

PERBANDINGAN DOSIS TERHADAP VARIASI KEDALAMAN DAN LUAS LAPANGAN PENYINARAN (BENTUK PERSEGI DAN PERSEGI PANJANG) PADA PESAWAT RADIOTERAPI COBALT-60

Dortua Helena Sidabutar dan Evi Setiawati

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail : helena_star@yahoo.co.id

ABSTRACT

A research on the determination of the dose of radiation to the shape of the field square and rectangular fields, this is because the cancer is irregular morphology (irregular). If the radiation dose given is not in accordance with the size, as well as cancer cell geometry is happening is damage healthy tissue surrounding the cells. Determination of the dose is done by adjusting the gantry position Cobalt-60 aircraft at an angle of 0° , the distance (SSD) radiation source 80 cm from the surface of the phantom which has been coupled with an electrometer and computer devices. For wide field irradiation with a square shape set with field size (6.6 x 6.6), (10.8 x 10.8), (12 x 12), (13.3 x 13.3), and (14, 2 x 14.2) cm. For a broad field with a rectangular field shape is set by the size (5 x 10), (10 x 12), (10 x 15), (10 x 20) and (10 x 25) cm. Further irradiation for each phantom depth of 1, 3, 5, 7, 9 cm for 60 sekon in a sequence corresponding variations in the size of the specified field as much as 3x (three times) measurements, so that the average value obtained. From the determination and comparison of research results in the field of irradiation dose to the shape of square and rectangular fields, obtained dose values between square and rectangular field is almost the same, is the difference between 0.04 to 1.30 Gy. This result is certainly more convincing in the broad field of use square and rectangular fields in conducting irradiation. This result has also been successfully proven formulation A / C that has been done. Then the value of the dose received phantom decrease with increasing depth phantom is used, with the state of doses already passed the point of his d_{max} .

Keywords: *radiotherapy, irradiation field, the depth of phantom*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang penentuan dosis dari lapangan penyinaran dengan bentuk bidang persegi dan persegi panjang, hal ini dikarenakan morphology kanker yang tidak beraturan (irregular). Apabila dosis radiasi yang diberikan tidak sesuai dengan ukuran, maupun geometri sel kanker yang terjadi justru kerusakan jaringan sehat di sekitar sel tersebut. Penentuan dosis dilakukan dengan mengatur posisi gantry pesawat Cobalt-60 pada sudut 0° , jarak (SSD) sumber radiasi 80 cm dari permukaan fantom yang telah dirangkaikan dengan elektrometer dan perangkat komputer. Untuk luas lapangan penyinaran dengan bentuk bidang persegi diatur dengan ukuran (6,6 x 6,6), (10,8 x 10,8), (12 x 12), (13,3 x 13,3), dan (14,2 x 14,2) cm. Untuk luas lapangan dengan bentuk bidang persegi panjang diatur dengan ukuran (5 x 10), (10 x 12), (10 x 15), (10 x 20) dan (10 x 25) cm. Selanjutnya dilakukan penyinaran untuk masing-masing kedalaman fantom 1, 3, 5, 7, 9 cm selama 60 detik secara berurutan sesuai variasi ukuran lapangan yang ditentukan sebanyak 3x (tiga kali) pengukuran, sehingga didapatkan nilai rata-rata. Dari hasil penelitian penentuan dan perbandingan dosis pada lapangan penyinaran dengan bentuk bidang persegi dan persegi panjang, didapatkan nilai dosis antara bidang persegi dan persegi panjang hampir sama, yaitu dengan selisih 0,04 sampai 1,30 Gy. Hasil ini tentu lebih meyakinkan dalam penggunaan luas lapangan bidang persegi dan persegi panjang dalam melakukan penyinaran. Hasil ini juga telah berhasil membuktikan perumusan A/P yang telah dilakukan. Kemudian nilai dosis yang diterima fantom mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kedalaman fantom yang digunakan, dengan keadaan dosis sudah melewati titik d_{max} nya.

Kata Kunci: *radiotherapy, lapangan penyinaran, kedalaman fantom*

PENDAHULUAN

Berdasarkan data statistika, salah satu penyakit yang berbahaya di Indonesia ialah penyakit kanker. Berdasarkan World Cancer Report dalam dua dekade mendatang terjadi kenaikan kasus kanker, yaitu sebanyak 50 persen. Di Indonesia, sepanjang tahun 1988-1994 dari 10 jenis penyakit kanker yang paling banyak kasusnya ialah kanker serviks yaitu mencapai 26.200 kasus. Jenis kanker lainnya setelah kanker serviks adalah kanker payudara, kulit, nasofaring, kelenjar getah bening, ovarium, rektum, tiroid, jaringan lunak dan kolon.

Radioterapi adalah pengobatan dengan memberikan dosis radiasi yang terukur terhadap penyakit tumor atau kanker. Radioterapi yang merupakan alternatif bagi penderita kanker yang dewasa ini semakin banyak, baik dari jumlah penderitanya maupun jenisnya, dengan menggunakan radiasi yang menimbulkan ionisasi dalam jaringan. Prinsip radioterapi itu sendiri adalah memberikan dosis radiasi yang akurat untuk mematikan sel-sel ganas (terapi kuratif) atau menghambat pertumbuhan sel-sel ganas (terapi paliatif) dan meminimalkan efek negatif radiasi pada jaringan sehat disekitarnya.

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, pada proses radioterapi dosis yang digunakan untuk menghambat laju pertumbuhan sel kanker merupakan dosis yang terukur dan memperhatikan aspek kesehatan jaringan non-kanker di sekitarnya. Hal ini dikarenakan morphology kanker yang tidak beraturan (irregular). Apabila dosis radiasi yang diberikan tidak sesuai dengan ukuran, maupun geometri sel kanker yang terjadi justru kerusakan jaringan sehat di sekitar sel tersebut. Oleh karena itu diperlukan perhitungan yang tepat agar diperoleh dosis penyinaran yang sesuai terhadap sel kanker dengan meminimalisasi terhadap jaringan sehat disekitarnya. Hal inilah salah satu peran dan tanggung jawab seorang fisikawan medis dalam mengukur besar dan arah penyinaran radiasi dalam radioterapi. Salah satu upaya yang

ditempuh untuk meminimalisir kerusakan pada jaringan sehat dari paparan radiasi adalah dengan mengoptimalisasi pada lapangan penyinaran. Teknik penyinaran pada radioterapi sangat penting karena berkaitan dengan distribusi dosis yang harus diberikan pada kanker. Hal ini berkaitan dengan besar kecilnya bidang penyinaran yang akan digunakan.

Menurut ^[1], yang meneliti profil berkas sinar-x lapangan simetris dan asimetris pada pesawat linac siemens primus 2d plus, pada terapi foton umumnya digunakan lapangan simetris. Pada beberapa kasus, letak jaringan kanker yang harus menerima dosis tinggi sangatlah dekat dengan organ penting dalam tubuh. Oleh karenanya, organ penting tersebut haruslah terlindungi. Untuk tujuan tersebut diperlukan perencanaan radioterapi dengan lapangan asimetris. Lapangan asimetris dibentuk dengan cara membuka kolimator X1 dan X2 ataupun Y1 dan Y2 dengan nilai yang berbeda.

Berangkat dari masalah diatas maka peneliti hendak meneliti tentang perbandingan dosis dengan pengaruh variasi luas lapangan penyinaran dalam bentuk bidang persegi dengan bentuk bidang persegi panjang dan variasi kedalaman fantom dari pesawat radioterapi Cobalt-60.

TEORI

A. Dosis Radiasi

Radiasi dapat mengakibatkan ionisasi pada jaringan atau medium yang dilaluinya. Untuk mengukur besarnya energi radiasi yang diserap oleh medium perlu diperkenalkan suatu besaran yang tidak bergantung pada jenis radiasi, energi radiasi maupun sifat bahan penyerap, tetapi hanya bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran tersebut. Untuk mengetahui jumlah energi yang diserap oleh medium ini digunakan besaran dosis serap. Dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan

persatuan massa bahan itu. Satuan dasar dosis radiasi dinyatakan berkenaan dengan energi yang diserap persatuan massa dalam jaringan. Satuan ini disebut *Gray* (Gy) dan didefinisikan sebagai dosis radiasi yang diserap dalam satu joule per kilogram, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ [2].

B. Kedalaman Maksimum

Kedalaman Z_{max} dosis maksimum terjadi di bawah permukaan pasien tergantung pada energi dan luas lapangan penyinaran. Ketergantungan dengan luas lapangan ini sering diabaikan karena hanya memberikan efek yang kecil. Untuk energi orthovoltage Z_{max} terjadi sangat dangkal di permukaan pasien, 0,5 cm untuk ^{60}Co , dan sampai 5 cm untuk berkas foton 25 MV.

Z_{max} akan meningkat pada luas lapangan $\sim 5 \times 5 \text{ cm}^2$, untuk luas lapangan lebih besar dari $5 \times 5 \text{ cm}^2$ Z_{max} akan menurun dikarenakan efek dari hamburan kolimator (untuk cobalt unit) serta efek dari kolimator dan hamburan dari *flattening filter* (untuk LINAC). Nilai Z_{max} pada berbagai energi ditunjukkan pada tabel 1.

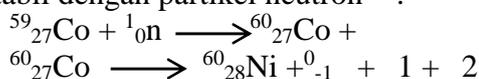
Tabel 1. Dosis Kedalaman Maksimum Z_{max} berbagai energi berkas foton dengan luas lapangan $5 \times 5 \text{ cm}^2$ [3].

Energy (MeV)	Orthovoltage	Co-60	40KV	60KV	100KV	150KV	250KV
0	0	0,5	1	1,5	2,5	3,5	5

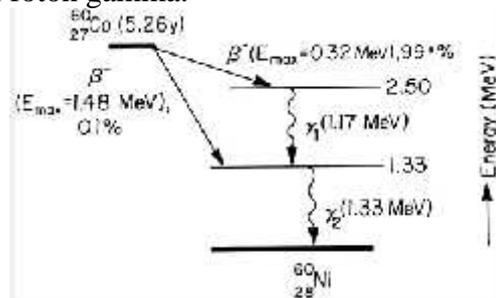
C. Pesawat Radioterapi Cobalt-60

Pesawat radioterapi dengan sumber ^{60}Co termasuk pesawat teleterapi gamma, yaitu alat yang digunakan untuk radioterapi dengan jarak dari sumber ke objek relatif jauh dan memancarkan radiasi gamma dari isotop radioaktif ^{60}Co .

Sumber radiasi ^{60}Co diproduksi di dalam reaktor nuklir dengan cara memborbardir ^{59}Co stabil dengan partikel neutron [4].



Sumber ^{60}Co adalah suatu isotop radioaktif yang memancarkan partikel beta 0,32 MeV dan radiasi gamma dengan energi 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV dan memiliki waktu paruh 5,272 tahun menjadi ^{60}Ni . Partikel beta mempunyai daya tembus terbatas, tidak mampu menembus wadah sumber dan diserap bahan ^{60}Co dan kapsul stainless stell. Sehingga radiasi yang keluar dari sumber radiasi relatif terdiri dari foton gamma.



Gambar 1. Diagram peluruhan ^{60}Co [4]

Sumber radiasi ^{60}Co berbentuk batang silinder padat, dengan panjang dan diameter 2 cm, terselubung di dalam stainless stell. Silinder dimasukkan ke dalam kapsul yang disegel dengan las, sehingga kekuatannya relatif aman. Kapsul dengan sumber tertutup (OFF), laju paparan dosis radiasinya atau dikenal sebagai radiasi bocor tidak mencapai rata-rata 2 mR/jam [5].

D. Teknik Penyinaran Radioterapi dengan Metode Ekuivalen

Metode ini pada prinsipnya didasarkan pada metode Clarkson untuk bidang tak beraturan, yang menyatakan bahwa dosis kedalaman (yang tergantung pada ukuran dan bentuk lapangan) dapat dihitung dengan memisahkan sebagian kecil, dimana bagian tersebut tidak tergantung pada luas dan bentuk lapangan. Asumsi sederhana adalah sumbu pusat dosis pada sembarang bidang dapat disamakan dengan yang ada pada bidang lingkaran dengan luas yang sama.

Namun metode Clarkson ini tidak praktis untuk perhitungan rutin secara manual. Bahkan meskipun untuk perhitungan terkomputerisasi, terlalu banyak data yang

harus dimasukkan. Sterling dkk telah mengembangkan suatu metode sederhana untuk bidang ekuivalen [6].

Menurut [7], bidang persegi panjang ekuivalen dengan bidang bujur sangkar jika keduanya memiliki perbandingan (A/P) yang sama, *area/perimeter* diterjemahkan rasio luas terhadap keliling. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung parameter bidang ekuivalen secara cepat.

1) Untuk bidang persegi panjang

$$\frac{A}{P} = \frac{a \times b}{2(a + b)} \quad (2.10)$$

dengan a menyatakan lebar lapangan (cm)

b menyatakan panjang lapangan (cm)

2) Untuk bidang bujur sangkar

$$\frac{A}{P} = \frac{c^2}{4c} = \frac{c}{4} \quad (2.11)$$

dengan c menyatakan sisi bujur sangkar

sehingga bidang persegi panjang akan ekuivalen dengan bidang bujur sangkar bersisi [4]:

$$c = 4 \frac{a + b}{2(a + b)} \quad (2.12)$$

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pesawat radioterapi Cobalt-60. Pesawat ini dapat menghasilkan radiasi gamma. Detektor yang digunakan adalah *ionization chamber*. Fantom yang dipakai adalah *Virtual Water Phantom* dengan ketebalan (2; 4; 6; 8; 10 cm).

B. Tata Kerja

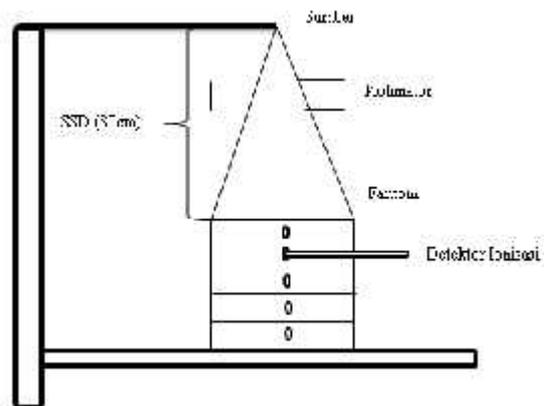
Dalam pengujian pengukuran dosis untuk beberapa luas lapangan penyinaran antara bidang persegi dan bidang persegi panjang terhadap dosis dari pesawat teleterapi Cobalt-60 dalam menentukan ekuivalensi besar dosis dari luas lapangan tersebut, adapun langkah pertama mempersiapkan alat dan bahan yaitu pesawat teleterapi Cobalt-60 dan

phantom dengan kondisi sudah terhubung dengan detektor ionisasi chamber.

Pengambilan data dimulai dengan mengatur posisi gantry pesawat Cobalt-60 pada sudut 0^0 agar berkas yang dipancarkan datang tegak lurus dengan permukaan fantom. Kemudian mengatur jarak (SSD) sumber radiasi 80 cm dari permukaan fantom yang telah dirangkaikan dengan elektrometer dan perangkat komputer.

Selanjutnya dilakukan treatment, untuk pengambilan data dosis dari pesawat teleterapi Cobalt-60 dengan mengatur luas lapangan penyinaran bidang persegi dengan ukuran lapangan bervariasi dengan kedalaman fantom bervariasi, kemudian didapatkan hasil keluaran dosisnya. Hal ini kembali pada luas lapangan penyinaran bidang persegi panjang dengan ukuran bervariasi dan kedalaman fantom bervariasi pula, dan didapatkan hasil keluaran dosisnya. Hasil dosis yang didapat kemudian akan dianalisis dan dibandingkan.

Pengaturan kondisi penyinaran yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan dalam skema diagram pada gambar 2



Gambar 2. Skema Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Dosis pada Lapangan Penyinaran (Bentuk Persegi dengan Persegi Panjang)

Salah satu prinsip radioterapi adalah optimasi dosis yaitu memberikan dosis semaksimal mungkin terhadap jaringan tumor dengan tetap mengupayakan perlindungan organ sehat di sekitar jaringan tumor tersebut. Penggunaan teknik penyinaran merupakan salah satu upaya perlindungan terhadap organ kritis tersebut. Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan pengukuran dosis pada lapangan persegi panjang dan persegi dengan variasi kedalaman fantom.

Penelitian ini menggunakan pesawat Cobalt-60 dengan tipe seri GWXJ80 dan nomor seri zat radioaktifnya GK60T03/010 yang telah melalui uji kalibrasi pada tanggal 5 Maret 2012 oleh Badan pengawas tenaga nuklir. Sehingga pada penelitian ini data yang diperoleh adalah data yang valid.

Hasil pengukuran dosis pada lapangan penyinaran persegi panjang maupun persegi disajikan pada lampiran A.1 dan A.2 sedangkan tabel perbandingan dosis antara bentuk persegi panjang dengan persegi dengan masing-masing ukuran (10 x 5 cm dan 6,6 x 6,6 cm), (10 x 12 cm dan 10,8 x 10,8 cm), (10 x 15 cm dan 12 x 12 cm), (10 x 20 cm dan 13,3 x 13,3 cm), (10 x 25 cm dan 14,2 x 14,2 cm) disajikan pada tabel 5.1.1, tabel 5.1.2, tabel 5.1.3, tabel 5.1.4 dan tabel 5.1.5.

Tabel 2. Perbandingan Dosis Ukuran 10 x 5 cm dan 6,6 x 6,6 cm

Kedalaman (cm)	Dosis (Gy)		Selisih (Gy)
	Persegi Panjang	Persegi	
1	186,1186	186,0084	0,11
3	166,3302	166,2810	0,04
5	145,6681	145,9140	0,24
7	127,7737	126,4640	1,30
9	109,1052	108,9581	0,14

Tabel 3. Perbandingan Dosis Ukuran 10 x 12 cm dan 10,8 x 10,8 cm

Kedalaman (cm)	Dosis (Gy)		Selisih (Gy)
	Persegi Panjang	Persegi	
1	194,1828	193,3492	0,83
3	175,5001	174,7645	0,73
5	156,3917	155,6561	0,73
7	137,1186	137,0205	0,09
9	119,9052	119,8071	0,09

Tabel 4. Perbandingan Dosis Ukuran 10 x 15 cm dan 12 x 12 cm

Kedalaman (cm)	Dosis (Gy)		Selisih (Gy)
	Persegi Panjang	Persegi	
1	195,2812	195,6735	0,39
3	176,8105	177,2519	0,44
5	157,7316	158,2221	0,49
7	139,2413	139,0451	0,19
9	121,7810	122,3205	0,53

Tabel 5. Perbandingan Dosis Ukuran 10 x 20 cm dan 13,3 x 13,3 cm

Kedalaman (cm)	Dosis (Gy)		Selisih (Gy)
	Persegi Panjang	Persegi	
1	197,0768	197,1749	0,09
3	178,7281	178,8262	0,09
5	159,7576	159,9539	0,19
7	141,2599	141,5543	0,29
9	123,8665	124,0137	1,14

Tabel 6. Perbandingan Dosis Ukuran 10 x 25 cm dan 14,2 x 14,2 cm

Kedalaman (cm)	Dosis (Gy)		Selisih (Gy)
	Persegi Panjang	Persegi	
1	198,6084	198,4612	0,14
3	179,9701	180,4611	0,49
5	161,1137	161,2119	0,09
7	142,6032	143,0946	0,49
9	125,0604	125,9449	0,88

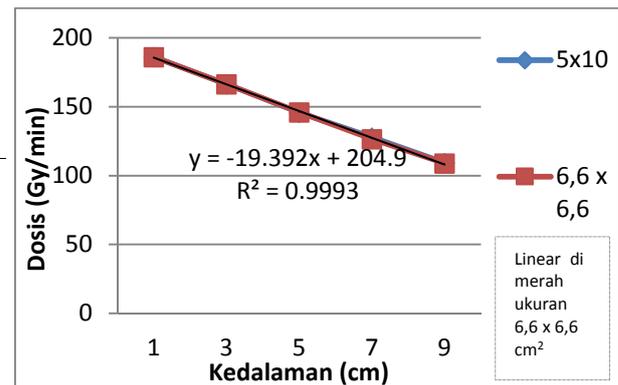
Berdasarkan tabel 2 sampai tabel 6 diperoleh bahwa nilai dosis cenderung turun dengan peningkatan kedalaman fantom yang digunakan. Pada luas lapangan persegi panjang dengan luas lapangan persegi nilai dosis berangsur-angsur turun dengan meningkatnya kedalaman fantom yang digunakan. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin bertambahnya kedalaman fantom yang digunakan, elektron sebagai partikel bermuatan semakin kehilangan rata-rata energinya akibat interaksinya dengan elektron penyusun fantom. Interaksi yang terjadi dapat berupa tumbukan non elastis antara elektron dengan elektron fantom yang menghasilkan proses ionisasi, maupun tumbukan non elastis elektron dengan inti atom fantom.

Lapangan persegi panjang dengan lapangan persegi memiliki selisih antara 0,04 sampai 1,30 Gy. Hal ini terlihat bahwa antara lapangan bentuk persegi panjang dengan persegi perbandingannya sangat kecil, dapat dijelaskan karena dengan menggunakan rumus mencari ekuivalen suatu lapangan.

B. Pengaruh Variasi Kedalaman Terhadap Dosis pada Lapangan Penyinaran Bentuk Persegi dan Persegi Panjang

Pada sub bab ini diambil salah satu contoh ukuran lapangan yaitu lapangan ukuran 5 x 10 cm² dan 6,6 x 6,6 cm² dan yang lainnya disajikan dalam lampiran A.3.

Untuk mengetahui besarnya dosis, dilakukan pengukuran dosis dalam kondisi lapangan terbuka. Pengukuran dosis dilakukan mulai dari kedalaman 1 cm didalam fantom sampai 9 cm. Pengukuran dilakukan dengan SSD 80 cm. Hasil pengukuran dosis dengan ukuran luas lapangan 5 x 10 cm² dan 6,6 x 6,6 cm² dapat dilihat pada gambar 4.1

Gambar 3. Grafik dosis pada ukuran luas lapangan 5 x 10 cm² dan 6,6 x 6,6 cm²

Dari gambar 3 tampak bahwa dosis menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman fantom. Pengukuran ini dilakukan setelah melewati nilai dosis maksimum pada d_{max} yaitu pada kedalaman 0,5 cm, maka untuk masing-masing tingkat energi elektron juga berangsur-angsur turun untuk kenaikan kedalaman fantom yang digunakan. Penurunan ini dikarenakan efek dari hamburan kolimator (untuk cobalt unit). Dan terjadi karena sebagai partikel bermuatan elektron akan kehilangan energinya secara bertahap ketika melewati suatu medium. Penurunan energi ini disebabkan adanya interaksi antara elektron dengan atom penyusun bahan. Sebagai partikel bermuatan elektron mengalami interaksi dengan dipengaruhi gaya Coulomb.

Pada luas lapangan 5x10 cm² dosis serap pada kedalaman 1 cm sebesar 186,1186 Gy, pada kedalaman 3 cm sebesar 166,3302 Gy, pada kedalaman 5 cm sebesar 145,6681 Gy, pada kedalaman 7 cm sebesar 127,7737 Gy, dan pada kedalaman 9 cm sebesar 109,1052 Gy. Untuk luas lapangan 6,6 x 6,6 cm² dosis serap

pada kedalaman 1 cm sebesar 186,0084 Gy, pada kedalaman 3 cm sebesar 166,2810 Gy, pada kedalaman 5 cm sebesar 145,9140 Gy, pada kedalaman 7 cm sebesar 126,4640 Gy, dan pada kedalaman 9 cm sebesar 108,9581 Gy.

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa nilai besar dosis serap pada ukuran luas lapangan 5 x 10 cm² dan 6,6 x 6,6 cm² hampir sama, yaitu warna merah dan warna biru saling berhimpitan dengan perbedaannya tipis sekali berkisar 0,1. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan perumusan ekuivalensi antara lapangan persegi dengan persegi panjang terbukti.

KESIMPULAN

Dari riset yang dilakukan dapat disimpulkan ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Lapangan penyinaran dengan bentuk persegi dengan persegi panjang memiliki nilai dosis yang hampir sama, yaitu mempunyai selisih antara 0,04 sampai 1,30 Gy.
2. Nilai dosis yang diterima fantom mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kedalaman fantom yang digunakan. Penurunan nilai dosis ini terjadi karena elektron sebagai partikel bermuatan secara bertahap kehilangan energinya setelah berinteraksi dengan atom penyusun fantom. Penurunan nilai dosis ini didapatkan setelah melewati nilai kedalaman maksimumnya (d_{max}).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Moewardi Surakarta-Solo bagian Instalasi Radioterapi atas bantuan dan dukungannya dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sandy, K., 2010, *Profil Berkas Sinar – X Lapangan Simetris dan Asimetris Pada Pesawat Linac Siemens Primus 2d Plus*, Jakarta, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN.
- [2] Akhadi, M., 2000, *Dasar - dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, PT Rineka Cipta.
- [3] Podgorsak, B. E., 2005, *Radiation Oncology Physics; a Handbook for teachers and Students*, IAEA, Vienna, Austria
- [4] Khan, F.M. 2003. *The Physics of Radiation Therapy, third edition.*, Lippincott Williams and Wilkins., New York.
- [5] Warsito, B., Pilay, S.S., Sudirman, 1990, *Pedoman Pemeriksaan Proteksi dan Paparan Radiasi Instalasi Radioterapi I*, Jakarta, Depkes RI.
- [6] Johns, H.E., Cunningham, J.R., 1978, *The Physics of Radiology; Third Edition*, USA, Charles C Thomas.
- [7] Sterling T.D., Perry H., Katz I., 1964, *Derivation of a Mathematical Expression for the Percent Depth Dose Surface of Cobalt 60 Beams and Visualization of Multiple Field Dose Distributions*. Br J Radiol;37:254.