yang terjadi karena adanya elektron yang dihasilkan dari interaksi radiasi sinar Gamma dengan materi yang menimbulkan 3 efek utama yaitu: efek photo listrik, efek Compton dan efek produksi pasangan. Elektron yang dihasilkan dari ketiga efek tersebut yang mengionisasikan atom atau molekul materi.

Radiasi sinar Gamma dan radiasi sinar-X, keduanya digolongkan sebagai photon yang menurut Planck mempunyai energi sebesar:

$$E = h \cdot f \text{ atau } E = h \frac{c}{\lambda}$$

Dengan catatan bahwa:

E = energi photon

h = konstanta Planck. Besarnya  $6,625 \times 10^{-27}$  erg.detik.

c = kecepatan cahaya, besarnya 300.000 km/detik.

$\lambda$  = panjang gelombang.

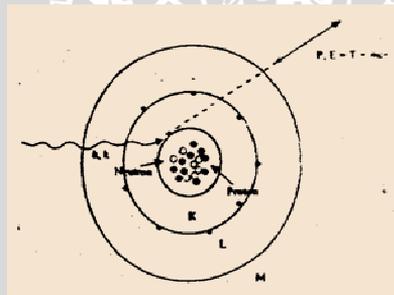
Apabila radiasi tersebut mengenai elektron orbital suatu atom dan energinya cukup untuk mendepak elektron maka sebagian energinya akan dipakai sebagai energi untuk mengeluarkan elektron dari kulit elektron. Energi ini disebut sebagai work function. Energi yang tersisa diberikan sebagai energi kinetik elektron ( $E_k$ ) yang

terdepak keluar dari atom, sehingga energi radiasi sinar Gamma ini menimbulkan efek photo listrik sebagai berikut:

### 2.2.1. Efek Foto Listrik

Membahas masalah proses efek fotolistrik Akhadi (2000:59) dalam penjelasannya:

“Efek foto listrik terjadi karena interaksi antara radiasi sinar elektromagnetik dengan electron-elektron dalam atom bahan. Energi foton dalam peristiwa ini diserap seluruhnya oleh electron yang terikat kuat pada suatu atom sehingga electron tersebut terlepas dari ikatan inti atom. Elektron yang terlepas itu disebut ”fotolektron“. Karena interaksinya dengan electron yang terikat kuat, maka efek fotolistrik harus dianggap interaksi antara foton dengan atom secara keseluruhan bukan hanya dengan elektron saja. Peristiwa efek foto listrik ini terjadi terutama pada foton yang berenergi radiasi rendah ( $E < 1 \text{ Mev}$ ) dan  $Z$  yang besar.



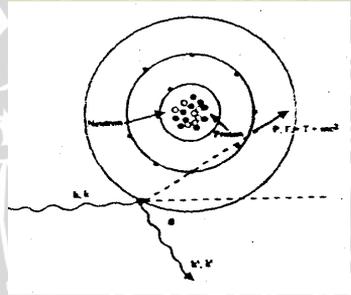
**Gambar 2.2** Terjadinya Efek Fotolistrik (Akhadi,2000)

Dalam setiap peristiwa efek photo listrik ini selalu ada elektron yang terdepak keluar dari inti atom dengan membawa energi kinetik sebesar  $E_k$ . Pada proses selanjutnya elektron inilah yang menimbulkan ionisasi pada bahan yang dikenai radiasi sinar Gamma. Jadi walaupun radiasi Gamma tak bermuatan, akan tetapi dapat juga mengionisasi materi yang dikenainya melalui efek photo listrik yang menghasilkan elektron. Untuk radiasi energi rendah, foton berinteraksi dengan elektron orbit luar dan bila energi radiasi lebih besar, elektron dari orbit lebih dalam yang akan dikeluarkan.

## 2.2.2. Hamburan Compton

Pada peristiwa ini radiasi gamma tidak semua diserap, tetapi di teruskan sebagai sebuah foton, menurut Akhadi (2000: 61-62): Hamburan Compton dapat terjadi apabila foton dengan energi  $h.f$  berinteraksi dengan elektron bebas atau elektron yang tidak terikat kuat oleh inti, yaitu elektron yang berada pada kulit yang terluar dari atom. Elektron ini dikeluarkan dari ikatan inti atom dan bergerak dengan energi kinetik tertentu disertai foton lain dengan energi lebih rendah dibandingkan energi foton datang. Foton lain ini disebut foton hamburan dengan energi  $h.f'$  dan terhambur dengan sudut  $\theta$  terhadap arah foton datang. Karena ada energi ikat elektron yang harus di lawan, meskipun sangat kecil, hamburan Compton ini termasuk proses interaksi inelastik, namun untuk mempermudah perhitungan diperlakukan sebagai interaksi elastik. Kemungkinan terjadinya hamburan Compton berkurang bila energi foton datang bertambah dan bila nomer atom bahan bertambah. Dalam proses ini, setiap elektron bertindak sebagai pusat hamburan, karena itu sifat hamburan bahan bergantung pada kerapatan bahan persatuan luas.

Dalam pembahasannya lebih lanjut tentang hamburan Compton Akhadi (2000,62) menyatakan: “Energi foton datang yang diserap atom diubah menjadi energi kinetik elektron dan foton hamburan yang berenergi lebih rendah. Elektron selanjutnya akan kehilangan energinya melalui proses ionisasi atom bahan.”

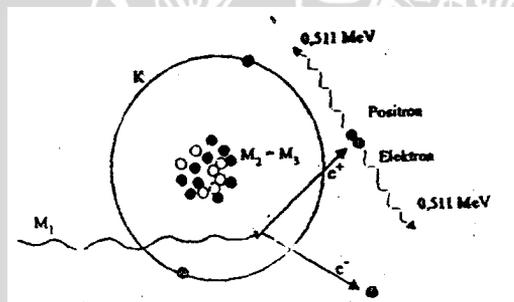


**Gambar 2.3** Terjadinya Hamburan Compton (Akhadi,2000)

Pada efek compton, radiasi Gamma mengenai elektron dan hanya sebagian energi radiasi Gamma yang di berikan pada elektron. Sisa energi yang ada tetap dibawa oleh radiasi Gamma yang terhambur.

### 2.2.3. Produksi Pasangan

Produksi pasangan dalam peristiwa ini adalah kejadian pada radiasi sinar Gamma yang mengenai suatu bahan akan menyerahkan seluruh energi yang dimilikinya dan atom bahan mengubahnya menjadi sepasang elektron dan positron. Efek produksi pasangan terjadi bila radiasi sinar Gamma mempunyai energi lebih besar dari  $E = 2 m_0 c^2$  atau  $2 \times$  massa diam elektron yang mendekati inti atom. Jadi bila energinya paling tidak sama dengan  $2 \times 0,51$  MeV atau lebih besar dari 1,02 MeV maka ada kemungkinan terjadi produksi pasangan. Efek produksi pasangan akan mudah terjadi bila bahan yang dikenai radiasi mempunyai nomor atom yang tinggi atau harga  $Z \gg 1$ . Peristiwa produksi pasangan ini menjadi penting bila elektron yang terbentuk berenergi 0,51 MeV. Elektron yang terbentuk inilah yang akan menimbulkan peristiwa ionisasi, manakala radiasi sinar Gamma berinteraksi dengan materi. Prinsip kekekalan momentum dan energi mencegah terjadinya interaksi semacam ini dalam ruang kosong. Jadi harus terdapat inti atau elektron dalam ruang. Interaksi produksi pasangan hanya dapat terjadi dalam medan listrik disekitar partikel bermuatan, terutama dalam medan sekitar inti. Prosesnya digambarkan seperti terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Produksi Pasangan (Wiriyosimin, 1995)

### 2.3. Interaksi Radiasi Pengion Dengan Materi Biologi

Kerusakan sel manusia dapat disebabkan oleh terpapar atau terkena senyawa kimia tertentu, terpapar oleh panas, terpapar oleh sinar tertentu, terpapar oleh radiasi nuklir, dan lain sebagainya. Akan tetapi kerusakan sel manusia karena radiasi nuklir akan berbeda

dengan kerusakan yang diakibatkan oleh sebab yang lain. Hal ini dikarenakan radiasi nuklir dapat menimbulkan proses ionisasi di dalam sel yang di kenal dengan radiasi pengion .

Radiasi pengion ini dapat menyebabkan gangguan pada fungsi sel tubuh. Dengan adanya gangguan ini bila intensitas radiasi pengion yang mengenai sel tersebut besar maka efeknya segera muncul, bahkan bisa dalam waktu relatif singkat terjadi gangguan secara total yang dapat menyebabkan kematian. Perubahan secara serentak setelah terjadi interaksi radiasi pengion adalah terjadi pada mikroprotein didalam nukleus. Hal ini menyebabkan sintesa mikro protein dan metabolisme asam nukleat terganggu, konsentrasi DNA ( Deoksiribonukleat ) dan RNA ( Ribonukleat acid ) terganggu (keduanya mempunyai peranan sebagai pembawa sifat keturunan)

Proses interaksi radiasi dengan materi biologi pada prinsipnya terjadi melalui empat tahap sebagai berikut:

### **2.3.1. Proses Fisika**

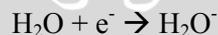
Proses fisika akibat radiasi pengion yang mengenai tubuh ini terjadi cepat sekali ( $10^{-10} - 10^{-12}$  detik). Terjadi penyerapan energi oleh jaringan, kemudian energi yang terserap digunakan untuk eksitasi dan ionisasi atom jaringan tubuh. Dalam proses ionisasi terjadi pengeluaran elektron dari atom dan proses eksitasi energi radiasi akan meningkatkan tingkat energi atom. Molekul yang tereksitasi mengalami reorganisasi elektron yang dapat terjadi kerusakan pada ikatan kimianya yang berakibat kerusakan molekul dan terbentuknya molekul stabil dan tak stabil yang reaktif, akibatnya terjadi inaktivasi pada materi biologi. Terjadinya ionisasi akibatnya munculnya radikal bebas sebagai berikut:



dimana  $\text{H}_2\text{O}^+$  adalah ion positif dan  $\text{e}^-$  adalah ion negatif



ion negatif, yaitu elektron, terikat pada molekul air netral yang selanjutnya terdisosiasi



Sehingga produk dan reaksinya adalah terbentuknya radikal bebas : ,  $\text{OH}^*$ ,  $\text{H}^*$  dan  $\text{H}_2\text{O}_2^*$ .

### 2.3.2. Proses Kimia

Terjadi reaksi antara radikal bebas. Molekul yang tereksitasi dalam beberapa mili detik akan menimbulkan perubahan dalam sel. Perubahan ini terjadi secara langsung dan tidak langsung. Perubahan langsung disebabkan oleh penyerapan langsung energi radiasi dan perubahan tidak langsung disebabkan oleh bereaksinya ion-ion dan radikal bebas. Seperti telah diketahui bahwa tubuh manusia terdiri dari 80 % air, bila tubuh terkena radiasi maka terjadi reaksi radiolisa. Reaksi radiolisa akan menghasilkan peroksida  $H_2O_2^*$  yang berbahaya dan merusak enzim sehingga tidak dapat berfungsi sebagai katalisator. Zat-zat reaktif ini dapat merubah fungsi molekul biologi.

### 2.3.3. Proses Bio Kimia

Dalam proses ini akan terjadi penurunan fungsi sel. Perubahan penting yang dapat terjadi pada sel adalah Aberasi kromosom, tertundanya proses mitosis, hilangnya kemampuan mitosis, matinya sel setelah beberapa kali mitosis, dan matinya sel tanpa mengalami mitosis. Aberasi kromosom dapat terjadi pada radiasi dengan dosis 10 Rad. Aberasi kromosom pada sel berakibat sel mati dan bila ini terjadi maka akibatnya terjadi mutasi. Akibat aberasi mungkin diikuti oleh perubahan bentuk semula, gagal untuk kembali ke bentuk semula, bergabungnya kembali fragmen tetapi tidak pada fungsi semula.

Secara umum dapat digambarkan mekanisme kerusakan sel akibat radiasi dan perkembangan kejadian dalam sel yang rusak berturut-turut sebagai berikut:

- Pertama, reaksi pada tingkat molekuler, terutama mempengaruhi letak radikal organik dan anorganik.
- Kedua, terjadi kerusakan makromolekuler khususnya yang berperan dalam informasi genetik.
- Ketiga, terjadi perubahan dalam proses metabolisme, yang mengikuti perubahan morfologi dan bentuk sel.

### 2.3.4. Proses Biologi

Munculnya kerusakan atau dampak akibat interaksi radikal bebas, yang mengakibatkan kematian sel, kemandulan, mutasi gen, karsinogen dan sebagainya.

Tingkat kerusakan pada materi biologi tergantung pada radiosensitivitas pada masing-masing jaringan. Besarnya

radiosensitivitas berbanding lurus dengan kapasitas produksi sel-sel penyusun jaringan yang berbanding terbalik dengan derajat diferensiasi. (Clark, 1955)

Dalam hal ini sel atau jaringan tubuh mempunyai kepekaan yang berbeda terhadap radiasi tergantung dari organ mana yang terkena radiasi. Sel-sel yang lebih cepat tumbuh dan aktif dalam pertumbuhannya lebih peka terhadap radiasi dari pada sel-sel yang sudah berdiferensiasi buruk. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efek biologi terhadap radiasi pengion adalah: jenis organ/ jaringan tubuh yang disinari, tenaga foton radiasi yang dipakai, lamanya waktu penyinaran, jarak sumber radiasi terhadap tubuh, laju dosis radiasi, dan besarnya radiasi yang diterima organ tersebut.

#### **2.4. Dosimetri Radiasi**

Dosimetri merupakan kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukurannya didasarkan pada pengukuran ionisasi yang disebabkan oleh radiasi dalam gas terutama udara. Dalam proteksi radiasi, metode pengukuran ini dikenal dengan sebutan dosimetri radiasi.

Tujuan dari pengukuran ini untuk dapat melakukan tindakan pencegahan dan pengawasan terhadap efek yang dapat timbul dalam sistem tubuh manusia apabila sumber radiasi berada diluar medium / tubuh, dan atau berada di dalam tubuh.

Satuan radiasi menunjukkan besarnya pancaran radiasi dari suatu sumber atau banyaknya dosis radiasi yang diberikan atau diterima oleh suatu medium yang terkena radiasi. ICRP (komisi internasional untuk perlindungan radiasi) menggunakan besaran makroskopik. Secara formal didefinisikan oleh ICRU (komisi internasional untuk satuan dan pengukuran radiologi). Berikut besaran dan satuan dosimetri:

##### **2.4.1. Dosis Serap ( D )**

Dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap persatuan massa bahan. Selain untuk tujuan proteksi radiasi digunakan pula untuk menyatakan dosis rata-rata pada suatu jaringan (Mukhlis, 1997).

Dosis serap merupakan hal yang diperhatikan dalam radioterapi. Kerusakan jaringan tergantung pada penyerapan energi radiasi pada jaringan.

$$D = \frac{dE}{dm} \dots\dots\dots(2-1)$$

dE adalah energi rata-rata yang diserap persatuan massa (dm) dalam materi. Satuan dosis serap adalah Rad (Radiation Absorbed Dose). Satu Rad adalah dosis radiasi yang diserap dalam 100 erg per gram massa atau joule.

$$1 \text{ Rad} = 100 \text{ erg/gram}$$

Satuan dosis serap yang lain yang digunakan dalam Satuan International adalah Gray (Cember,1987). Satu gray adalah dosis radiasi yang diserap dalam joule per kilogram atau 1 Gy =1 J/Kg. Karena 1 joule =10<sup>7</sup> erg dan 1 kg =1000 gram, maka hubungan antara kedua satuan ini dapat dituliskan (Cember,1987):

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad.}$$

**2.4.2. Dosis Ekuivalen ( H )**

Dosis ekuivalen pada prinsipnya adalah dosis serap yang telah dibobot yaitu dikalikan dengan faktor pembobotnya. Faktor bobot radiasi ini dikaitkan dengan kemampuan radiasi dalam membentuk pasangan ion persatuan panjang lintasan. Semakin banyak pasang ion yang dapat dibentuk persatuan panjang lintasan, semakin besar pula nilai bobot radiasi tersebut. Dosis ekuivalen dalam organ T yang menerima penyinaran radiasi R (H<sub>T</sub>, R) ditentukan melalui persamaan (Cember, 1987)

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan D<sub>T,R</sub> adalah dosis serap yang dirata-ratakan untuk daerah organ atau jaringan T yang menerima radiasi R, sedang W<sub>R</sub> adalah faktor bobot radiasi R. ICRP melalui publikasi ICRP nomor 60 tahun 1990 menentukan nilai W<sub>R</sub> berdasarkan pada jenis dan energi radiasi seperti disajikan pada Tabel 2.1.

Satuan dosis ekuivalen dalam sistem SI sama dengan satuan dosis serap yaitu J.Kg<sup>-1</sup>. untuk membedakannya diberi satuan khusus yaitu sievert disingkat Sv dimana 1 Sv = 100 Rem (Mukhlis, 1997).

Dosis ekuivalen ini semula berasal dari pengertian Roentgen equivalent of man atau disingkat menjadi Rem yang kemudian menjadi nama satuan untuk dosis ekuivalen. Hubungan antara dosis ekuivalen (Rem) dengan dosis absorpsi (Rad) dan faktor bobot radiasi ( $W_R$ ) adalah sebagai berikut:

$$\text{Rem} = \text{Rad} \times W_R$$

**Tabel 2.1.** Faktor Bobot Radiasi ( $W_R$ ) Untuk Beberapa Jenis dan Energi Radiasi (Mukhlis,1997)

Jenis dan Rentang Energi Radiasi	$W_R$
Foton untuk semua energi	1
Elektron dan Muon, semua energi	2
Neutron dengan energi ( $E_n$ ):	
$E_n \leq 10 \text{ KeV}$	5
$10 \text{ KeV} < E_n \leq 100 \text{ KeV}$	10
$100 \text{ KeV} < E_n \leq 2 \text{ MeV}$	20
$2 \text{ MeV} < E_n \leq 20 \text{ MeV}$	10
$E_n > 20 \text{ MeV}$	5
Proton, 1 selain proton tepental (recoil), energi $> 2 \text{ MeV}$	5
Partikel $\alpha$ hasil belah inti berat	20

### 2.4.3. Dosis Efektif ( $H_E$ )

Mukhlis,(1997): mendefinisikan bahwa dosis efektif merupakan penurunan dari besaran dosis ekuivalen yang dibobot Faktor pembobot dosis ekuivalen untuk organ T disebut faktor bobot jaringan  $W_T$ . Nilai  $W_T$  dipilih agar setiap dosis ekuivalen yang diterima seragam diseluruh tubuh menghasilkan dosis efektif yang nilainya sama dengan dosis ekuivalen yang seragam itu. Jumlah faktor bobot jaringan untuk seluruh tubuh sama dengan satu.

Dosis efektif dalam organ T yang menerima penyinaran radiasi dengan dosis ekuivalen  $H_T$  ditentukan melalui persamaan :

$$H_E = W_T \cdot H_T \dots\dots\dots(2-3)$$

ICRP menetapkan nilai  $W_T$  yang dikembangkan dengan menggunakan manusia acuan dengan jumlah yang sama untuk semua jenis kelamin dan mencakup rentang umur yang cukup lebar.

**Tabel 2.2.** Faktor Bobot Jaringan Untuk berbagai Bagian Organ Tubuh (Mukhlis, 1997)

Organ atau Jaringan Tubuh	$W_T$
Gonad	0.20
Sumsum Tulang	0.12
Usus Besar	0.12
Paru-Paru	0.12
Lambung	0.12
Bladder	0.05
Payudara	0.05
Hati	0.05
Oesopagus	0.05
Kelenjar gondok (Thiroid )	0.05
Kulit	0.01
Permukaan Tulang	0.01
Organ atau jaringan tubuh sisanya	0.05

Dalam membahas faktor bobot ini lebih lanjut (Muklis,1997) menjelaskan bahwa:

”Penentuan dari faktor bobot jaringan ditentukan oleh probabilitas suatu efek skokastik dalam jaringan yang sebanding dengan kesetaraan dosis pada jaringan. Karena adanya perbedaan-perbedaan kepekaan diantara berbagai macam jaringan, maka nilai faktor-faktor kesebandingan berbeda-beda diantara jaringan-jaringan tersebut. Kepekaan relatif terhadap efek stokastik yang membahayakan, yang dinyatakan sebagai risiko per sievert, dari beberapa organ dan jaringan yang mendorong adanya risiko keseluruhan diperlihatkan dalam Tabel 2.3. Jika dosis radiasinya sama secara keseluruhan tubuh, maka faktor risiko totalnya sama dengan 1.”

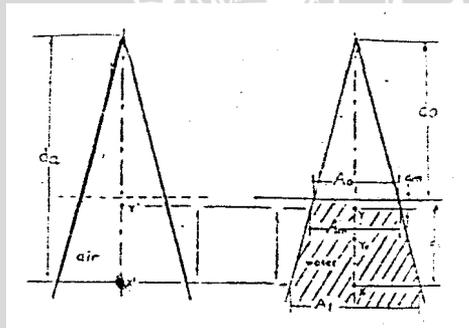
## 2.5. Kurva Isodosi

Kurva isodosi adalah merupakan garis-garis yang menghubungkan titik-titik geometris yang mempunyai dosis radiasi yang sama pada tiap titik tersebut atau bersatu secara homogen didalam materi yang teradiasi. Faktor –faktor yang mempengaruhi bentuk kurva isodosi antara lain: energy foton, ukuran lapangan radiasi, penambahan beberapa filtrasi dan jarak focus ke kulit.

## 2.6. Prosen Dept Dose ( PDD)

PDD atau prosen depth dose menurut Johns and Cunningham, 1984 diterangkan bahwa :

“ PDD adalah perbandingan dosis serap sumbu pusat yang dilepaskan pada beberapa kedalaman dalam phantom (X) dengan dosis serap sumbu pusat pada kedalaman dosis maksimum (Y) dikalikan 100 %. Pengertian ini dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.5.** Diagram Ilustrasi Perhitungan Dosis Serap pada Phantom

Dari diagram ilustrasi tersebut dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PDD(d_1, A, d_0, h\nu) = \frac{X}{Y} 100\% \dots\dots\dots(2-13)$$

Sehingga dari persamaan ini terlihat bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi PDD adalah: luas lapangan penyinaran (A), kedalaman (d<sub>1</sub>), jarak antara sumber dengan permukaan yang diradiasi (d<sub>0</sub>) dan energi radiasi (hν).

### 2.5.1. Luas Lapangan Penyinaran

Luas lapangan penyinaran didefinisikan sebagai luas daerah dibawah sumber radiasi yang SSD (Source Surface Distance) nya telah ditetapkan. SSD merupakan jarak antara permukaan lapangan radiasi dengan sumber radiasi.

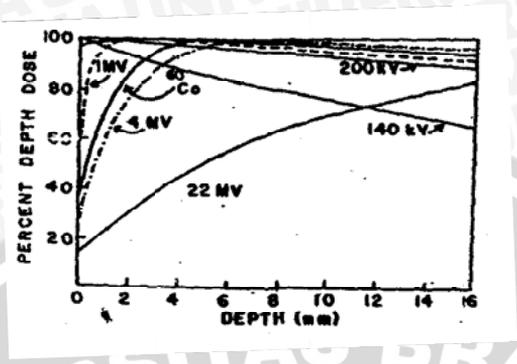
Membahas tentang luasan lapangan (Hendee,1984) menerangkan bahwa:

“Berkas radiasi dengan luas lapangan penyinaran yang kecil, dosis yang terserap di kedalaman tertentu disampaikan hampir dengan keseluruhan oleh foton utama yang sudah menembus medium yang sangat dalam tanpa saling berinteraksi. Karena luas lapangan penyinaran bertambah, beberapa foton disebarkan di setiap lokasi diatas atau dibawah permukaan. “

Lebih lanjut diterangkan apabila luas lapangan penyinaran sangat kecil, maka lapisan dibawah permukaan kulit hanya menerima radiasi primer, artinya foton yang mengenai medium tidak mengalami interaksi. Sebaliknya apabila luas lapangan bertambah maka lapisan dibawah permukaan kulit akan menerima radiasi primer ditambah radiasi hambur. Radiasi hambur meningkat sebanding dengan kedalaman tempat-tempat yang lebih dalam. Dengan bertambahnya luas lapangan maka radiasi hambur yang diterima pada kedalaman yang lebih dalam lebih besar dibandingkan dengan dosis radiasi hambur yang diterima pada kedalaman maksimum, sehingga PDD bertambah sebanding dengan bertambahnya luas lapangan penyinaran yang diradiasi.

### 2.5.2. Kedalaman

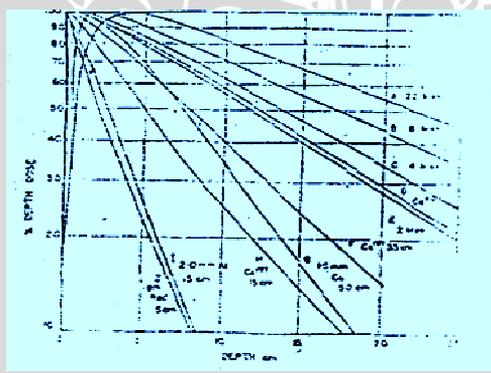
PDD sinar gamma dan beberapa energi digambarkan pada Gambar 2.8 sebagai fungsi dan kedalaman dalam milimeter di bawah permukaan dari jaringan. Untuk foton dengan energi yang tinggi, PDD memperlihatkan pertambahan yang cepat sampai kedalaman dan dosis maksimum dicapai. Diluar dari kedalaman ini, PDD berkurang secara lambat (Hendee, 1984).



**Gambar 2.6.** Variasi PDD dengan kedalaman bervariasi (Hendee, 1984).

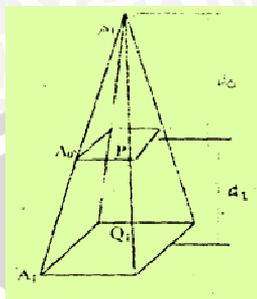
2.5.3. Energi Radiasi.

PDD meningkat sebanding dengan energi radiasi. Energi radiasi yang tinggi mempunyai daya tembus yang besar sehingga dihasilkan PDD yang tinggi pula. Pada Gambar 2.7, kurva A menunjukkan kedalaman 10 cm dengan energi 8,22 MeV. Untuk energi 2 MeV,  $Co^{60}$  menghasilkan dosis kedalaman 55-60% pada kedalaman 10 cm. Kurva G merupakan tipe mesin sinar-X 200 kV yang menghasilkan dosis kedalaman 50-60% pada kedalaman 10 cm.



**Gambar 2.7.** Variasi PDD dengan kedalaman untuk Energi yang bervariasi (Johns and Cunningham, 1984)

2.5.4. Jarak antara Sumber dengan Permukaan yang diradiasi (SSD)



**Gambar 2.8.** Diagram Ilustrasi ketergantungan PDD terhadap SSD (Johns and Cunningham, 1984)

Gambar 2.8 memperlihatkan sinar radiasi dan sumber radiasi  $s_1$  yang dijatuhkan pada permukaan (titik  $p_1$ ) dengan luas lapangan yang sama ( $A_0$ ) dan SSD ( $d_0$ ). Karena sifat sinar yang menyebar, sehingga luas  $A$  pada kedalaman  $d_1$  lebih besar jika dibandingkan luas lapangan  $A_0$  pada permukaan. Dari Gambar 2.8 dapat dihubungkan parameter-parameter yang mempengaruhi, yaitu oleh hubungan (Johns and Cunningham, 1984):

$$\frac{A_0}{A_1} = \left[ \frac{d_0 + d_1}{d_0} \right]^2 \dots\dots\dots(2-14)$$

Jika dianggap tidak ada atenuasi dari sinar dalam jaringan setebal  $d$  dengan sinar tersebut dalam lapangan penyinaran  $A_0$  hingga  $A_1$  sehingga dosis di  $Q_1$  akan lebih kecil dari  $P_1$ . PDD di  $Q_1$  dapat dirumuskan (Johns and Cunningham, 1984):

$$\begin{aligned} \text{PDD}(d_1, d_0, A_0) &= \frac{A_0}{A_1} \times 100\% \\ &= \left[ \frac{d_0}{d_0 + d_1} \right]^2 \times 100\% \dots\dots\dots(2-15) \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa PDD menurun dengan bertambahnya kedalaman, sedangkan PDD bertambah besar jika

SSD juga besar. Persamaan tersebut juga menyatakan penurunan PDD dengan bertambahnya kedalaman (Johns and Cunningham, 1984)

## **2.7. Proteksi Radiasi**

Keselamatan radiasi dalam pelayanan kesehatan merupakan tanggung jawab semua unsur: masyarakat, pemerintah, penyelenggara pelayanan, dan kelompok profesi yang bersangkutan. Upaya keselamatan radiasi dalam pelayanan kesehatan terutama bertujuan untuk menghindari peningkatan resiko dari probabilitas resiko yang diterima, baik pada pasien, petugas, maupun lingkungan sekitarnya. Hal ini dapat dicapai melalui pengenalan factor-faktor yang dapat berpengaruh pada peningkatan resiko dan selanjutnya mencegah timbulnya factor-faktor tersebut. Segenap usaha yang dilakukan dalam bidang proteksi radiasi adalah menemukan cara untuk meminimalkan paparan radiasi pada pekerja, pasien dan lingkungannya selama pemeriksaan berlangsung. Paparan radiasi pada pekerja radiasi diukur dengan menggunakan monitor perorangan. Dosis pada pasien pada umumnya diestimasi melalui simulasi pemeriksaan dengan menggunakan phantom. Kalibrasi peralatan secara rutin baik output sumber radiasi maupun ketepatan instrument penunjang khususnya peralatan radioterapi. Jika prinsip ALARA- as low as reasonably achievable (serendah mungkin yang dapat dicapai) dapat diterapkan dengan konsisten, maka tingkat paparan radiasi pada pekerja, pasien dan lingkungan dapat ditekan serendah- rendahnya.

Menurut badan internasional yang menangani proteksi radiasi atau International Commission Radiological Protection (ICRP) untuk menghindari bahaya radiasi adalah ditentukannya suatu dosis maksimum yang diperkenankan sebagai pedoman dalam proteksi radiasi yaitu "Maximum Permissible Dose" (MPD). Meskipun dosis radiasi maksimum yang diperkenankan diterima oleh seorang pekerja radiasi sebesar 2 Rem ( 20 mSv ) per tahun, namun harus tetap diusahakan agar nilai batas dosis tersebut tidak pernah tercapai atau bahkan terlampaui.

Bagi masyarakat umum tidak lagi memakai MPD akan tetapi diganti dengan dosis limit atau nilai batas dosis (NBD) . Maksud dan pemakaian dosis limit ini adalah untuk memperoleh standarisasi dalam pelaksanaan proteksi, sehingga masyarakat tidak mungkin

mendapatkan radiasi yang membahayakan. Nilai batas dosis radiasi untuk masyarakat adalah 1/10 daripada nilai NBD bagi pekerja radiasi (Gabriel, 1983).

Prinsip dasar Proteksi radiasi yaitu dengan mempertimbangkan : faktor waktu, factor jarak dan terakhir faktor pelindung atau shielding. Dengan menggunakan ketiga faktor tersebut, setiap program proteksi radiasi mencakup keseimbangan antara keuntungan yang akan didapat dari penggunaan radiasi atau energi nuklir dengan resiko dari pemaparan radiasi.

Meningkatkan kepedulian para ahli radiasi atas resiko yang menyertai penggunaan radiasi khususnya di bidang kesehatan merupakan salah satu upaya menekan dosis pasien. Kemungkinan timbulnya efek tertunda karena paparan radiasi medis, bukan karena tingginya dosis yang diterima, tetapi lebih karena paparan radiasi yang tidak perlu terutama pada organ kritis. Jika perhatian terhadap proteksi radiasi dapat lebih ditingkatkan, maka akan dapat dihasilkan derajat informasi medis maupun terapi yang sama, tetapi dengan pembebanan dosis pada pasien yang lebih rendah, yang selanjutnya akan memperkecil resiko.

## 2.8. Nilai Batas Dosis ( NBD )

Nilai Batas Dosis adalah dosis radiasi maksimum yang di izinkan pada jaringan tubuh. Nilai batas dosis yang ditetapkan dalam ketentuan ini adalah penerimaan dosis yang tidak boleh dilampaui oleh pekerja radiasi selama jangka waktu setahun, tidak tergantung laju dosis, baik dari penyinaran eksterna maupun interna, tetapi tidak termasuk dosis penyinaran medis dan penyinaran alam.

**Tabel 2.4.** Dosis maksimum yang diperkenankan bagi pekerja radiasi dan batas dosis bagi masyarakat umum (Gabriel,1993).

Pekerja Radiasi	NBD
<ul style="list-style-type: none"><li>Seluruh tubuh, sumsum tulang, kelenjarkelamin</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>5 rem dalam 1 tahun/3 rem dalam 3 bulan</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Kulit, tulang, kelenjar tiroid</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>30 rem dalam 1 tahun</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Lengan bagian bawah, pangkal kaki</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>75 rem dalam 1 tahun</li><li>15 rem dalam 1 tahun</li></ul>

• Bagian lain dari tubuh	
Masyarakat Umum	Batas Dosis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seluruh tubuh, sumsum tulang, kelenjar kelamin</li> <li>• Kulit, tulang, kelenjar tiroid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.5 rem dalam 1 tahun</li> <li>• 3 rem dalam 1 tahun (anak-anak di bawah umur 16 tahun); 1,5 rem pertahun untuk kelenjar tiroid</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tangan, lengan bawah, pangkal kaki</li> <li>• Bagian lain dari tubuh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7,5 rem dalam 1 tahun</li> <li>• 1,5 rem dalam tubuh</li> </ul>

## 2.9. Efek Radiasi

Setiap radiasi apabila mengenai suatu jaringan dapat mengakibatkan terganggunya suatu fungsi normal tubuh manusia, dari taraf yang paling ringan hingga fatal. Tingkat keparahan dari efek radiasi ini tergantung pada beberapa factor yaitu : jenis radiasi, lamanya penyinaran, jarak sumber terhadap tubuh /organ, ada atau tidaknya penghalang antara sumber dengan organ tubuh.

Efek radiasi ditinjau dari segi sel yang menderita dibagi menjadi dua, yaitu akibat somatik dan akibat genetik. Akibat somatik apabila terjadi, dialami hanya oleh mereka yang menerima penyinaran, sedangkan akibat genetik apabila terjadi, dialami oleh keturunan mereka yang mengalami penyinaran.

Efek somatik berkaitan sekali dengan besarnya radiasi yang diabsorpsi dan respon jaringan terhadap radiasi. Respon yang berlainan ini dinamakan sensitivitas jaringan terhadap radiasi. Efek somatik dibagi menjadi dua yaitu akibat somatik deterministik dan akibat somatik stokastik. Akibat yang bersifat deterministik dicirikan oleh tiga hal, yaitu:

- Adanya dosis minimum tertentu (dosis ambang) yang menyebabkan suatu akibat deterministik tertentu untuk pertama kalinya dapat diamati.
- Keparahan akibat ini akan bertambah bila dosis di atas dosis ambangnya ditambah.
- Ada keterkaitan yang jelas antara penyebab dan akibat.

Beberapa akibat somatik deterministik bersifat khas untuk bagian jaringan tertentu, misalnya katarak untuk lensa mata, kerusakan non-malignan untuk kulit, penghambatan produksi sel pada sumsum tulang yang menyebabkan kelainan haematologi, dan kerusakan sel gonad yang dapat menyebabkan kemandulan. Sedangkan akibat biologi yang bersifat stokastik, efek yang utama adalah timbulnya kanker dan efek genetika. (Wiriyosimin, 1995).

**Tabel 2.5** Dosis radiasi dan efek biologisnya

Dosis radiasi	Efek biologis
25 rem	Perubahan darah
50 rem	Mulai tampaknya dampak biologis radiasi
100 rem	(dalam waktu singkat) sindrom radiasi akut
150 rem	Mual, diare
200 rem	Kematian (10%) dalam beberapa bulan
250 rem	Pola gonad, sterilitas sementara
450 rem	50% perubahan kematian, LD 50/30 (dosis lethal untuk 50% masyarakat diatas 30 hari)
600 rem	Mati
700 rem	Kematian (90%) dalam beberapa bulan
1000 rem	Kematian dalam beberapa hari
10000 rem	Kematian dalam beberapa jam
100000 rem	Kematian dalam beberapa menit

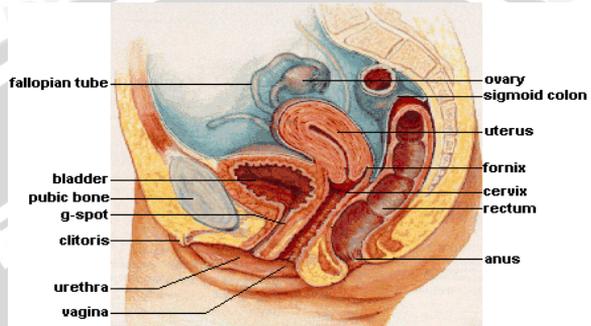
## 2.10. Anatomi Kanker Serviks

Kanker serviks atau kanker pada leher rahim adalah kanker yang terjadi pada serviks - uterus, yaitu suatu daerah pada organ reproduksi wanita yang merupakan pintu masuk kearah rahim yang terletak antara rahim (uterus) dengan liang sanggama. (**Gambar 2.9**) (<http://www.cancerhelps.com/kanker-serviks>)

Kanker serviks terjadi jika sel-sel serviks menjadi abnormal dan membelah secara tak terkendali. Jika sel serviks terus membelah maka akan terbentuk suatu massa jaringan yang disebut tumor yang bisa bersifat jinak atau ganas. Jika tumor tersebut ganas, maka keadaannya disebut kanker serviks.

Menurut para Ilmuwan menerangkan bahwa: sel-sel pada permukaan serviks kadang tampak abnormal tetapi tidak ganas. mereka yakin bahwa beberapa perubahan abnormal pada sel-sel

serviks merupakan langkah awal dari serangkaian perubahan yang berjalan lambat, yang beberapa tahun kemudian bisa menyebabkan kanker. Karena itu beberapa perubahan abnormal merupakan keadaan prekanker, yang bisa berubah menjadi kanker.



**Gambar 2.9.** Anatomi pelvis

Saat ini telah digunakan istilah yang berbeda untuk perubahan abnormal pada sel-sel di permukaan serviks, salah satu diantaranya adalah *lesi skuamosa intraepitel* (lesi artinya kelainan jaringan, intraepitel artinya sel-sel yang abnormal hanya ditemukan di lapisan permukaan).

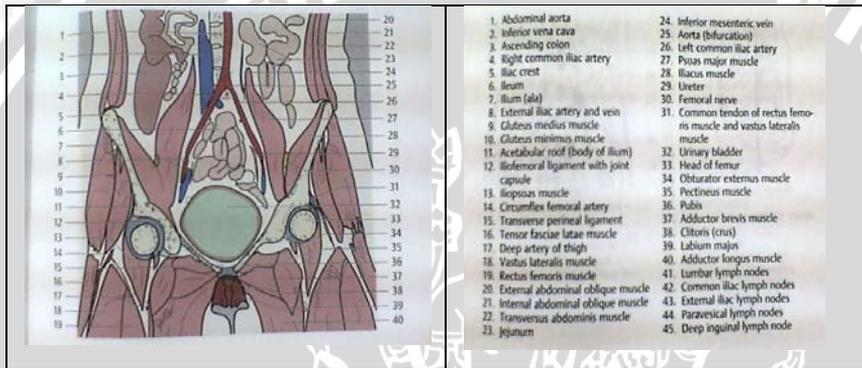
Perubahan pada sel-sel ini bisa dibagi ke dalam 2 kelompok:

- Lesi tingkat rendah : merupakan perubahan dini pada ukuran, bentuk dan jumlah sel yang membentuk permukaan serviks. Beberapa lesi tingkat rendah menghilang dengan sendirinya. Tetapi yang lainnya tumbuh menjadi lebih besar dan lebih abnormal, membentuk lesi tingkat tinggi. Lesi tingkat rendah juga disebut *displasia* ringan atau *neoplasia intraepitel servikal I (NIS I)*. Lesi tingkat rendah paling sering ditemukan pada wanita yang berusia 25-35 tahun, tetapi juga bisa terjadi pada semua kelompok umur.
- Lesi tingkat tinggi : ditemukan sejumlah besar sel prekanker yang tampak sangat berbeda dari sel yang normal. Perubahan prekanker ini hanya terjadi pada sel di permukaan serviks. Selama berbulan-bulan bahkan

bertahun-tahun, sel-sel tersebut tidak akan menjadi ganas dan tidak akan menyusup ke lapisan serviks yang lebih dalam. Lesi tingkat tinggi juga disebut displasia menengah atau displasia berat, NIS 2 atau 3, atau *karsinoma in situ*.

Lesi tingkat tinggi paling sering ditemukan pada wanita yang berusia 30-40 tahun.

Jika sel-sel abnormal menyebar lebih dalam ke dalam serviks atau ke jaringan maupun organ lainnya, maka keadaannya disebut kanker serviks atau *kanker serviks invasif*. Organ –organ lain abdomen atau whole pelvis adalah tampak dalam **Gambar 2.10** berikut.



Gambar 2.10 Anatomi abdomen ( Walter, J., Miller,H.1979)

## 2.11. Terapi penyinaran

Terapi penyinaran (*radioterapi*) merupakan teknik pengobatan yang sangat efektif untuk mengobati kanker serviks invasif yang masih terbatas pada daerah panggul. Pada radioterapi digunakan sinar berenergi tinggi untuk merusak sel-sel kanker dan menghentikan pertumbuhannya.

Pemakaian radiasi dibidang medik meningkat dengan cepat dari waktu ke waktu dan saat ini hampir semua rumah sakit di Indonesia menggunakannya. Sebagaimana diketahui bahwa radiasi disamping bermanfaat juga dapat menimbulkan bahaya. Oleh karena itu, pemakaiannya harus disertai dengan tindakan-tindakan pengamanan. Sinar X , electron, dan Sinar gamma, terbanyak digunakan dalam pengobatan kanker disamping partikel lain. Pada prinsipnya apabila

berkas sinar radioaktif atau partikel dipaparkan ke jaringan, maka akan terjadi berbagai peristiwa antara lain peristiwa ionisasi molekul air yang mengakibatkan terbentuknya radikal bebas di dalam sel yang pada gilirannya akan menyebabkan kematian sel. Lintasan sinar juga menimbulkan kerusakan akibat tertumbuknya DNA (deoxy ribonucleic acid) yang dapat diikuti kematian sel.

Sebenarnya baik sel kanker maupun sel normal akan mengalami peristiwa yang sama, hanya saja pada sebagian besar jenis kanker memperlihatkan kepekaan yang lebih tinggi terhadap sinar gamma dari pada sel-sel normal. Jadi diharapkan, pada pengobatan penyakit kanker, semua sel kanker telah mengalami kematian sebelum terjadi cedera yang berlebih pada sel-sel normal yang masih hidup. Apabila pemberian radiasi dihentikan sel normal ini akan kembali sehat seperti sediakala.

Keadaan ini biasa dicapai apabila dosis yang diberikan tidak melewati ambang dosis kemampuan hidup sel normal dan apabila tidak terlalu banyak jaringan yang terikut serta pada radiasi. Ini berarti makin sedikit jumlah sel kanker yang disinari makin tinggi kemungkinan penyembuhannya. Dengan kata lain, bila benjolan relatif masih kecil pengobatan lebih efektif.

Dalam metode radiasi yang disebut sebagai radiasi pasca bedah, setelah jaringan kanker beserta jaringan normal sekitarnya dioperasi maka menjadi tugas radiasi untuk membersihkan sel-sel kanker yang tertinggal. Metode lain adalah radiasi yang mendahului operasi atau radiasi prabedah seperti halnya yang sering dilakukan pada kanker serviks. Tujuan penyinaran disini adalah untuk memperkecil jaringan kanker sehingga mempermudah spesialis bedah mengangkat semua jaringan kanker, sekaligus untuk mencegah terjadinya penyebaran sel-sel kanker pada saat pembedahan dilakukan.

Pada beberapa keadaan radioterapi dapat berdiri sendiri dalam memberantas sel-sel kanker. Pada kanker leher rahim, kanker pita suara, dan kanker lidah, kesemuanya stadium awal, radiasi dapat dilakukan sebagai alternative pembedahan. Kelebihan cara pengobatan sinar saja adalah masih terpeliharanya fungsi pita suara (masih mampu berbicara normal) dan lidah masih dapat digunakan untuk merasakan makanan.

Metode pengobatan dengan sinar gamma dilakukan dengan cara pemberian sinar luar (radiasi eksterna) dan sinar dalam (brakhiterapi) yang masing-masing mempunyai kelebihan dan

kekurangan. Untuk memperoleh hasil yang optimal sering kali kedua metode diberikan secara kombinasi.

Radiasi eksterna dapat diberikan pada hampir semua jenis kanker tidak tergantung pada stadium, baik awal maupun lanjut, seperti pada anak sebar sel kanker di tulang.

Cara pemberian sinar luar, radiasi terletak pada suatu jarak tertentu ( 80 cm sampai 100 cm ) dari tubuh pasien sinar diarahkan pada lokasi jaringan kanker, biasanya diikuti pula kelenjar getah bening setempat yang mungkin sudah mengandung sel-sel kanker.

Kelebihan cara ini adalah diharapkan semua sel kanker beserta penyebaran kesekelilingan memperoleh radiasi sehingga akan mengalami kematian. Sedang kerugiannya, selain jaringan kanker jaringan normal yang sehat yang berada di lapangan radiasi juga akan memperoleh sinar. Sekalipun jaringan normal mengalami cedera yang lebih ringan dari pada jaringan kankernya, seperti telah diuraikan sebelumnya, namun apabila jaringan normal terlalu banyak yang terlibat maka dikhawatirkan akan terjadi efek samping radiasi yang terlalu berat.

Karena itulah pemberian sinar luar ini harus dibatasi sampai dosis tertentu. Jadi kemungkinan bahwa jaringan kanker memperoleh dosis yang tidak mematikan. Untuk itu diperlukan dosis kompensasi sedemikian rupa sehingga akan tercapai dosis yang mematikan sel kanker. Dosis tambahan ini hanya dapat diperoleh dari cara pemberian sinar dalam atau brakhiterapi.

Sesuai dengan istilahnya maka sinar dalam diberikan dengan cara langsung pada jaringan kankernya, bias dengan menacapkan sumber radiasi ( berupa jarum) langsung ke jaringan kanker seperti pada kanker lidah atau prostat, atau dengan menempatkannya pada struktur anatomis seperti pada kanker serviks. Dengan cara demikian hanya jaringan kanker saja yang memperoleh dosis sinar, sedangkan jaringan normal sekitarnya praktis tidak memperolehnya.

### **2.11.1. Radiasi eksternal pada kanker serviks**

Teknik radiasi pada kasus kanker serviks ini dikenal dengan radiasi abdomen atau whole pelvis. Target penyinaran yang meliputi GTV (gross tumor volume), CTV ( clinical tumor volume), dan PTV (pathological tumor volume) yaitu lapangan penyinaran daerah panggul seluruhnya ( whole pelvis ) dengan 2 lapangan. Arah plan

parallel atau depan dan belakang dengan batas-batas sebagai berikut: batas atas vertebra lumbal 4-5, batas bawah symphysis pubis (2 cm distal lesi yang teraba), dan batas lateral 2cm lateral linea inominata( rongga panggul). **Gambar 2.11.** (Bentel,Nelson)



Keterangan:

- A :Batas lateral
- B :Batas atas vertebra lumbal 4-5
- C :Batas bawah symphysis pubis

**Gambar. 2.11.** Whole pelvis

### **2.11.2. Teknik Penyinaran dan distribusi dosis**

Melalui teknik penyinaran yang baik, distribusi dosis pada tumor dapat merata dan lebih tinggi dari pada dosis jaringan di sekitarnya. Sehingga tujuan radiasi untuk mematikan sel-sel tumor sebanyak-banyaknya dan jaringan sehat sekitarnya masih mampu bertahan dapat tercapai. Selain itu dengan menggunakan kurva isodosis untuk menentukan banyaknya dosis radiasi dan besar kecilnya lapangan yang harus dipakai serta pengaturan kolimasi area yang tepat.

### **2.11.3. Prosedur penghitungan waktu irradiasi dengan tabel**

Pada penyinaran whole pelvis untuk kanker serviks dilakukan dengan teknik penyinaran plan parallel depan dan belakang dengan dosis total pada tumor 200 cGy, pada kedalaman setengah separasi dan jarak source surface distance ( SSD ) 80 cm.

Langkah –langkah penghitungan waktu treatment adalah sebagai berikut:

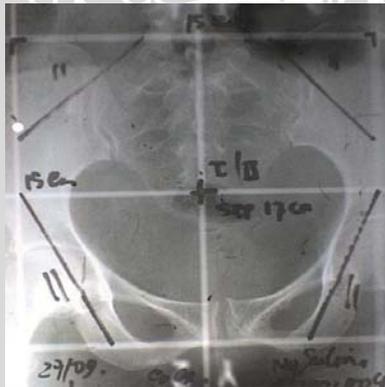
- a. Mengukur salah satu sisi foto terapi simulator untuk menghitung pembesaran :

$$\frac{\text{hasil pengukuran}}{\text{hasil foto simulator}} = \text{Magnifikasi}$$

Contoh :  $M = 21/24 = 1,5$

Atau dengan cara lain melihat perbandingan antara FSD dan SSD dari data simulator.

- b. Menghitung luas lapangan blok yaitu :
  - Semua ukuran blok pada film di bagi pembesarnya.
  - Kemudian dihitung luas blok sesuai bentuk blok
  - Kemudian dijumlahkan semua luas blok
- c. Menghitung luas lapangan identik dengan cara akar dari luas lapangan dikurangi luas blok.
- d. Mencari waktu penyinaran pada table 2.1.yaitu kolom luas lapangan radiasi dan kedalaman yang diperlukan ( setengah separasi).
- e. Hasilnya di bagi dengan factor tray ( bahan akrilik untuk tataan blok Pb.individual ) dan factor koreksi Scp (factor koreksi hamburan sinar gamma dalam bahan dan udara).
- f. Diperoleh waktu penyinaran dan disesuaikan dengan monitor unit masing- masing pesawat Cobalt -60 yang di pergunakan.
- g. Contoh penghitungan luasan blok dari gambar foto simulator adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.12.** Foto simulator

Diketahui dari foto simulator :

- Panjang sisi x pada foto 22,5 cm
- Panjang sisi x lapangan radiasi 15 cm
- Maka magnifikasi nya  $= \frac{22,5}{15} = 1,5$
- Diketahui Luas blok kiri atas ( L1 ) :

$$L1 = \frac{3,5 \text{ cm} \times 9,5 \text{ cm}}{2} \text{ maka ,}$$

$$L1 \text{ sesungguhnya} = \frac{3,5/1,5 \times 9,5/1,5}{2} = 7,4 \text{ cm}$$

- Diketahui Luas blok kiri bawah ( L2 ) :

$$L2 = \frac{3,5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}}{2} \text{ maka ,}$$

$$L2 \text{ sesungguhnya} = \frac{3,5/1,5 \times 8/1,5}{2} = 6,2 \text{ cm}$$

- Diketahui luas blok kanan atas ( L3 ) :

$$L3 = \frac{2,3 \text{ cm} \times 9,5 \text{ cm}}{2} \text{ maka ,}$$

$$L3 \text{ sesungguhnya} = \frac{2,3/1,5 \times 9,5/1,5}{2} = 4,84 \text{ cm}$$

- Diketahui luas blok kanan bawah ( L4 ) :

$$L4 = \frac{3,5 \text{ cm} \times 8,5 \text{ cm}}{2} \text{ maka ,}$$

$$L4 \text{ sesungguhnya} = \frac{3,5/1,5 \times 8,5/1,5}{2} = 6,6 \text{ cm}$$

- Maka luas blok seluruhnya = L1 + L2 L3 + L4 = 25.05 cm
- Diketahui lapangan radiasi = 14 cm x 14 cm maka,
- Lapangan radiasi identik  $= \sqrt{\text{luas lapangan} - \text{luas blok}}$   
 $= \sqrt{196 - 25,05} = 13$   
 $\approx 13 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$

#### 2.11.4. Prosedur penghitungan waktu treatment dengan table PDD.

- Hitung luas identik lapangan radiasi
- Lihat pada table PDD sesuai kedalaman yang di tentukan
- Hitung waktu penyinaran dengan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{GD}{D \times f_k (\text{tray}) \times Scp} \dots\dots\dots 2.15$$

Dimana :

- T = waktu penyinaran
- GD = Given dose ( Lampiran tabel 1)
- D = Dose rate / laju dosis
- Fk tray = Faktor tray
- Scp = Faktor hambur/ serap (Lampiran tabel 2)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Tugas akhir ini bertujuan untuk studi tentang pengaruh irradiasi sinar gamma terhadap organ kritis dalam area penyinaran radiasi abdomen pada penderita kanker serviks dengan menganalisa dosis yang diterima oleh masing-masing organ kritis. Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini maka metodologi yang digunakan adalah dengan menganalisa secara fisik respon radiasi yang timbul terhadap pasien dan menghitung akumulasi dosis per fraksi penyinaran. Setelah didapatkan hasil perhitungan dosis radiasi pada organ dan efek yang terjadi maka dapat ditentukan bahwa efek tersebut adalah pengaruh radiasi yang melebihi nilai batas ambang atau bukan.

#### **3.1. Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 15 Maret s/d 27 Juli 2009. Penelitian dilaksanakan di Bagian Radioterapi Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang.

#### **3.2. Persiapan Sampel dan Persiapan Alat**

Penelitian dilakukan pada empat macam sampel pasien kanker serviks, yaitu dua pasien dengan status tanpa operasi dan dua pasien dengan status post operasi. Dengan memberikan perlakuan yang sama pada masing-masing pasien teknik penyinaran maupun area radiasi yang sama. Pengamatan efek akut yang muncul pada penderita dilakukan mulai dari awal sebelum dilakukan penyinaran, selama fraksi penyinaran yaitu tiap lima kali penyinaran sampai total dosis radiasi tumor selesai yaitu 5000 cGy. Tahap penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Persiapan alat dan bahan.
- b. Pengamatan terhadap kondisi pasien sebelum diradiasi sebagai data awal yaitu :
  - Hasil laboratorium darah
  - Anamnesa pasien dan hasil pemeriksaan klinis dokter,
  - Hasil foto CT Scan atau MRI, dan
  - Data Simulator

- c. Perekaman data respon radiasi dan penghitungan dosis pada organ kritis.
- d. Analisa data.

### 3.2.1. Persiapan Alat dan Teknik Penyinaran

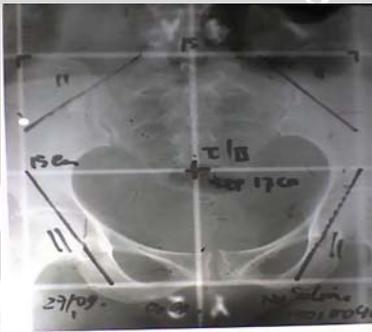
Sinar gamma yang digunakan untuk irradiasi tumor pada penderita kanker serviks ini berasal dari sumber Cobalt-60 yaitu pesawat telegamma terapi Cobalt-60. Peralatan penunjang yang digunakan dalam proses planning perencanaan sinar yaitu pesawat simulator untuk penggambaran dan penentuan batas – batas lapangan penyinaran pada penderita yang akan diradiasi, marker untuk identifikasi target penyinaran, blok dari bahan timah atau Pb. untuk melindungi organ kritis dan pembatasan lapangan radiasi, serta pembuatan kontur posisi target dari foto MRI (Gambar 3.2) atau dengan alat Conformator dan penghitungan dosis radiasi dengan perangkat TPS (treatment planning system).

Teknik penyinaran yang digunakan adalah dengan menggunakan teknik isosentris plan parallel dari arah depan (anterior) dan dari belakang (posterior) pada whole pelvis , dengan batas-batas lapangan radiasi seperti dalam ( Gambar 3.1) sebagai berikut:

Atas : Antara thoraco-lumbal 4 dan 5.

Bawah : Bagian bawah simfisis pubis atau bila ada infiltrasi di vagina minimal 2 cm distal lesi yang teraba.

Lateral : 2 cm dari linea innominata (rongga panggul)



**Gambar 3.1.** Planning Simulator



**Gambar 3.2.** Foto MRI

### 3.2.2 Pengamatan terhadap pasien sebelum di radiasi

Merupakan langkah awal pengambilan data terhadap pasien sebelum dilakukan penyinaran yaitu pengecekan hasil pemeriksaan laboratorium darah. Untuk dapat diberikan radiasi sekurang-kurangnya : Hb 10 gr%, Leukosit  $\geq 3000$ , Trombosit  $\geq 80000$  dan selanjutnya dilakukan pengecekan setiap lima kali penyinaran. Tanda marker batas lapangan penyinaran harus tampak jelas dan jarak penyinaran tepat 80 cm pada sentrasi yang ditunjukkan dengan laser dan skala jarak SSD (Source Skin Distance) pada pesawat telegamma terapi. Anamnesa dan keluhan pasien sebelum sinar merupakan data awal sebagai bahan analisa efek radiasi.

### 3.2.3 Perekaman data respon radiasi

Pengamatan respon radiasi dan penghitungan dosis pada organ kritis yaitu : rectum, blass ( kandung kencing), usus halus dan jaringan soft tissue kulit.

Dalam penelitian ini di kelompokkan dalam 11 parameter pengamatan efek samping pada penderita yaitu:

1. Mual , nyeri perut ,dan diare
2. Dysurea / anyang –anyang keluhan sakit saat kencing.
3. Nafsu makan turun
4. Hb darah turun, pusing
5. Transfusi darah
6. Kesemutan terasa nyeri dan kram abdoment
7. Peradangan pada kulit
8. Penghitaman dan gatal pada kulit
9. Sembelit sakit saat buang air besar
10. Pendarahan dan nyeri punggung
11. Kondisi umum /KU penderita lemah
12. Kondisi umum / KU baik tidak ada keluhan.

Tabulasi hasil dari pengamatan merupakan variable data yang akan dianalisa sebagai respon pengaruh radiasi dalam proses radioterapi.

**Tabel 3.2** . Tabulasi akumulasi dosis efektif ( pada halaman lampiran)

### 3.2.4. Penghitungan dosis pada organ kritis.

Organ yang paling besar menanggung akibat penyinaran abdomen atau whole pelvis yang diterima terhadap organ kritis terdampak pada area penyinaran yaitu : rektum, blass ( kandung kencing), usus halus, colon,sumsum tulang dan jaringan soft tissue kulit.( Gambar 3.3.)

## 3.3. Analisa Data

### 3.3.1. Analisis Perhitungan Dosis pada organ kritis

Data hasil perhitungan dosis serap yang diterima oleh organ kritis selama per kali penyinaran dapat digunakan sebagai perhitungan terhadap nilai batas ambang dari organ kritis tersebut dan korelasinya terhadap pengaruh efek samping radiasi yang timbul. Dengan menggunakan persamaan :

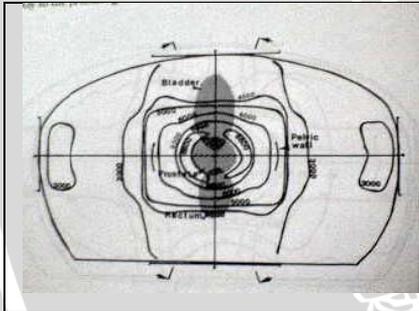
$$D_T = D_K \cdot e^{-\mu \Delta x}$$

Dimana :

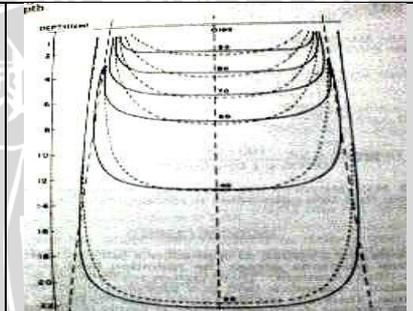
$D_T$  = Dosis tumor

$D_K$  = Dosis permukaan kulit

$e^{-\mu \Delta x}$  = Persen depth dose ( PDD) organ (Gambar 3.4.)



Gambar 3.3.Planning isodosis



Gambar 3.4. Tabel PDD

### 3.3.2 Analisa Efek Radiasi Akut

Dengan membandingkan faktor bobot masing –masing organ kritis, terhadap pengaruh dosis yang diterima dalam fraksi penyinaran, dan efek radiasi akut yang timbul terhadap penderita yang diradiasi. Dosis efektif yang diterima organ kritis yang terdampak dalam area penyinaran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_E = W_T \cdot W_R \cdot D_{Organ}$$

Dimana :

- $H_E$  = Dosis Effektif Organ
- $W_T$  = Faktor bobot untuk jaringan
- $W_R$  = Faktor Radiasi
- $D_{Organ}$  = Dosis pada organ

### 3.3.3. Tahapan Pelaksanaan kerja

Langkah pertama menyiapkan Status dan melakukan anamnesa kondisi penderita sesuai prosedur dan planning rencana penyinaran yaitu 25 kali treatment dengan dosis total pada tumor 5000 cGy. Jumlah penderita kanker serviks yang menjadi sample dalam penelitian ini secara acak dari 8 kasus pasien yang ada diambil 4 pasien yang memenuhi persyaratan: status, usia antara 40 s/d 55 tahun, hasil patologi anatomi keganasan, stadium I dan II dengan kondisi secara umum baik.

Langkah kedua pengambilan data awal dengan membuat tabulasi data pengamatan terhadap parameter respon saat pemberian irradiasi hari pertama dengan dosis radiasi pada tumor 200 cGy per kali treatment sampai lima kali penyinaran yaitu 1000 cGy.

Langkah ketiga pengambilan data hasil laboratorium darah dan pengamatan terhadap gejala-gejala yang timbul dan selanjutnya pengambilan data dan pengamatan dilakukan setiap lima kali penyinaran.

Langkah ke empat penghitungan dosis pada titik-titik ordinat organ kritis dari hasil planning perencanaan sinar, foto simulator, foto MRI atau CT Scan.

Langkah ke lima menganalisa hasil pengamatan dan perhitungan dosis efektif yang diterima organ kritis setiap minggu dengan referensi nilai batas dosis ( NBD ) masing-masing organ kritis.

Langkah ke enam mengambil kesimpulan dari masing-masing penderita terhadap efek biologis dan korelasinya dengan dosis radiasi yang diterima organ kritis hasil perhitungan.

### 3.3.4. Tahapan Pelaksanaan Kerja



**Gambar 3.5.** Alur Pelaksanaan Kerja

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Identifikasi Sampel dan Sumber Irradiasi**

Dari tinjauan kasus selama bulan Maret sampai dengan Juli 2009 di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum dr. Saiful Anwar Malang terhadap 8 penderita kanker serviks yang menjalani pengobatan dengan radiasi diambil 4 kasus penderita yang memenuhi ketentuan dalam batasan masalah dalam penelitian ini. Masing-masing kasus diberikan perlakuan yang sama dalam pemberian penyinaran sesuai protokol dan prosedur radioterapi. Usia penderita adalah antara 40 tahun sampai 55 tahun dengan stadium awal sampai stadium II B dengan kondisi umum baik.

Dari keempat kasus tersebut diambil 2 penderita dengan status tanpa operasi dan 2 penderita setelah operasi abdomen. Rencana pemberian dosis total radiasi adalah 5000 cGy yang dibagi dalam 5 fraksi penyinaran. Pengamatan respon radiasi dilakukan sebelum irradiasi, selama irradiasi dan setiap fraksi radiasi yaitu setiap 5 kali penyinaran.

Sumber Irradiasi dan spesifikasi peralatan radioterapi yang digunakan adalah sebagai berikut :

Nama peralatan	: Pesawat Telegamma terapi Cobalt-60
Merk alat	: GWXJ 80 – NPIC
Sumber Radiasi	: Cobalt-60
Waktu paruh	: 5,27 tahun
Aktivitas sumber	: 6000 Ci
Tahun pembuatan	: 2007

#### **4.2. Hasil analisa kasus penderita sebelum Irradiasi**

Kasus pada penderita P-1, usia 45 tahun dengan kanker serviks stadium II B, tanpa operasi. Hasil pemeriksaan laboratorium darah: Hb = 12,9 gr/dl ; leukosit = 7300 ; trombosit = 358000/cm. Rencana eksternal radiasi dengan teknik penyinaran dua arah dari depan dan belakang dengan planning perencanaan sinar sebagai berikut: Dosis tumor 200 cGy dengan area 15x15 cm separasi 17 cm dan kedalaman tumor 6,5 cm. Kondisi penderita secara umum baik.

Kasus pada penderita P-2, usia 50 tahun dengan kanker serviks stadium II B, tanpa operasi. Hasil pemeriksaan laboratorium darah: Hb = 12,8 gr/dl ; leukosit = 12100 ; trombosit = 469000/cm.

Rencana eksternal radiasi dengan teknik penyinaran dua arah dari depan dan belakang dengan planning perencanaan sinar sebagai berikut: Dosis tumor 200 cGy dengan area 15x15 cm separasi 21cm dan kedalaman tumor 10,5 cm. Hasil anamnesa: kondisi penderita secara umum baik.

Kasus pada penderita P-3, usia 54 tahun dengan kanker serviks stadium II B, setelah operasi. Hasil pemeriksaan laboratorium darah: Hb = 12,9 gr/dl ; leukosit = 18000 ; trombosit = 109000/cm. Rencana eksternal radiasi dengan teknik penyinaran dua arah dari depan dan belakang dengan planning perencanaan sinar sebagai berikut: Dosis tumor 200 cGy dengan area 19x15 cm separasi 19 cm dan kedalaman tumor 9,5 cm. Hasil anamnesa: kondisi fisik penderita lemah, nyeri perut, nafsu makan turun.

Kasus pada penderita P-4, usia 40 tahun dengan kanker serviks stadium II A, setelah operasi. Hasil pemeriksaan laboratorium darah: Hb = 12,3 gr/dl ; leukosit = 6400 ; trombosit = 339000/cm. Rencana eksternal radiasi dengan teknik penyinaran dua arah dari depan dan belakang dengan planning perencanaan sinar sebagai berikut: Dosis tumor 200 cGy dengan area 15x21 cm separasi 19 cm dan kedalaman tumor 8,5 cm. Kondisi penderita secara umum baik.

#### **4.3. Hasil Analisa Efek akut terhadap organ kritis**

Dari analisa planning perencanaan sinar yang telah ditetapkan yaitu dari foto simulator dan foto MRI bahwa organ-organ kritis yaitu organ yang normal disekitar tumor atau target penyinaran yang terkena radiasi dan berpotensi menimbulkan efek akut di dapatkan yaitu organ:

- Rektum
- Blass atau kandung kemih
- Usus halus
- Colon atau usus besar
- Sendi panggul
- Sumsum tulang belakang
- Kulit

Organ-organ tersebut merupakan organ terdampak dalam area penyinaran abdomen.

#### 4.4. Analisa Perhitungan Dosis Radiasi dan Tingkat Resiko

Hasil perhitungan dosis efektif pada organ kritis terhadap penderita yang sedang menjalani terapi radiasi dan resiko timbulnya efek radiasi pada organ adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1.** Dosis Efektif Organ kritis Penderita P-1 dan tingkat resiko timbulnya efek radiasi pada organ

No	Organ Kritis	$\Sigma$ Dosis Efektif per Fraksi Sinar dalam Rem					Tingkat Resiko timbulnya efek Radiasi pada organ
		Mg I	Mg II	MgIII	MgIV	MgV	
1	Rectum	57	114	171	228	285	III
2	Blass	56,4	112,8	169,2	225,6	282	IV
3	Usus halus	50	100	150	200	250	V
4	Colon	130	260	390	520	650	II
5	Sendi Panggul	9,95	19,9	29,85	39,8	49,75	VII
6	Sumsum tulang	134,5	269	403,5	538	672,5	I
7	Kulit	10,8	21,6	32,4	40,32	54	VI

**Tabel 4.2.** Dosis Efektif Organ kritis Pasien P-2 dan tingkat resiko timbulnya efek radiasi pada organ

No	Organ Kritis	$\Sigma$ Dosis Efektif per Fraksi Sinar dalam Rem					Tingkat Resiko timbulnya efek Radiasi pada organ
		Mg I	Mg II	MgIII	MgIV	MgV	
1	Rectum	60	120	180	240	300	V
2	Blass	65	112,8	195	260	325	IV
3	Usus halus	75	150	225	300	375	III
4	Colon	160	320	480	540	800	I
5	Sendi Panggul	15	30	45	60	75	VI
6	Sumsum tulang	140	280	420	560	700	II
7	Kulit	15	30	45	60	75	VI

**Tabel 4.3** Dosis Effektif Organ kritis Pasien P-3 dan tingkat resiko timbulnya efek radiasi pada organ

No	Organ Kritis	$\Sigma$ Dosis Effektif per Fraksi Sinar dalam Rem					Tingkat Resiko timbulnya efek Radiasi pada organ
		Mg I	Mg II	MgIII	MgIV	MgV	
1	Rectum	50	100	150	200	250	IV
2	Blass	50	100	150	200	250	IV
3	Usus halus	55	110	165	220	275	III
4	Colon	130	260	390	520	650	I
5	Sendi Panggul	10	20	30	40	50	V
6	Sumsum tulang	120	240	360	480	600	II
7	Kulit	10	20	30	40	50	V

**Tabel 4.4.** Dosis Effektif Organ kritis Pasien P-4 dan tingkat resiko timbulnya efek radiasi pada organ

No	Organ Kritis	$\Sigma$ Dosis Effektif per Fraksi Sinar dalam Rem					Tingkat Resiko timbulnya efek Radiasi pada organ
		Mg I	Mg II	MgIII	MgIV	MgV	
1	Rectum	46,2	92,4	138,8	184,8	231	IV
2	Blass	53	106	159	212	265	II
3	Usus halus	49,8	99,6	149,4	199,2	249	III
4	Colon	121,5	243	364,5	486	607,5	I
5	Sendi Panggul	9,5	19	28,5	38	47,5	VI
6	Sumsum tulang	121,5	243	364,5	486	607,5	I
7	Kulit	10,15	20,3	30,45	40,6	50,75	V

#### 4.4.1. Analisa Respon radiasi pada Pasien P-I

Akumulasi dosis yang diterima oleh organ kritis terhadap pasien P-1 setelah total dosis 5000 cGy diketahui bahwa urutan tingkat resiko dari yang paling besar menerima dosis radiasi ditunjukkan pada **Table 4.1** yaitu:

- Sumsum tulang : 672,5 Rem ( 30%)
- Colon : 650 Rem ( 29%)

- Rektum : 285 Rem ( 12,7% )
- Blass : 282 Rem ( 12,6%)
- Usus halus : 250 Rem ( 11,2%)
- Kulit : 54 Rem ( 2,4%)
- Sendi panggul : 49,75 Rem ( 2,3% )

Dari analisa hasil pengamatan respon terhadap keluhan pasien setiap lima kali penyinaran atau per fraksi selama menjalani terapi radiasi adalah sebagai berikut:

Sebelum di irradiasi secara umum kondisi fisik normal, tidak ada keluhan dengan Hb darah 12,9 gr/dl.

Minggu ke-1

Setelah pasien mendapat penyinaran 5 kali dengan total dosis tumor 1000 cGy, pasien mengalami mual, nyeri perut dan gangguan ekskresi saat kencing. Hasil laboratorium darah Hb turun menjadi 11,4 gr/dl.

Minggu ke-2

Dosis radiasi yang diterima 2000 cGy. Kondisi fisik pasien makin lemah dengan keluhan mual disertai diare, nafsu makan menurun, Hb darah drop menjadi 10 gr/dl. pasien dilakukan perawatan untuk perbaikan kondisi yaitu tranfusi darah sampai Hb mencapai 11,0 gr/dl.

Minggu ke-3

Total dosis pada pasien 3000 cGy.ada fraksi III mulai dilanjutkan penyinaran kondisi pasien secara umum mulai membaik tidak ada keluhan mual atau diare namun kondisi masih lemah.

Minggu ke-4

Dosis yang diterima pasien 4000 cGy. Kondisi hasil evaluasi ekondisi baik Hb. darah normal 12,2 gr/dl. tidak ada keluhan, nafsu makan mulai normal.

Minggu ke-5

Pasien selesai menjalani terapi radiasi dengan dosis total 5000 cGy. Keluhan tidak ada, respon sinar positif.

#### 4.4.2. Analisa Respon radiasi pada Pasien P-2

Dari perhitungan dosis terhadap organ kritis setelah irradiasi dengan total dosis 5000 cGy diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan dalam **Table.4.2** yaitu:

- Colon : 800 Rem (30%)
- Sumsum tulang : 700 Rem (26,5%)
- Usus halus : 375 Rem (14,2%)
- Blass : 325 Rem (12,3%)
- Rektum : 300 Rem (11,4%)
- Kulit : 75 Rem (2,9%)
- Sendi panggul : 75 Rem (2,9%)

Hasil analisa pengamatan yang dilakukan setiap minggu yaitu setelah 5 kali penyinaran adalah sebagai berikut:

Sebelum penyinaran kondisi fisik pasien baik, tidak ada keluhan dengan Hb darah normal 12,8 gr/dl.

##### Minggu ke-1

Setelah diberikan radiasi 5 kali dengan dosis total 1000 cGy, muncul efek pada pasien yaitu mual perut mulas dan nyeri. Pada awal penyinaran secara psikis kondisi pasien tegang ada perasaan takut saat dilakukan treatmen. Terjadi penurunan dalam batas normal dari hasil tes laboratorium darah menjadi 11,8 gr/dl.

##### Minggu ke-2

Jumlah dosis yang diberikan 2000 cGy, setelah menjalani fraksi ke-2 penyinaran ini terjadi keluhan lemas dan mual perut diikuti diare dengan derajat ringan, secara umum kondisi masih baik Hb darah normal 12,2 gr/dl.

##### Minggu ke-3

Akumulasi dosis yang diterima pasien 3000 cGy. Setelah menerima dosis pada Fraksi III ini keluhan mual dan diare mulai berkurang kondisi membaik hasil tes darah Hb ada penurunan masih batas normal 11,2 gr/dl.

Minggu ke-4

Akumulasi dosis yang diterima pasien 4000 cGy. Efek yang terjadi ada keluhan perut terasa nyeri dengan disertai pendarahan dengan derajat sedang saat buang air besar, hasil tes darah masih normal Hb 11,5 gr/dl.

Minggu ke-5

Akumulasi dosis yang diterima pasien 5000 cGy. Setelah menyelesaikan fraksi sinar ini pendarahan berhenti tetapi masih ada nyeri saat buang air besar. Kondisi pasien secara umum mulai membaik.

#### **4.4.3. Analisa Respon radiasi pada Pasien P- 3**

Status pasien P-3 ini adalah 10 hari setelah menjalani operasi abdomen. Dari data perhitungan dosis organ pada **Tabel 4.3** setelah di irradiasi dengan total dosis 5000 cGy adalah:

- Colon : 650 Rem (30%)
- Sumsum tulang : 600 Rem (28%)
- Usus halus : 275 Rem (13%)
- Rektum : 250 Rem (11,8%)
- Blass : 250 Rem (11,8%)
- Kulit : 50 Rem (2,4%)
- Sendi panggul : 50 Rem (2,4%)

Diagnosa awal pasien sebelum irradiasi lemah, dengan keluhan susah buang air besar, perut terasa nyeri dan perut kejang disertai pendarahan dengan derajat sedang ada kemungkinan komplikasi dari operasi.

Minggu ke-1

Penyinaran dilakukan segera untuk tujuan menghentikan pendarahan. Setelah fraksi I dengan dosis total 1000 cGy pendarahan masih ada, perut terasa nyeri pasien merasa kesakitan, nafsu makan turun mual disertai muntah, Hb darah 11,3 gr/dl ada penurunan sedikit dalam batas normal.

Minggu ke-2

Setelah akumulasi dosis yang diterima pasien 2000 cGy pada fraksi II ini pendarahan berhenti, perut masih nyeri dan kram di abdomen kondisi sangat lemah pasien diberikan perawatan. Hasil darah Hb terjadi penurunan/ drop sampai 10.1 gr/dl.

Minggu ke-3

Total dosis yang diterima pasien 3000 cGy pada akhir fraksi III ini, pasien masih dilakukan perawatan karena Hb masih rendah 10,5 gr/dl keluhan kram perut hilang kondisi mulai membaik namun masih lemah.

Minggu ke-4

Setelah diberikan dosis sampai 4000 cGy disamping radiasi eksternal pasien menjalani kemoterapi dan perawatan kondisi secara umum membaik tidak ada keluhan. Hasil Hb darah meningkat 11,9 gr/dl.

Minggu ke-5

Akumulasi dosis pada akhir fraksi penyinaran yaitu 5000 cGy, kondisi pasien baik, tidak ada keluhan.

#### 4.4.4. Analisa Respon radiasi pada Pasien P- 4

Status awal pasien sebelum dilakukan irradiasi selesai menjalani operasi abdomen/post op. kondisi fisik baik dengan Hb darah 12,3 gr/dl. Hasil perhitungan dosis selama menjalani terapi radiasi dengan total dosis 5000 cGy pada **Table 4.4** sebagai berikut :

- Colon : 607,5 Rem (29,6%)
- Sumsum tulang : 607,5 Rem ( 29,6%)
- Blass : 265 Rem (12,9%)
- Usus halus : 249 Rem (12,1%)
- Rektum : 231 Rem (11,3%)
- Kulit : 50,75 Rem (2,5%)
- Sendi panggul : 47,5 Rem (2,3%)

Analisa respon terhadap penerimaan dosis dilakukan setiap minggu atau lima kali penyinaran adalah sebagai berikut:

#### Minggu ke-1

Setelah dilakukan penyinaran sampai 5 kali dengan total dosis 1000 cGy, kondisi fisik baik belum ada keluhan. Hasil laboratorium Hb darah 10,5 gr/dl terjadi penurunan.

#### Minggu ke-2

Setelah akumulasi dosis penyinaran 2000 cGy, efek radiasi mulai terjadi. Pasien merasakan mual disertai diare sedang, kepala pusing, badan lemah, hasil darah menurun menjadi 10,4 gr/dl.

#### Minggu ke-3

Jumlah dosis total yang diterima pasien 3000 cGy sampai akhir fraksi III sinar pasien mendapat perawatan, hasil darah naik menjadi 11,5 gr/dl. Keluhan yang dirasakan adalah mual dan diare masih badan terasa lemah nafsu makan turun.

#### Minggu ke-4

Setelah sampai fraksi IV dengan akumulasi dosis 4000 cGy kondisi pasien drop, Hb darah turun 9,8 gr/dl pasien menjalani transfusi dan perawatan perbaikan kondisi hingga darah menjadi normal 11,1 gr/dl.

#### Minggu ke-5

Pasien dapat menyelesaikan terapi radiasi sampai dosis total 5000 cGy. kondisi pasien secara umum membaik, tidak ada keluhan.

Dari hasil analisa dan penghitungan dosis efektif organ kritis dalam penyinaran abdomen terhadap penderita kanker serviks didapatkan akumulasi dosis radiasi sebagai berikut:

Dosis Organ Pasien	Akumulasi dosis efektif organ kritis (dalam Rem)						
	Rektum	Blass	Usus Halus	Colon	Sendi Panggul	Kulit	Sumsum tulang
<b>P-1</b>	285	282	250	650	49,75	54	672,5
<b>P-2</b>	300	325	375	800	75	75	700
<b>P-3</b>	250	250	275	650	50	50	600
<b>P-4</b>	231	265	249	607,5	47,5	50,75	607,5
<b>Dosis rata-rata</b>	267	281	288	677	56	58	646
<b>Batas ambang timbulnya efek</b>	150	50 s/d 100	200	450	50	25 s/d 50	25 s/d 600

**Tabel 4.5.** Akumulasi Dosis Effektif rata-rata Organ Kritis

#### **4.5. Pengaruh Irradiasi sinar gamma, Dosis radiasi dan Efek biologis terhadap organ kritis**

Setelah menganalisa potensi timbulnya efek biologis terhadap organ kritis, perhitungan dosis radiasi, dan hasil pengamatan diperoleh hasil bahwa dosis efektif rata-rata melebihi batas ambang dari organ dan didapatkan kesesuaian antara potensi efek biologis radiasi dengan efek samping yang timbul di alami penderita. Respon radiasi dari tabulasi data pengamatan terhadap penderita kanker serviks dan potensi timbulnya efek akut pengaruh dosis irradiasi seperti dalam **Tabel 4.6.** berikut:

**Tabel 4.6.** Pengaruh Irradiasi organ kritis terhadap Dosis radiasi dan Efek Biologis Pada Kanker Serviks

No	Nama Organ	Dosis Efektif rata-rata (Rem)					NBD Organ (Rem)	Batas Ambang Timbulnya Efek	Efek Biologis	Efek radiasi yang Teramati	Ket
		Mg I	Mg II	Mg III	Mg IV	Mg V					
1	Rektum	54	107	160	214	267	50	150 Rem	sebelit	nyeri saat bab,sebelit	#
2	Blass	57	108	169	225	281	50	50-100 Rem	sistitis	Aryang-aryang, Sakit saat kencing	#
3	Usus Habus	58	115	173	200	288	50	200 Rem	mual, diare, kesusakan sel	rulus, mencepet	#
4	Cuba	106	271	407	517	677	50	450 Rem	nyeri perut, sindrom akut	pedalahaari,bejang	#
5	Sendi panggul	12	23	34	45	56	60	50 Rem	mulai tampak efek biologis	nyeri persendian	#
6	Kulit	12	23	35	46	58	50	25-50 Rem	Mulai timbul penebalan sel	kekerahan,gatal	#
7	Sunsum Tulang	129	258	387	516	645	50	25-600 Rem	kerusakan dan kematian sel	Hb drop ,transfusi	#

**Keterangan :**  
# Terdapat kesesuaian

#### 4.6. Tingkat Resiko terhadap Organ Kritis

Setelah menganalisa potensi timbulnya efek biologis terhadap organ, yang dapat diketahui dari akumulasi dosis yang diterima oleh organ, tingkat potensi efek radiasi terparah dari organ kritis akibat penyinaran pelvis atau abdomen pada kasus kanker serviks adalah seperti pada **Tabel 4.7** berikut ini:

**Tabel 4.7.** Analisa Tingkat resiko Organ kritis terhadap Akumulasi dosis radiasi

No	Pasien	Tingkat Resiko Organ kritis terhadap Dosis Radiasi			
		I	II	III	IV
1	P-1	Sumsum tulang	Colon	Rektum	Blass
2	P-2	Colon	Sumsum tulang	Usus halus	Blass
3	P-3	Colon	sumsum tulang	Usus halus	Rektum,Blass
4	P-4	Sumsum tulang	Blass	Usus halus	Rektum

#### 4.7. Distribusi dosis radiasi dan efek biologis yang teramati

Dalam pembahasan ini, salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya efek somatik adalah distribusi dosis radiasi yang mengenai organ tersebut. Semakin luas atau bagian organ yang terpapar radiasi dan semakin besar dosis radiasi yang mengenai organ, semakin parah efek biologis yang timbul. Dari hasil tabulasi data efek radiasi yang dialami penderita merupakan efek samping radiasi yang timbul sesaat dan selama irradiasi dilakukan dan efek tersebut akan berangsur berkurang setelah radiasi itu dihentikan atau selesai.

Pengaruh irradiasi sinar Gamma terhadap tubuh manusia mengakibatkan terjadinya kerusakan sel yang secara umum dapat digolongkan menjadi 3 tahap yaitu: tahap kerusakan efek somatik, tahap kerusakan efek tertunda, tahap kerusakan efek genetik. Ketiga macam tahap kerusakan tersebut merupakan kelanjutan dari proses kerusakan sel sebelumnya.

Dalam pembahasan ini yang menjadi perhatian adalah tahap kerusakan efek somatik yaitu pengaruh yang langsung tampak pada penderita yang sedang menjalani pengobatan terapi radiasi. Kerusakan organ tubuh karena efek somatik disebabkan karena sel-sel pembentuk jaringan tidak membelah lagi. Bisa juga karena pembelahannya tertunda atau pembelahan sel-selnya tidak normal, sehingga jaringan yang terkena radiasi tersebut mati. Beberapa faktor fisis yang mempengaruhi terjadinya efek somatik adalah:

- Jenis radiasi yang mengenai tubuh manusia, dalam hal ini sinar Gamma cobalt-60.
- Banyaknya dosis serap yang diterima oleh organ tubuh.
- Waktu paparan yang diterima oleh organ tubuh. Dosis yang mematikan apabila mengenai tubuh dalam waktu yang singkat tidak akan mengakibatkan kematian. Lain halnya bila terkena paparan dalam waktu yang lama.
- Distribusi dosis radiasi, apabila tersebar merata keseluruh tubuh atau hanya mengenai organ tertentu saja.

Efek somatik yang akibatnya tampak dalam waktu singkat atau relatif tidak terlalu lama dalam penyinaran abdomen ini yaitu:

- Kerusakan pada sistem pencernaan.  
Paparan radiasi 500-2000 Rad atau cGy akan menimbulkan gejala somatik dalam waktu beberapa jam, sedangkan kematian sel akan terjadi dalam waktu beberapa minggu setelah terkena paparan radiasi. Radiasi dengan dosis seperti tersebut akan merusakkan sistem pencernaan atau organ perut. Radiasi ini mengakibatkan kematian sel sehingga sering disebut dengan gastrointestinal tract death ( GI death).
- Kerusakan pada sumsum tulang / sel-sel darah.  
Pada dosis radiasi < 500 cGy, kerusakan yang utama adalah pada organ pembentuk sel-sel darah, yaitu sumsum tulang. Kerusakan ini juga menimbulkan kematian sel. Kerusakan pada sumsum tulang yang menimbulkan kematian sel ini disebut juga bone marrow death (BM death). Gejala kerusakan akan tampak

dalam beberapa hari dan efek somatik selengkapnya akan muncul setelah beberapa minggu setelah terkena radiasi. Kecepatan timbulnya gejala sebenarnya tergantung pada dosis radiasi yang diterima organ. Dosis radiasi 300 – 500 cGy sudah pasti dapat menimbulkan kematian sel, karena kerusakan yang terjadi pada sumsum tulang belakang juga menyebabkan kerusakan pada darah, padahal darah mempunyai fungsi yang sangat vital. Perlu diketahui bahwa darah terdiri atas 3 sel utama, yaitu:

- Sel erythrocyte (sel darah merah) yang berguna untuk mengangkut oksigen dan makanan ke seluruh bagian tubuh dan membuang sisa kotoran hasil pembakaran atau hasil pembelahan sel dari bagian tubuh manusia.
- Sel leukocyte (sel darah putih) yang berfungsi sebagai pasukan yang melawan infeksi yang terjadi di dalam tubuh.
- Sel platelet yang berfungsi membantu pembekuan darah manakala terjadi luka, sehingga darah tidak terus mengalir keluar dari luka.

Ketiga macam sel tersebut terlarut dalam plasma darah yang mengandung air, protein, garam, dan ion-ion bebas. Perbandingan sel utama darah dan plasma darah kurang lebih adalah 45 % sel erythrocyte, 1 % sel leukocyte berikut platelet dan 54 % plasma darah.

Dosis radiasi aman bagi manusia seperti yang diuraikan dalam tinjauan pustaka adalah dosis maksimum yang dapat diterima oleh tubuh manusia tanpa menimbulkan pengaruh atau efek terhadap manusia. Dengan kata lain dosis radiasi aman adalah nilai batas radiasi yang diizinkan. Nilai batas radiasi yang diizinkan perlu diketahui agar setiap pemakaian zat radioaktif tidak menimbulkan radiasi yang berlebihan bagi pemakainya dan lebih utama lagi tidak menimbulkan bahaya bagi pemakainya. Adapun batas radiasi yang dimaksudkan dalam masalah ini adalah batas maksimum yang diizinkan tidak dilampaui, maka dapat dijamin bahwa pemakaian zat radioaktif tersebut tidak akan berdampak negatif, baik untuk manusia maupun bagi lingkungan. Ketentuan nilai batas dosis tersebut tidak termasuk dosis penyinaran yang direncanakan untuk terapi radiasi dalam medis, namun dipakai ketentuan nilai batas ambang yang dapat menimbulkan efek biologis.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Potensi efek biologis yang cukup signifikan yang dialami penderita kanker serviks yang menjalani terapi radiasi terbukti karena pengaruh penerimaan dosis irradiasi sinar Gamma pada organ kritis system pencernaan yaitu Colon atau usus besar dapat menerima dosis efektif sampai 800 Rem ( 30% ) dan Sumsum tulang menerima 700 Rem.
- Hasil perhitungan rata-rata akumulasi dosis efektif masing-masing organ kritis dalam terapi radiasi abdomen adalah sebagai berikut, rectum: 267 Rem, Blass: 281 Rem, Usus halus: 288 Rem, colon: 677 Rem, Sendi panggul: 56 Rem, Sumsum tulang: 646 Rem, dan kulit: 58 Rem.
- Dosis radiasi yang diterima organ kritis masih di bawah batas toleransi paparan radiasi yang mengakibatkan kematian sel yang disebut gastrointestinal tract death (GI death) karena distribusi dosis radiasi tidak tersebar seluruh tubuh melainkan hanya mengenai organ tertentu saja. Gejala umum: mual, diare, sembelit, nyeri perut yang dialami penderita akan berkurang setelah radiasi dihentikan atau selesai terapi radiasi.

### **5.2. Saran**

Setelah penelitian ini diharapkan, dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap ketahanan organ kritis yang telah diradiasi terhadap kemungkinan timbulnya efek lambat atau efek late dan kualitas hidup terhadap penderita.

## Daftar Pustaka

- Beiser, A. 1990. **Konsep Fisika Modern**, Edisi Ketiga. Erlangga. Jakarta.
- Akhadi, Muklis. 2000. **Dasar-dasar Proteksi Radiasi**. Rineka Cipta. Jakarta.
- Walter, J., Miller, H. 1979. **A Short Textbook of Radiotherapy**, Fourth Edition. Edinburgh London and New York.
- Bentel, Nelson, Noell. **Treatment Planning & Dose Calculation in Radiation Oncology**, Fourth Edition. Pergamon press.
- Perez P.A., Brady L.W., Overview. In: Perez C.A., Brady L.W.,eds., **Principles and practice of radiation oncology**. Philadelphia: J.B. Lippincott company, 1992: 1-63.
- Cember,Herman.1983. **Pengantar Fisika Kesehatan**. Semarang: IKIP Semarang Press.
- Wirjosimin, Suwono. 1995. **Mengenal asas Proteksi Radiasi**. Bandung: Penerbit ITB.
- Johns,HE.and Cunninghams, J.R, 1984, **The Physics of Radiology**, Charles C. Thomas, Illinois.
- Gabriel,JF,1996, **Fisika Kedokteran**, Universitas Udayana, Denpasar.
- Clark, G,L,**Applied X-Ray**, four edition, Mc Graw Hill, New York, 1955.
- Wardhana,Wisnu Arya,**Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi dan Aplikasinya**.Yogyakarta: ANDI, 2006.
- <http://www.cancerhelps.com/kanker-serviks>
- <http://www.batan.go.id>

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## Lampiran



## LAMPIRAN 1

### I. Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-1

- Rencana Total Dosis (RTD) : 5000 cgy / 25 kali penyinaran.
- Dosis per minggu / fraksi : 1000 cgy / 5 kali penyinaran
- Teknik plan parallel depan belakang dengan dosis tumor: 200 cgy
- Separasi 17 cm / kedalaman = 8,5 cm
- Area Penyinaran = Luas lapangan - Luas blok  
 $= 225 \text{ cm}^2 - 75.05 \text{ cm}^2$   
 $= 149.95 \text{ cm}^2$   
 $\approx 12,2 \times 12,2 \text{ cm}$
- PDD : 0,6
- SSD ( Source Surface Distance ) : 80 cm

### A. Dosis pada organ Rektum

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 11 cm dan PDD = 54,32% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$
$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 156,5 \text{ rad} \times 0,5432$$
$$= 84,98 \text{ rad}$$
$$= 0,85 \text{ Gy.}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 2,5 cm dan PDD = 91,24% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$
$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Rektum}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Rektum}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,9124 \\ &= 142,8 \text{ rad} \\ &= 1,428 \text{ Gy}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Rectum}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Rektum}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (0,85 + 1,428) \\ &= 0,114 \text{ Sv} \\ &= 11,4 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Rektum adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 11,4 \text{ Rem} = 57 \text{ rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 11,4 \text{ Rem} = 114 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu :  $15 \times 11,4 \text{ Rem} = 171 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 11,4 \text{ Rem} = 228 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 11,4 \text{ Rem} = 285 \text{ Rem}$

## B. Dosis pada organ Blass

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 2 cm dan PDD = 93,37 % (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{kulit}} &= \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad} \\ D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Blass}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,934 \\ &= 146,2 \text{ rad} \\ &= 1,46 \text{ Gy}. \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 12 cm dan PDD = 50,71 % (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,507 \\ &= 79,34 \text{ rad} \\ &= 0,79 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Blass}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Blass}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (1,462 + 0,79) = 0,1128 \text{ Sv} \\ &= 11,28 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Blass adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 11,28 Rem = 56,4 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 11,28 Rem = 112,8 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 5 x 11,28 Rem = 56,4 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 11,28 Rem = 225,6 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 11,28 Rem = 282 Rem

### C. Dosis pada organ Usus halus

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 6 cm dan PDD = 75,01 % ( table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,7501 \end{aligned}$$

$$= 117,4 \text{ rad}$$

$$= 1,174 \text{ Gy.}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 11 cm dan PDD = 54,32 % (table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$

$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$D_{\text{Usus halus}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}}$$

$$= 156,5 \text{ rad} \times 0,5432$$

$$= 85 \text{ rad}$$

$$= 0,85 \text{ Gy.}$$

$$H_{\text{Eff Usus halus}} = W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Usus halus}}$$

$$= 0,05 \times 1 \times (1,174 + 0,85)$$

$$= 0,10 \text{ Sv}$$

$$= 10 \text{ Rem}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Usus halus adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 10 Rem = 50 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 10 Rem = 100 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 5 x 10 Rem = 50 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 10 Rem = 200 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 10 Rem = 250 Rem

#### D. Dosis pada Colon

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 2,5 cm dan PDD = 91,24 % ( dari table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$

$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Colon}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,9124 \\ &= 142,8 \text{ rad} \\ &= 1,428 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 13 cm dan PDD = 47,39 % ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Colon}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,4739 \\ &= 74 \text{ rad} \\ &= 0,74 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Colon}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Colon}} \\ &= 0,12 \times 1 \times (1,428 + 0,74) \\ &= 0,26 \text{ Sv} \\ &= 26 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 26 Rem = 130 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 26 Rem = 260 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 15 x 26 Rem = 390 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 26 Rem = 520 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 26 Rem = 650 Rem

#### E. Dosis pada Sendi panggul

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 7 cm dan PDD = 70,21 % (dari table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$

$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sendi panggul}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,7021 \\ &= 109,88 \text{ rad} \\ &= 1,099 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 10 cm dan PDD = 57,85 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sendi panggul}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,5785 \\ &= 88,97 \text{ rad} \\ &= 0,89 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Sendi panggul}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sendi panggul}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (1,099 + 0,89) \\ &= 0,0199 \text{ Sv} \\ &= 1,99 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 1,99 Rem = 9,95 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 1,99 Rem = 19,9 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 15 x 1,99 Rem = 29,85 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 1,99 Rem = 39,8 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 1,99 Rem = 49,75 Rem

#### F. Dosis pada Kulit

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 0,5 cm dan PDD = 99,96 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{K perut}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{K perut}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,9996 \\ &= 156,4 \text{ rad} \\ &= 1,564 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 16,5 cm dan PDD = 37,8 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Blass}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,378 \\ &= 59,16 \text{ rad} \\ &= 0,592 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff K perut}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{K perut}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (1,564 + 0,592) \\ &= 0,0216 \text{ Sv} \\ &= 2,16 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Kulit adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 2,16 \text{ Rem} = 10,8 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 2,16 \text{ Rem} = 21,6 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 2,16 \text{ Rem} = 32,4 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 2,16 \text{ Rem} = 40,32 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 2,16 \text{ Rem} = 54 \text{ Rem}$

### G. Dosis pada Sumsum Tulang

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 9 cm dan PDD = 61,84 % (dari table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$

$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,618 \\ &= 96,7 \text{ rad} \\ &= 0,967 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 4,5 cm dan PDD = 82,11 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\ &= 156,5 \text{ rad} \times 0,821 \\ &= 128,49 \text{ rad} \\ &= 1,28 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Sumsum tlg}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sumsum tlg}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (0,967 + 1,28) \\ &= 0,269 \text{ Sv} \\ &= 26,9 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Sumsum tulang adalah :

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 26,9 Rem = 134,5 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 26,9 Rem = 269 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 15 x 26,9 Rem = 403,5 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 26,9 Rem = 538 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 26,9 Rem = 672,5 Rem

## LAMPIRAN 2

### Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-2

- Rencana Total Dosis (RTD) : 5000 cgy / 25 kali penyinaran.
- Dosis per minggu / fraksi : 1000 cgy / 5 kali penyinaran
- Teknik plan parallel depan belakang dengan dosis tumor: 200 cgy
- Separasi 23 cm / kedalaman = 11,5 cm
- Area Penyinaran = Luas lapangan - Luas blok  
=  $225 \text{ cm}^2 - 82,48 \text{ cm}^2$   
=  $142,52 \text{ cm}^2$   
 $\approx 12 \times 12 \text{ cm}$
- PDD : 52,52 %
- SSD ( Source Surface Distance ) : 80 cm

#### A. Dosis pada organ Rektum

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 17 cm dan PDD = 36,6 % ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \Delta X}$$
$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,5252} = 190,41 \text{ rad}$$

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 190,41 \text{ rad} \times 0,366 = 67,69 \text{ rad}$$
$$= 0,6969 \text{ Gy.}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 3cm dan PDD = 89,21% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 190,41 \text{ rad} \times 0,8921$$
$$= 169,85 \text{ rad}$$
$$= 1,6985 \text{ Gy.}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Rectum}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Rectum}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (0,6969 + 1,6985) \\
 &= 0,12 \text{ Sv} \\
 &= 12 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Rektum adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 12 \text{ Rem} = 60 \text{ rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 12 \text{ Rem} = 120 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu :  $15 \times 12 \text{ Rem} = 180 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 12 \text{ Rem} = 240 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 12 \text{ Rem} = 300 \text{ Rem}$

### H. Dosis pada organ Blass

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 3 cm dan PDD = 89,21% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 190,41 \text{ rad} \times 0,8921 \\
 &= 169,872 \text{ rad} \\
 &= 1,6987 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 16,5 cm dan PDD = 37,8 % (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 190,41 \text{ rad} \times 0,378 \\
 &= 71,98 \text{ rad} \\
 &= 0,7198 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Blass}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Blass}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,6987 + 0,7198) = 0,13 \text{ Sv} \\
 &= 13 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Blass adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 13\text{Rem} = 65\text{Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 13\text{Rem} = 130\text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $5 \times 13\text{Rem} = 195\text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 13\text{ Rem} = 260\text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 13\text{Rem} = 325\text{ Rem}$

### I. Dosis pada organ Usus halus

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 9 cm dan PDD = 61,84% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\
 &= 190,41\text{rad} \times 0,6184 \\
 &= 117,75\text{ rad} \\
 &= 1,775\text{ Gy}.
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 10,5 cm dan PDD = 56,9% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\
 &= 190,41\text{rad} \times 0,569 \\
 &= 108,35\text{rad} \\
 &= 1,0835\text{ Gy}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Usus halus}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Usus halus}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,775 + 1,0835) \\
 &= 0,15\text{ Sv} \\
 &= 15\text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Usus halus adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 15\text{ Rem} = 75\text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 15\text{ Rem} = 150\text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 15\text{ Rem} = 225\text{Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 15\text{ Rem} = 300\text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 15\text{ Rem} = 375\text{ Rem}$

## J. Dosis pada Colon

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 4,5 cm dan PDD = 82,11% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Colon}} \\ &= 190,41\text{rad} \times 0,8211 \\ &= 156,35 \text{ rad} \\ &= 1,5635 \text{ Gy.}\end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 11 cm dan PDD = 54,32% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Colon}} \\ &= 190,41\text{rad} \times 0,5432 \\ &= 103,43 \text{ rad} \\ &= 1,034 \text{ Gy.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{\text{Eff Colon}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Colon}} \\ &= 0,12 \times 1 \times ( 1,5635 + 1,034) \\ &= 0,320 \text{ Sv} \\ &= 32 \text{ Rem}\end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 32 Rem = 160 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 32 Rem = 320 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 15 x 32 Rem = 480 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 32 Rem = 540 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 32 Rem = 800 Rem

## K. Dosis pada Sendi panggul

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 16,5 cm dan PDD = 37, % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 190,41 \times \text{rad} \times 0,7021 \\
 &= 109,88 \text{ rad} \\
 &= 1,099 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 6cm dan PDD = 75,01 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 190,41 \text{ rad} \times 0,7501 \\
 &= 142,83 \text{ rad} \\
 &= 1,4283 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Sendi panggul}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,099 + 1,4283) \\
 &= 0,03 \text{ Sv} \\
 &= 3 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 3 \text{ Rem} = 15 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 3 \text{ Rem} = 30 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 3 \text{ Rem} = 45 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 3 \text{ Rem} = 60 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 3 \text{ Rem} = 75 \text{ Rem}$

#### L. Dosis pada Kulit

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 0,5 cm dan PDD = 99,96 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\
 &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}}
 \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{K perut}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{K perut}} \\
 &= 190,41 \text{ rad} \times 0,9996 \\
 &= 190,34 \text{ rad} \\
 &= 1,9034 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 22,5 cm dan PDD = 24,49% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\&= 190,41 \text{ rad} \times 0,2449 \\&= 46,64 \text{ rad} \\&= 0,4664 \text{ Gy.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{\text{Eff K perut}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{K perut}} \\&= 0,05 \times 1 \times (1,9034 + 0,4664) \\&= 0,03 \text{ Sv} \\&= 3 \text{ Rem}\end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Kulit adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu : 5 x 3 Rem = 15 Rem
- Minggu II atau fraksi II yaitu : 10 x 3 Rem = 30 Rem
- Minggu III atau fraksi III yaitu: 15 x 3 Rem = 45 Rem
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu: 20 x 3 Rem = 60 Rem
- Minggu V atau fraksi V yaitu : 25 x 3 Rem = 75 Rem

#### M. Dosis pada Sumsum Tulang

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 15 cm dan PDD = 40,3% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\&= 190,41 \text{ rad} \times 0,403 \\&= 76,740 \text{ rad} \\&= 0,7674 \text{ Gy.}\end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 5 cm dan PDD = 79,73 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\&= 190,41 \text{ rad} \times 0,7973 \\&= 151,82 \text{ rad} \\&= 1,5182 \text{ Gy.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Sumsum tlg}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 0,12 \times 1 \times (0,744 + 151828) \\
 &= 0,28 \text{ Sv} \\
 &= 28 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Sumsum tulang adalah :

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 28 \text{ Rem} = 140 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 28 \text{ Rem} = 280 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu :  $15 \times 28 \text{ Rem} = 420 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 28 \text{ Rem} = 560 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 28 \text{ Rem} = 700 \text{ Rem}$



### LAMPIRAN 3

#### Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-3

- a. Rencana Total Dosis (RTD) : 5000 cgy / 25 kali penyinaran.
- b. Dosis per minggu / fraksi : 1000 cgy / 5 kali penyinaran
- c. Teknik plan parallel depan belakang dengan dosis tumor: 200 cgy
- d. Separasi 23 cm / kedalaman = 9,5 cm
- e. Area Penyinaran = Luas lapangan - Luas blok  
=  $225 \text{ cm}^2 - 19,54 \text{ cm}^2$   
=  $205,46 \text{ cm}^2$   
 $\approx 14,3 \text{ cm} \times 14,3 \text{ cm}$
- PDD : 68 %
- f. SSD ( Source Surface Distance ) : 80 cm

#### A. Dosis pada organ Rektum

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 16 cm dan PDD = 40,42% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$
$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,68} = 147,06 \text{ rad}$$

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 147,06 \text{ rad} \times 0,4042 = 59,45 \text{ rad}$$
$$= 0,59 \text{ Gy.}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 2cm dan PDD = 93,54% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 147,06 \text{ rad} \times 0,9354$$
$$= 137,51 \text{ rad}$$
$$= 1,375 \text{ Gy}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Rectum}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Rectum}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (0,59 + 1,375) \\
 &= 0,10 \text{ Sv} \\
 &= 10 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Rektum adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 10 \text{ Rem} = 50 \text{ rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 10 \text{ Rem} = 100 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu :  $15 \times 10 \text{ Rem} = 150 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 10 \text{ Rem} = 200 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 10 \text{ Rem} = 250 \text{ Rem}$

### B. Dosis pada organ Blass

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 2,5 cm dan PDD = 91,5% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,915 \\
 &= 134,56 \text{ rad} \\
 &= 1,3456 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 15 cm dan PDD = 42,93% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,4293 = 63,14 \text{ rad} \\
 &= 0,6314 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Blass}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Blass}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,3456 + 0,76314) = 0,100 \text{ Sv} \\
 &= 10 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Blass adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 10 \text{ Rem} = 60 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 10 \text{ Rem} = 100 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 10 \text{ Rem} = 150 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 10 \text{ Rem} = 200 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 10 \text{ Rem} = 250 \text{ Rem}$

### C. Dosis pada organ Usus halus

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 5 cm dan PDD = 80,5% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\&= 147,06 \text{ rad} \times 0,805 \\&= 118,39 \text{ rad} \\&= 1,1839 \text{ Gy}.\end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 10,5 cm dan PDD = 57,21% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\&= 147,06 \text{ rad} \times 0,5721 \\&= 84,14 \text{ rad} \\&= 0,84 \text{ Gy}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{\text{Eff Usus halus}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Usus halus}} \\&= 0,05 \times 1 \times (1,839 + 0,84) \\&= 0,11 \text{ Sv} \\&= 11 \text{ Rem}\end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Usus halus adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 11 \text{ Rem} = 55 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 11 \text{ Rem} = 110 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 11 \text{ Rem} = 165 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 11 \text{ Rem} = 220 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 11 \text{ Rem} = 275 \text{ Rem}$

### D. Dosis pada Colon

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 2cm dan PDD = 93,54% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\&= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Colon}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,9354 \\
 &= 137,56 \text{ rad} \\
 &= 1,376 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 13 cm dan PDD = 48,84% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Colon}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,4884 \\
 &= 71,83 \text{ rad} \\
 &= 0,718 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Colon}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Colon}} \\
 &= 0,12 \times 1 \times ( 1,376 + 0,718) \\
 &= 0,260 \text{ Sv} \\
 &= 26 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 26 \text{ Rem} = 130 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 26 \text{ Rem} = 260 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 26 \text{ Rem} = 390 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 26 \text{ Rem} = 520 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 26 \text{ Rem} = 650 \text{ Rem}$

#### E. Dosis pada Sendi panggul

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 13 cm dan PDD = 48,84 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\
 &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,4884 \\
 &= 71,8 \text{ rad} \\
 &= 0,718 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 4 cm dan PDD = 84,96% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,8496 \\
 &= 124,95 \text{ rad} \\
 &= 1,249 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Sendi panggul}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (0,718 + 1,249) \\
 &= 0,025 \text{ Sv} \\
 &= 2 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 2 \text{ Rem} = 10 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 2 \text{ Rem} = 20 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 2 \text{ Rem} = 30 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 2 \text{ Rem} = 40 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 2 \text{ Rem} = 50 \text{ Rem}$

#### F. Dosis pada Kulit

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 0,5 cm dan PDD = 99,96 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\
 &= D_{\text{kulit}} \cdot PDD_{\text{Tumor}}
 \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{PDD} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{K perut}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{K perut}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,9996 \\
 &= 147,01 \text{ rad} \\
 &= 1,47 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari belakang dengan kedalaman 18,5cm dan PDD = 38 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times PDD_{\text{Blass}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,38 = 55,89 \text{ rad} \\
 &= 0,5589 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$H_{\text{Eff K perut}} = W_T \times W_R \times \sum D_{\text{K perut}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,05 \times 1 \times (1,47 + 0,5589) \\
 &= 0,02 \text{ Sv} \\
 &= 2 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada kulit adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 2 \text{ Rem} = 10 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 2 \text{ Rem} = 20 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 2 \text{ Rem} = 30 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 2 \text{ Rem} = 40 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 2 \text{ Rem} = 50 \text{ Rem}$

### G. Dosis pada Sumsum Tulang

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 14 cm dan PDD = 40,3% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,4608 \\
 &= 66,77 \text{ rad} \\
 &= 0,678 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 4 cm dan PDD = 84,96% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,8496 = 124,95 \text{ rad} \\
 &= 1,2495 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Sumsum tlg}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 0,12 \times 1 \times (0,678 + 1,2495) = 0,24 \text{ Sv} \\
 &= 24 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Sumsum tulang adalah :

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 24 \text{ Rem} = 120 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 24 \text{ Rem} = 240 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 24 \text{ Rem} = 360 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 24 \text{ Rem} = 480 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 24 \text{ Rem} = 600 \text{ Rem}$

## LAMPIRAN 4

### Perhitungan Dosis Organ Kritis pada Pasien P-4

- Rencana Total Dosis (RTD : 5000 cgy / 25 kali penyinaran.
- Dosis per minggu / fraksi : 1000 cgy / 5 kali penyinaran
- Teknik plan parallel depan belakang dengan dosis tumor: 200 cgy
- Separasi 23 cm / kedalaman = 9,5 cm
- Area Penyinaran = Luas lapangan - Luas blok  
 $= 225 \text{ cm}^2 - 3,15 \text{ cm}^2$   
 $= 222 \text{ cm}^2$   
 $\approx 14,9 \text{ cm} \times 14,9 \text{ cm}$   
PDD : 68 %
- SSD ( Source Surface Distance ) : 80 cm

#### A. Dosis pada organ Rektum

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 17 cm dan PDD = 36,6% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Tumor}} = D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X}$$
$$= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,68} = 147 \text{ rad}$$

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 147 \text{ rad} \times 0,366$$
$$= 53,8 \text{ rad}$$
$$= 0,538 \text{ Gy.}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 3cm dan PDD = 89,21% ( pada table PDD) adalah :

$$D_{\text{Rektum}} = D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Rektum}}$$
$$= 147,06 \text{ rad} \times 0,8921 = 131 \text{ rad}$$
$$= 1,31 \text{ Gy}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Rectum}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Rektum}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (0,538 + 1,31) \\
 &= 0,0924 \text{ Sv} \\
 &= 9,24 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Rektum adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu:  $5 \times 9,24 \text{ Rem} = 46,2 \text{ rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu:  $10 \times 9,24 \text{ Rem} = 92,4 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 9,24 \text{ Rem} = 138,6 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 9,24 \text{ Rem} = 184,8 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 9,24 \text{ Rem} = 231 \text{ Rem}$

## B. Dosis pada organ Blass

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 1,5 cm dan PDD = 99,1% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,991 \\
 &= 145,68 \text{ rad} \\
 &= 1,4567 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 16 cm dan PDD = 40,93% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Blass}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Blass}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,403 = 66,12 \text{ rad} \\
 &= 0,6612 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Blass}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Blass}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,457 + 0,662) = 0,106 \text{ Sv} \\
 &= 10,6 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Blass adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 10,6 \text{ Rem} = 53 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 10,6 \text{ Rem} = 106 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 10,6 \text{ Rem} = 159 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 10,6 \text{ Rem} = 212 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 10,6 \text{ Rem} = 265 \text{ Rem}$

### C. Dosis pada organ Usus halus

Untuk beam I arah sinar dari depan dengan kedalaman 6 cm dan PDD = 76,03% ( table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\ &= 147 \text{ rad} \times 0,7603 \\ &= 111,76 \text{ rad} \\ &= 1,1176 \text{ Gy}.\end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 10 cm dan PDD = 59,5% (table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Usus halus}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Usus halus}} \\ &= 147 \text{ rad} \times 0,595 \\ &= 87,465 \text{ rad} \\ &= 0,875 \text{ Gy}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_{\text{Eff Usus halus}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Usus halus}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (1,1176 + 0,875) \\ &= 0,0996 \text{ Sv} \\ &= 9,96 \text{ Rem}\end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Usus halus adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 9,96 \text{ Rem} = 49,8 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 9,96 \text{ Rem} = 99,6 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 9,96 \text{ Rem} = 149,4 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 9,96 \text{ Rem} = 199,2 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 9,96 \text{ Rem} = 249 \text{ Rem}$

### D. Dosis pada Colon

Untuk beam I arah sinar dari depan dengan kedalaman 4 cm dan PDD = 85,13% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Colon}} \\
 &= 147,06 \text{ rad} \times 0,8513 \\
 &= 125 \text{ rad} \\
 &= 1,25 \text{ Gy}.
 \end{aligned}$$

Untuk Beam II arah sinar dari Belakang dengan kedalaman 12 cm dan PDD = 52,62% ( dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Colon}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Colon}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,5262 \\
 &= 77,35 \text{ rad} \\
 &= 0,7735 \text{ Gy}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Colon}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Colon}} \\
 &= 0,12 \times 1 \times ( 1,25 + 0,7735 ) \\
 &= 0,243 \text{ Sv} \\
 &= 24,3 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 24,3 \text{ Rem} = 121,5 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 24,3 \text{ Rem} = 243 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 24,3 \text{ Rem} = 364,5 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 24,3 \text{ Rem} = 486 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 24,3 \text{ Rem} = 607,5 \text{ Rem}$

#### E. Dosis pada Sendi panggul

Untuk Beam I arah sinar dari Depan dengan kedalaman 12,5 cm dan PDD = 50,96 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\
 &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sendi panggul}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,5096 \\
 &= 74,91 \text{ rad} \\
 &= 0,749 \text{ Gy}.
 \end{aligned}$$

Untuk beam II arah sinar dari belakang dengan kedalaman 5,5 cm dan PDD = 78,39% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Sendi panggul}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sendi panggul}} \\ &= 147 \text{ rad} \times 0,7839 \\ &= 115,23 \text{ rad} \\ &= 1,152 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{Eff Sendi panggul}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sendi panggul}} \\ &= 0,05 \times 1 \times (0,749 + 1,152) \\ &= 0,019 \text{ Sv} \\ &= 1,9 \text{ Rem} \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Colon adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 1,9 \text{ Rem} = 9,6 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 1,9 \text{ Rem} = 19 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu :  $15 \times 1,9 \text{ Rem} = 28,5 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu :  $20 \times 1,9 \text{ Rem} = 38 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 1,9 \text{ Rem} = 47,5 \text{ Rem}$

#### F. Dosis pada Kulit

Untuk beam I arah sinar dari depan dengan kedalaman 0,5 cm dan PDD = 99,96 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{Tumor}} &= D_{\text{kulit}} \cdot e^{-\mu \cdot \Delta X} \\ &= D_{\text{kulit}} \cdot \text{PDD}_{\text{Tumor}} \end{aligned}$$

$$D_{\text{kulit}} = \frac{D_{\text{Tumor}}}{\text{PDD}} = \frac{100}{0,639} = 156,5 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{K perut}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{K perut}} \\ &= 147 \text{ rad} \times 0,9996 \\ &= 146,9 \text{ rad} \\ &= 1,469 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

Untuk beam II arah sinar dari belakang dengan kedalaman 17,5 cm dan PDD = 38,5 % (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned} D_{\text{kulit}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{kulit}} \\ &= 147 \text{ rad} \times 0,385 = 56,59 \text{ rad} \\ &= 0,5659 \text{ Gy.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff K perut}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{K perut}} \\
 &= 0,05 \times 1 \times (1,469 + 0,5659) \\
 &= 0,0203 \text{ Sv} \\
 &= 2,03 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada kulit adalah sebagai berikut:

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 2,03 \text{ Rem} = 10,15 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 2,03 \text{ Rem} = 20,3 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 2,03 \text{ Rem} = 30,45 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 2,03 \text{ Rem} = 40,6 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 2,03 \text{ Rem} = 50,75 \text{ Rem}$

### G. Dosis pada Sumsum Tulang

Untuk beam I arah sinar dari depan dengan kedalaman 13,5 cm dan PDD = 47,95% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,4795 = 70,486 \text{ rad} \\
 &= 0,7049 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

Untuk beam II arah sinar dari belakang dengan kedalaman 3 cm dan PDD = 89,72% (dari table PDD) adalah :

$$\begin{aligned}
 D_{\text{Sumsum tlg}} &= D_{\text{kulit}} \times \text{PDD}_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 147 \text{ rad} \times 0,8972 = 131,89 \text{ rad} \\
 &= 1,319 \text{ Gy.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{\text{Eff Sumsum tlg}} &= W_T \times W_R \times \sum D_{\text{Sumsum tlg}} \\
 &= 0,12 \times 1 \times (0,7049 + 1,319) \\
 &= 0,243 \text{ Sv} \\
 &= 24,3 \text{ Rem}
 \end{aligned}$$

Jumlah akumulasi dosis pada Sumsum tulang adalah :

- Minggu I atau fraksi I yaitu :  $5 \times 24,3 \text{ Rem} = 121,5 \text{ Rem}$
- Minggu II atau fraksi II yaitu :  $10 \times 24,3 \text{ Rem} = 243 \text{ Rem}$
- Minggu III atau fraksi III yaitu:  $15 \times 24,3 \text{ Rem} = 364,5 \text{ Rem}$
- Minggu IV atau fraksi IV yaitu:  $20 \times 24,3 \text{ Rem} = 486 \text{ Rem}$
- Minggu V atau fraksi V yaitu :  $25 \times 24,3 \text{ Rem} = 607,5 \text{ Rem}$

## Lampiran 5

Tabel L-1. Tabulasi Akumulasi Dosis Efektif Organ Kritis dan Efek Akut																	
Sampel		: Pasien P-1															
Jumlah Fraksi		: V ( 5 kali penyinaran)						Dosis per fraksi sinar : 1000 cGy									
Dosis Tumor		: 200 cgy per kali sinar						Rencana Total dosis : 5000 cGy									
No	Organ Kritis	Fraksi Sinar	Dosis organ ( Rem )	Efek Akut penderita												Keterangan.	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
															1. Mual/diare		
1	Rektum	I	57												v	2.BAK Saicit	
2	Blass	I	56,4													v	3.Nafsu makan\
3	Usus Halus	I	50	v													4.Hb.darah\
4	Colon	I	130	v													5.Transfusi
5	Sendi panggul	I	9,95												v		6.Nyeri perut
6	Kulit	I	10,8													v	7.Eritema /Kulit
7	Sumsum Tlg	I	134,5				v								v		8.Penghitaman
1	Rektum	II	114	v													9.Sembelit
2	Blass	II	112,8		v												10. Pendarahan
3	Usus Halus	II	100	v													11 .lemas
4	Colon	II	260	v													12.keluhan -
5	Sendi panggul	II	19,9												v		
6	Kulit	II	21,6													v	
7	Sumsum tlg.	II	269				v	v									
1	Rektum	III	171	v													
2	Blass	III	169,2		v												
3	Usus Halus	III	150	v		v											
4	Colon	III	390	v		v											
5	Sendi panggul	III	29,85												v		
6	Kulit	III	32,4													v	
7	Sumsum tlg.	III	403,5				v										
1	Rektum	IV	228	v													
2	Blass	IV	225,6		v												
3	Usus Halus	IV	200			v											
4	Colon	IV	520	v													
5	Sendi panggul	IV	39,8												v		
6	Kulit	IV	40,32												v		
7	Sumsum tlg	IV	638				v	v									
1	Rektum	V	285												v		
2	Blass	V	282														
3	Usus Halus	V	250														v
4	Colon	V	650												v		
5	Sendi panggul	V	49,75														v
6	Kulit	V	54												v		
7	Sumsum Tlg	V	672,5														v

## Lampiran 6

**Tabel L-2. Tabulasi Akumulasi Dosis Efektif Organ Kritis dan Efek Akut**

Sampel		: Pasien P-2												Keterangan.			
Jumlah Fraksi		: 5 ( per fraksi 5 kali penyinaran)															
Dosis Tumor		: 200 cgy per kali sinar															
No	Organ Kritis	Fraksi Sinar	Dosis Efektif ( Rem )	Respon Akut penderita												Keterangan.	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Rektum	I	60	v													1. Mual/diare 2. BAK Sakit
2	Blass	I	65												v		3. Keputihan
3	Usus Halus	I	160	v													4. Hb. darah \
4	Colon	I	75	v													5. Transfusi
5	Sendi panggul	I	15												v		6. Nyeri perut
6	Kulit	I	15												v		7. Eritema /Kulit
7	Surnsum Tlg	I	140				v										8. Penghitaman
1	Rektum	II	120											v			9. Sembelit
2	Blass	II	130												v		10. Pendarahan
3	Usus Halus	II	320	v													11. Jemas
4	Colon	II	150	v													12. kaluhan -
5	Sendi panggul	II	30											v			
6	Kulit	II	30													v	
7	Surnsum tlg.		280													v	
1	Rektum	III	180	v													
2	Blass	III	195														
3	Usus Halus	III	480	v													
4	Colon	III	225	v													
5	Sendi panggul	III	45											v			
6	Kulit	III	45													v	
7	Surnsum tlg.	III	420													v	
1	Rektum	IV	240											v			
2	Blass	IV	260													v	
3	Usus Halus	IV	540												v		
4	Colon	IV	300											v			
5	Sendi panggul	IV	60												v		
6	Kulit	IV	60													v	
7	Surnsum tlg	IV	560													v	
1	Rektum	V	300												v		
2	Blass	V	325													v	
3	Usus Halus	V	800												v		
4	Colon	V	375													v	
5	Sendi panggul	V	75													v	
6	Kulit	V	75													v	
7	Surnsum Tlg	V	700													v	

## Lampiran 7

<b>Tabel L-3. Tabulasi Akumulasi Dosis Efektif Organ Kritis dan Efek Akut</b>																
Sampel		: Pasien P-3 Post Operasi														
Jumlah Fraksi		: 5 ( 5 kali penyinaran)					Dosis per fraksi sinar : 1000 cGy									
Dosis Tumor		: 200 cgy per kali sinar					Rencana Total dosis : 5000 cGy									
No	Organ Kritis	Fraksi Sinar	Dosis Efektif ( Rem )	Respon Akut penderita												Keterangan.
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
															1. Mual/diare	
1	Rektum	I	50									v		v	2.BAK Sakit	
2	Blass	I	50		v										3.Keputihan	
3	Usus Halus	I	55	v					v					v	4.Hb.darah\	
4	Colon	I	130	v					v					v	5.Transfusi	
5	Sendi panggul	I	10						v					v	6.Nyeri perut	
6	Kulit	I	10												v	
7	Sumsum Tlg	I	120												v	
1	Rektum	II	100										v	v	9.Sembelit	
2	Blass	II	100		v										10. Pendarahan	
3	Usus Halus	II	110	v					v					v	11 .lemas	
4	Colon	II	260	v					v					v	12.keluhan -	
5	Sendi panggul	II	20						v					v		
6	Kulit	II	20												v	
7	Sumsum tlg.	II	240				v									
1	Rektum	III	150												v	
2	Blass	III	150												v	
3	Usus Halus	III	165	v					v					v		
4	Colon	III	390						v							
5	Sendi panggul	III	30						v							
6	Kulit	III	30												v	
7	Sumsum tlg.	III	360				v									
1	Rektum	IV	200											v		
2	Blass	IV	200													
3	Usus Halus	IV	220											v		
4	Colon	IV	520													
5	Sendi panggul	IV	40											v		
6	Kulit	IV	40												v	
7	Sumsum tlg	IV	480				v									
1	Rektum	V	250											v		
2	Blass	V	250												v	
3	Usus Halus	V	275											v		
4	Colon	V	650												v	
5	Sendi panggul	V	50											v		
6	Kulit	V	50												v	
7	Sumsum Tlg	V	600												v	

## Lampiran 8

**Tabel L-4. Tabulasi Akumulasi Dosis Efektif Organ Kritis dan Efek Akut**

Sampel		: Pasien P-4 Post Operasi												Dosis per fraksi sinar : 1000 cGy			
Jumlah Fraksi		: 5 ( 5 kali penyinaran)												Rencana Total dosis : 5000 cGy			
Dosis Tumor		: 200 cgy per kali sinar															
No	Organ Kritis	Fraksi Sinar	Dosis Efektif ( Rem )	Respon Akut penderita												Keterangan.	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
																	1. Mual/diare
1	Rektum	I	46,2													v	2.BAK Sakit
2	Blass	I	53													v	3.Keputihan
3	Usus Halus	I	49,8													v	4.Hb.darah\
4	Colon	I	121,5													v	5.Transfusi
5	Sendi panggul	I	9,5												v		6.Nyeri perut
6	Kulit	I	10,15													v	7.Eritema /Kulit
7	Sumsum Tlg	I	121,5													v	8.Penghitaman
1	Rektum	II	92,4													v	9.Sembelit
2	Blass	II	106		v												10. Pendarahan
3	Usus Halus	II	99,6	v					v								11 .lemas
4	Colon	II	243	v					v								12.keluhan -
5	Sendi panggul	II	19												v		
6	Kulit	II	20,3													v	
7	Sumsum tlg.		243				v								v		
1	Rektum	III	138,6													v	
2	Blass	III	159		v											v	
3	Usus Halus	III	149,4	v					v							v	
4	Colon	III	364,5	v					v							v	
5	Sendi panggul	III	28,5						v							v	
6	Kulit	III	30,45														v
7	Sumsum tlg.	III	364,5					v								v	
1	Rektum	IV	184,8	v													
2	Blass	IV	212		v												
3	Usus Halus	IV	199,2	v												v	
4	Colon	IV	486	v												v	
5	Sendi panggul	IV	38							v						v	
6	Kulit	IV	40,6														v
7	Sumsum tlg	IV	486					v	v							v	
1	Rektum	V	231							v						v	
2	Blass	V	265													v	
3	Usus Halus	V	2499													v	
4	Colon	V	607,5													v	
5	Sendi panggul	V	47,5							v							
6	Kulit	V	50,75														v
7	Sumsum Tlg	V	607,5						v							v	

