

Simulasi dosis serap kanker payudara dengan empat sudut penyinaran menggunakan teknik radioterapi konformal tiga dimensi

Wihantoro*, Abdul Aziz Toyib, Aris Haryadi, Efiti Pratiwi Adi

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

Abstrak – Makalah ini menyajikan perhitungan dosis serap kanker payudara dan organ riskan sekitarnya dari perlakuan radioterapi LINAC (Linier Accelerator) 6 MV. Organ sekitar yang diamati adalah payudara kanan dan kiri, jantung, hati, paru-paru kanan dan kiri, tulang belakang dan pancreas. Teknik yang digunakan adalah konformal tiga dimensi dengan empat arah sudut penyinaran, yaitu 0° , 60° , 180° , dan 240° . Konformal tiga dimensi dibentuk menggunakan multileaf collimator (MLC) dengan bukaan geometri lingkaran berdiameter 1,3 cm. Jaringan kanker dimodelkan berbentuk bola diameter 3 cm berada di bagian dalam tengah payudara kiri. Unit kepala LINAC dimodelkan berdasarkan geometri data dari Siemens Primus. Dosis serap dihitung dengan metode Monte Carlo dari perjalanan foton dari unit kepala LINAC hingga berinteraksi dengan jaringan kanker dan organ riskan sekitarnya. Model LINAC divalidasi melalui pdd (persen dosis kedalaman) hasil pengukuran dan simulasi dengan ketelitian 90%. Penggabungan nilai dosis serap untuk keempat arah penyinaran menunjukkan dosis serap terbesar berada pada jaringan kanker sebesar 2 Gy. Organ riskan yang menerima dosis serap paling rendah adalah hati, 0,005 Gy dan yang menerima dosis serap paling tinggi adalah payudara kiri, 0,265 Gy

Kata kunci: kanker payudara, LINAC 6 MV, konformal tiga dimensi, empat arah sudut penyinaran.

Abstract – This paper presents the calculation of the absorbed dose of breast cancer and surrounding risk organs from the LINAC (Linear Accelerator) 6 MV radiotherapy treatment. The surrounding organs observed were the right and left breasts, heart, liver, right and left lungs, spine and pancreas. The technique used is a three-dimensional conformal with four irradiation angle directions, namely 0° , 60° , 180° , and 240° . Three-dimensional conformal was formed using a multileaf collimator (MLC) with a circular geometry opening with a diameter of 1.3 cm. The cancer tissue was modeled as a ball with a diameter of 3 cm in the center of the left breast. The LINAC head unit is modeled based on geometry data from Siemens Primus. The absorbed dose was calculated by the Monte Carlo method from the photon traveling from the LINAC head unit to interacting with cancer tissue and surrounding risk organs. The LINAC model was validated through pdd (percent depth dose) measurement and simulation results with an accuracy of 90%. The combination of the absorbed dose values for the four radiation directions showed that the largest absorbed dose was in cancer tissue of 2 Gy. The risk organ receiving the lowest absorbed dose was the liver, 0.005 Gy and the one receiving the highest absorbed dose was the left breast, 0.265 Gy.

Key words: breast cancer, LINAC 6 MV, three-dimensional conformal, four irradiation angle directions

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan metode teknik terapi dengan menggunakan sumber radiasi eksternal untuk menyembuhkan kanker. Radiasi yang dipancarkan ke jaringan yang terkena kanker akan mengalami peristiwa seperti ionisasi molekul air yang berakibat terbentuknya radikal bebas yang pada akhirnya akan mematikan sel yang dituju [1]. Hal tersebut selaras dengan tujuan radioterapi yaitu untuk mematikan sel dengan radiasi terhadap *planning target volume* (PTV) pada penderitanya dengan seminimal mungkin paparan radiasi yang diberikan

terhadap jaringan sehat yang ada di sekitarnya. Sumber radiasi eksternal radioterapi diantaranya adalah *neutron beam*, sinar-x, cobalt-60, dan *linear accelerator* (LINAC).

Dalam beberapa periode terakhir, teknologi di bidang kesehatan terus berkembang dibuktikan dengan munculnya teknik-teknik dalam radioterapi. Teknik-teknik tersebut mulai dari teknik konvensional dua dimensi sampai teknik yang lebih *advance* seperti IMRT (*Intensity Modulated Radiation Therapy*), VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*), SRS (*Stereotatic Radiosurgery*), dan teknik konformal tiga dimensi [2]. Teknik konformal

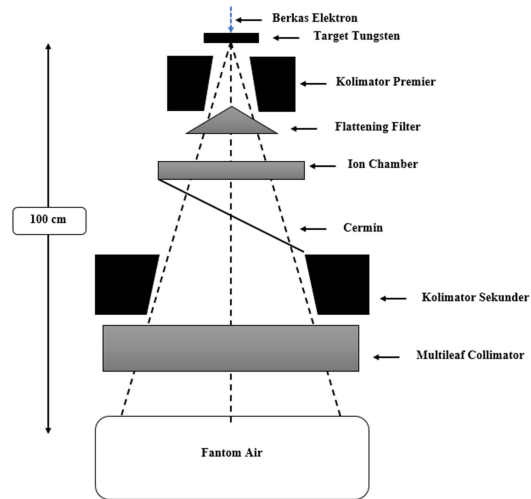
tiga dimensi yaitu teknik pengobatan dimana rencana dan pemberian pengobatan berdasarkan data *volumetric* dengan masing-masing medan radiasi sesuai dengan bentuk target dari citra CT-Scan [3]. Pelaksanaan teknik konformal tiga dimensi menggunakan *additional equipment* berupa penggunaan *Multileaf Collimator* (MLC). MLC bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengobatan dengan cara membentuk pancaran sinar radiasi mengikuti ukuran kanker yang menjadi target [4-5].

Hasil simulasi penyinaran radioterapi konvensional gabungan dua arah, sudut 300° dan 120° menggunakan sumber gamma, berkas profil datar diperoleh bahwa pola kurva isodosis yang tidak sesuai dengan bentuk geometri payudara. Penyebaran dosis radiasi cukup tinggi yang menyebabkan luas kurva dosis maksimum melebar ke organ payudara, sedangkan untuk kanker stadium dini organ payudara dianggap organ yang beresiko terdampak [6]. Teknik konformal tiga dimensi untuk penyinaran dua arah dengan aplikasi MLC merupakan teknik minimal yang harus diterapkan berdasarkan standar internasional. Simulasi penyinaran kanker payudara menggunakan teknik konformal tiga dimensi dengan dua arah penyinaran dapat menurunkan luas kurva isodosis maksimum pada organ payudara dibandingkan dengan teknik konvensional akan tetapi masih terdapat pelebaran geometri kurva isodosis maksimum [7]. Dalam makalah ini dikaji teknik konformal tiga dimensi dengan empat sudut penyinaran yang dimaksudkan agar luasan medan isodosis maksimum yang diterima pada kanker lebih presisi menggunakan simulasi Monte Carlo (MC). Simulasi Monte Carlo sebagai salah satu metode untuk mempelajari fisika radioterapi merupakan metode yang dianggap akurat untuk simulasi transportasi radiasi dan perhitungan dosis yang dalam penelitian kali ini menggunakan bahasa pemrograman MCNPX.

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian terdiri dari lima tahap. Tahap pertama adalah pemodelan unit kepala LINAC yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik pesawat LINAC yang sesuai standar dan nilai dosis serap maksimum yang diterima dalam simulasi menggunakan pantom air dilihat dari hasil kurva pdd dan profil dosis. Pesawat LINAC yang disimulasikan menggunakan pesawat LINAC 6 MV dengan

energi rata-rata elektron sebesar 6 MeV. Sedangkan pantom air dimodelkan dalam bentuk kubus berukuran $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ yang didalamnya berisi air. pantom dibagi menjadi kisi-kisi kecil yang merupakan elemen volume yang dikenal dengan voxel (*volumetric and pixel*) sedangkan untuk menentukan pdd pantom dibagi menjadi voxel ke arah sumbu vertikal, sementara untuk menentukan profil dosis radiasi phantom dibagi menjadi voxel ke arah horizontal (**Gambar 1**).



Gambar 1. Model bagian-bagian utama kepala LINAC dengan SSD 100 cm [8].

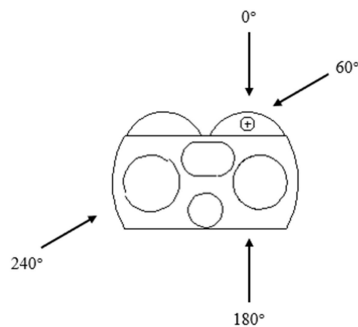
Pada tahap kedua yaitu pemodelan alat MLC. MLC dibuat beberapa batang yang berfungsi untuk mengatur besarnya ukuran medan radiasi sesuai kebutuhan yang terletak pada bagian bawah kolimator. Lebar batang 1 cm dengan ketebalan setiap batang 7,5 cm dan panjang 24 cm. Bentuk MLC disesuaikan dengan ukuran kanker yang ditentukan. MLC dimodelkan dengan bentuk balok yang pada bagian tengahnya diberi lubang dengan ukuran dan bentuknya telah disesuaikan mengikuti ukuran dan bentuk kanker. Pada pemodelan ini batang-batang MLC berhimpit satu sama lain sehingga tidak ada rongga diantara batang. Lubang yang disisipkan di tengah MLC berbentuk geometri silinder dengan diameter 1,3 cm.

Tahap Ketiga yaitu arah penyinaran. Dalam penelitian ini dilakukan pada empat medan radiasi (**Gambar 2**), yaitu:

1. Medan radiasi supraklavikula dengan sudut 0° .
2. Medan radiasi tangensial lateromedial dengan sudut 60° .
3. Medan radiasi aksila dengan sudut 180° .

4. Medan radiasi tangensial mediolateral dengan sudut 240° .

Ukuran model, densitas, dan komposisi yang disimulasikan didasarkan pada model pantom *Taiwanese Reference Woman* (TRW) yang dibuat oleh Chang dkk [9]. Organ yang disimulasikan pada penelitian ini adalah sel kanker, payudara kiri dan kanan, paru-paru, jantung, hati, pankreas, dan tulang belakang. Jaringan kanker disimulasikan dengan bentuk bola yang berada di tengah payudara kiri dengan diameter jaringan kanker sebesar 3 cm dengan kedalaman 2,5 cm dari permukaan. Pemodelan jaringan kanker menggunakan geometri bola dilakukan agar pada saat penyinaran jaringan kanker titik fokus penyinaran yang jatuh pada kanker dapat dengan mudah diketahui dan memudahkan dalam pemodelan bukaan MLC.



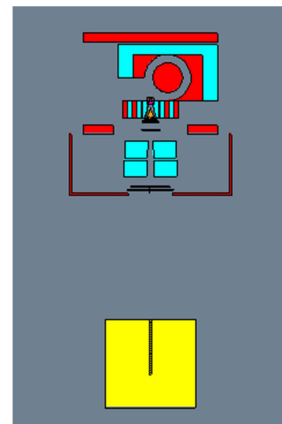
Gambar 2. Empat sudut penyinaran dengan kanker di bagian kiri payudara, dilihat dari bagian kaki pasien (bidang zx).

Tahap keempat yaitu perhitungan dosis serap dengan menggunakan *tally F6* yang menghasilkan nilai deposisi rata-rata pada sebuah bidang satuan MeV/g. Kemudian untuk mengubah satuan dalam bentuk Gy (joule/kg), nilai hasil *tally F6* dikalikan dengan $1,6 \times 10^{-10}$ joule/kg [10]. Tahap kelima yaitu pembuatan kurva isodosis yang dalam penelitian ini dilakukan dengan membuat detektor maya pada pantom organ dada. Detektor maya dibuat dengan notepad++ dalam program *vised* dengan interval setiap 2,5 cm disetiap sumbu x dan 3 cm untuk sumbu z. *Tally* yang digunakan berupa *tally F5* yang menghasilkan fluks pada detektor titik dengan satuan partikel/cm². Hasil dari *tally F5* kemudian dibuat kontur 2-dimensi dengan *software* Surfer 16.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Pesawat LINAC

Karakteristik pesawat LINAC ditentukan berdasarkan grafik pdd dan profil dosis. Untuk mendapat karakteristik pesawat LINAC, sebelumnya dimodelkan terlebih dahulu unit kepala pesawat LINAC dan pantom air dengan *software* MCNPX *Vised*. Pesawat LINAC yang dimodelkan berdasarkan model kepala Siemen Primus 6 MV yang memiliki energi rata-rata elektron sebesar 6 MeV dengan jumlah partikel sebanyak 10^7 [11]. *Listing* pemodelan Kepala LINAC dan pantom air dapat dilihat pada lampiran 2. Komponen utama unit kepala pesawat LINAC terdiri dari target, kolimator primer, *flattening filter*, cermin, monitor atau *ionization chamber*, kolimator sekunder dan ditambahkan *multileaf collimator* sedangkan pantom air terdiri dari voxel (*volumetric and pixel*) pada arah vertikal dan horizontal yang dibuat dengan ukuran $40 \times 40 \times 40$ cm³. Pemodelan pantom air dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik pesawat LINAC berdasarkan kurva pdd dan profil dosis menggunakan SSD 100 cm dan luas medan radiasi 10×10 cm². Hasil pemodelan unit kepala radioterapi pesawat LINAC 6 MV dan pantom air disajikan pada **Gambar 3**.



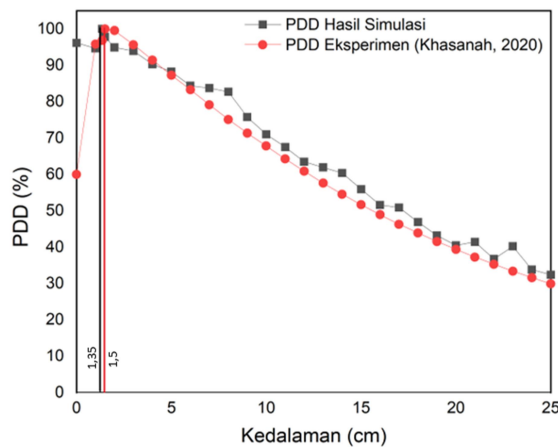
Gambar 3. Hasil pemodelan unit kepala LINAC dan pantom air

Kurva pdd dan profil dosis dihasilkan dari simulasi pemodelan LINAC dan pantom air dari hasil *running* program menggunakan kode *tally F4* yang berupa fluks rata-rata pada sebuah sel dengan satuan partikel/cm². Kode *tally F4* menggambarkan banyaknya partikel yang berada pada sebuah sel per satuan luas yang berarti semakin banyak sel yang dilewati maka nilainya akan semakin kecil. Nilai hasil simulasi berupa partikel/cm² dinormalisasi dengan dimasukkan ke dalam persamaan (1):

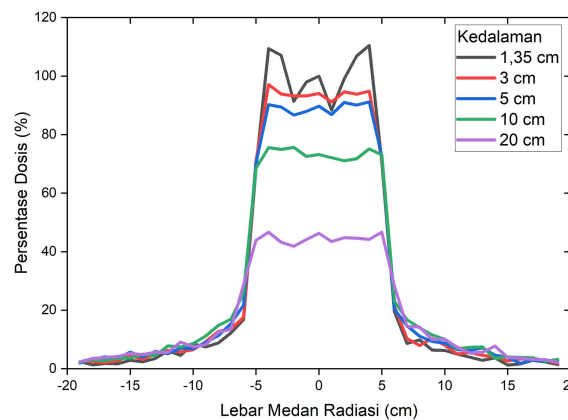
$$D_n = (X_1/X_2) \times 100 \% \quad (1)$$

dengan D_n adalah nilai dosis ternormalisasi, X_1 adalah nilai yang akan dinormalisasi, X_2 nilai terbesar (nilai *build up*) dalam simulasi.

Dalam simulasi, kurva pdd memiliki nilai tertinggi 100% pada kedalaman 1,35 cm sebesar $5,20009 \times 10^{-6}$ partikel/cm² yang artinya pada kedalaman ini merupakan nilai kedalaman karakteristik pesawat LINAC yang dimodelkan. Sedangkan kurva profil dosis radiasi dari hasil simulasi menggunakan luas medan yang sama dengan variasi kedalaman berbeda dinormalisasi 100% pada kedalaman 1,35 cm dengan nilai simulasi $5,12872 \times 10^{-6}$ partikel/cm². Nilai hasil perhitungan pdd dan profil dosis dapat dilihat tersaji secara grafis pada **Gambar 4** dan **5**.



Gambar 4. Kurva profil dosis simulasi dengan medan radiasi 10 cm x 10 cm.



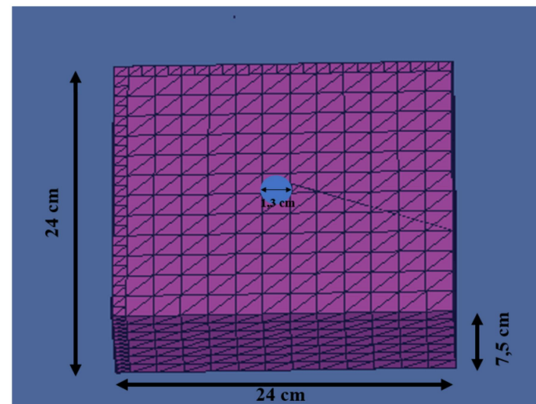
Gambar 5. Kurva profil dosis simulasi dengan medan radiasi 10 cm x 10 cm.

Nilai dosis pada medan radiasi 10 cm x 10 cm hasil simulasi ini tidak jauh berbeda dari

referensi [12]. Nilai pdd berada pada kedalaman 1,35 cm dari 1,5 cm yang direkomendasikan dan profil dosis memiliki kedataran pada kedalaman 10 cm. Dapat dikatakan model pesawat LINAC ini dapat digunakan untuk perhitungan simulasi dosis serap jaringan kanker dan organ dada.

B. Pemodelan *Multileaf Collimator* Beserta Bukaannya

MLC dimodelkan dalam geometri balok dengan ukuran 24 x 24 x 7,5 cm³ yang merupakan ukuran standar optimum agar radiasi yang mengenai blok MLC tidak dapat diteruskan, sedangkan untuk bukaan MLC dibuat dengan balok berlubang pada bagian tengahnya dengan cara disisipkan geometri silinder yang berisi massa udara dengan diameter silinder sebesar 1,3 cm (**Gambar 6**). Penentuan bukaan MLC dengan diameter sebesar 1,3 cm diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Rahma, [7] dan Khasanah [10].

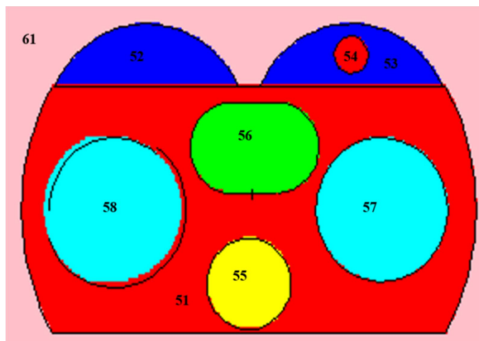


Gambar 6. Hasil simulasi MLC dengan diameter bukaan 1,3 cm.

C. Dosis Serap Jaringan Kanker dan Tiap Organ Dada

Sebelum menentukan nilai dosis serap jaringan kanker dan tiap organ dada, penelitian ini terlebih dahulu menggabungkan listing program antara unit kepala LINAC dengan pantom organ dada dengan ukuran, densitas dan komposisi berdasarkan model pantom *taiwanese reference woman* (TRW) [9]. Organ yang dimodelkan pada pantom organ dada antara lain adalah payudara, paru-paru, jantung, hati, pankreas, tulang belakang, dan sel kanker. Organ payudara dimodelkan berbentuk setengah lingkaran berjari-jari 9 cm. Organ paru-paru dimodelkan dari tumpukan silinder dengan jarak antar jari-jari silinder 1 cm. Organ jantung dimodelkan

berbentuk silinder yang dipotong dengan setengah bola pada kedua sisinya dengan diameter 4,18 cm. Organ tulang belakang dimodelkan berbentuk silinder berjari-jari 3,68 cm. Organ pankreas dimodelkan sama dengan organ jantung dengan jari-jari dari silinder dan dua buah setengah lingkaran dengan diameter 1,05. Organ hati dimodelkan berbentuk tumpukan persegi dengan jarak persegi 1 cm dengan lebar 2,05 cm, panjang 20,2 cm, dan tinggi 4 cm. Sel kanker dimodelkan dengan bentuk bola yang berada di tengah payudara kiri dengan diameter jaringan kanker sebesar 3 cm. Pemodelan jaringan kanker digunakan geometri bola (**Gambar 7**).



Gambar 7. Hasil pemodela pantom organ dada wanita dan sel kanker.

Keterangan:

- 51 = Tubuh manusia
- 52 = Payudara kanan
- 53 = Payudara kiri
- 54 = Kanker
- 55 = Tulang belakang
- 56 = Jantung
- 57 = Paru-paru kiri
- 58 = Paru-paru kanan
- 61 = Lingkungan

Hasil pada penelitian ini yaitu nilai dosis serap (Gy) dengan satuan joule/kg pada sel kanker dan organ sekitarnya dengan empat sudut penyinaran yaitu 0°, 60°, 180°, dan 240°. Dosis serap pada setiap organ diperoleh menggunakan *tally f6* dengan satuan MeV/g, kemudian untuk mengubah satuan dalam bentuk Gy. Hasil penyinaran setiap organ yang dihasilkan dari masing-masing arah penyinaran adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil dosis serap pada setiap organ dengan ukuran jaringan kanker berdiameter 3 cm dengan bukaan MLC 1,3 cm.

Organ	Dosis Serap Arah penyinaran				Dosis Serap Gabungan empat arah (Gy)
	0°	60°	180°	240°	
Jaringan Kanker	0,651	0,630	0,419	0,299	2
Payudara	0,061	0,106	0,041	0,056	0,265

kiri					
Payudara kanan	0,003	0,006	0,002	0,005	0,018
Jantung	0,006	0,073	0,005	0,093	0,179
Hati	0,001	0,001	0,000	0,002	0,005
Paru-paru kiri	0,030	0,003	0,037	0,002	0,073
Paru-paru kanan	0,002	0,021	0,002	0,045	0,071
Tulang belakang	0,002	0,001	0,003	0,002	0,010
Pankreas	0,001	0,001	0,002	0,001	0,006

Penyinaran empat arah dihitung sebagai satu fraksi penyinaran dengan nilai maksimal dosis serap yang diterima adalah 2 Gy. Dari tabel diatas menunjukkan dosis serap terbesar yang didapat pada penelitian ini berada pada jaringan kanker dan payudara kiri sebesar 2 Gy dan 0,2655 Gy. Organ payudara mendapatkan dosis tinggi karena jaringan kanker berada pada payudara bagian kiri. Sedangkan dosis terkecil diterima oleh hati dan pankreas sebesar 0,0054 Gy dan 0,0062 Gy. Dosis ambang tiap organ yang dijadikan rujukan dalam perhitungan simulasi ini mengambil dari Chidambaram *et. al.* [14]

Tabel 2 Dosis ambang organ at risk [14].

Organ	Dosis Ambang
Jaringan Kanker	2 Gy/Fraksi
Payudara kiri	2 Gy/Fraksi
Payudara kanan	2 Gy/Fraksi
Jantung	< 1,3 Gy/Fraksi
Hati	≤ 1,16 Gy/Fraksi
Paru-paru	< 1 Gy/Fraksi
Tulang belakang	≤ 1,13 Gy/Fraksi
Pangkreas	< 1 Gy/Fraksi

D. Kurva Isodosis Pada Dada Wanita Dewasa

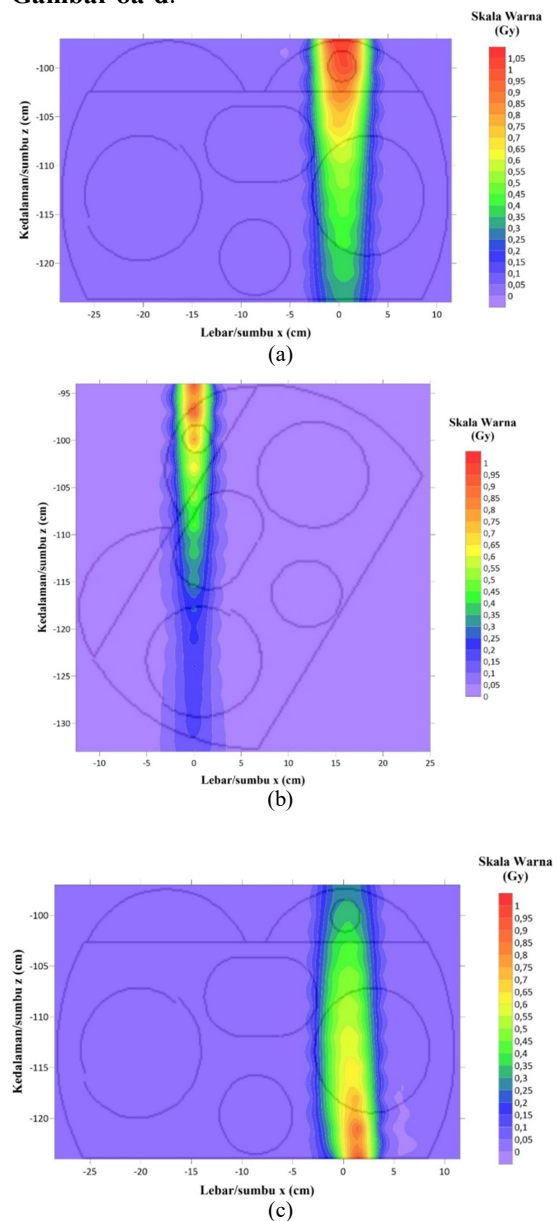
Persebaran dosis serap pada penelitian ini dibuat dalam bentuk kontur 2-dimensi untuk mengetahui sebaran dosis yang diterima organ dada dengan cara membuat detektor maya. Detektor dibuat dalam program vised dengan interval setiap 2,5 cm disetiap arah horizontal dan 3 cm disetiap arah vertikal. Persebaran dosis serap diperoleh dari hasil *running* program menggunakan *tally F5* yang menghasilkan fluks pada detektor titik dengan satuan partikel/cm². Hasil *tally F5* kemudian dinormalisasi untuk menunjukkan sebuah kontur 2-dimensi dengan *software* Surfer 16 dimana sumbu vertikal merupakan sumbu z (kedalaman), sedangkan sumbu horizontal merupakan sumbu x (lebar).

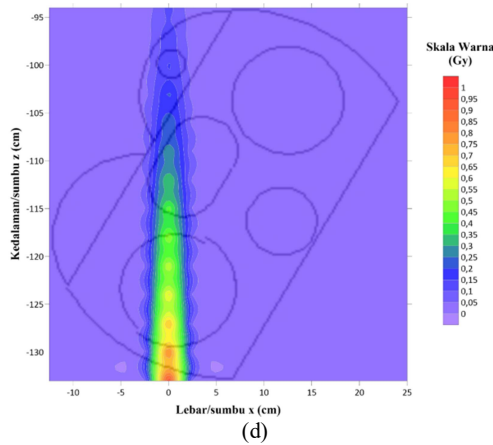
Pada proses simulasi, model unit kepala LINAC tidak dapat ditransformasikan secara

langsung sesuai dengan sudut penyinaran yang telah ditentukan. Sehingga pada simulasi penelitian ini model yang ditransformasikan adalah model pantom organ dada. Pada praktik radioterapi yang sesungguhnya hal tersebut tidak mungkin dilakukan. Proses simulasi menggunakan transformasi pantom organ dada yaitu pada transformasi pantom organ dada sudut 60° , 180° , dan 240° . Pola yang terbentuk adalah bagian organ dada jika dilihat dari kaki pasien.

Pada kurva dengan penyinaran sudut 0° , sebaran dosis serap menumpuk pada dada bagian kiri. Jaringan kanker mendapatkan dosis yang besar dari pada bagian dada lainnya. Selain itu bagian dada sebelah kiri juga lebih banyak menyerap energi dari pada bagian lain disebabkan oleh jarak sel kanker dan organ dada sebelah kiri lebih dekat dengan sumber dibandingkan dengan rongga dada sebelah kanan saat dilakukan penyinaran dengan sudut 0° sehingga lebih banyak energi yang diserap pada bagian permukaan dada kiri yang jaraknya lebih dekat dengan sumber. Sedangkan pada penyinaran dengan transformasi pantom organ dada sudut 60° menunjukkan sebaran dosis serap bahwa dosis paling banyak diterima yaitu pada jaringan kanker dan payudara kiri hingga kedalaman -100 cm. Akan tetapi pada sudut ini organ jantung dan paru-paru sebelah kanan menunjukkan paparan yang tidak semestinya terkena. Hal ini disebabkan oleh transformasi organ dada pada arah penyinaran 60° . Pada sudut ini, organ lainnya selain jaringan kanker dan payudara kiri mendapatkan dosis yang lebih rendah, dosis serap maksimal ditunjukkan dengan warna merah sedangkan dosis serap minimum ditunjukkan dengan warna ungu. Pada penyinaran dengan transformasi pantom organ dada sudut 180° , dosis serap menumpuk pada dada bagian kiri, dosis yang lebih besar diterima oleh jaringan yang berada pada -117 cm sampai -124 cm. Selain itu pada sudut ini juga sama dengan penyinaran sudut 0° dimana bagian dada sebelah kiri juga lebih banyak menyerap energi dari pada bagian lain disebabkan oleh jarak sel kanker dan organ dada sebelah kiri lebih dekat dengan sumber dibandingkan dengan bagian dada sebelah kanan. Pada penyinaran dengan transformasi pantom organ dada sudut 240° menunjukkan sebaran dosis serap menumpuk pada dada bagian kanan. Jaringan kanker mendapatkan dosis yang kecil disebabkan oleh jarak jaringan kanker yang lebih jauh dari sumber dibandingkan dengan organ dada

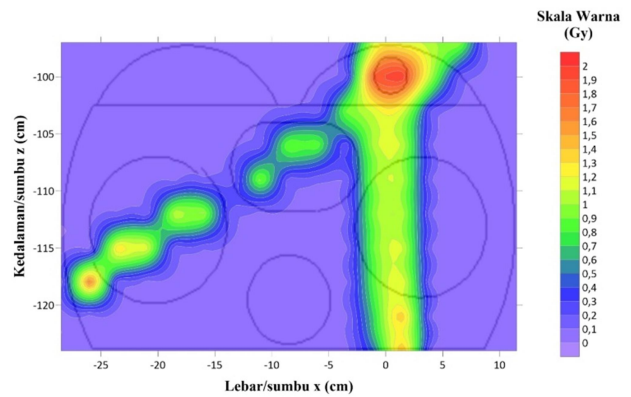
sebelah kiri dan payudara kiri saat dilakukan transformasi organ arah penyinaran dengan sudut 240° sehingga lebih banyak energi yang diserap pada bagian permukaan dada kanan yang jaraknya lebih dekat dengan sumber. Pada sudut ini terdapat organ-organ yang tidak perlu terkena penyinaran seperti paru-paru kanan dan jantung. Kurva isodosis persebaran dosis serap untuk tiap sudut disajikan berturut pada **Gambar 8a-d**.





Gambar 8. Kurva isodosis organ dada sudut (a)0°, (b). 60°, (c). 180°, dan (d).240°

Kurva isodosis gabungan semua arah penyinaran yaitu 0°, 60°, 180°, dan 240° didapat dari hasil gabungan kurva pada **Gambar 6** dimana organ yang paling banyak menerima dosis yaitu jaringan kanker pada kedalaman 2,5 cm dari permukaan kulit payudara yang pada gambar ditunjukkan pada kedalaman -100 cm dengan warna merah dominan yang berarti terjadi penumpukan dosis pada payudara sebelah kiri dari berbagai arah penyinaran yang menunjukkan juga bahwa pada daerah tersebut menunjukkan dosis paling besar. Sedangkan organ lainnya mendapatkan dosis yang lebih rendah dari pada jaringan kanker dan payudara bagian kiri terlihat dari warna ungu yang menunjukkan skala dosis kecil. Akan tetapi untuk penyinaran dari sudut 60° dan 240° terdapat organ-organ yang semestinya tidak terkena secara langsung justru menerima dosis yang besar seperti paru-paru kanan dan jantung. Oleh karena itu untuk sudut tersebut perlu diganti menggunakan sudut dimana *organ at risk* menerima lebih sedikit dosis serap seperti sudut 120° dan 300°. Kurva isodosis gabungan ke empat arah penyinaran (**Gambar 2**) disajikan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Kurva isodosis gabungan keempat arah penyinaran.

Dapat dikatakan, dosis serap semakin rendah seiring bertambahnya jarak antara sumber terhadap titik acuan. Hal ini disebabkan karena proses penyinaran akan terserap sebelumnya oleh organ yang paling dekat terlebih dahulu. Faktor lain yang mempengaruhi variasi dosis serap terhadap kedalaman diantaranya adalah energi sumber, kedalaman, ukuran medan radiasi, dan jarak sumber [15].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan:

1. Karakteristik radiasi pesawat LINAC diperoleh dari kurva pdd hasil simulasi monte carlo memiliki faktor *build-up* pada kedalaman 1,35 cm dan kurva profil dosis radiasi menunjukkan bahwa profil dosis datar terjadi pada kedalaman 10 cm.
2. Model *multileaf collimator* serta bukaannya dibuat menggunakan simulasi monte carlo, MLC berhasil dimodelkan dengan bentuk balok ukuran 24 x 24 x 7,5 cm³. Sedangkan bukaan MLC buat dengan silinder yang diletakkan pada tengah balok dengan diameter silinder sebesar 1,3 cm.

Dosis serap tiap sudut penyinaran dan gabungan penyinaran jaringan kanker dan tiap komponen organ dada diperoleh dengan menggunakan kode *tally* F6 dengan nilai dosis serap terbesar yaitu 0,6513 Gy dengan sudut 0° pada kanker dan nilai dosis serap terkecil yaitu 0,0009 Gy dengan sudut 180° pada organ hati. Nilai dosis serap gabungan untuk jaringan kanker dan tiap komponen organ dada yaitu 2 Gy untuk jaringan kanker, 0,2655 Gy untuk payudara kiri, 0,0186 Gy untuk payudara kanan, 0,179 Gy untuk jantung, 0,0054 Gy untuk hati,

0,0734 Gy untuk paru-paru kiri, 0,0715 Gy untuk paru-paru kanan, 0,0100 Gy untuk tulang belakang, dan 0,0062 Gy untuk pankreas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada LPPM melalui dana BLU-2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Drapek, "Radiation Therapy", In *Mosby's Oncology Nurse Advisor*, 2nd ed., N. S. Hickey, J.M. Brant, Eds., St Louis, MO: Elsevier, 2017, 168-171.
- [2] D. Abshire and M. K. Lang, "The Evolution of Radiation Therapy in Treating Cancer", *Semin Oncol Nurs*, vol. 34, no. 2, 151-157, 2018.
- [3] G.C. Pereira, M. Traughber, R.F. Muzic, "The Role of Imaging in Radiation Therapy Planning: Past, Present, and Future", *BioMed Research International*, pp.1-9, 2014.
- [4] H. Kodrat, R. Susworo, T. Amalia, dan R. R. Sabariani, "Radioterapi Konformal Tiga Dimensi Dengan Pesawat Cobalt-60", *Journal of the Indonesian Radiation Oncology Society*, vol. 7, no.1, 37-42, 2016.
- [5] T. Y. Lim, I. Dragojevic, D. Hoffman, and E. Flores-Martinez, "Characterization of The Halcyon Multileaf Collimator System", *Radiation Oncology Physics*, vol. 20, no. 4, 106-114, 2019.
- [6] A. Mafthuatun, A. Haryadi, dan Wihantoro, "Pola kurva isodosis dari penyinaran berkas profil datar pada kanker payudara dengan teknik tangensial menggunakan MCNPX", *Jurnal Teras Fisika*, vol. 2, no.2, 19-23, 2019.
- [7] R.I. Sari, "Simulasi Penyinaran Kanker Payudara Pada Pesawat Radioterapi Co-60 dengan Filter Wedges", Skripsi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2019.
- [8] F. M. Khan, and J. P. Gibbons, *The Physics of Radiation Therapy*, 5 ed., Philadelphia, 2014.
- [9] S. J. Chang, S.Y. Hung, Y.L. Liu, and S.H. Jiang, "Construction of Taiwanese Adult Reference Phantoms for Internal Dose Evaluation", *Plos One*, 1-14, 2016.
- [10] D. S. Khasanah, "Karakteristik Pesawat Linear Accelerator (LINAC) 6 MV dengan Metode Monte Carlo", Skripsi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2020.
- [11] D. H. Sidaburta, dan E. Setiawati, "Perbandingan Dosis Terhadap Variasi Kedalaman dan Luas Lapangan Penyinaran (Bentuk Persegi dan Persegi Panjang) Pada Pesawat Radioterapi Cobalt-60", *Youngster Physics Journal*, vol. 3, no. 4, 295-302, 2014.
- [12] S. Taneja, L. J. Bartol, W. Culberson, and L. A. De Werd, "Measurement of the Energy Spectrum of a 6 MV Linear Accelerator Using Compton Scattering Spectroscopy and Monte Carlo-Generated Corrections", *International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology*, 186-200, 2020.
- [13] F. N. Ihya, C. Anam, dan V. Gunawan, "Pembuatan Kurva Isodosis 2D dengan Menggunakan Kurva Percentage Depth Dose (pdd) dan Profil Dosis dengan Variasi Kedalaman Untuk Treatment Planning System", *Berkala Fisika*, vol. 16, no. 4, 131-138, 2013.
- [14] V. Chidambaram, S. Raju, A. Kumar, and N. V. Behera, "Dosimetry study for Post-Mastectomy Breast Cancer in Intensity Modulated Radiotherapy plans and Field in Field (FiF) forward plans", *Corpus*, 2016.
- [15] S. Reda, M. Hanafy, I. Bashter, E. Massoud, and E. Amin, "Monte Carlo Dose Calculation for Breast Radiotherapy using 60 CO Gamma Rays", *Journal of Nuclear and Radiation Physics*, 61-72, 2006.