

Penentuan distribusi dosis serap target volume kanker serviks pada radioterapi Cobalt-60 berbasis Monte Carlo

Caecilia Ayu Larasati, Wihantoro*, Aris Haryadi, dan Etmy Kurniasari

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*email: wihantoro@unsoed.ac.id

Abstrak - Penyinaran radioterapi pada kanker serviks diperlukan perencanaan. Treatment Planning System (TPS) radioterapi diperlukan untuk memaksimalkan dosis serap sel kanker dan meminimalkan dosis serap pada organ sekitar. Untuk mengetahui distribusi dosis serap pada kanker serviks maka diperlukan simulasi menggunakan Monte Carlo. Monte Carlo menggunakan metode probabilistik karena perjalanan foton secara acak dan heterogenitas organ yang diradiasi. Pemodelan phantom organ dilakukan mengacu pada ukuran tubuh wanita dewasa di Asia menggunakan Taiwanese Reference Woman (TRW). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan distribusi dosis serap radiasi sel kanker serviks dan organ sekitar, dengan teknik penyinaran sudut 0° dan 180° , serta menentukan distribusi dosis serap gabungan dari variasi penyinaran dalam bentuk kontur radiasi berdasarkan target volume (Gross Tumor Volume, Clinical Target Volume dan Planning Target Volume) ICRU 50. Berdasarkan hasil penelitian dosis serap gabungan yang dihitung dari dua sudut penyinaran 0° dan 180° pada target radiasi GTV sel kanker 1,32 Gy, kandung kemih 1,29 Gy, serviks 0,350 Gy, dan rektum 1,21 Gy. Hasil target radiasi GTV sel kanker berada dibawah rentang dosis radiasi yang diperbolehkan yaitu 1,5-2,5 Gy. Distribusi dosis serap maksimum terdapat pada target radiasi tepat mengenai sel kanker dan memenuhi syarat laporan ICRU 50. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dilanjutkan dengan menggunakan Multi Leaf Collimator dan menambah organ yang ada pada bagian perut bawah wanita dewasa sehingga dapat mengetahui sebaran dosis serap keseluruhan organ bagian perut.

Kata kunci: Dosis serap, Monte Carlo, Radioterapi, Treatment Planning System.

Abstract – Radiotherapy for cervical cancer required planning. Treatment Planning System (TPS) is purposed to maximize absorbency dose in the cancer tumour and minimize absorbency dose surrounding organs. To find out the absorption distribution of cervical cancer, a simulation using Monte Carlo is needed. Monte Carlo used the probabilistic method because of the random travel of photons and the heterogeneity of the organ in radiation. Phantom organ modeling is carried out referring to the body size of adult women in Asia using Taiwanese Reference Woman (TRW). The study aims to determine the distribution of absorption dose of cervical cell cancer and surrounding organs, with 0° and 180° angles irradiation techniques, and to determine the combined absorption dose distribution of irradiation variations in the form of radiation contour based on target volume (Gross Tumor Volume, Clinical Tumor Volume and Planning Target Volume) ICRU 50. Based on the results of the study the combined absorption dose calculated from two irradiation angles of 0° and 180° on the target of GTV radiation cell cancer 1,32 Gy, bladder 1,29 Gy, cervix 0,350 Gy, and rectum 1,21 Gy. The results GTV radiation target of cancer cells is given based on the allowed radiation dose of 1,5-2,5 Gy. Distribution of maximum absorption dose according to the radiation target of the cancer cell and meets the requirements of the ICRU 50 report. From the research that has been done, it can be continued by using the Multi Leaf Collimator and adding organs in the lower abdomen of adult women so that can find out the distribution of the overall absorptive dose of the abdominal organs.

Key words: Absorption dose, Monte Carlo, Radiotherapy, Treatment Planning System

PENDAHULUAN

Kanker merupakan penyakit akibat pertumbuhan tidak normal dari sel-sel jaringan tubuh yang berubah menjadi sel kanker. Sel kanker yang berkembang dapat merusak organ atau jaringan tubuh sehingga dapat mengganggu fungsi dari organ atau jaringan tersebut. Kanker rahim atau

serviks merupakan kanker yang paling sering menyerang wanita dewasa. Di Indonesia diperkirakan ditemukan 40 ribu kasus kanker mulut rahim setiap tahunnya. Berdasarkan data kanker berbasis patologi di 13 pusat laboratorium patologi, kanker serviks merupakan penyakit kanker yang memiliki

jumlah penderita terbanyak di Indonesia, yaitu lebih kurang 36% [1].

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, semakin banyak teknik dan metode dalam pengobatan kanker. Salah satu pengobatan kanker yaitu radioterapi. Radioterapi adalah metode pengobatan penyakit-penyakit maligna (tumor yang terdiri dari sel kanker) dengan menggunakan sinar pengion, bertujuan untuk mematikan sel-sel kanker sebanyak mungkin dan melindungi jaringan sehat di sekitar tumor agar tidak menderita kerusakan terlalu berat [2].

Radioterapi Cobalt-60 pada kanker serviks dilakukan penyinaran eksternal dua arah yaitu *anteroposterior-posteroanterior* (AP-PA) dengan dosis total sebesar 2 Gy sudut penyinaran 0° dan 180° . Sebelum dilakukan radioterapi diperlukan perencanaan terapi atau *Treatment Planning System* (TPS) dengan tujuan agar *treatment* tepat sasaran dengan memaksimalkan dosis pada target yang akan diradiasi dan meminimalkan efek pada jaringan normal disekitar target. TPS yang digunakan adalah TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Stovall *et al* [3] bahwa telah dilakukan perhitungan dosis serap pada radioterapi eksternal menggunakan metode Monte Carlo pada kanker serviks. Dalam penelitian Stovall [3] organ yang diukur dosis serapannya adalah otak, payudara, ginjal, paru-paru, ovarium, pankreas, kelenjar ludah, perut dan tiroid. Pada penelitian ini dosis serapan yang telah diukur adalah *Organ At Risk* yaitu kandung kemih dan rektum serta sebaran dosisnya. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat diketahui besar dosis serapan pada sel kanker, serviks, kandung kemih dan rektum serta pola distribusi dosis *target volume* dengan berdasarkan ICRU 50.

METODE PENELITIAN

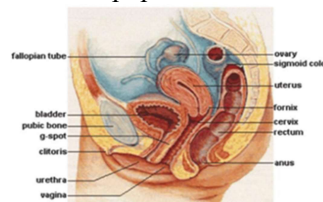
Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60, pemodelan *phantom* serviks, daerah kanker dan OAR (rektum dan kandung kemih), analisis dan verifikasi dari *Gross Tumor Volume* (GTV), *Clinical Target Volume* (CTV) dan *Planning Target Volume* (PTV) dengan *Treatment Planning System* (TPS) berdasarkan *report The International Commission on Radiation Unit and Measurement* (ICRU) 50.

1. Pemodelan Unit Kepala Pesawat Radioterapi Co-60

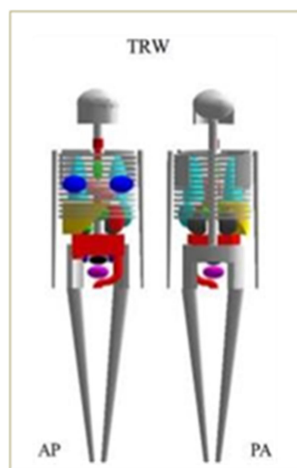
Unit kepala radioterapi Co-60 dimodelkan dengan geometri sederhana menggunakan *phantom*. Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 telah dilakukan oleh Aat Maftuhatus [4]. Pemodelan dibuat hanya terdiri komponen utamanya saja yaitu sumber radiasi Co-60 dan kolimator. Kolimator terdiri dari kolimator primer dan sekunder. Pemodelan geometri ini dilakukan sebagai input yang dimasukkan yaitu densitas, material penyusun, bentuk, dan ukuran *surface* pada program MCNPX *Visual Editor*.

2. Pemodelan *phantom* serviks, daerah kanker dan OAR (rektum dan kandung kemih)

Terdapat beberapa organ yang akan dimodelkan dengan *phantom* TRW, organ tersebut adalah serviks (leher rahim) dan OAR. Bentuk serta jarak antar organ dibuat berdasarkan anatomi organ perut wanita dewasa seperti pada **Gambar 1**. Terdapat organ yang memiliki resiko dan sensitifitas tinggi terhadap radiasi [5]. Rektum dan kandung kemih merupakan OAR sehingga termasuk *critical organ* dalam *treatment* radioterapi pada kanker serviks.



Gambar 1 Anatomi serviks, rektum dan kandung kemih wanita [6]



Gambar 2 Model Phantom TRW organ tubuh wanita dewasa anteroposterior (depan) - posteroanterior (belakang) [7]

Phantom TRW menggunakan komposisi material organ dan data geometri masyarakat Asia, sehingga dapat dilihat pada **Gambar 2** organ tubuh wanita dewasa tampak depan dan belakang. Jaringan tubuh memiliki volume, densitas dan komposisi dasar yang berbeda-beda. Berikut merupakan volume, densitas dan komposisi dasar jaringan tubuh berdasarkan model *phantom* TRW **Tabel 1** [7].

Tabel 1 Densitas dan komposisi dasar seluruh organ pada phantom TRW [7]

Organ	Usus besar	Kandung kemih	Uterus
Densitas (g/cm ³)	1,04	1,04	1,04
Volume (cm ³)	502	84	84
%	H	10,6	10,5
	C	11,5	9,6
	N	2,2	2,6
	O	75,1	76,1
	Ca	-	-
	Na	0,1	0,2
	P	0,1	0,2
	S	0,1	0,2
	Cl	0,2	0,3
	K	0,1	0,3

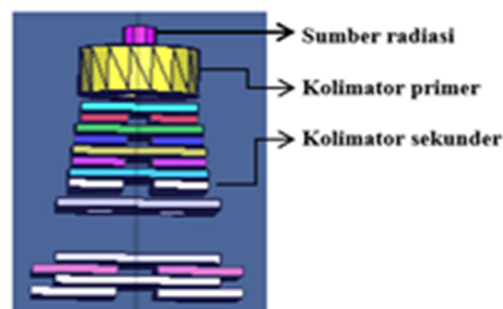
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi radioterapi kanker serviks untuk mengetahui distribusi dosis serap pada kanker serviks dan organ sekitarnya dengan penyinaran eksternal dua arah *anteroposterior* sudut 0° dan *posteroanterior* sudut 180° masing-masing

sebesar 1 Gy. Pemodelan organ dilakukan dengan membuat *phantom* organ menggunakan MCNPX *Visual Editor*. Organ yang disimulasikan adalah kanker pada serviks, kandung kemih dan saluran anus (rektum). Organ yang disimulasikan merupakan *critical organ* dimana letak organ sangat beresiko dalam *treatment* penyinaran radioterapi. Teknik yang digunakan dalam pengukuran dosis pada pasien menggunakan teknik *Source Surface Distance* (SSD) 80 cm dengan metode *Percentage Depth Dose* (PDD) kedalaman 5 cm [4]. Distribusi dosis pada kanker dapat ditentukan melalui metode Monte Carlo menggunakan MCNPX, dengan menyimulasikan pergerakan foton yang dipancarkan oleh sumber yaitu Co-60. Hasil yang didapat dari distribusi dosis kemudian dilakukan analisis GTV, CTV, PTV sesuai pada *report* ICRU 50 (1993) berdasarkan TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto untuk melihat sasaran dosis yang diterima pada setiap organ.

A. Pemodelan Unit Kepala Pesawat Radioterapi Co-60 Penyinaran Sudut 0° dan sudut 180°

Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 pada penelitian ini merujuk pada pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 Maftuhaturun (2018) beserta nilai PDD kedalaman 5 cm dan jarak SSD 80 cm dan medan radiasi (10x10) cm. Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 terdiri dari geometri sumber radiasi, kolimator primer dan kolimator sekunder seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60

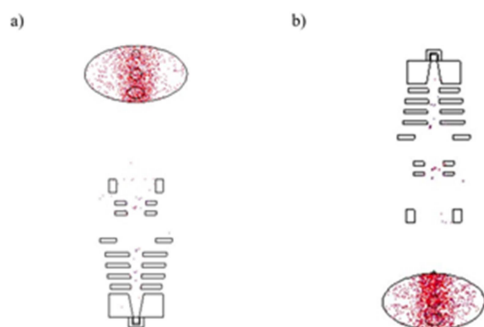
Sumber radiasi

Sumber radiasi yang digunakan adalah Co-60 dimana dapat menyebar ke segala arah dengan energi diskrit 1,17 MeV dan 1,33 MeV [2]. Inti sumber Co-60 dilindungi oleh kepala sumber

(source head) merupakan bagian perangkat radioterapi eksternal tempat menyimpan dan mengeluarkan radionuklida Co-60 sebagai sumber radiasi [8].

Kolimator

Unit kepala pesawat Radioterapi Co-60 terdiri dari dua macam kolimator, yaitu kolimator primer dan kolimator sekunder. Kolimator ini terbuat dari bahan Tungsten yang memiliki densitas sebesar $19,3 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan kolimator sekunder berfungsi untuk membentuk medan radiasi.

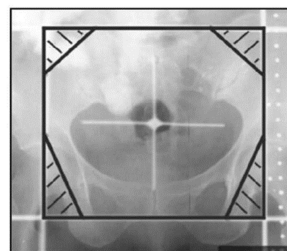


Gambar 4 Ilustrasi penyinaran radioterapi kanker serviks a) atas (sudut 0°) dan b) bawah (sudut 180°).

Pada penyinaran radioterapi kanker serviks dilakukan penyinaran dua arah. Pada sudut 0° unit kepala pesawat radioterapi berada di atas tubuh pasien. Pada sudut 180° kolimator diputar ke bawah tubuh pasien. Pemodelan unit pesawat radioterapi penyinaran sudut 0° dan 180° dalam 2D dapat dilihat pada **Gambar 4**.

B. Pemodelan Geometri Phantom Kanker pada Serviks dan Organ At Risk (OAR)

Geometri dan definisi material yang digunakan dalam pemodelan phantom TRW sangat penting dalam simulasi radioterapi kanker serviks. Dalam pembuatan geometri selalu dibutuhkan data input yang diperlukan meliputi densitas, material penyusun, bentuk dan ukuran surface serta cell. Densitas, volume dan material penyusun diambil dari phantom TRW oleh Chang (2016) dan pemodelan blok Timbal (Pb) berdasarkan TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Radiografi anterior (bagian depan) menunjukkan batas bidang AP-PA dan empat blok sudut [9]

Pemodelan organ perut bagian bawah wanita dewasa secara tepat tidaklah mudah. Oleh karena itu dilakukan pendekatan dengan membuat geometri organ yang sesuai dengan volume. Organ yang disimulasikan adalah sel kanker pada serviks, kandung kemih dan rektum. Bentuk organ yang disimulasikan dibuat berdasarkan bentuk anatomi tubuh wanita dewasa dan referensi Los Alamos National Laboratory [10]. Pada Input MCNP merupakan bagian terpenting dalam simulasi partikel dan pembuatan phantom organ. Struktur Input ini terdiri dari tiga bagian utama yang disebut CARDS. Ketiga CARDS tersebut adalah title cards, cell cards, surface cards dan data cards. Penulisan input MCNPX pada surface cards membuat geometri kandung kemih ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Input MCNPX geometri kandung kemih pada kartu permukaan

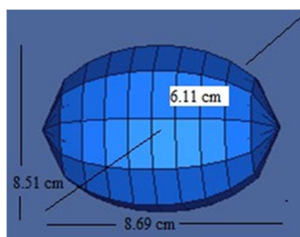
Nomor Permukaan	Mnemonic	List
207	Sq	0.040681 0.083628 0.083628 0 0 0 - 1 0 -17.6 2.5
208	Sq	0.040681 0.097291 0.097291 0 0 0 - 1 0 -17.6 2.5

Dalam pembuatan geometri kandung kemih pada MCNPX Visual Editor input yang dimasukan pertama adalah nomor permukaan (Surface number), kemudian alphabetic mnemonic dan dilanjutkan dengan list (spesifikasi input yang mendeskripsikan permukaan seperti dimensi dan radius dalam centimeter pada surface cards). Geometri yang digunakan pada kandung kemih adalah ellipsoid. Ellipsoid yang digunakan untuk membuat geometri kandung kemih yaitu permukaan 207. "Sq" menandakan bahwa permukaan ini merupakan ellipsoid yang paralel pada sumbu x , y atau z . Nilai yang harus dimasukkan dalam

input yaitu A, B, C, D, E, F, G, \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} . Nilai \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} adalah posisi geometri dari pusat koordinat ke titik pusat bidang torus. Nilai A, B, C, D, E, F, G diperoleh dari **persamaan 1**.

$$A(x - \bar{x})^2 + B(y - \bar{y})^2 + c(z - \bar{z})^2 + 2D(x - \bar{x}) + 2E(y - \bar{y}) + 2F(z - \bar{z}) + G = 0 \quad (1)$$

Dari hasil persamaan mnemonic Sq maka akan membentuk liszt (spesifikasi input pada MCNP untuk membentuk geometri ellipsoid).



Gambar 6 Pemodelan organ kandung kemih hasil simulasi

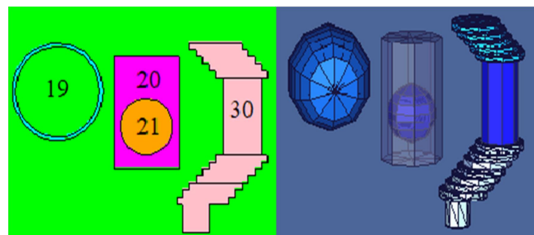
Masing-masing organ diberi nomor sel dan memiliki warna yang berbeda bergantung pada densitas setiap organ. Volume, densitas dan komposisi setiap organ terdapat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** [7]. Nomor sel setiap organ dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Daftar nomor sel setiap organ pada *phantom* organ perut bagian bawah

Organ	No. Sel pada MCNPX
Kandung Kemih	19
Saluran anus (<i>rectum</i>)	30
Serviks	20
Sel kanker	21

Sel kanker disimulasikan berbentuk bola yang letaknya di dalam serviks. Posisi sel kanker berada pada titik koordinat sumbu (x, y, z) yaitu berada pada titik (0, -10,8, 0). Berdasarkan data TPS radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto kanker yang disimulasikan adalah kanker stadium IIIB. Kanker pada tingkatan stadium IIIB memiliki besar diameter 4 cm [11]. Geometri serviks dan saluran anus (*rectum*) disimulasikan berbentuk tabung. Geometri serviks berada pada titik koordinat sumbu (x, y, z) yaitu titik (0, -10,8, 0)

dengan jari-jari 2.5 cm. Geometri saluran anus (*rectum*) yang akan disimulasikan berada pada titik koordinat sumbu (x, y, z) yaitu titik (0, -3,5, 0) dengan jari-jari 1,5 cm, sedangkan untuk saluran ke atas (usus besar) dan saluran ke bawah (anus) disimulasikan dengan silinder yang bertumpuk supaya bentuknya sesuai dengan fisiologi organ perut bagian bawah wanita dewasa. Geometri *phantom* organ perut bagian bawah hasil simulasi dalam 2D dan 3D dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Geometri phantom organ bawah perut wanita dewasa 2D (kiri) dan 3D (kanan)

Simulasi partikel dapat dilihat dan dilakukan dengan Particle Track Plotting. **Gambar 7** merupakan simulasi Particle Track Plotting menggunakan 1000 partikel untuk menunjukkan radiasi gamma dari sumber Co-60 dengan sudut penyinaran 0° dan 180° mengenai phantom organ perut bagian bawah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa radiasi gamma mempunyai arah dan interaksi yang random baik pada unit kepala linac maupun phantom.

C. Dosis Serap Masing-masing Organ

Pemodelan pesawat radiasi Co-60 dan phantom organ perut bagian bawah wanita dewasa yang telah dibuat, dilakukan simulasi untuk menentukan distribusi dosis masing-masing organ dengan sudut penyinaran 0° dan 180°. Setiap organ yang telah disimulasikan kemudian dihitung menggunakan *tally*, yaitu perhitungan khusus yang akan diakumulasi saat simulasi [12]. Perhitungan ini berupa nilai fluks atau energi dalam satuan tertentu. Terdapat beberapa jenis *tally* pada Tally cards MNCPX, untuk menghitung deposit energi rata-rata pada sebuah sel *tally* yang digunakan adalah *tally f6*. Untuk mendapatkan nilai dosis yang sebenarnya dilakukan penambahan faktor multiplikasi *fm6* karena output *f6* memiliki satuan MeV/g. Faktor pengali (*fm*) sebesar $1,6 \times 10^{-10}$ agar output yang dihasilkan memiliki satuan gray (Gy). Untuk sumber partikel berupa zat radioaktif maka jumlah partikel adalah sebanding dengan intensitas medan radiasi yang diketahui dari

nilai aktivitas radiasinya [13]. Perhitungan aktivitas sumber radioterapi yang mengenai medan radiasi dapat dilihat di bawah ini. Dosis serap setiap organ yang dihasilkan dari penyinaran 0° dan 180° dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Dosis serap per organ pada masing-masing organ dalam satuan gray (Gy)

Organ	Dosis serap (Gy)		
	Sudut 0°	Sudut 180°	Gabungan kedua sudut
Sel kanker	0,656	0,661	1,32
Kandung kemih	0,902	0,389	1,29
Serviks	0,175	0,175	0,350
Rektum	0,337	0,868	1,21

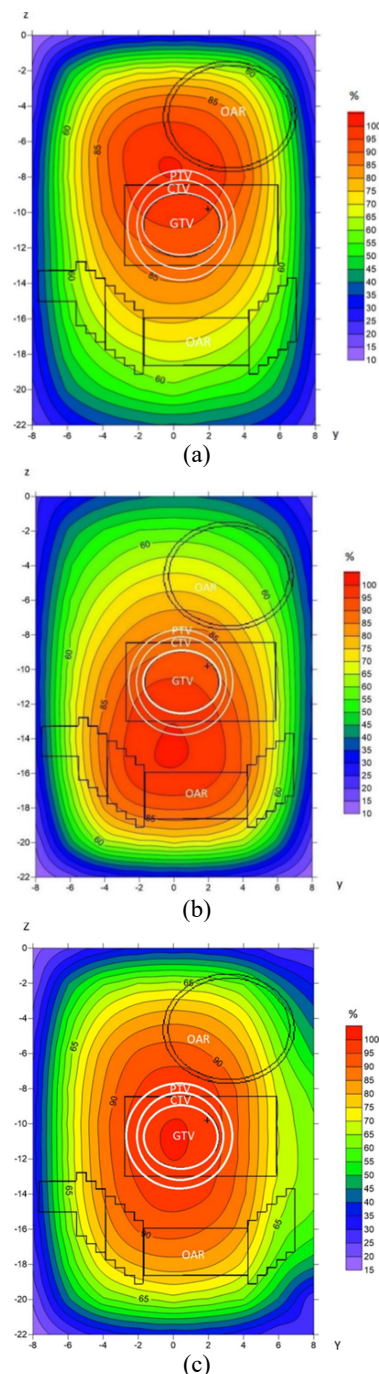
Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa dosis yang paling banyak diterima pada sudut gabungan 0° dan 180° adalah sel kanker yaitu sebesar 1,32 gray. Pada sudut 0° besar dosis serap sel kanker adalah 0,656 gray dan pada sudut 180° adalah 0,661 gray. Menurut data hasil PDD diketahui bahwa faktor build up terjadi pada kedalaman 0,5 cm, selanjutnya semakin dalam posisi suatu organ maka persentase dosis serap akan semakin rendah. Dengan begitu organ lain yang berada dekat dengan permukaan yang disinari akan lebih besar. Hasil simulasi yang diperoleh juga menunjukkan hal yang serupa, yaitu organ-organ yang berada pada posisi dekat permukaan yang disinari menyerap dosis yang lebih besar. Pada siklus sel, sel sehat akan lebih cepat beregenerasi daripada sel kanker. Oleh sebab itu penyinaran radioterapi dilakukan beberapa kali fraksi sehingga memungkinkan sel-sel normal beregenerasi sebelum dosis tambahan diberikan [15].

Deviasi dosis serap radiasi yang diperbolehkan yaitu $-25\% \leq x \leq 25\%$, apabila dosis radiasi yang direncanakan adalah 2 Gy sehingga dosis radiasi yang diterima berada pada rentang (1,5-2,5) Gy [15]. Dengan demikian dosis radiasi yang diterima di atas 2,5 Gy maka jaringan sehat yang ada di sekitar kanker akan menerima radiasi yang tinggi, sehingga akan terjadi penyebaran kanker pada jaringan sehat. Total dosis serap yang diterima sel kanker (GTV) sebesar 1,32 gray dimana

dibawah 1,5 Gy maka setelah proses penyinaran radiasi selesai kemungkinan akan menyebabkan kanker muncul kembali, oleh karena itu pada treatment kanker serviks dilakukan tindakan lanjutan yaitu Brachytherapy. Pada penyinaran radioterapi eksternal memang mempunyai resiko tinggi pada OAR karena posisi penyinaran sejajar dengan kandung kemih dan rektum akan tetapi total dosis serap yang diterima masih dibawah batas maksimum.

D. Distribusi Dosis Serap Total dan Pola Target Volume (GTV, CTV, PTV) Organ Kandung Kemih, Serviks, dan Rektum Wanita Dewasa

Distribusi dosis serap total pada phantom organ perut bagian bawah dibuat dalam bentuk kontur untuk mengetahui sebaran dosis yang diterima terhadap kedalaman. Sebaran dosis dalam bentuk kontur menunjukkan distribusi dosis serap dalam satu sayatan phantom koordinat (y,z), yaitu sumbu y menunjukkan sisi mendatar perut dan sumbu z menunjukkan kedalaman perut agar dapat terlihat sebaran dosis radiasi terhadap OAR pada kanker serviks. Pada kontur tersebut dibuat dalam satuan persen. Distribusi dosis serap ini diperoleh dari hasil running MCNPX menggunakan tally f5 yang menghasilkan nilai fluks energi dengan satuan MeV/cm^2 , kemudian dikonversikan kesatuan dosis serap. Dalam melakukan External Beam Radiotherapy (EBRT) pada kanker serviks dilakukan penyinaran total sebanyak 25 kali dengan dosis serap per-fraksi adalah 2 Gy. Penyinaran dilakukan dua kali dengan sudut 0° dan 180° masing-masing 1 Gy. Oleh karena itu simulasi ini mengasumsikan bahwa dosis serap maksimum yang harus diterima oleh organ pada masing-masing sudut penyinaran adalah 1 Gy. Hasil output f5 dinormalisasi terlebih dahulu (nilai fluks per-organ dibagi dengan nilai fluks terbesar seluruh organ) kemudian dikalikan dengan 100% sehingga hasilnya dalam persen. Hasil data fluks energi yang telah dinormalisasi tersebut kemudian dibuat kontur distribusi dosis serapnya dengan Surfer 10. Dengan begitu dapat diketahui distribusi dosis yang diserap pada sayatan phantom tersebut. Kontur distribusi dosis serap yang telah dibuat dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8 Kontur penyebaran distribusi dosis serap terhadap kedalaman perut dalam persen a) sudut penyinaran 0° ($100\%=1\text{Gy}$) b) Sudut penyinaran 180° ($100\%=1\text{Gy}$) c) Sudut penyinaran gabungan ($100\%=2\text{Gy}$)

Pada gambar dapat dilihat penyebaran distribusi dosis pada kedalaman organ serta pola target volume yang memuat GTV, CTV, PTV berdasarkan report ICRU 50. Pada penelitian ini GTV telah ditentukan letak dan ukurannya oleh

dokter. Sel kanker berada pada organ serviks dengan diameter 4 cm kemudian dibuat pola CTV dan PTV dengan margin $\text{CTV} = \text{GTV} + 1\text{ cm}$ dan $\text{PTV} = \text{CTV} + 1\text{ cm}$ [16]. Kontur tersebut dibuat dalam satuan persen dengan besar dosis maksimal pada masing-masing sudut 1 Gy dan sudut gabungan 2 Gy. Pada penyinaran sudut 0° kolimator berada di atas perut dimana organ yang paling dekat dengan pusat penyinaran adalah organ kandung kemih kemudian di bawahnya terdapat serviks dan rektum.

Radioterapi sinar foton eksternal biasanya dilakukan dengan lebih dari satu sudut sinar radiasi untuk mencapai distribusi dosis seragam di dalam target volume dan dosis serendah mungkin di jaringan sehat di sekitar target. **Gambar 9** (c) adalah hasil kontur distribusi dosis serap dari gabungan penyinaran sudut 0° dan 180° dengan luas lapangan penyinaran sebesar $(10 \times 10)\text{ cm}^2$. Hasil penyebaran total dosis serap dapat dilihat bahwa terpusat pada daerah GTV (sel kanker). Rentang distribusi dosis pada GTV sebesar 95%-100%, pada daerah CTV 95% dan PTV 90%. Rentang dosis yang terdapat pola target volume masih dalam kategori aman karena menurut laporan ICRU 50 rentang aman keseragaman dosis target di pusat kanker $+7\%$ dan -5% dari dosis yang ditentukan dalam resep dokter onkologi [17]. Sedangkan untuk OAR yang terkena paparan radiasi dibawah 90% pada simulasi ini masih dalam kategori diperbolehkan/ aman karena luasan daerah yang terpapar radiasi 70%-90% kecil dan masih dibawah batas maksimum dosis yang diperbolehkan dari perhitungan dosis serap per-organ **Tabel 4**. Distribusi dosis serap juga dilakukan tegak lurus dengan arah penyinaran dimana diambil letak pada titik tengah kanker, akan tetapi OAR menjadi sulit dianalisis karena letaknya sejajar dengan sel kanker (GTV).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan unit kepala pesawat radioterapi Co-60 dan *phantom* organ bagian bawah perut pada wanita dewasa telah berhasil dibuat menggunakan MCNPX *Visual Editor*. Dosis serap gabungan yang dihitung dari dua sudut penyinaran 0° dan 180° pada target radiasi GTV sel kanker 1,32 Gy, kandung kemih 1,21 Gy, serviks 0,350 Gy, dan rektum 1,29 Gy. Distribusi dosis serap maksimum terdapat pada target radiasi tepat mengenai sel kanker (GTV)

sebesar 95%-100%, pada daerah CTV 95% dan PTV 90% dan memenuhi syarat laporan ICRU 50.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada seluruh dosen, staf jurusan Fisika Universitas Jenderal Soedirman dan staf unit radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo, Purwokerto yang tidak dapat peneliti sebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Rasjidi, "Epidemiologi Kanker Serviks," *Indonesian Journal of Cancer*, vol. 3, pp. 103-108, 2009.
- [2] M. Khan and J. P. Gibbons, *The Physics of Radiation Therapy*, 5th ed., Philadelphia: Two Commerce Square, 2014.
- [3] M. Stovall, S. A. Smith and M. Rosenstein, "Tissue Doses from Radiotherapy of Cancer of the Uterine Cervix," *Medical Physics*, vol. 5, 1989.
- [4] A. Maftuhatur, "Perhitungan Distribusi Dosis Radiasi Kanker Payudara dan Organ Sekitar dengan Teknik Tangensial Menggunakan Program MCNPX," *Skripsi*, 2018.
- [5] E. Weiss, S. Richter and T. Kraus, "Conformal Radiotherapy Planning of Cervix Carcinoma: differences in the delineation of the Clinical Target Volume," *Radiation Oncology*, pp. 87-95, 2003.
- [6] H. Kim, M. S. Huq and S. Beriwal, *Clinical Application of Ultrasound Imaging in Radiation Therapy*, USA: University of Pittsburgh Cancer Institute, 2016.
- [7] S. J. Chang, S. Y. Hung and Y. L. Liu, "Construction of Taiwanese Adult Reference Phantoms for Internal Dose Evaluation," *PLOS ONE*, vol. 9, p. 11, 2016.
- [8] W. Santoso, "Desain Dasar Perangkat Radioterapi Eksternal Menggunakan Cobalt-60," *Jurnal Pernagkat Nuklir*, vol. 6, 2012.
- [9] IAEA, "Management of cervical cancer: Strategies for limited - resources centres- A guide for radiation oncologist," International Atomic Energy Agency, Vienna, 2013.
- [10] A. L. Reed, *Medical Physics Calculations with MCNP: A Primer*, Texas: Los Alamos National Laboratory, 2007.
- [11] T. Toita, K. Ogawa and H. Moromizato, "Combination External Beam Radiotherapy and High Dose Rate Intracavitary Brachytherapy for Uterine Cervical Cancer: Analysis of Dose and Fractionation Schedule," *Radiation Oncology*, pp. 1344-1353, 2003.
- [12] H. Oktajianto, *Dasar-dasar Software MCNP*, Semarang: Kelompok Studi Fisika Radiasi (KSFR), Fisika Universitas Diponegoro, 2015.
- [13] Rasito, *Pengenalan MCNP untuk Pengkajian Dosis*, Pusdiklat-BATAN, 2013.
- [14] J. R. Hubenak, Q. Zhang, D. C. Branch and S. J, "Mechanisms of injury to normal tissue after radiotherapy: a," *National Institute of Health*, vol. 133, pp. 49e-56e, 2014.
- [15] M. Handayani, "Verifikasi Ketepatan Hasil Perencanaan Nilai Dosis Radiasi Terhadap Penerimaan Dosis Radiasi pada Pasien Kanker," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 5, 2016.
- [16] E. A. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: Hand Book for Teacher and Student*, Austria: IAEA, 2005.
- [17] J. A. Purdy, "Current ICRU Definition of Volumes: Limitations and Future Directions," ICRU, 2004.

Identifikasi daerah rawan tanah longsor menggunakan metode geolistrik di desa Karangtengah kecamatan Imogiri kabupaten Bantul

Phisca Maulana Zaky Ichsany, Denny Darmawan*

Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

Jl. Colombo No.1 Karangmalang Yogyakarta 55281

*e-mail:darmawan@uny.ac.id

Abstrak – Tujuan penelitian ini adalah mengetahui nilai resistivitas lapisan tanah dan struktur bawah permukaan di daerah rawan tanah longsor. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole di daerah rawan tanah longsor Desa Karangtengah, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul dengan koordinat daerah penelitian 7,9430° LS sampai 7,9401° LS dan 110,3962° BT sampai 110,3939° BT. Pengambilan data menggunakan resistivitymeter merek Syscal. Panjang setiap lintasan yaitu 200 m dengan jarak antar elektroda adalah 10 m. Struktur bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari material lempung dengan nilai resistivitas 3,39 Ω m - 58,3 Ω m dan material batu pasir dengan nilai resistivitas 58,4 Ω m - 319,89 Ω m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material lempung mendominasi daerah tersebut, sehingga ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi dapat berpotensi longsor karena kemiringan lereng lebih dari 40°. Bidang gelincir daerah penelitian belum terlihat hingga kedalaman 21,8 m, sehingga diperkirakan bidang gelincir berada di kedalaman lebih dari 21,8 m.

Kata kunci: tanah longsor, bidang gelincir, metode geolistrik

Abstract – The purpose of this research was to determine the resistivity value of soil layer and subsurface structures in a landslide prone area. This research used geoelectrical method with dipole-dipole configuration in landslide prone area of Karangtengah Village, Imogiri Subdistrict, Bantul Regency with coordinates of 7.9430° S to 7.9401° S and 110.3962° E to 110.3939° E. The data were acquired using a Syscal resistivitymeter. The length of each track was 200 m with distance between electrodes is 10 m. The subsurface structure of the research area consists of clay material with resistivity values of 3.39 Ω m - 58.3 Ω m and sandstone material with resistivity values of 58.4 Ω m - 319.89 Ω m. Based on the results, it is shown that clay material dominates the area, so when there is a high-intensity rain, it can trigger landslides because the slope is more than 40°. The slip plane of the research area has not been found until a depth of 21.8 m, so it is estimated that the slip plane is at a depth of more than 21.8 m.

Key words: landslide, slip plane, geoelectrical method

PENDAHULUAN

Indonesia berada pada garis khatulistiwa, sehingga Indonesia memiliki iklim tropis. Dampak dari iklim tropis di Indonesia adalah terdapat dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau [1]. Pada musim hujan, Indonesia mengalami bencana tanah longsor dan banjir sedangkan musim kemarau mengalami kekeringan dan kebakaran hutan. Tanah longsor dapat terjadi karena adanya faktor dari alam dan manusia. Faktor alam yang menjadi penyebab terjadinya tanah longsor yaitu ketebalan tanah, lerengnya curam, hujan deras dan gempa bumi [2]. Faktor manusia yang menyebabkan tanah longsor yaitu penebangan hutan sehingga menyebabkan tanah mudah bergerak dan penggalian tambang. Akibat yang ditimbulkan dari tanah longsor yaitu korban jiwa, harta,

rusaknya bangunan warga dan rusaknya akses jalan warga [3].

Kabupaten Bantul merupakan salah satu daerah yang sering mengalami bencana alam, karena di Bantul terdapat perbukitan yang rawan terjadi tanah longsor, seperti daerah Imogiri, Dlingo, Piyungan, dan Pleret. Berdasarkan kejadian bencana alam di Kabupaten Bantul tahun 2016-2020 (Tabel 1), bencana yang sering terjadi di Kabupaten Bantul adalah tanah longsor. Berdasarkan peta kerawanan tanah longsor Kabupaten Bantul 2019 (Gambar 1), Kecamatan Imogiri, Pleret, Dlingo, dan Piyungan merupakan daerah yang rawan mengalami tanah longsor di Kabupaten Bantul. Dalam peta tersebut, daerah penelitian yang berada di Desa Karangtengah, Kecamatan